

Schlussbericht

Inkrementelles Schwenkbiegen zur kostengünstigen Herstellung von Trägerstrukturen in Elektrofahrzeugen (ISB-Elektro)

Teilvorhaben

Definition der Anforderungen an Längsträgerbauteile für Elektrofahrzeuge (DALE)

gefördert durch das

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

Projektkonsortium:

Automotive Center Südwestfalen GmbH

Universität Siegen

EDAG Engineering GmbH

KIRCHHOFF Automotive Deutschland GmbH, Attendorn

Kronenberg Profil GmbH

LEWA Attendorn GmbH

Zuwendungsempfänger: Automotive Center Südwestfalen GmbH	Förderkennzeichen: 01MX12048A
Projektleiter: Christoph Stötzel	Tel.: 02722-9784 518 Fax: 02722-9784 818 Email: c.stoetzel@acs-innovations.de
Laufzeit des Vorhabens: von: 01.10.2012 bis: 30.09.2015 verlängert bis: 30.09.2016	
Datum: 19.06.2017	

Inhalt

I.	Kurzdarstellung.....	3
1	Aufgabenstellung.....	3
2	Voraussetzungen unter denen das FE-Vorhaben durchgeführt wurde	4
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand zum Projektstart	7
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	9
6	Literatur	9
II.	Eingehende Darstellung	10
1	Ergebnisse.....	10
1.1	Erstes Arbeitspaket: Erstellung eines Lastenhefts	10
1.2	Zweites Arbeitspaket: Erforschung und Entwicklung der Prozesskette (Längsträgerfertigung).....	16
1.3	Drittes Arbeitspaket: Entwicklung der Produktionstechnik.....	17
1.4	Viertes Arbeitspaket: Pilotanwendung und Herstellung des Demonstratorbauteils.....	22
1.5	Fünftes Arbeitspaket: Produktionsbaukasten und virtuelle Strukturkonzepte	30
2	Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	32
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	33
4	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	33
5	Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	34
6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der FE-Ergebnisse	34

I. Kurzdarstellung

1 Aufgabenstellung

Die Kombination aus den marktspezifischen Anforderungen der Elektromobilität nach effektivem Leichtbau und den geringen Stückzahlen untermauern die Notwendigkeit flexibler Fertigungstechnologien für Strukturbauteile aus hochfesten Werkstoffen. Kern des Förderprojektes ISB Elektro war die angewandte Erforschung, praktische Validierung und wirtschaftliche Bewertung eines hochflexiblen Fertigungsverfahrens für Strukturkomponenten von Elektrofahrzeugen. Bei dem inkrementellen Schwenkbiegen (ISB) werden mittels kinematischer Formgebung sowie einem reibschlüssigen Wirkprinzip offene Profilformen aus hochfesten Stählen umgeformt, wodurch eine hochflexible und werkzeugunabhängige Geometrieerzeugung möglich wird. Das Förderverbundprojekt beschäftigt sich mit der Verfahrensentwicklung der Fertigungstechnik, der angewandten Bauteilauslegung anhand eines Elektrofahrzeuglängsträgers und der anschließenden praktischen Umsetzung.

Das Arbeitsziel des Teilprojekts DALE war im ersten Schritt die Bestimmung und Katalogisierung der geometrischen und funktionellen Anforderungen (insbesondere aufgrund der Crashesicherheit sowie der Integration von Batteriepaketen in die Fahrzeugstruktur) für Längsträgerstrukturen in Elektrofahrzeugen. Hieraus wurde zusammenfassend ein Lastenheft für das Bauteilspektrum erstellt, in welchem die wesentlichen funktionellen, geometrischen und werkstoffspezifischen Anforderungen von Längsträgerbauteilen für die Elektromobilität definiert wurden.

Weiteres Arbeitsziel dieses Teilprojekts war die Projektierung einer virtuellen Pilotanlage zur Herstellung einer Längsträgerbaugruppe auf Basis des ISBs. Hierzu mussten alle Anforderungen zur Integration der Längsträgerbaugruppe in das Gesamtfahrzeug bekannt sein, die dem Lastenheft entnommen werden konnten. Anschließend konnte die notwendige Fertigungsabfolge aufgestellt werden. Die Projektierung der Pilotanlage erfolgt auf Basis eines Layouts, wovon ausgehend alle notwendigen Prozessschritte hinsichtlich ihrer Verkettung und Wirtschaftlichkeit betrachtet werden konnten.

Nach Fertigstellung der Verfahrensauslegung des daraus resultierenden Werkzeugbaus bestand die Aufgabe darin das fertige Werkzeug in Betrieb zu nehmen und die Herstellung der Verfahrensdemonstratoren zu erproben und umzusetzen, damit diese im Anschluss geprüft werden konnten.

Mit Hinsicht auf die Erstellung des Produktionsbaukastens für Längsträgerbauteile wurden fortlaufend über die Dauer des Projektes die Ergebnisse dokumentiert und verallgemeinerter Form auf einen Katalog aus Halbzeugen und Materialien angewandt. Hieraus wurde ein Tool programmiert, welches eine künftige Beurteilung möglicher Anwendungen der Fertigungstechnik auf Strukturkomponenten ermöglicht.

2 Voraussetzungen unter denen das FE-Vorhaben durchgeführt wurde

Um die Vorreiterrolle der Deutschen Wirtschaft im Wachstumsmarkt der Elektromobilität zu sichern, waren zum Zeitpunkt des Projektstarts und sind innovative Verfahrenskonzepte erforderlich. Diese sollen bereits im Anfangsstadium der Elektromobilität die effiziente Produktion von Bauteilen ermöglichen. Die Sicherung heimischer Arbeitsplätze steht ebenfalls im Vordergrund. Dies kann nur durch die Entwicklung ressourcenschonender Schlüsseltechnologien verwirklicht werden, um dem ständig steigenden Wettbewerbsdruck der globalen Marktwirtschaft standzuhalten. Um die Schlüsseltechnologien auch bei KMU platzieren zu können, müssen die Investitionskosten gering sein. Das inkrementelle Schwenkbiegen konnte als vielseitig einsetzbare, werkzeugarme und variantenintensive Fertigungstechnik im Förderprojekt demonstriert werden und leistet somit einen wertvollen Beitrag zu diesen Anforderungen.

Die Entwicklung von Elektrofahrzeugen bedarf neben der Überarbeitung bestehender Konzepte bezüglich Antriebstechnologie und Energiemanagement auch die Ausarbeitung neuer Fahrzeugstrukturen. Diese unterliegen gestiegenen Anforderungen durch die Integration von Batteriepaketen. Mit dem Eigengewicht der Batteriepakete steigen die erforderlichen statischen und dynamischen Traglasten der Fahrzeugstruktur. Diese Traglasten müssen im Wesentlichen durch die Längsträger aufgenommen werden. Weiterhin müssen Festigkeit und Steifigkeit der Längsträger so ausgelegt werden, dass das Batteriepaket im Crashfall vor Intrusion geschützt ist. Diese Anforderungen wurden im Förderprojekt in Form eines Lastenheftes zusammengetragen und als Vorgabe für eine Neuauslegung der Strukturkomponente herangezogen.

Bislang werden Längsträger zumeist in der so genannten Schalenbauweise hergestellt. Dabei werden mehrere Halbschalen an überstehenden Rändern (Schweißflansche) zusammengeheftet. Diese Schweißflansche können mehr als 20 Prozent des Bauteilgewichts ausmachen. Für die Herstellung der Halbschalen werden in der Regel mehrere komplexe und teure formspeichernde Werkzeuge benötigt, die sich vorwiegend für die Massenproduktion eignen. Im Förderverbundprojekt wurde diese Bauweise durch eine profilintensive Bauweise abgelöst, so dass eine flexible Teileferti-

gung veranschaulicht werden konnte und vielzählige Trennungen und entsprechende Fügestellen vermieden wurden.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde von der Automotive Center Südwestfalen GmbH, im Folgenden **acs**, koordiniert und in Kooperation mit den folgenden Partnern in den dazugehörigen Teilvorhaben durchgeführt:

1. Universität Siegen, Lehrstuhl für Umformtechnik **UTS**
Teilvorhaben (TVB): Entwicklung des Fertigungsverfahrens Inkrementelles Schwenkbiegen (EdF-ISB)
2. EDAG Engineering GmbH **EDAG**
TVB: Auslegungsmethode und Strukturkonzepte für das Inkrementelle Schwenkbiegen (AMSISB)
3. KIRCHHOFF Automotive Deutschland GmbH, Attendorn **Kirchhoff**
TVB: Entwicklung der Produktionstechnik zur Integration des inkrementellen Schwenkbiegens in die bestehende Fertigungskette (EPIiSF)
4. Kronenberg Profil GmbH **Kronenberg**
TVB: Profilentwicklung zur Anwendung beim Inkrementellen Schwenkbiegen (PRAIS)
5. LEWA Attendorn GmbH **LEWA**
TVB: Entwicklung einer Prototypenanlage zum Inkrementellen Schwenkbiegen (EPISB)

Das Projekt hatte folgende Laufzeit: Oktober 2012 - September 2015.

Darüber hinaus wurde eine kostenneutrale Projektverlängerung bis September 2016 für das Teilprojekt DALE (zusammen mit AMSISB, EPISB und EdFISB) erwirkt. Diese Verlängerung musste kostenneutral beantragt und durchgeführt werden, um das Projekt vor allem in dem Arbeitspaket 4 zur Pilotanwendung und der Herstellung erster Demonstratoren erfolgreich beenden zu können. Die Entwicklung der Verfahrenstechnik, der zugehörige Werkzeugbau und dessen vorangehende –entwicklung sowie –konstruktion haben sich als sehr anspruchsvoll in der ersten Pilotanwendung herausgestellt, weshalb für die beteiligten Projektpartner (vgl. o.) mehr Zeit benötigt wurde. Indirekt hat sich dies darüber hinaus auch auf die Vollständigkeit der Projektergebnisse in Arbeitspaket 5 beim Zusammenstellen eines übergreifenden Produktionsbaukastens ausgewirkt, damit dieser mit den Ergebnissen des AP 4 angereichert werden konnte.

acs in der Rolle des Verbundkoordinator übernahm neben den im Folgenden dargestellten Aufgaben im Zusammenhang mit der individuellen Bearbeitung der Arbeitspakete auch übergreifende, administrative Aufgaben für das Konsortium:

Die Abstimmung zwischen den Projektpartnern erfolgte in Form von Workshops die mindestens vierteljährlich oder nach Bedarf kurzfristig vom acs anberaumt und organisiert wurden. Da sich die Projektpartner räumlich auf verschiedene Städte verteilten, wurden zusätzlich in wöchentlichem Abstand eine Telefonkonferenz abgehalten.

Der gesamte Projekterfolg aller Partner wurde von acs durch das Meilensteinkonzept des Projektes überwacht. Nicht nur deren Erreichung, sondern auch der zugehörige Projektplan der Arbeitsschritte wurde von acs fortwährend geprüft und im Falle von Verzögerungen Lösungskonzepte und angepasste Zielvorgaben erarbeitet.

Arbeitspakete (bezogen auf TVB DALE)

Die Arbeiten innerhalb des ISB-Projekts gliederten sich in insgesamt 5 Arbeitspakete (AP 1-5). Im Folgenden sind die Arbeiten des acs innerhalb dieser AP aufgelistet:

AP1: Erstellung eines Lastenhefts.

Im ersten Schritt wird ein Lastenheft erstellt, in welchem die wesentlichen funktionellen, geometrischen und werkstoffspezifischen Merkmale des Bauteilspektrums aufgenommen werden. Darüber hinaus enthält das Lastenheft Merkmale der sich hierzu eignenden Halbzeuge. Es wurde im Projekt als wesentliche Grundlage für die Auslegung der profilintensiven Strukturkonzepte herangezogen.

AP2: Erforschung und Entwicklung der Prozesskette (Längsträgerfertigung)

Erforschung des ISB's in Form von Grundlagenuntersuchungen hinsichtlich der Halbzeugeigenschaften (Werkstoff, Profilquerschnitt) sowie die analytische und numerische Modellierung. acs hat in diesem Arbeitspaket nur administrativ unterstützt.

AP3: Entwicklung der Produktionstechnik

Ausgehend von den theoretischen Vorarbeiten aus dem zweiten Arbeitspaket entwickeln die Projektpartner eine virtuelle Versuchsanlage für das Produktionsverfahren ISB. Auf Basis der Fertigungsabfolge für den profilierten Längsträger wurde ein Methodenplan aufgestellt, der die notwendige Anlagentechnik des virtuellen Fabriklayouts bestimmte, welches von acs konzeptioniert wurde.

AP4: Pilotanwendung und Herstellung des Demonstratorbauteils

Das Arbeitspaket 4 umfasst die Erstellung einer Prototypenanlage zwecks Herstellung eines Demonstratorbauteils. Dieses wurde auf der Umformpresse von acs gerüstet

und in Betrieb genommen. Anschließend wurden die Längsträger auf dem Werkzeug gefertigt und bewertet.

AP5: Produktionsbaukasten und virtuelle Strukturkonzepte

Zur effizienten industriellen Umsetzung des ISBs ist ein Produktionsbaukasten für strukturelle Fahrzeugkomponenten entwickelt worden. Die Teilergebnisse wurden begleitend über die Laufzeit des Projektes in diesem Auslegungstool festgehalten und in verallgemeinerter Form auf unterschiedliche Profilformen abstrahiert. Es kam vor allem die Programmierung des Tools als fertiges Anwendungsprogramm zu.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zum Projektstart

In den heutigen Fahrzeugkonzepten für elektrisch angetriebene KFZ werden Längsträger als begrenzende Aufnahme für die Batteriepakete eingesetzt, vgl. Abbildung 1. Bei Elektrofahrzeugen sind weitere Anforderungen aufgrund des Batteriepaketes einzuhalten. Die Hauptaufgabe der Längsträger besteht in der sicheren Aufnahme des Batteriepaketes und es vor einer Beschädigung aufgrund von Umwelteinflüssen oder eines Crashes zu schützen. Zu diesen Anforderungen müssen auch gewichtsoptimierte Bauweisen erfüllt werden, um die energieeffiziente und damit ressourcenschonende Mobilität zu ermöglichen. Zudem bedarf es Fertigungstechniken, die den derzeitigen und näherfristig zu erwartenden Stückzahlen der Elektrofahrzeuge wirtschaftlich gerecht wird.



Abbildung 1: Formelemente einer komplexen Längsträgerstruktur [EDAG, UTS]

Derzeit werden Längsträger hauptsächlich in metallischer Schalenbauweise gefertigt. Hierzu bedient man sich unterschiedlicher Fügetechniken, um komplexe geometrische Baugruppen in Differentialbauweise realisieren zu können. Die zu fügenden Einzelteile bestehen zumeist aus mehreren tiefgezogenen Schalenelementen. Die Nachteile dieser Strukturen sind die damit einhergehenden hohen Kosten für die Werkzeuge, der Abfall durch den Platinzuschnitt und die Fügetechniken, welche vor Produktionsbeginn investiert werden müssen. Weiterhin müssen zum Fügen der einzelnen Schalen Schweißflansche vorhanden sein, die mehr als 20 Prozent des Bauteilgewichts ausmachen können.

Der dem Projekt ISB-Elektro zugrundeliegenden Idee (s. Abbildung 2) entsprechend, sind über die gesamte Fahrzeuglänge in einem Stück gefertigte und gebogene hochfeste und duktile Profile in metallischer Bauweise ein geeigneter, struktureller Aufbau für dieses Szenario. Das Ziel ist die Substitution vieler kosten- und investitionsintensiver Einzelteile mit einem einzigen metallischen Profil und somit die Realisierung der Integralbauweise.

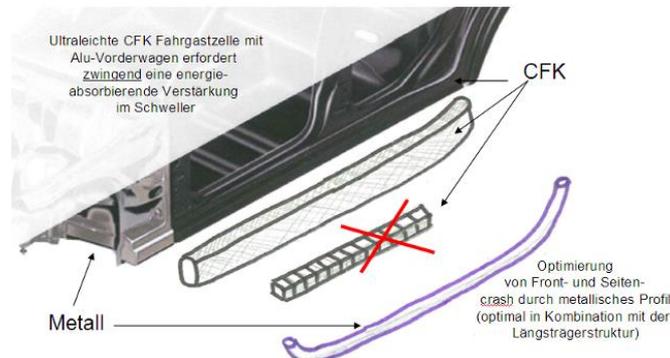


Abbildung 2: Vision inkrementell gebogenes Boden- und/oder Schwellerprofil in CFK-Mischbauweise für die Elektromobilität [EDAG]

Trägerstrukturen aus Metall sind eine kostengünstige Lösung für unterschiedliche Bauweisen bei verschiedenen Stückzahlen. Derzeit werden Längsträger aus Stahl- oder Aluminiumwerkstoffen eingesetzt. Diese Profile sind hinsichtlich ihrer Querschnittsgeometrie und Wanddicke optimiert und walzprofiliert oder stranggepresst. Geometrisch erfordern Rad- und Achsfreiräume definierte Einbaumaße. Daher sind gekrümmte Längsachsen dieser Träger erforderlich. Hierzu eignen sich Biegeverfahren, mit denen variable Krümmungsverläufe realisierbar sind. Ansprüche sind in der Regel Materialien mit geringen Gleichmaßdehnungen sowie Bauteilkonturen mit kleinen Wanddicken und hohen ebenen Stegen, welche über die Hochachse gebogen werden müssen. Die Folge sind komplexe dreidimensionale Biegestrukturen. Zur Herstellung solcher Biegungen ist es (insbesondere bei kleinen Stückzahlen) günstig, inkrementelle Biegeverfahren einzusetzen. Ein kostengünstiges und flexibles Produktionsverfahren ist das ISB. Hierbei wird die Biegegeometrie in Segmenten gefertigt. Zu Beginn des Förderprojektes ISB-Elektro war die Fertigungstechnik ISB in Form eines ersten Prototypenwerkzeuges im Labormaßstab anhand von Biegeexperimenten an einfachen Profilquerschnitten verfügbar. Damit diese Erkenntnisse im Projektverlauf auf den Längsträger als Verfahrensdemonstrator angewandt werden konnten, musste zunächst der Träger definiert werden. Hierfür war die Erstellung eines branchenspezifischen Lastenheftes notwendig, damit das geometrische und funktionelle Anforderungsprofil für den Bauteilentwurf bekannt war. Anschließend konnten die geforderten Biegungen analysiert und sowohl ein passender Werkstoff als auch die notwendigen Biegewerkzeuge in der Simulation ausgelegt werden.

Hinsichtlich der wirtschaftlichen Kalkulation einer verketteten Standortfertigung der Trägerstrukturen mussten die Biegungen ausgelegt werden, damit die Parametrisierung des Verfahrens und die zugehörigen Zeiten bekannt waren, was im Projekt erst erarbeitet werden musste, bevor unterschiedliche Investitions- bzw. Automations-szenarien betrachtet werden konnten.

Zur Erarbeitung eines übergreifenden Kalkulationstools, welches alle wesentlichen Auslegungskriterien aus fertigungs- und anwendungsspezifischen Anforderungen erfasst, mussten fortlaufende Projektergebnisse verallgemeinert und implementiert werden.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Eingangsdaten des in profilintensiver Bauweise umzugestaltenden Längsträgers des StreetScooter Kleinwagens inklusive des dazugehörigen Bauraumes wurden vom Partner Kirchhoff Automotive von der StreetScooter GmbH angefordert. Ein fortlaufender Austausch wurde in diesem Zusammenhang gepflegt.

Darüber hinaus wurde umfassende Netzwerkarbeit betrieben und die Projektzwischen- und Endergebnisse kommuniziert. acs verfügt über ein breites Netzwerk aus Industrie und Forschung zu dem unter anderem auch der CVC (Commercial Vehicle Cluster) sowie die Tillmann Profil GmbH gehören.

6 Literatur

- (1) <http://www.patent-de.com/20090903/DE102008011635A1.html>
- (2) <http://www.patent-de.com/20090305/DE102007041698A1.html>
- (3) <https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publication-dates/20101103/patents/EP2244928NWA1/document.html>
- (4) Längsträger in Profil- und Schalenbauweise: in ATZextra, ThyssenKrupp InCar-Projekt, November 2009
- (5) Engel, B., Kersten, S. (2010): Sensitivitätsanalyse beim Freiformbiegen von Rohrprofilen, 30. EFB-Kolloquium Blechverarbeitung (02.03.-03.03.2010), Bad Boll, 2.-3. März 2010, S. 125-138.
- (6) Engel, B., Kersten, S. (2011): Analytical Models to Improve the Three-Roll-Pushbending Process of Tube-Profiles. 10th International Conference on Technology of Plasticity, Aachen, Germany, 25.-30. September 2011, S. 355-360.

II. Eingehende Darstellung

Der Teil II des Schlussberichtes beinhaltet die gesamten Ergebnisse des Projektzeitraumes, die durch den Projektpartner Automotive Center Südwestfalen (acs) erzielt wurden. Diese orientieren sich an der Struktur des Arbeitsplanes und der Arbeitspakete von acs.

1 Ergebnisse

1.1 Erstes Arbeitspaket: Erstellung eines Lastenhefts

Das erste Arbeitspaket des Projektes wurde von acs administriert. In diesem Arbeitspaket wurde ein Lastenheft für den Elektrofahrzeuglängsträger zusammengetragen. Zusätzlich wurden bereits konzeptionelle Ansätze hinsichtlich der geometrischen Gestaltung, des Materialkonzeptes und der verwendbaren Profilquerschnitte erarbeitet.

Für das Projekt wurde die Erstellung eines Logos für Zwecke der Öffentlichkeitsarbeit erstellt, siehe Abbildung 3.

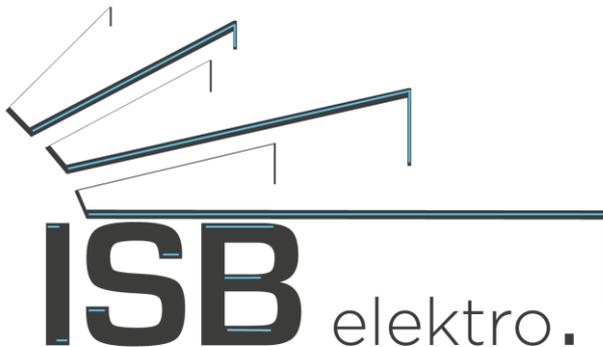


Abbildung 3: Logo ISB elektro

1.1.1 Definition der Anforderungen: funktional und geometrisch für Anwendungen in Karosserien von Elektrofahrzeugen zum Schutz des Batteriepaketes

Im AP 1.1 konnten wichtige geometrische, funktionale und gebrauchsmäßige Anforderungen an das Längsträgerbauteil erfasst werden. Diese bilden die Basis für die weiteren Teilschritte des Arbeitspaketes, insbesondere auch bei der Erstellung des Lastenheftes.

Die Anforderungen gliedern sich im Wesentlichen in den Schutz der Insassen und des Batteriepakets vor Intrusion, der Integration in den Fahrzeugaufbau sowie der Her-

stellbarkeit durch inkrementelles Schwenkbiegen. Es wurden alle bekannten relevanten Ansprüche an das Bauteil recherchiert und zusammengetragen. Sowohl die mechanische Beanspruchung im Crashfall wurde berücksichtigt als auch die Gewährleistung der Fahrzeugsteifigkeit und die tragende Funktion. Eine Integration in die Fahrzeugstruktur wurde in Form der umgebenden Baugruppen und Anschlussstellen erfasst. Speziell für den Fall des Elektrofahrzeugs wurde eine sorgfältige Berücksichtigung der gesonderten Anforderungen vorgenommen. Dies beinhaltet sowohl den Schutz der spezifischen Komponenten, als auch deren Integration.

1.1.2 Erstellung erster Konzeptentwürfe (Basis StreetScooter)

Im Zuge von AP 1.2 wurden mit Hilfe des Anforderungsprofils und im Abgleich mit den einschlägigen Gesetzen, Richtlinien und Normen an den Gebrauch des Längsträgers im Elektrofahrzeug erste konzeptionelle Entwürfe erarbeitet. Auf Basis der zur Verfügung gestellten Daten des „StreetScooter“ Elektrofahrzeugs werden neuartige durch ISB hergestellte Längsträgerkonzepte konstruiert. Diese sehen am Fahrzeug verfahrensspezifische Konstruktionsanpassungen, beispielsweise eine Anpassung der Spritzwand, vor. Diese geometrischen Umgestaltungen am Fahrzeugbeispiel wurden dabei so gewählt, dass diese aus technischer Sicht machbar sind und keine weitreichenden Konsequenzen für die Fahrzeugneugestaltung mit sich bringen, so dass die in Abbildung 4 dargestellte Unterstruktur als Ergebnis entstand.

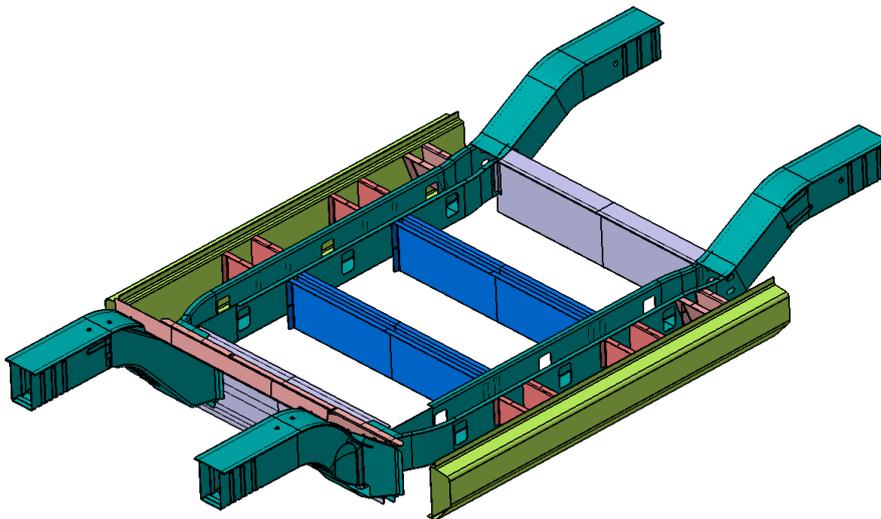


Abbildung 4 Unterstruktur in Profilbauweise mit neu gestalteten Längsträgern für die ISB Profilbiegung

Eine Lastsimulation als Vergleichsreferenz zum Originalbauteil wird mit den gegebenenfalls veränderten umliegenden Bauteilen der Fahrzeugpackage als Benchmark durchgeführt. Hier werden vor allem die Belastungen beim seitlichen Pfahlcrashtest beaufschlagt. Ziel dieser Konzeptionierung auf Basis der „StreetScooter“ Datensätze

ist die zielführende Entwicklung eines neuartigen Herstellungsverfahrens, viel mehr als die Konstruktion eines reinen Austauschteils.

1.1.3 Materialkonzept und prinzipielle Beschreibung

Des Weiteren wurde bei der Erstellung eines Materialkonzeptes unterstützt. Das Konsortium hat sich auf die Betrachtung von Dualphasenstählen für das zu biegende Profil geeinigt, in diesem Zusammenhang wurden die Materialkennwerte verschiedener Festigkeitsklassen (DP 600, 800, 1000 & 1200) gesammelt.

1.1.4 Katalogisierung möglicher Halbzeuge und Vorauswahl

Ebenfalls wurde eine bei der Erstellung eines Halbzeugkataloges unterstützt, der die verschiedenen für das ISB in Frage kommenden Profilquerschnitte aufführt. EDAG hat für diesen Zweck eine Zusammenstellung aller üblichen Profilquerschnitte beigesteuert, die Kronenberg Profil anschließend bewertet hat. Ergebnis dieser Zusammenstellung ist eine Bewertung der Eignung der jeweiligen Profilform hinsichtlich der Herstellbarkeit durch Walzprofilieren, vgl. Abbildung 5.

Profil	Profil 1	Profil 6	Profil 7
Profilform			
Abmessungen			
Höhe h (mm) / Durchmesser	180	180	180
Breite b (mm)	125	100	75
Materialstärke (mm)	1,5	1,5	1,5
Theoretische Bandabwicklung Dicke x Breite	1,5 x 476,7	1,5 x 485,2	1,5 x 498,7
Materialeigenschaft			
Material			
max. Festigkeit (MPa)	+	0	+
Produktion			
Anzahl Schweißnähte (Laser)	0	0	1
Anzahl Umformstationen	20	24	21
Profilblume			
Profilieranspruch	0	+	0

Trennart	Stanze abfalllos	Stanze abfall- los	Stanze mit Abfall*
Kostenbewertung**	0	+	++

Abbildung 5: Auszug aus dem Halbzeugkatalog mit Bewertungsfaktoren

Dies stellt die notwendige Grundlage für den in Arbeitspaket 5 geplanten Produktionsbaukasten dar.

1.1.5 Relevante Normen, Richtlinien, Gesetze informieren/recherchieren

AP 1.5 arbeitet die gesetzlichen Vorgaben heraus, an der die Konzeptionierung des Längsträgerbauteils für das Elektrofahrzeug orientiert werden muss. Es wurde eine umfassende Recherche der einschlägigen Normen, Richtlinien und Gesetzestexte vorgenommen. Hierfür wurden zum einen die den Partnern zur Verfügung stehenden Dokumentationen berücksichtigt. Zum anderen wurde eine Recherche der öffentlich zugänglichen Normungen betrieben. In diesem Zuge wurden vor allem auch einschlägige, den Längsträger betreffende Crashverfahren, unterschiedlicher internationaler Prüfverfahren mitberücksichtigt. Dies beinhaltet auch die Anforderungen, die in diesem Zusammenhang an die Elektrofahrzeuge gestellt werden. Alle relevanten Normen, Richtlinien und Gesetze wurden zur gemeinsamen Verwendung zur Verfügung gestellt.

Vor allem die Crashrichtlinien nach europäischem (UN-ECE) sowie amerikanischem (FMVSS) Standard haben hier die Rahmenbedingungen zum Längsträgerentwurf definiert.

1.1.6 Lastenheft strukturieren und verfassen

Im letzten Schritt des ersten Arbeitspaketes wurden die gesammelten Informationen und Anforderungen in Form eines Lastenheftes am ACS zusammengetragen. Dieses führt neben den reinen technischen Anforderungen auch organisatorische Punkte des Projektes auf. So sind hier auch die getroffenen Vereinbarungen hinsichtlich der Vereinbarkeit des Projektdemonstrators mit einer Bauteilsubstitution festgehalten, beispielsweise, dass die Radhüllkurven gehalten werden sollen, jedoch nicht die Spritzwand. Abschließend ist das Lastenheft nochmals in tabellarischer Form übersichtlich zusammengefasst, wie nachfolgend abgebildet.

Lastenheft Längsträger Elektrofahrzeug

	Merkmal	Anforderung	Kommentar
Funktionale Anforderungen			
M	Fahrzeugsteifigkeit	Vergleichbar mit konventionellem Fahrzeug	
M	Batterieschutz	Abschirmung der Batterie gegen mechanische Beanspruchungen	Benchmark: Seitlicher Pfahlaufprall nach UN-ECE R94/95 bzw. Euro NCAP
M	Crashsicherheit	Aufnahme, Abbau und Distribution von Crashenergie entlang der Lastpfade nach einschlägigen Crashnormen	Kompromiss zwischen zulässiger Beschleunigung durch Energieaufnahme und zulässiger Intrusion
M	Korrosionsschutz	Adäquates Beschichtungskonzept zum effektiven Schutz im Schmutz/Nass Bereich	
Geometrische Anforderungen			
M	Profil	Herstellung des Längsträgers durch das ISB Verfahren unter Verwendung eines Profils	Profilquerschnitte aus dem Halbzeugkatalog
M	Formbarkeit	Die Geometrie muss durch ISB herstellbar sein	
M	Werkstoff	Der ISB-Längsträger muss aus einem höherfesten Werkstoff hergestellt werden	Werkstoffe aus dem Werkstoffkatalog
W	Leichtbau	Der Längsträger soll bei vergleichbarer Steifigkeit leichter als der bisherige sein	Bsp.: Wegfall der Längsschweißnaht durch Reduktion der Einzelteile.

M	Bauräume	Die Bauräume der umgebenden Elemente müssen berücksichtigt werden, insbesondere der Batterien	Wesentliche Ausnahmen: Stirnwand, Batterieüberdeckung in voller Höhe, Halter der umgebenden Baugruppen
M	Anbindungen	Die Anbindungen der umgebenden Strukturelemente müssen vorgesehen werden. Ggf. Schweißbarkeit des Werkstoffs beachten	Querträger, Bodenbleche, Pralltöpfe, Spritzwand
Anforderungen an den Werkzeugbau			
W	Flexibilität	Die Flexibilität des Verfahrens muss gewährleistet sein	Hinsichtlich bearbeitbarer Halbzeuge und herstellbarer Biegegeometrien
W	Biegerichtungen	Beidseitige Biegung in 2 Ebenen	
W	Vorschub	Automatischer Vorschub	
Anforderungen an den Anlagenbau			
W	Kosten	Geringe Kosten hinsichtlich Energiebedarf, Wartung, Instandhaltung und Störanfälligkeit	
W	Geschwindigkeit	Geringe Takt- sowie Rüstzeiten	
W	Automatisierung	Hoher Automatisierungsgrad	Vorschub, Kerne...
W	Flexibilität	Wandlungsfähigkeit und Universalität gewährleisten	Durch konservative Maximalkraft, modularen Aufbau
W	Schnittstellen	Software und Kommunikation vorsehen	
W	Überwachung	Online Messung der Qualität	
W	Steuerung, Rege-	Material- und Halbzeugspezifi-	

	lung	sche Programme	
--	------	----------------	--

Legende:

M = MUSS

W = WUNSCH

1.2 Zweites Arbeitspaket: Erforschung und Entwicklung der Prozesskette (Längsträgerfertigung)

Im zweiten Arbeitspaket des Förderprojekts wurde die Fertigungstechnik inkrementelles Schwenkbiegen entwickelt. Auf Basis des im Vorfeld des Projektes gebauten Forschungswerkzeuges wurde ein FE Simulationsmodell aufgebaut mit dem zunächst als Simulations-Realitätsvergleich eine Validierungsschleife gedreht wurde. Anschließend konnten entsprechend der in 1.2 erarbeiteten Konzeptgeometrie die Biegungen für das in diesem Projekt zu entwickelnde Werkzeug ausgelegt werden und die zugehörigen Wirkflächen abgeleitet werden. Zudem wurde für das Prototypenwerkzeug ein Einsatz gebaut, der die Biegung von Hutprofilen um die Hochachse ermöglicht, so dass schon erste Demonstrator relevante Experimente getätigt werden konnten. Planmäßig ist acs in diesem Arbeitspaket abgesehen von der administrativen Konsortialführung nicht beteiligt. Aufgrund der hohen Komplexität der Verfahrensentwicklung wurde jedoch an diverse Stellen unterstützt, vor allem bei der Konstruktion des Werkzeuges.

1.2.5 Werkzeugkonzepterstellung in CAD

Aus den FE Simulationen von UTS konnten die zur Demonstratorfertigung benötigten Wirkflächen abgeleitet werden. Hierbei handelt es sich um die Kontaktflächen des Werkzeuges zum Werkstück, mit denen die Umformung ermöglicht werden kann, vgl. Abbildung 6.

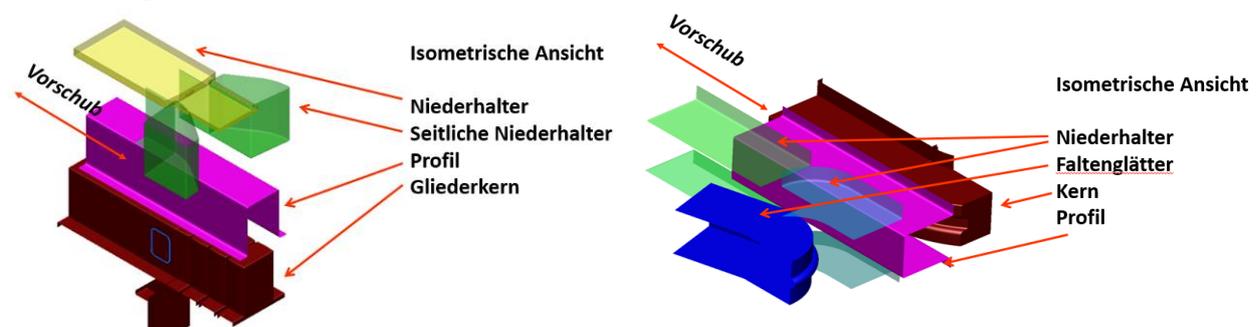


Abbildung 6: Wirkflächen der FE Simulationen für die Biegung um die Profilhoch- (links) und -querachse (rechts)

Diese Wirkflächen liefern jedoch lediglich die mindestens notwendige Kontaktfläche als idealisierte, steife Schalenmodelle. Die eigentliche Werkzeugtechnik ist die anschließende Aufgabe der Grob- und Feinkonstruktion.

Bei der Werkzeugkonstruktion wurden zunächst auf die Wirkflächen als zwei gesonderte Einsätze für das Umformwerkzeug geplant, die in einem gemeinsam genutzten Werkzeugrahmen eingebaut werden können.

acs hat die Biegung um die Hochachse des Profils im Detail konstruiert. Die fertige Konstruktion inklusive des äußeren Gestells (Ebene 1 und 2) ist in Abbildung 7 dargestellt und appliziert die Verfahrenskinetik des ISB zur seitwärtigen Verkröpfung des Elektrofahrzeuglängsträgers.

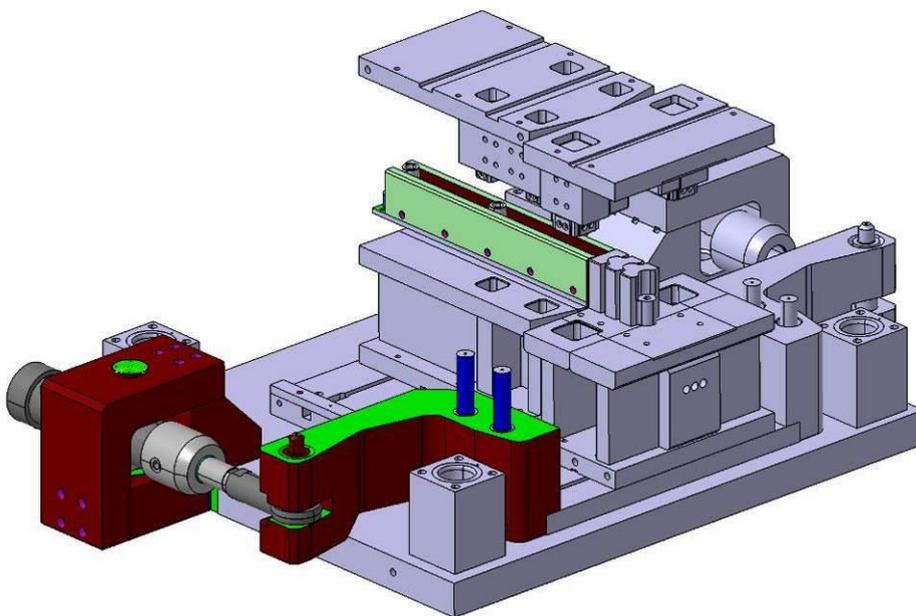


Abbildung 7: Werkzeugkonstruktion (Oberseite teilweise ausgeblendet) für die Biegung um die Profilhoch- (links) und –querachse (rechts)

Nach Ableitung der Fertigungszeichnungen aller konstruierten Bauteile des Werkzeuges konnten die Arbeiten zur Werkzeugherstellung bei LEWA begonnen werden.

1.3 Drittes Arbeitspaket: Entwicklung der Produktionstechnik

Mit den Erkenntnissen der Entwicklung des ISB Verfahrens aus Arbeitspaket 2 ist eine komplette, virtuelle Fertigung des Demonstratorbauteils wirtschaftlich geplant worden.

Hierfür stand zunächst eine Taktzeitermittlung für das Verfahren selbst im Fokus. Nachdem diese basierend auf dem Anlagenwissen der Projektpartner aus dem produzierenden Gewerbe aufgestellt werden konnte, konnten die umliegenden Anlagen mit dieser Taktung harmonisiert werden. Somit ergaben sich drei verschiedene Sze-

narien der vollautomatischen, teilautomatischen und manuellen Fertigung, für die die jeweiligen wirtschaftlichen Betrachtungen unter verschiedenen Abschreibungsperioden der Anlagentechnik durchkalkuliert wurden.

acs hat bei der Planung des grundlegenden Layouts der Fertigungsstationen unterstützt. Bei der Betrachtung des „One Piece Flow“ lag besonderes Augenmerk darauf, in wie fern es hinsichtlich der Taktungen möglich ist, die Werkstücke ohne Zwischenlagerstationen durch die gesamte Fertigung zu schleusen. Dies konnte für alle Anlagen vereinbart werden mit Ausnahme des Rollformens, welches die Profilhalbzeuge in vielfacher Geschwindigkeit der anschließenden Fertigung des Längsträgers bereitstellt und daher am besten an separatem Standort durchgeführt wird.

1.3.1 Erstellung Pilotanlagen-Layout

acs ist hierbei für die Erstellung eines Pilotanlagen Layouts verantwortlich und unterstützt bei der Auslegung der Umform- sowie Fügetechnik. Diese Erkenntnisse sind fließend in den Arbeitsschritt 3.7 Gesamtintegration fließend übergegangen und daher an entsprechender Stelle zusammengestellt, siehe unten.

Darüber hinaus wurde gemeinsam ein Methodenplan entwickelt, der alle Fertigungsschritte hinsichtlich der Reihenfolge, geometrischen Ausführung und zu verwendenden Anlagentechnik zusammenfasst und in fortlaufenden Operationsnummern (OP) listet, wie auszugsweise in Abbildung 8 dargestellt.

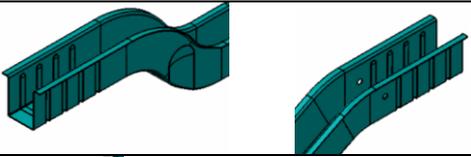
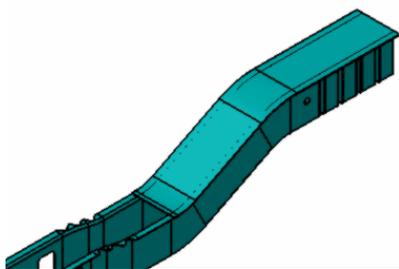
OP	Beschreibung	Parameter		Zeichnung/Abbildung
...				
100	Crashsicken prägen	Vorne, hinten jeweils 4 Stück	Separate Pressenoperation	
110	Radfreigang prägen	Mit Kompensationssicke		
120	RPS Löcher Laserschneiden	Rund- und Langloch vorne bzw. hinten	Laserschneizelle	
...				
150 und 160	Schweißen von Deckblechen, Muttern und Hülse	Punktschweißen Aufbuckeln MAG		

Abbildung 8: Auszug aus dem Methodenplan Fertigung ISB Längsträger

Entsprechend der Nummerierung werden somit 16 Fertigungsschritte benötigt begonnen vom Walzprofilieren OP 10 bis zum abschließenden Einschweißen der Kleinteile OP 160.

Anschließend wurde die Berechnung der Taktzeit des Biegevorgangs vorgenommen, für die der gesamte Umformprozess in einzelne Werkzeugbewegungen zerlegt wurde, vgl. Abbildung 9.

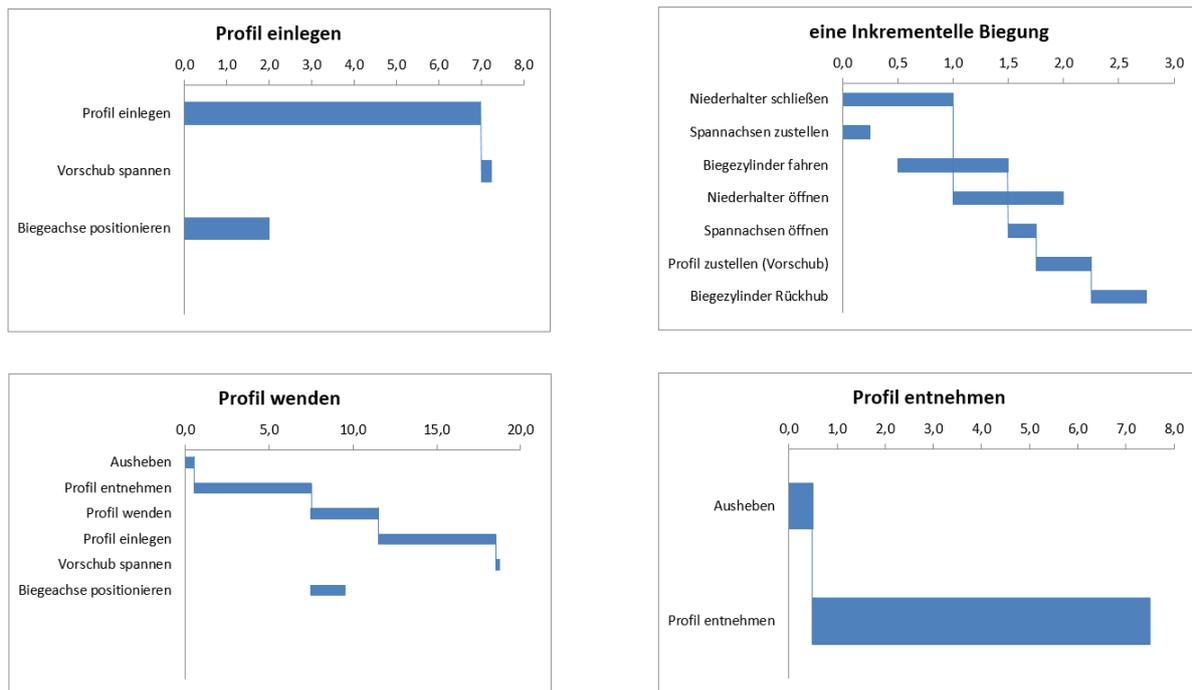


Abbildung 9: Taktzeitermittlung der ISB Fertigung in Gantt- Diagrammen

Unter der Annahme technischer Möglichkeiten einer vollständig automatisierten Fertigung wurde die Taktzeit zur Fertigung des ISB Demonstrators zu 140 Sekunden für die Biegungen um die Hochachse sowie 170 Sekunden für die Querachse abgeschätzt.

1.3.3 Anteil Umformtechnik (Biegeverfahren)

Die acs Servopresse wurde als mögliche Umformmaschine für die Auslegung der virtuellen Produktionstechnik herangezogen. Im Zuge dieser Betrachtung wurden die Anlagendaten der Presse zur Verfügung gestellt. Im letztendlichen verknüpften Fertigungslayout wurde sich dann jedoch für universell einsetzbare kleinere Pressen entschieden, wie sie am osteuropäischen Standort von Kirchhoff verwendet werden, da diese eine höhere örtliche Flexibilität besitzen.

1.3.4 Anteil Fügetechnik bezogen auf das Biegebauteil

Zur näheren Betrachtung der einzusetzenden Fügetechnik wurden exemplarische Schweißversuche am acs durchgeführt, die auch auf deren Universalprüfmaschine auf erreichte Festigkeit untersucht wurden. So ist im virtuellen Layout und ebenso bei der exemplarischen praktischen Demonstratorfertigung Fügen mittels Punktschweißen vorgesehen. acs hat daher Schweißproben mit einer Punktschweißzange nach DIN EN ISO 14273:2016-11 für einen Scherzugversuch erstellt und geprüft, vgl. Abbildung 10.

Scherzuggeschwindigkeit: 10 mm /min

Einspannung mit Ausgleichsblechen (Dicke der Einzelbleche)



Abbildung 10: Prüfaufbau und Bruchfläche der Schweißpunkte

Die Schweißpunkte haben im Mittel 33,4 kN gehalten.

Damit konnte die einzusetzende Fügetechnik am für den Demonstrator verwendeten Stahl validiert werden und in der virtuellen Fertigung planerisch vorgesehen werden.

1.3.6 Darstellung der Produktionsflexibilität in der Produktanwendung

acs hat gemeinsam mit EDAG untersucht, für welche Fahrzeugteile die entwickelte Fertigungstechnik eignen würde. Hierfür wurde ein Fahrzeugscreening durchgeführt, bei dem nach ähnlichen Bauteilen im Fahrzeug gesucht wurden, die sich potentiell für das ISB eignen.

Das Inkrementelle Schwenkbiegeverfahren kann für viele gebogene Bauteile in einem Fahrzeug verwendet werden. Obwohl im Rahmen des Forschungsprojekts der Fokus auf offene Profile gelegt wird, wurden auch geschlossene Profile berücksichtigt. Teilweise sind Bauteile identifiziert worden, die im Fahrzeug ggf. keinen konstanten Querschnitt haben. Es ist aber denkbar, diese auch konstant auszulegen mit entsprechender Anpassung der angrenzenden Bauteile. Generell müssten die Bauteilsituatio-

nen im Einzelnen hinsichtlich Kosten und Gewicht, sowie dem Bedarf von Zusatzbauteilen bewertet werden, falls die notwendigen „Funktionen“ nicht durch das Profil selbst abgebildet werden können.

Die identifizierten Bauteile umfassen beispielsweise die Türaufprallträger, vgl. Abbildung 11.



Abbildung 11: Mögliche Anwendungen ISB Technologie, hier Türaufprallträger

Weitere identifizierte Anwendungsmöglichkeiten des ISB Verfahrens sind:

- Windlauf bzw. Dachspiegel
- Windschutzscheibenquerträger
- Hutablagenquerträger
- Stoßstangenquerträger

1.3.7 Gesamtintegration und Projektierung der Pilotanlage

Der letzte Arbeitsschritt der Gesamtprojektierung fasst die einzelnen Teilschritte zu einer gesamten Anlage zusammen. Hierbei wird nach Möglichkeit ein sogenannter One-Piece Flow angestrebt, also dass ein Teil ununterbrochen den Anlagenverbund durchläuft. Aufgrund der angestrebten exemplarischen Stückzahl von 10.000 Fahrzeugen/Jahr ist dies vor allem im Hinblick auf die Schritte Umformtechnik, Nachbearbeitung und Fügetechnik gut möglich. Die Herstellung der Halbzeuge arbeitet jedoch mit vielfacher Geschwindigkeit, wie die restlichen Anlagen, so dass hier sukzessive Produktion in Losgrößen und Zwischenlagerung /-logistik am sinnvollsten ist. Das dem anschließend von Kirchhoff ausgelegte und wirtschaftlich kalkulierte Fabriklayout zugrundeliegende Flowchart wurde in gemeinschaftlicher Arbeit mit allen Partnern in Workshops zusammengetragen und ist in Abbildung 12 dargestellt.

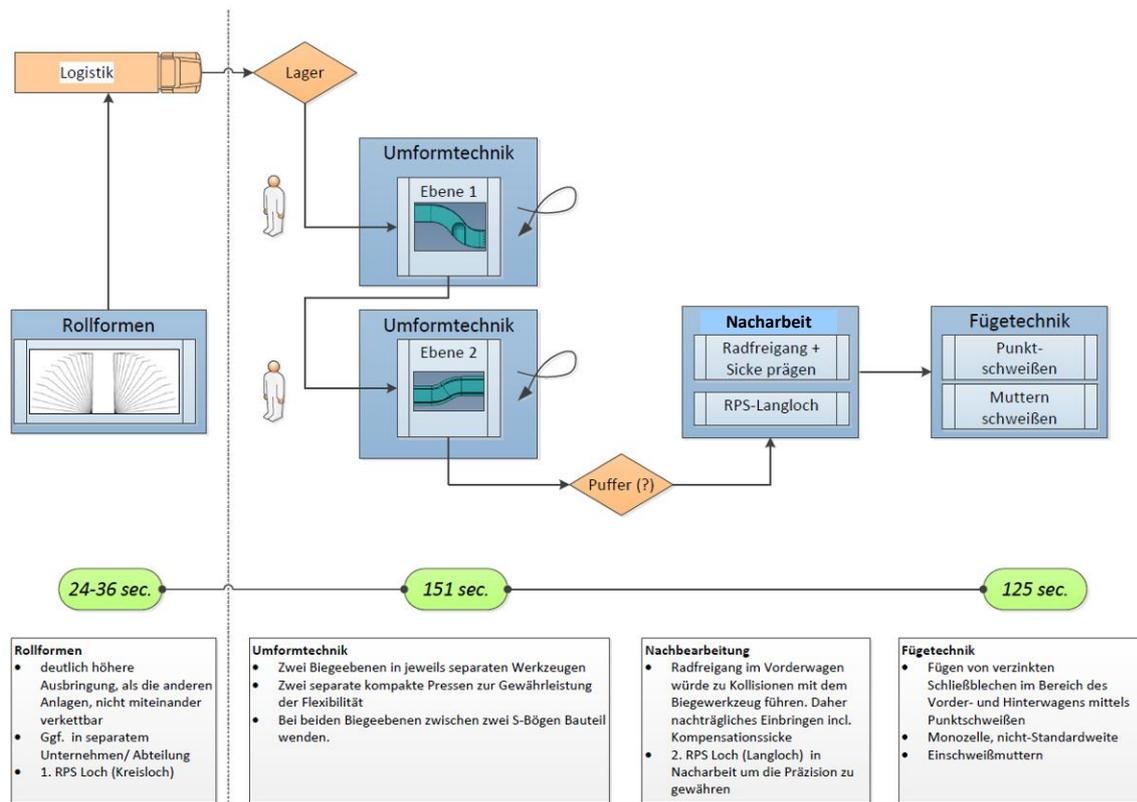


Abbildung 12: Entwurf Flowchart der virtuellen Anlagentechnik

Wesentlicher Input für die Auslegung der virtuellen Produktion war die Berechnung der Taktzeit des Biegevorgangs, für die der gesamte Umformprozess in einzelne Werkzeugbewegungen zerlegt wurde. Zusammen mit der Produktionserfahrung der Unternehmen Kirchoff, LEWA und Kronenberg konnten die anderen Arbeitsschritte in der verketteten Produktion beziffert werden, so dass im Folgenden die Produktion wirtschaftlich kalkuliert und abschließend als Teilefluss visualisiert werden kann.

1.4 Viertes Arbeitspaket: Pilotanwendung und Herstellung des Demonstratorbauteils

1.4.2 Erstellung der Prototypenwerkzeuge

Das Werkzeug wurde von LEWA zunächst ohne die Biegeachsen und die Vorschubachse gebaut. Während die Achsen mit den zugehörigen Konsolen hergestellt wurden, wurde das Werkzeug bereits montiert, um anschließend bei acs zum ersten Mal unter Klemmkraft erprobt zu werden. Nach Rüsten der Servo-Try-Out Presse mit dem Werkzeug konnten zunächst alle Freigängigkeiten geprüft werden. Anschließend wurden einige der von Kronenberg gefertigten Profilabschnitte verwendet, um ein Tuschierbild zu erstellen. Die Werkstücke werden dafür mit blauer Farbe angestrichen, die bei Kontaktkräften zwischen Werkstück und Werkzeug zur Seite gequetscht wird.

So konnten einzelne Werkzeuelemente ggf. durch Unterlegen mit Feiblechen eingestellt und ein gleichmäßiges Tragbild beurteilt werden.



Abbildung 13: Tuschiertes Werkstück im Bauteil (links) und Tragbild nach Klemmlast bei 430 Tonnen, hier Werkzeugeinsatz für die Biegung um die Querachse des Profils

Flächige Kontaktbedingungen sind beim ISB wichtig, da der reibschlüssige Biegeprozess nur mit ausreichend Kraftübertragung umgesetzt werden kann. Für beide Werkzeugeinsätze entsprechend den Biegungen um die Hoch- und die Querachse des Profils wurden Tuschiebilder angefertigt.

Nachdem von LEWA die Achsen und deren Anbindungen fertig gestellt wurden, konnte das Werkzeug komplettiert werden.

Im nächsten Schritt wurde die Biegung mit dem Forschungswerkzeug in beiden Biegeebenen in Betrieb genommen. Wie bei den Einstellarbeiten bei den Tuschiebildern wurden auch mit zusätzlicher Biegebewegung zunächst alle Werkzeugfunktionen unter Last ausprobiert und das Werkzeug anschließend eingestellt, was das Ziel der Werkzeuginbetriebnahme darstellt.

acs hat bei der Produktion der Prototypenwerkzeuge unterstützt, indem bei der Inbetriebnahme auftretende außerplanmäßige Nacharbeiten nach Möglichkeiten in der hauseigenen mechanischen Werkstatt zeitnah umgesetzt werden konnten, z.B. in Abbildung 14 dargestellte Dornverlängerung.

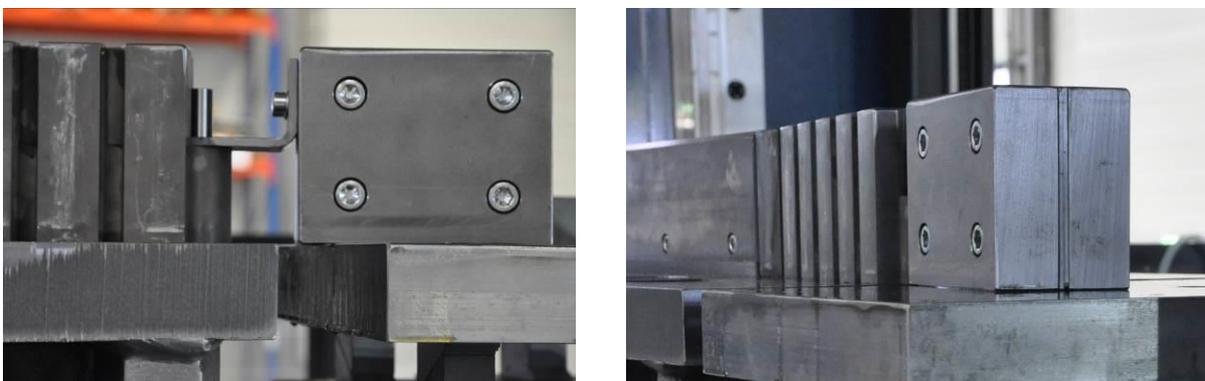


Abbildung 14: Dornverlängerung für die Biegung um die Hochachse

acs hat zudem Zubehör für die Automatisierungstechnik beschafft und montiert, z.B. hydraulische Verschraubungen und Verschlauchungen, so dass das von UTS beigestellte Hydraulikaggregat in den Prozess eingebunden werden konnte.

1.4.3 Produktion der Demonstratoren

Den Untersuchungen von UTS und der Fertigung der Demonstratoren hat acs sowohl das notwendige Personal, als auch die Anlagentechnik zur Verfügung gestellt, vgl. Abbildung 15. Auf der Servopresse wurde eine dem Verfahren angepasste Betriebsart im 100mm Pendelhub gewählt, so dass das Werkzeug gerade nur zum Ausheben aller Kulissen zum Zustellen des nächsten Inkrementes geöffnet wurde. Hinsichtlich der Bauteilbiegungen erfolgte die Herstellung der Demonstratoren in drei Schritten:

- 1) Erarbeitung von herstellbaren, fehlerfreien Einzelbiegungen je Biegeebene
- 2) Erprobung der S-Schläge
- 3) Fertigung der gesamten Beigekonturen an durchgängigen Teilen (Demonstratoren)

Anschließend wurden die gebogenen Bauteile zum fertigen Längsträger komplettiert.



Abbildung 15: ISB Werkzeug in der acs Servopresse

Erarbeitung von herstellbaren, fehlerfreien Einzelbiegungen je Biegeebene

Der Elektrofahrzeuglängsträger dieses Projektes ist in zwei Biegeebenen gebogen. Je Ebene ist ein werkzeugseitiger Einsatz vorgenommen, die das Profil um 90° um die

Längsachse verkippt aufnehmen und einzeln im Werkzeugrahmen gerüstet werden können, siehe Abbildung 16. Sie sind gemäß der simulierten Biegeebenen in Abbildung 6 gefertigt.



Abbildung 16: Biegewerkzeugeinsätze, links Biegung um die Profilhochachse, rechts Querachse

Bei der Profilbiegung um die Hochachse wird ein seitlicher Bogen bezogen auf die Einbaulage im Elektrofahrzeug hergestellt. Die Herstellung der ersten Bögen hat eine deutliche Profiltorsion verursacht, die durch eine längere Abstützlänge des Profils bezogen auf dessen Längsachse verhindert werden kann. Durch die nachträglich hergestellte Dornverlängerung in Abbildung 14 konnte diese Abstützung wesentlich verbessert werden und annähernd torsionsfreie Bögen hergestellt werden, vgl. Abbildung 17. Ein weiterer wesentlicher Arbeitspunkt war das Einstellen der seitlichen Niederhalter, die den Flansch des Profils klemmen und biegen. Durch Unterlegen mit Feinblechen wurde die zur Umformung notwendige Kraft eingestellt, was sich in einer gleichmäßigen Krümmung von Profilboden und –flanschen äußert.



Abbildung 17: Tordierte Biegung (links) und torsionsfreie Biegung (rechts)

Bei der Einrichtung der Biegung um die Querachse muss wiederum unterschieden werden, ob mit Profilflansch im Außenradius oder im Innenradius gebogen wird, da sich hieraus zwei unterschiedliche Umformsimulationen ergeben. Liegt der Profilflansch im Innenradius ist der Profilboden gegen Rissbildung anfällig, was die Enge des Biegebogens limitiert. Der Formänderungswiderstand ist in dieser Biegerichtung sehr hoch, da der gesamte Boden abgestreckt werden muss. Die Flansche im Innen-

radius wiederum werden gestaucht und neigen stark zur Faltenbildung. Um einen möglichst engen Bogen biegen zu können und trotzdem den Flansch noch an die Deckbleche ohne Wellen anbinden zu können, wurde der Flansch in regelmäßigen Abständen geschlitzt, was als Zinnenbeschnitt bezeichnet wird. Der Umformprozess schiebt die Freiräume zwischen den Zinnen im Druckbereich des Innenbogens zusammen und es entstehen keine Falten mehr. In der anderen Biegerichtung benötigt der Umformprozess deutlich weniger Kraft, da im Wesentlichen nur die Zargen und die Flansche abgestreckt werden müssen. Allerdings wurde bei dieser Biegerichtung eine hohe Kantenempfindlichkeit beobachtet. Die im Außenradius befindlichen, stark abgestreckten Flansche reißen bei bereits verhältnismäßig großen Biegeradien von der offenen Bauteilkante begonnen ein. Mittels Schmierung und Feinschleifens der Profilkanten konnte der minimal mögliche Biegeradius verbessert werden. Um zusätzlich engere Bögen biegen zu können, wurde der Druckspannungsanteil der Biegung stark erhöht, so dass der Innenbogen, in diesem Fall der Profilboden, zu starker Faltenbildung neigt. Werkzeugseitig wurde hierfür ein Längssickenwerkzeug vorgesehen, welches die entstehenden Querfalten in Längssicken umlenkt. Die nachteilhaften Falten werden dadurch in eine vorteilhafte, die Längsträgerstruktur versteifende Doppelsicke umgeformt und der Biegebogen kann enger ausgeführt werden. Die Ergebnisse der Einrichtbiegungen um die Profilquerachse sind in Abbildung 18 dargestellt.



Abbildung 18: Biegung um die Profilquerachse: Flansch im Außenradius mit und ohne Längssicken (links) und Flansch im Innenradius mit Zinnenbeschnitt (rechts)

Erprobung der S-Schläge

Anschließend, nachdem alle Werkzeuge funktionell zur Herstellung der Einzelbiegungen als geeignet befunden waren, wurden die wie oben beschriebenen parametrisierten Biegungen aneinandergereiht. Bei der Seitwärtsbiegung um die Hochachse des Profilquerschnitts gibt es die beiden möglichen Herangehensweisen einerseits das Werkzeug erst rechts und dann links ausschwenken zu lassen oder andererseits das Bauteil zu entnehmen und gegensinnig einzulegen. Die Biegungen neigen dazu, im Biegeanfangsbereich ein Stück weit in die Gegenrichtung zurück zu ragen, vgl. Abbildung 19. Daher hat es sich als zwar etwas aufwändiger, aber geometrisch stimmiger

erwiesen, den S-Schlag seitwärts durch wechselseitige Einlegen herzustellen. Darüber hinaus mussten Mindestabstände zwischen beiden Bögen der S-Schläge eingehalten werden, da sonst eine störende Querfalte im Zwischenbereich entstand. Bei der geplanten S-Biegung im Vorderwagenbereich sind die Bögen größer und daher ein größerer Umformgrad vorliegend und der Abstand wurde mit 130 mm gewählt, bei der kleineren mit 120 mm, da die Bögen auch wesentlich kleiner vorgesehen sind. Bei den Auf- und Abwärtsbiegungen wurde zunächst die Biegung mit dem Flansch im Innenradius hergestellt und anschließend die mit Flansch im Außenradius. Auch hier musste ein Mindestabstand eingehalten werden, da sonst der letzte Zinnenschnitt des gestauchten Flansches durch die nachfolgende Zugumformung geöffnet wird. Abstände von 125 mm haben sich als praktikabel erwiesen.



Abbildung 19: S-Biegungen, Querachse (links), Hochachse (rechts) teils mit Gegenbiegung (Pfeile)

Zuletzt musste vor der endgültigen Fertigung der Demonstratoren noch untersucht werden, ob das Aneinanderreihen beider S-Schläge beider Biegeebenen Restriktionen fordert. Die Experimente haben keinerlei umformtechnische Restriktionen gezeigt, sondern werkzeugseitige, da der Biegekern des Werkzeuges für die Querachse in die Seitwärtsbiegungen hineinragt. Mit dem bestehenden Werkzeugsatz ist es gelungen, Mindestabstände von 140 mm zu ermöglichen.

Fertigung der gesamten Biegekonturen an durchgängigen Teilen

Die Seitwärtsbiegungen wurden zuerst am Träger gefertigt, wie bereits bei den Einrichtversuchen festgelegt. Da diese die Biegungen sind, die hauptsächlich durch den anschließenden Komponententest beansprucht wurden, wurde die Hälfte der Träger bereits zu diesem Zeitpunkt aus der Fertigung ausgeschleust und zum Fügen der Deckbleche vorbereitet. Anschließend wurde das Umformwerkzeug auf die andere Biegeebene umgerüstet und das Biegebauteil fertig gebogen, vgl. Abbildung 20.



Abbildung 20: Demonstrator als Biege-Rohteil

Zusammenbau und Nacharbeiten an den Demonstratoren

Abschließend wurden die gebogenen Teile zum fertigen Längsträger komplettiert. Es folgte ein Einprägen von Crashesicken im Vorder- und Hinterwagenbereich am UTS, das Einbringen von Radfreigangsverprägungen bei EDAG und das abschließende Fügen mittels Punktschweißen bei acs. Die Punkte wurden entsprechend der bereits zuvor im Arbeitsschritt 3.4 (siehe Seite 20) ermittelten Parameter in 50 mm Abständen zum Zusammenbauen der Träger verwendet. Für die Crashversuche wurden den gesamten Träger überdeckende, durchgängige Bleche verwendet, damit ausreichend Steifigkeit für den Ersatzlastfall gewährleistet werden konnte, da im mittleren Bereich des Trägers in der Fahrzeugstruktur normalerweise der Fahrzeugboden das offene Profil verschlossen hätte.



Abbildung 21: Seitwärts gebogene Träger mit mittels Punktschweißen gefügten Deckblechen

1.4.5 Qualitätsnachweis und Reproduzierbarkeit durch Erstellung von Messberichten

acs hat die gefertigten Biegeteile zu einem vollständigen geometrischen Vergleich zwischen den geplanten und in der Fertigung eingestellten Prozessparametern auf einer optischen Koordinatenmessmaschine vom Typ GOM ATOS mittels der Streifenprojektionsmethode mit der Genauigkeit von 0,016 mm vermessen, vgl. Abbildung 22.

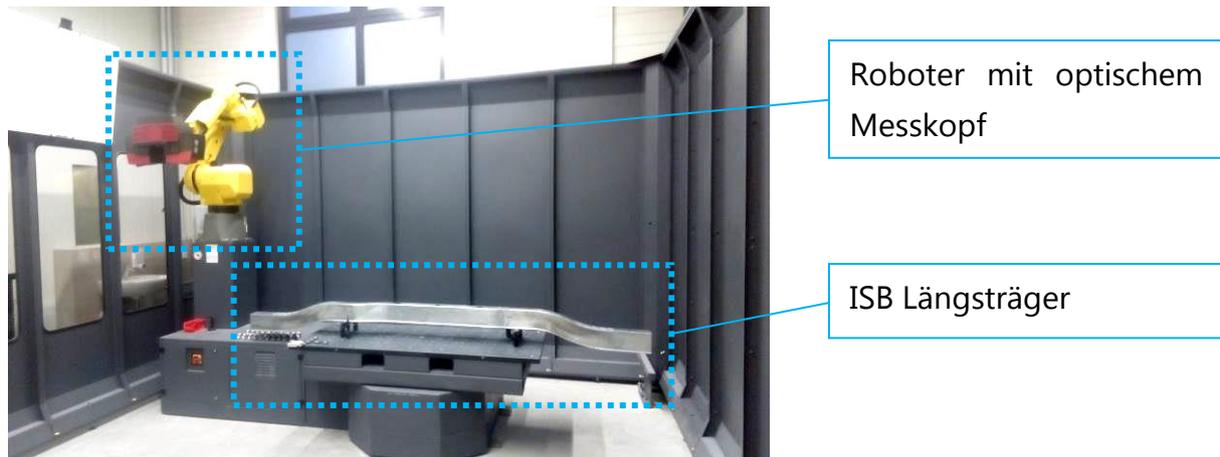


Abbildung 22: ISB Längsträger in der optischen Messzelle bei acs

Diese Messung liefert zunächst eine räumliche Punktwolke, die die optisch gemessene Geometrie in kartesischen Koordinaten festhält. Zwischen diesen Punkten aufgespannte Flächen lassen sich anschließend mit einer CAD Kontur überlagern, wie in Abbildung 23 dargestellt.

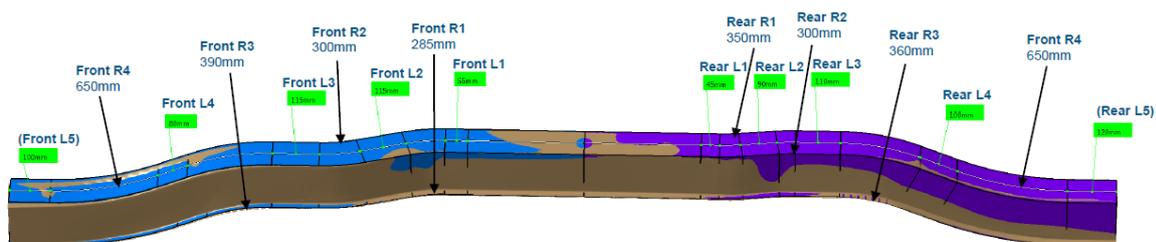


Abbildung 23: Maßermittlung ISB Längsträger (braun: optisch gemessene Geometrie, blau bzw. violett: CAD Geometrie)

In diesem Fall wurde die optische Messmethode dazu verwendet eine CAD Geometrie der tatsächlich gefertigten Profilbiegung abzuleiten.

1.4.6 Vorbereitung / Durchführung von Komponententests

acs kam an diesem Arbeitsschritt keine direkte Beteiligung zu. Nach abschließendem Fügen der Deckbleche wurden die gefertigten Profile von acs an den Fallturm der Universität Siegen für die Komponententests transportiert.

1.5 Fünftes Arbeitspaket: Produktionsbaukasten und virtuelle Strukturkonzepte

1.5.3 Durchführung von Kostenrechnungen für Komponenten und Werkzeuge

acs hat bei der Kostenkalkulation der Komponenten und Werkzeuge das in diesem Teilschritt federführende Unternehmen Kirchhoff unterstützt, indem bei der Beschaffung von technischen Anlagenspezifikationen, Angeboten und Recherchearbeiten geholfen wurde.

1.5.4 Erstellung einer Konzeptmatrix

Der für den Schritt verantwortliche Partner EDAG hat die Konzeptmatrix im gemeinsamen Dialog mit allen Partnern organisiert und angeleitet. Der Input für die technischen Bewertungen verschiedener Profilformen kommt von den jeweiligen Kompetenzen der einzelnen Partner. UTS hat die Informationen gesammelt und in einem Excel Tool kalkulatorisch verknüpft.

Der Produktionsbaukasten gliedert sich in 5 Bereiche.

1. Zunächst werden Benennung, die Geometrie und mögliche Maße des Profils formell festgehalten.
2. Es folgt eine Bewertung hinsichtlich der Herstellbarkeit hinsichtlich des Halbzeugs, welche von der Firma Kronenberg bereits im Arbeitsschritt 1.4 (Seite 12) zusammengestellt wurde und hier direkt weiterverwendet werden konnte.
3. UTS hat den Bereich ISB auf den Erkenntnissen der FE Simulationen und Biegeversuche bewertet.
4. Die Profileigenschaften bewerten das Profil im Hinblick auf die Fahrzeuganwendung.
5. Abschließend ist eine Gewichtsbeurteilung im Profilbaukasten vorgesehen.

acs hat bei allen Teilbereichen gleichermaßen unterstützt, die entsprechenden Workshops organisiert und die Informationen zusammengetragen und UTS zur Erstellung des Tools zugearbeitet.

1.5.5 Definition und Darstellung der Elemente eines Produktionsbaukastens

Nachdem das kalkulatorische Konzept des Produktionsbaukastens stand, hat acs die die Programmierung auf Basis der universell einsetzbaren Programmiersprache JAVA zur Verfügung gestellt. Entsprechend der Anleitung bzw. Abstimmung mit dem Arbeitspaketverantwortlichen EDAG ist in diesem Zuge ein virtueller, interaktiver Ferti-

gungsbaukasten programmiert worden, der es dem künftigen Nutzer ermöglichen wird, seine strukturellen Leichtbaukonzepte auf eine Eignung zur potentiellen Fertigung mittels ISB zu untersuchen bzw. auszulegen, vgl. Abbildung 24. Alle in dem Excelkonzept festgehaltenen Bewertungen und Funktionen wurden in den interaktiven Produktionsbaukasten mit einprogrammiert.

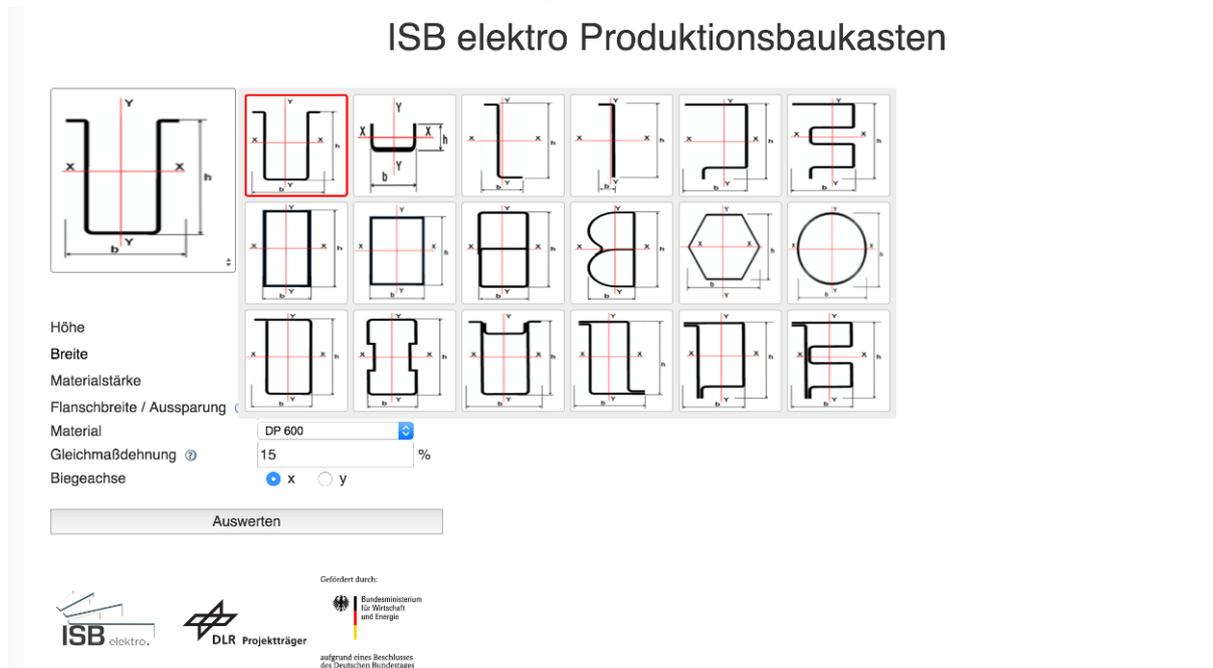


Abbildung 24: Eingabemaske des ISB Produktionsbaukastens

Eine Eingabematrix fragt vom Anwender die Maße des Profilquerschnitts sowie den zu verwendenden Werkstoff ab. Alle 18 betrachteten Profile sind aus einem Drop-Down Menü auswählbar und ein beliebiger Werkstoff kann entweder selbst anhand dessen mechanischen Kennwerte eingetragen werden, oder es kann aus einem Drop-Down Menü ein Werkstoff der in Arbeitsschritt 1.3 (Seite 12) betrachteten Materialien vorausgewählt werden. Da die Profile größtenteils asymmetrisch sind, ergeben sich unterschiedliche Steifigkeiten und Biegeansprüche, so dass ebenfalls die Biegeebene anhand der Querschnittsachse, um die der geplante Bogen laufen wird, festzulegen ist.

Die Ausgabeseite (rechts in Abbildung 25) bewertet die Anwendung der jeweiligen Konfiguration im Fahrzeug bzw. zur Fertigung mittels ISB. Zusätzlich kann das Tool anhand der FE Umformsimulationsergebnisse den minimal möglichen Biegeradius abschätzen.

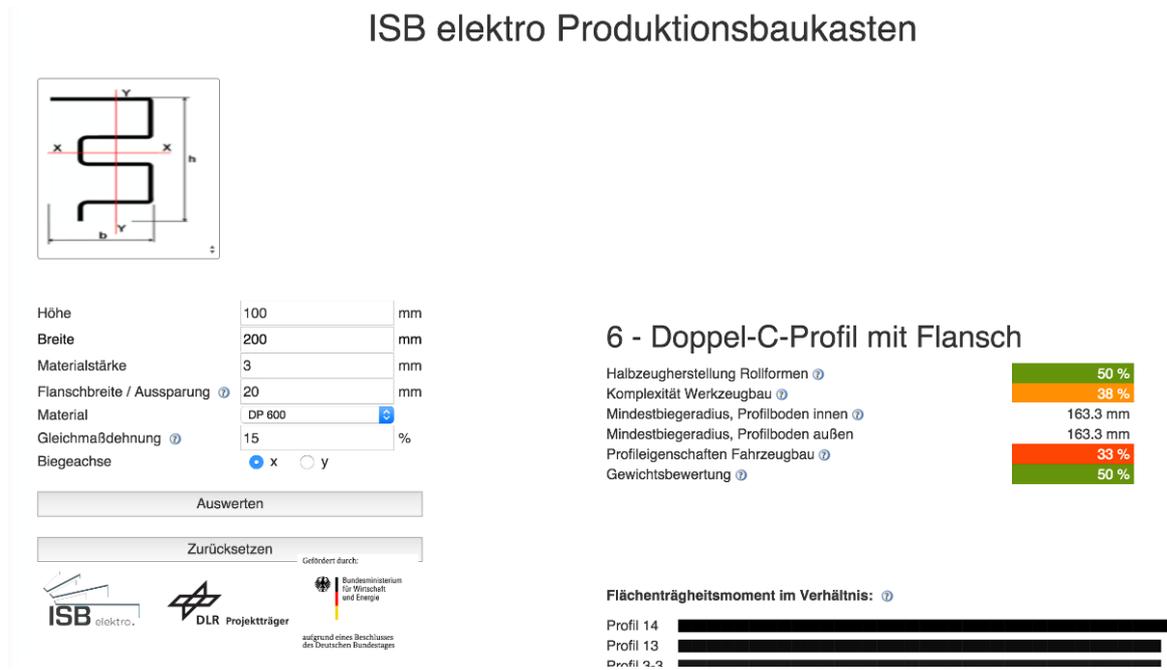


Abbildung 25: Auswertung des ISB Produktionsbaukastens

Darüber hinaus bietet das Tool einen Vergleich der Flächenträgheitsmomente unter Berücksichtigung der eingetragenen Konfigurationen, siehe Abbildung 26.

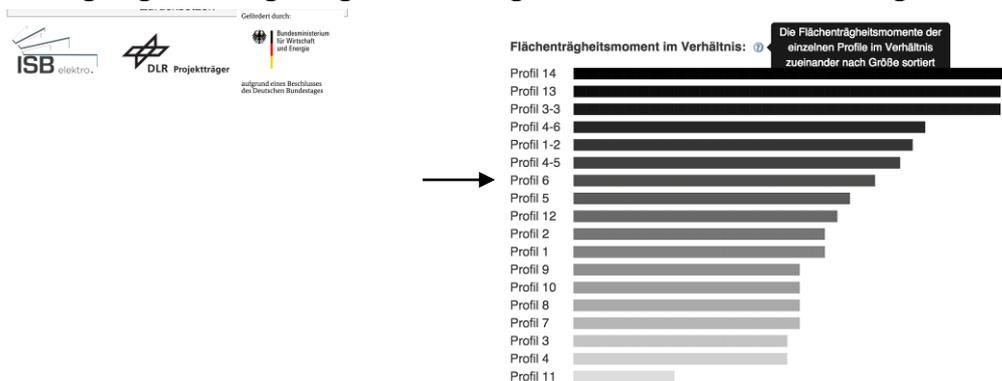


Abbildung 26: Flächenträgheitsvergleich des ISB Produktionsbaukastens

So kann der Anwender die eingestellte Profilform mit anderen möglichen vergleichen und herausfinden, welche Querschnitte ggf. besser hinsichtlich der Fahrzeugsteifigkeit geeignet wären und diese erneut hinsichtlich der Fertigungstechnik in das Tool eintragen.

An allen wichtigen Punkten ist das Tool mit Pop-Up Infoboxen hinterlegt, die zum Verständnis der einzelnen Punkte beitragen, vgl. Abbildung 26 oben.

2 Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Neben den von acs beantragten personellen Mitteln, die für die vorgesehenen Arbeiten der in Kapitel 1 dargestellten Projektergebnisse eingesetzt wurden, wurden Teile der sonstigen Mittel in zusätzliche personelle Mittel umgewidmet, um bei der in hohem Maße anspruchsvollen Erstkonstruktion eines Werkzeuges zum inkrementellen

Schwenkbiegen von hochfesten Profilen umzusetzen. Darüber hinaus wurden weitere Sachkosten und Reisekosten zur personellen Umsetzung bei der Herstellung der Demonstratoren beantragt.

Die Sachkosten wurden im Wesentlichen für Messeauftritte und den zugehörigen Messestandbau verwendet, um das Projekt der Öffentlichkeit zu präsentieren.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Zu Beginn des Förderverbundprojektes ISB-Elektro war die Fertigungstechnik ISB nur in einem begrenzten Labormaßstab einsetzbar. Im Wesentlichen war ein Forschungswerkzeug zur Untersuchung der konzeptionellen Idee hergestellt worden, mit dem sich einfache Profile aus weichen Stählen umformen ließen. Die Anwendung des Verfahrens auf anspruchsvolle Teile aus hochfesten Stählen für die Elektromobilitätsbranche erforderte umfassende, geförderte Zusammenarbeit eines interdisziplinären Teams, um den technologischen Reifegrad bis hin zur Anwendbarkeit in der industriellen Fertigung anzuheben. Hierfür mussten durch die Erarbeitung eines Lastenheftes unbedingt die Voraussetzungen geschaffen werden, damit eine zielgerichtete und fundierte, realistische Teileauslegung darauf aufbauen konnte. Die wirtschaftliche Betrachtung eines virtuellen Fabriklayouts setzt den argumentativen Grundstein einer neuen lohnenden Wertschöpfung und ermöglicht zudem die Implementierung in die Strukturen des Zulieferermarkts.

Die Herstellung des Demonstratorbauteils ist für die Validierung des Verfahrens gleichermaßen wichtig, wie bei dessen anschließender, anhand von vorliegenden Hardwarekomponenten erfahrbare Vermarktung bei potentiellen Anwendern. Zur Veranschaulichung der Projektergebnisse und zur Bewertung neuer Teile jener Anwender leistet der Produktionsbaukasten einen entscheidenden Beitrag, da er eine erste Auslegung der Komponenten ermöglicht bei gleichzeitigem Vergleich unterschiedlicher Profilkonzepte.

Ohne die staatliche Förderung sowie eine breite interdisziplinäre Kooperation ist eine derart komplexe Aufgabenstellung von keinem der Partner in Eigenleistung zu bewältigen.

4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Zusammen mit EDAG und UTS werden die hergestellten Demonstratoren verwertungswirksam der Öffentlichkeit zugänglich gemacht und dem interessierten Anwenderkreis auf Messen und Fachtagungen vorgestellt.

acs kann eine innovative Fertigungstechnologie am Standort Attendorn in Form eines Demonstrators vorstellen und deren Anwendung anhand des Werkzeuges unmittel-

bar präsentieren und umsetzen. Die Produkte und Konzepte der Projektpartner können direkt auf der Fertigungsanlage erprobt werden. Der Produktionsbaukasten kann in diesem Zusammenhang der Vermarktung der Fertigungstechnik dienen und zur Auslegung möglicher Bauteile von Projektpartnern herangezogen werden. Mit Hilfe des Lastenheftes befindet sich acs dazu in der Lage künftig die strukturelle Auslegung der Elektrofahrzeuge entsprechend gültiger gesetzlicher Vorgaben kompetent für seine Projektpartner umzusetzen.

Im Falle einer erfolgreich ausgelegten und erprobten Anwendung, kann acs die Technologie im Kreise seines Netzwerks auf dem Zulieferermarkt etablieren und somit die Wertschöpfung der Serienfertigung der Elektromobilität am Standort Deutschland stärken. Hierfür liefert das bereits geplante, virtuelle Fabriklayout sowohl die planerische Grundlage, als auch den notwendigen, fundierten wirtschaftlichen Anreiz.

5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

acs sind keine Fortschritte anderer Stellen auf dem Gebiet bekannt geworden.

6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der FE-Ergebnisse

Über die Laufzeit des Projektes wurden mehrere Konferenzbeiträge und Artikel, durch das acs veröffentlicht, die im Folgenden tabellarisch aufgeführt sind:

Konferenzen und Messen:

<i>Zeitraum</i>	<i>Veranstaltung, Ort</i>	<i>Besuch/Exponat</i>
10/2012	E-Car Tech, München	Besuch
03/2013	Inno Tech Day, Fulda	Poster, Biegeproben
03/2013	Verformungskundliches Kolloquium, Leoben	Vortrag, Publikation
06/2013	AEE, Nürnberg	Poster
09/2013	2.Kompetenztreffen E-Mobilität NRW	Poster
03/2014	Verformungskundliches Kolloquium, Leoben	Vortrag, Publikation
10/2014	3.Kompetenztreffen E-Mobilität NRW	Poster
10/2014	E-Car Tech, München	Besuch
02/2015	Biegeforum des UTS, Siegen	Vortrag
03/2015	Verformungskundliches Kolloquium	Vortrag, Publikation

	um, Leoben	
06/2015	AEE, Nürnberg	Messestand mit Poster, Biegeproben
11/2015	4.Kompetenztreffen E-Mobilität NRW	Poster
05/2017	ATZ Karosseriebautage, Hamburg	Demonstratoren (EDAG), Vor- trag, Publikation
05/2017 <i>geplant</i>	AEE, Nürnberg	Messestand mit Demonstrator

Publikationen:

- Engel, B., Groth, S., Frohn, P., 2013: „Sensitivitätsanalyse beim inkrementellen Schwenkbiegen von ebenen Blechen“ Konferenzband zum 32. Verformungskundlichen Kolloquium der Montanuniversität Leoben
- Engel, B., Groth, S., Frohn, P., 2014: „Einfluss von Parameterkombinationen auf die Herstellung von Referenzgeometrien mittels ISB“ Konferenzband zum 33. Verformungskundlichen Kolloquium der Montanuniversität Leoben
- Engel, B., Groth, S., Kuhnhen, C.; Frohn, P., Knappe, A., 2014: „Profilträgerstrukturen durch inkrementelles Schwenkbiegen“ Maschinenmarkt **120**, 25/2114, Vogel Verlag, S. 30-33
- Engel, B., Kuhnhen, C., Mathes, C., Heftrich, C., Frohn, P., Groth, S., 2014: “A new approach for quantitative evaluation of bending components“ Konferenzband Metalforming Palermo
- Engel, B., Groth, S., Frohn, P., 2015: „Numerische Verfahrensentwicklung für das inkrementelle Schwenkbiegen (ISB) von komplexeren Profilquerschnitten“ Konferenzband zum 34. Verformungskundlichen Kolloquium der Montanuniversität Leoben

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Inkrementelles Schwenkbiegen zur kostengünstigen Herstellung von Trägerstrukturen in Elektrofahrzeugen (ISB-Elektro) Definition der Anforderungen an Längsträgerbauteile für Elektrofahrzeuge (DALE)	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Christoph Stötzel	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2016
	6. Veröffentlichungsdatum 31.03.2017
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Automotive Center Südwestfalen GmbH Kölner Straße 125 57439 Attendorn	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 01MX12048A
	11. Seitenzahl 35
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 11019 Berlin	13. Literaturangaben 7
	14. Tabellen 4
	15. Abbildungen 26
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	

18. Kurzfassung

Die Kombination aus den marktspezifischen Anforderungen der Elektromobilität nach effektivem Leichtbau und den geringen Stückzahlen untermauern die Notwendigkeit flexibler Fertigungstechnologien für Strukturbauteile aus hochfesten Werkstoffen. Kern des Förderprojektes ISB Elektro ist die angewandte Erforschung, praktische Validierung und wirtschaftliche Bewertung eines hochflexiblen Fertigungsverfahrens für Strukturkomponenten von Elektrofahrzeugen. Bei dem inkrementellen Schwenkbiegen (ISB) werden mittels kinematischer Formgebung sowie einem reibschlüssigen Wirkprinzip offene Profilformen aus hochfesten Stählen umgeformt, wodurch eine hochflexible und werkzeugunabhängige Geometrieerzeugung möglich wird.

Im Teilverhaben DALE wurden dazu in erster Konsequenz die geometrischen und funktionellen Anforderungen für Längsträger von Elektrofahrzeugen gesammelt, da diese in zusammengetragener, verallgemeinerter Form zum Projektstart nicht vorlagen und für die nachfolgende Auslegung notwendige Zielvorgaben voraussetzten. Im Ergebnis liegt nun ein für weitere Strukturauslegungen von Elektrofahrzeugen relevantes Lastenheft vor, welches unmittelbar für die Herleitung struktureller Varianten der Fahrzeugunterstruktur dieses Projektes herangezogen wurde.

Neben der in anderen Teilverhaben behandelten Struktur- und Fertigungsverfahrensauslegung wurde eine virtuelle Betrachtung der verketteten Fertigung betrachtet. Die entscheidende Vorgabe für eine wirtschaftliche Planung eines virtuellen Fabriklayouts war die zu veranschlagende Taktzeit für die Fertigung des Elektrofahrzeuglängsträgers. Im Arbeitspaket wurde eine Berechnungsgrundlage geschaffen, mit der inkrementelle Schwenkbiegungen zeitlich geplant und berechnet werden können. Auf Basis dieser Festlegung wurde anschließend die Fertigungsabfolge für die Strukturkomponente festgelegt und anschließend die notwendige Anlagentechnik zusammengestellt. Ein wesentlicher Gesichtspunkt dieser Auslegung war die Realisierung eines kontinuierlichen Teileflusses durch das virtuelle Werk. Mit Hilfe dieses Fabriklayouts konnte die lohnende Fertigung der Längsträger für unterschiedliche Abschreibungs- sowie Automatisierungsszenarien nachgewiesen werden.

Parallel erfolgten die Konstruktion und anschließend der Bau eines Fertigungswerkzeuges zur Herstellung der vollformatigen Längsträger auf Basis der Verfahrensentwicklung. Auf der acs Try-out Presse wurden mit diesem Werkzeug die Verfahrensdemonstratoren erfolgreich hergestellt um anschließend in einem validierenden Komponententest auf einem Fallturm im Ersatzlastfall zum seitlichen Pfahlcrash erfolgreich geprüft zu werden. Die Demonstratoren veranschaulichten insbesondere durch die Validierung mittels Crashversuchs die technologische Reife der Fertigungstechnik und deren Anwendbarkeit auf künftige Strukturteile der Elektromobilität in profilintensiver Karosseriebauweise.

Der Ansatz veranschaulicht, wie die Technologie für die deutsche Zuliefererindustrie den Marktsektor der flexiblen Fertigung von Strukturkomponenten für die Elektromobilität ermöglicht. Zur Bewertung des Fertigungspotentials für eine Komponente ist ein Auslegungstool entwickelt worden, mit dem sich unter Berücksichtigung individueller Werkstoffgüten sowie Profilquerschnitte Fahrzeugstrukturen für die Herstellung mittels ISB bewerten lassen.

19. Schlagwörter

Elektromobilität, inkrementelles Schwenkbiegen, ISB, Längsträger, Lastenheft, Produktionsplanung

20. Verlag

21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) final report
3. title Inkrementelles Schwenkbiegen zur kostengünstigen Herstellung von Trägerstrukturen in Elektrofahrzeugen (ISB-Elektro) (Incremental Swivel Bending for cost efficient production of structural body parts of electric cars) Definition der Anforderungen an Längsträgerbauteile für Elektrofahrzeuge (DALE) (Definition of the requirements to longitudinal members of electric vehicles)	
4. author(s) (family name, first name(s)) Christoph Stötzel	5. end of project 30.9.2016
	6. publication date 31.03.2017
	7. form of publication report
8. performing organization(s) (name, address) Automotive Center Südwestfalen GmbH Kölner Straße 125 57439 Attendorn	9. originator's report no.
	10. reference no. 01MX12048A
	11. no. of pages 35
12. sponsoring agency (name, address) Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) 11019 Berlin	13. no. of references 7
	14. no. of tables 4
	15. no. of figures 26
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract The specific requirements to parts of electric vehicles, i.e. weight reduction and protection of battery package, combined with the low but increasing quantities define the need of flexible production technologies for structural parts of high strength steels. The main goal of this corporate fund project is the research and development, practical validation and economic rating of a highly flexible production technology for structural parts of e-vehicles. Incremental swivel bending (ISB) processes open high strength profiles by cinematic forming in a friction based principle enabling highly flexible, non-dependent on the tools shape evolution of geometry. Within the projects part DALE first of all the requirements specifications for e-car longitudinal members have been defined as they were necessary to design the new, profile-based structural part. Now, furthermore, these specifications can be used for upcoming layouts for e-car structural parts. Besides the structural and production technologies development, a virtual fabric layout for the continuous production of the structural component has been planned. Therefore, a calculation tool to estimate the parts production time under fully industrialized conditions has been setup, which can be used also to plan further ISB applications. With the time for the bending operations set, the parts production operations order could be set. The complete virtual factory layout was used to validate the economic production potential of longitudinal members by ISB considering different scenarios of automation degree as well as amortization periods have been compared. After construction and manufacture of the ISB tool, the longitudinal members could be produced successfully on the acs servo Try-out press. Afterwards, a crash test has been performed to show a practical validation of the produced parts. In order to compare the production potential of the ISB technology for further structural parts, a tool has been designed to rate the possible production considering material parameters, cross section and desired bending geometry.	
19. keywords e-mobility, incremental swivel bending, ISB, longitudinal members, requirement specifications, production planning	
20. publisher	21. price