

Economic production for prototypes and small series

Incremental Sheet Forming at Fraunhofer IWU

Finished parts in
record time



Incremental Sheet Forming

Table of content

1. Motivation and fields of application
2. Process variations and process parameters
3. Incremental sheet metal forming at Fraunhofer IWU
4. Technology Demonstrator Silver Bumblebee®
5. Example parts



Incremental Sheet Forming

Economic production for prototypes and small series



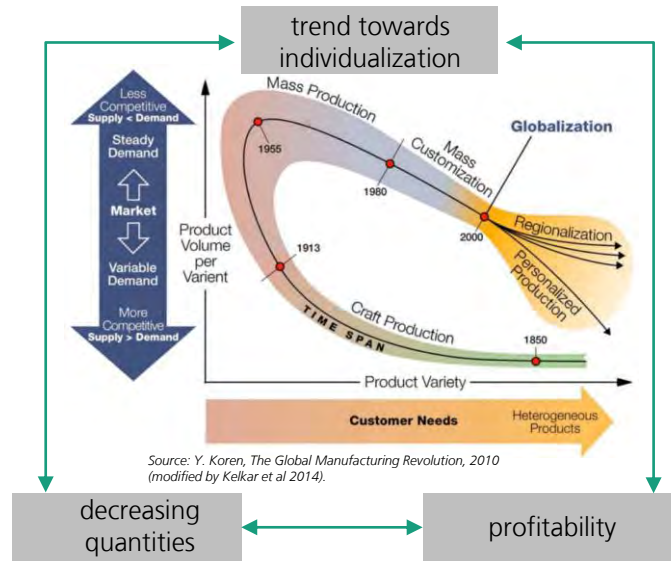
01

Motivation and fields of application



Incremental Sheet Forming

Motivation and principle



Challenges for production technology

- Increase of flexibility
- Reduction of component-specific production costs

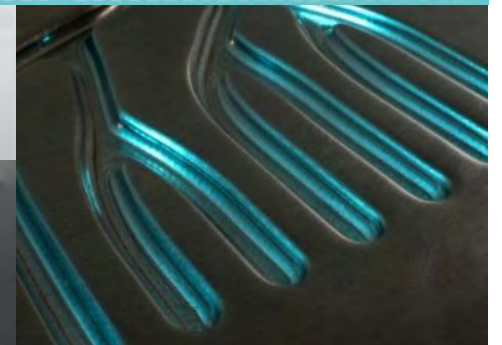
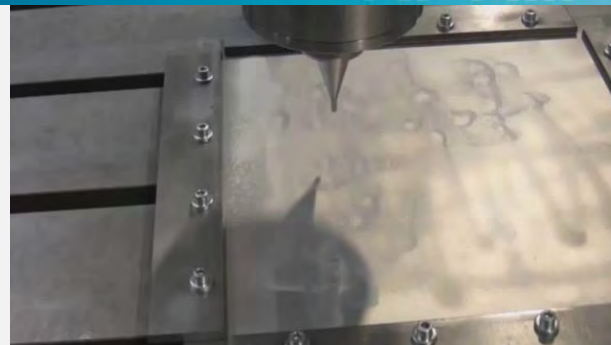
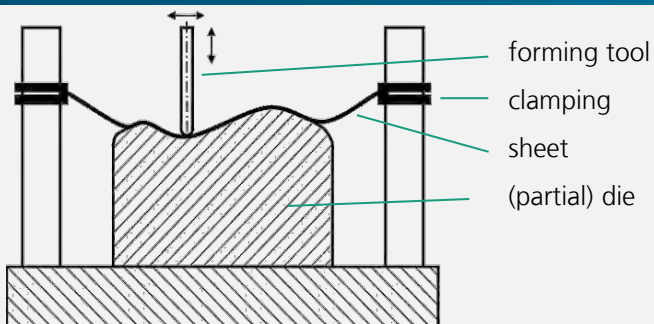
Solution

- stepwise, kinematic shape generation
- tools with minimum complexity

Benefits

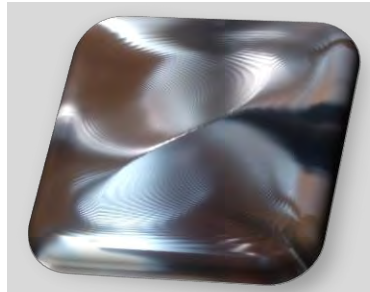
- € low tool costs
- ↔ high-level flexibility
- 📈 higher forming limit compared to deep drawing

Procedural principle



Incremental Sheet Forming

Potential fields of application and markets



Architecture



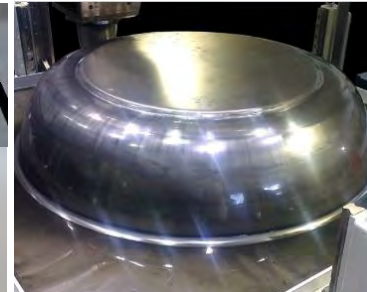
Car spare parts



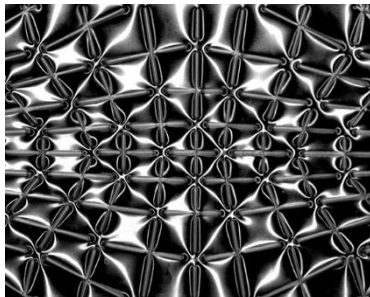
Medical Engineering



Home Appliances



Housing parts



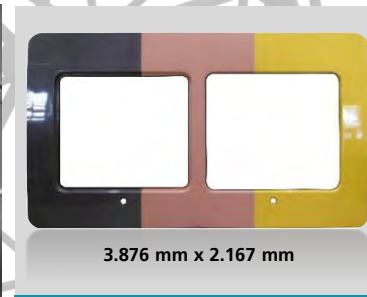
Art



Aerospace



Signs



Transportation



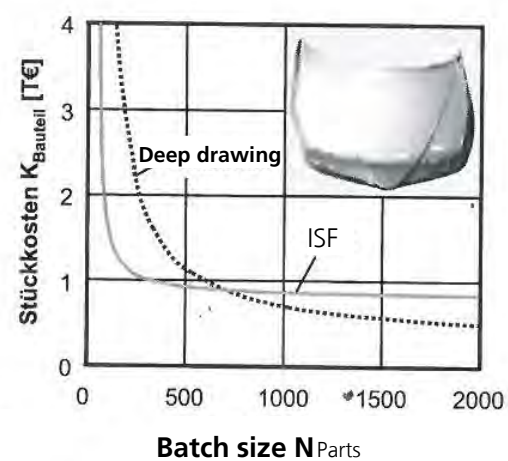
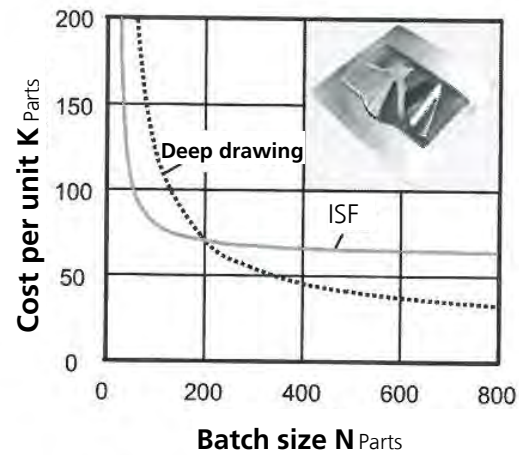
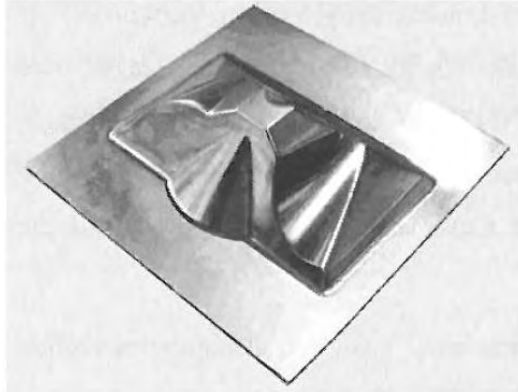
Heat exchanger

Note: All components shown here were manufactured at Fraunhofer IWU or in cooperation with partners from industry and science using ISF.

Incremental Sheet Forming

Profitability analysis*

* [Ames, J.: Systematische Untersuchung des Werkstoffflusses bei der inkrementellen Blechumformung mit CNC-Werkzeugmaschinen. Rheinisch-Westfaelische Technische Hochschule Aachen, Dissertation, 2008.]

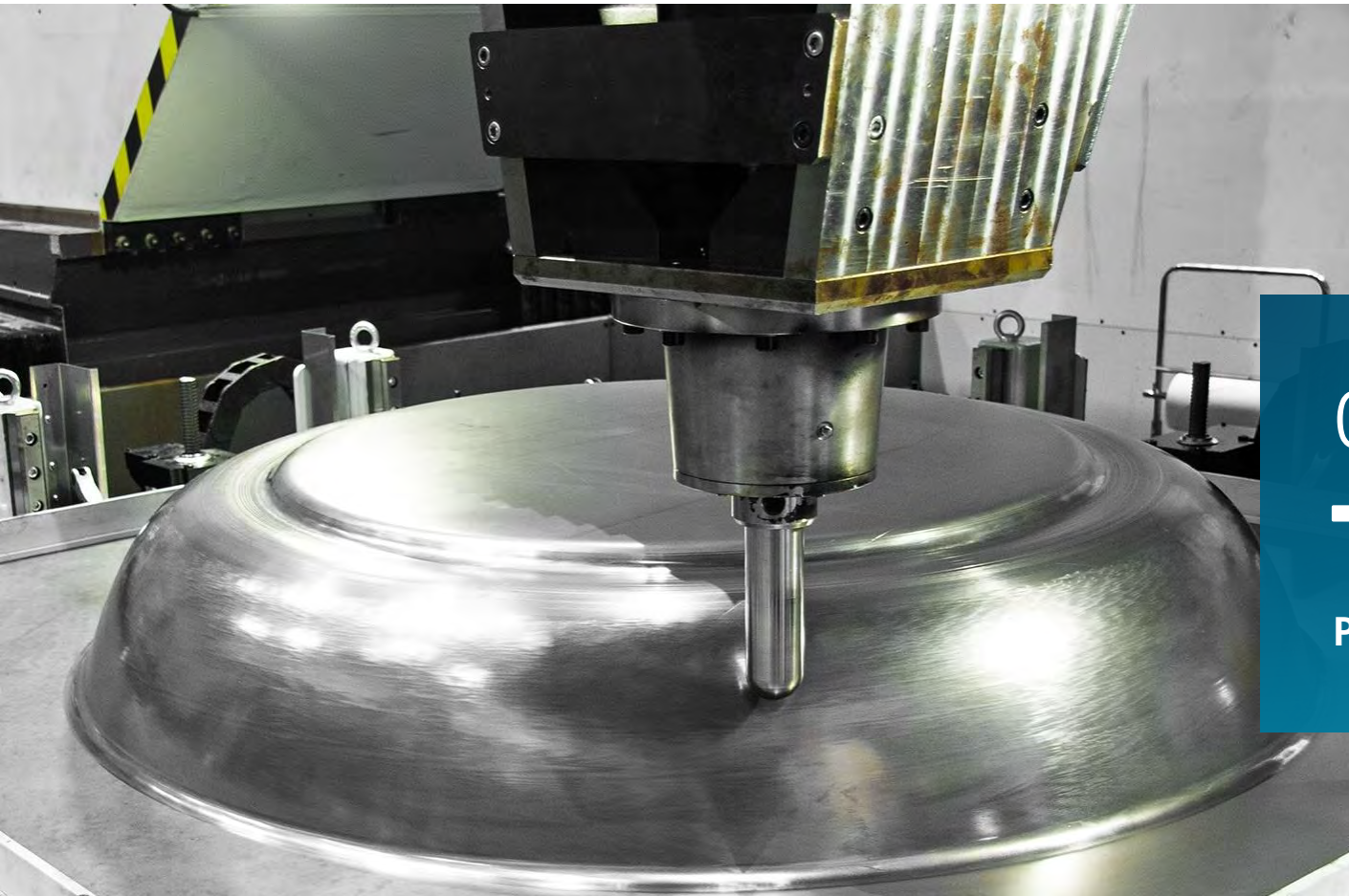


		Small demonstration geometry		Large area automotive parts		
		Deep drawing	ISF	Deep drawing	ISF	
Measurements	Length of part X _{part}	m	0,45	1,8		
	Length of part Y _{part}	m	0,27	2		
	Length of part Z _{part}	m	0,12	0,15		
	Length of part A _{plate}	m ²	0,13	3,6		
Production data	Batch size n	-	100	500		
	Horizontal Infeed Δh	mm	-	0,1	-	0,2
	Length of forming head path l _{path}	m	-	1.250	-	18.000
	Forming head speed V _{forming head}	m/min	-	15	-	30
	Number of units/Quantity t _{part}	-	2 sec	1,4 h	3 sec	10 h
K forming	Related production costs K _{production}	€/kg	20			
	Complexity factor C _{complexity}	-	1	0,7	1	0,7
	Number of processing steps	-	2	1	2	1
	Total cost of forming tool K _{forming}	€	12.282	1.592	454.896	58.968
K sheet	Purchase price raw material K _{material}	€/kg	6			
	Total cost for plates K _{sheet}	€	570		84.240	
K set up	Machine hourly rate K _{hours, set up}	€/h	50	25	100	50
	Set up costs K _{set up}	€	5,6	3.500	83,3	250.000
K staff	Staff hourly rate K _{hours, staff}	€/h	20			
	Number of operators N _{staff}	-	1	0,3	1	0,3
	Staff costs K _{staff}	€	2,2	2.800	16,7	100.000
Total costs K_{total}		€	12.860	8.462	549.236	493.208
Cost per unit K _{part}		€	128,6	84,6	1098,5	986

Example calculation of the unit costs for the benchmark components

Incremental Sheet Forming

Economical production of prototypes and small series



02



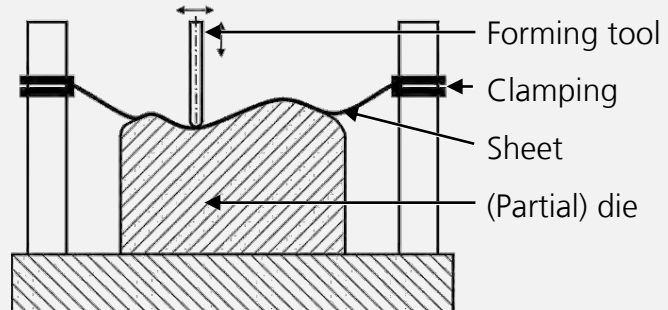
Process variations and process parameters



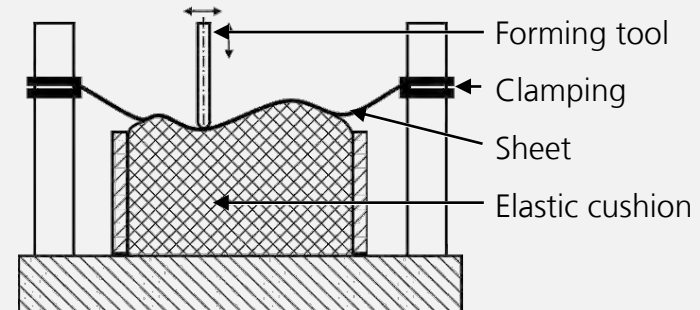
Incremental Sheet Forming

Process variations

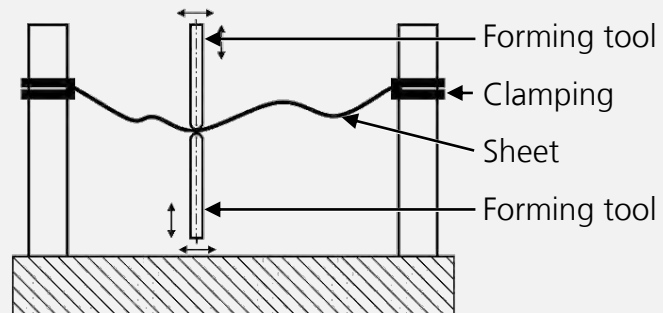
Use of a (partial) die



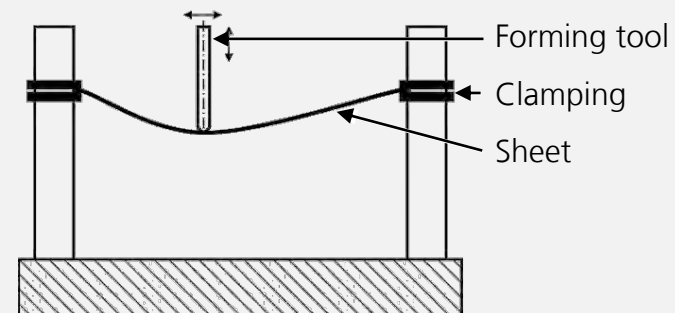
Use of an elastic cushion



Use of a second forming tool

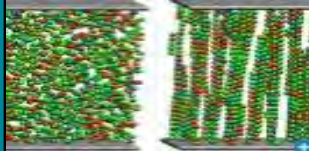
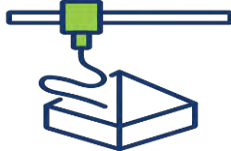


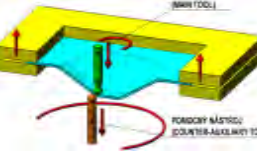


Forming without counterform



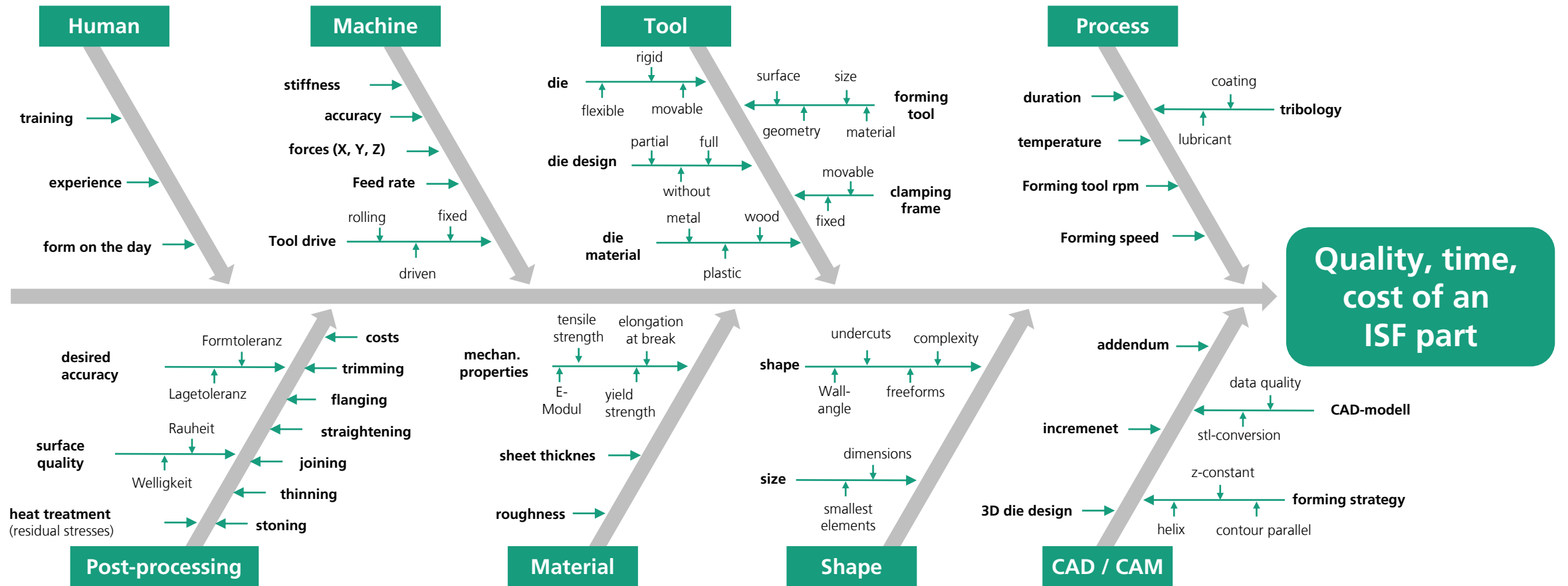
Tooling concepts

Comparison of different counter tool concepts

Variant / Property	Elastomer	3D-Printing	Milling	Multipoint	Kinematics
					
Degree of resolution	●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
Space requirement	●●●●	●●●●	●●●●	●●	●
Surface quality on the formed part	●●●●	●●●●	●●●●	●●	●●●●
Flexibility	●●	●	●	●●●●	●●●●
Shape memory level	●●●●	●	●	●●●●	●●●●
Effort of the control system	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●
Resource efficiency	●●●●	●	●	●●●●	●●●●
Scalability	●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
Sum	22	23	23	24	26
Ranking	5	3	3	2	1
Points according to VDI 222 Sheet 3 - Suitability for IBU: ●●●●... Very good, ●●● ... good, ●● ... satisfactory, ● ... barely acceptable, ○ ... unsatisfactory					

Incremental Sheet Forming

Process parameters and influencing variables

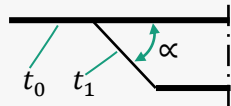


Incremental Sheet Forming

Process parameters and influencing factors

max. Wall Angle

- Material-dependent, can be increased by using a multi-stage strategy
- Decreases with increasing tool-Ø and path distance



$$t_1 = \cos \alpha \cdot t_0$$

α : Wall angle
 t_0 : Initial sheet thickness
 t_1 : End sheet thickness

Forming Speed

- Forming speed $\uparrow \rightarrow$ ISF_U \uparrow (thermal effects due to friction)
- some publications: Feed rate \downarrow + tool rotation $\uparrow \rightarrow$ ISF_U \uparrow
- other publications with steel: tool rotation $\uparrow \rightarrow$ ISF_U \downarrow (caused by increased wear)

Tribology

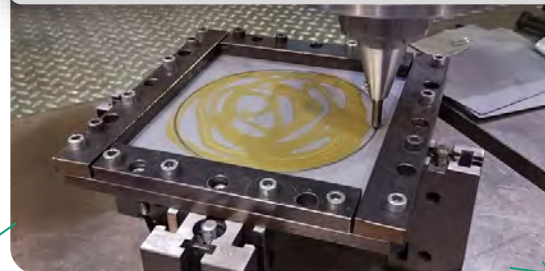
- Lubrication
- Tool coating
- Component coatings

Tool Size and Geometry

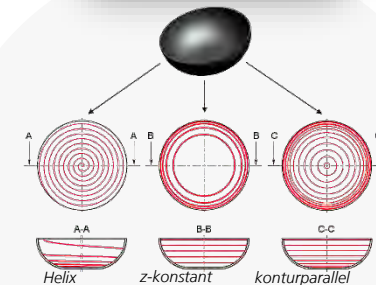


- Tool-Ø $\downarrow \rightarrow$ ISF_U \uparrow (higher loads due to smaller forming zone leads to better formability)
- Tool-Ø $\uparrow \rightarrow$ Forming force \uparrow
- Tool-Ø $\uparrow \rightarrow$ more uniform sheet thickness distribution

Formability (ISF_U)

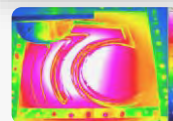


Forming Path



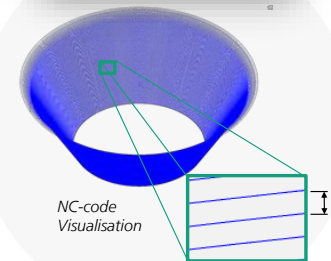
- Path planning similar to milling
- great influence on sheet thickness distribution
 - Spiral path, for example, produces more uniform thickness distribution

Temperature



- $T \uparrow \rightarrow$ ISF_U \uparrow

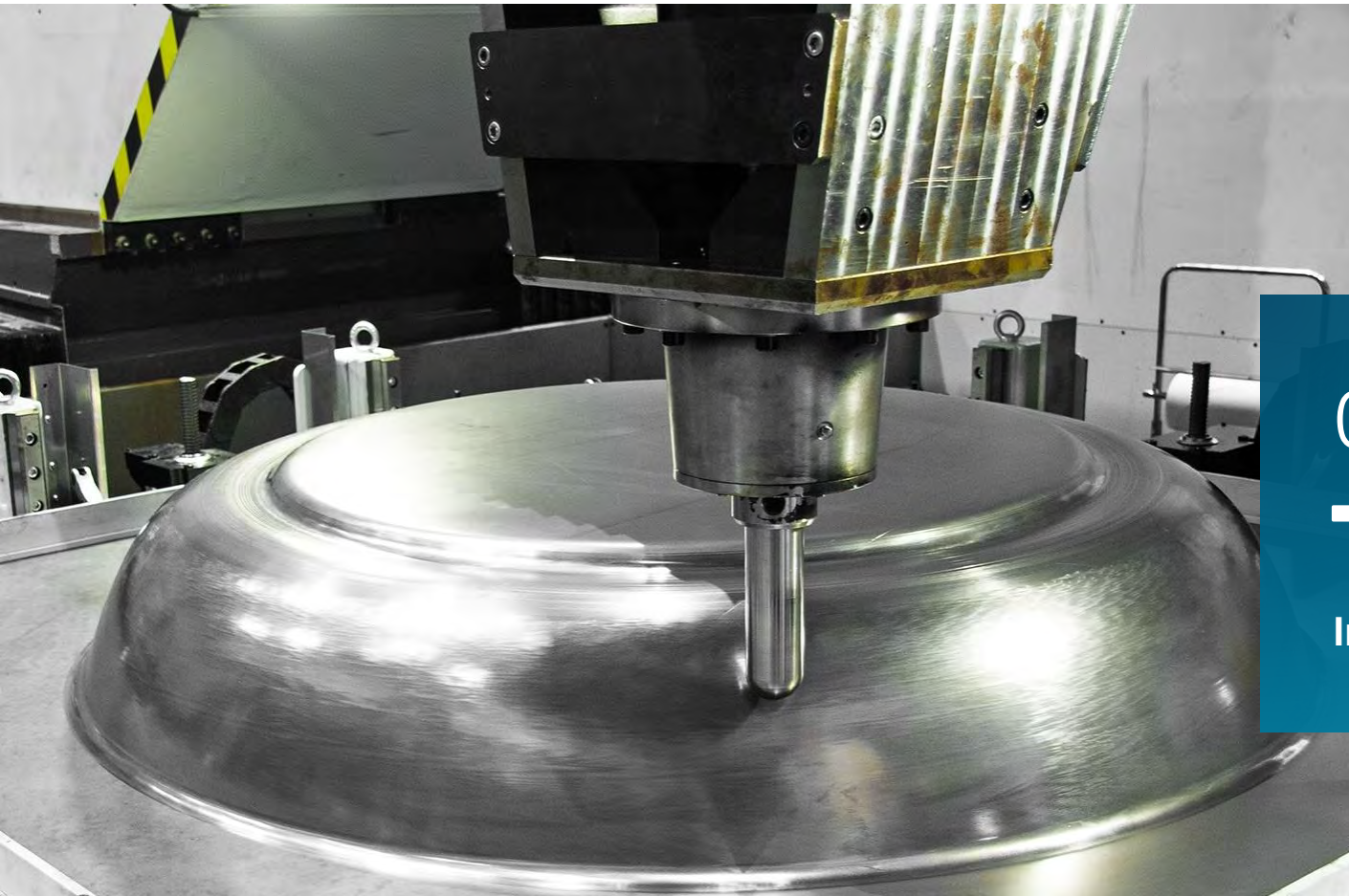
Path Distance



- Path distance $\downarrow \rightarrow$ ISF_U \uparrow

Incremental Sheet Forming

Economical production of prototypes and small series



03

Incremental sheet metal forming at Fraunhofer IWU



Incremental Sheet Forming

History at Fraunhofer IWU

2004

2010

2015

2020

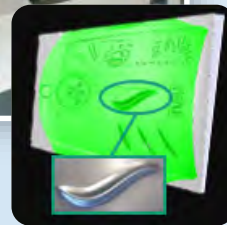
Over 15 years experience in incremental sheet metal forming



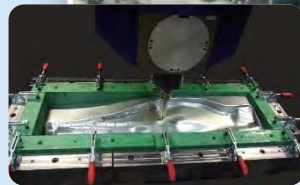
2004: Basic studies using the Mikromat 6X parallel kinematic milling machine



2005: First design studies with a conventional milling machine



2008: Parameter study engine hood



2008: Deep drawing + ISF using the example of a passenger car transmission carrier



2010 – 2012: SAB-Project
Wind turbine housing: Ø 1.500 mm

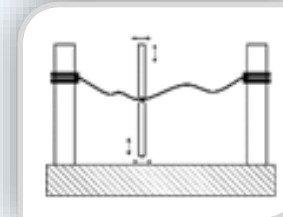


2015 - 2017: ZIM-Project
"Customized facade elements"

www.artisengineering.de

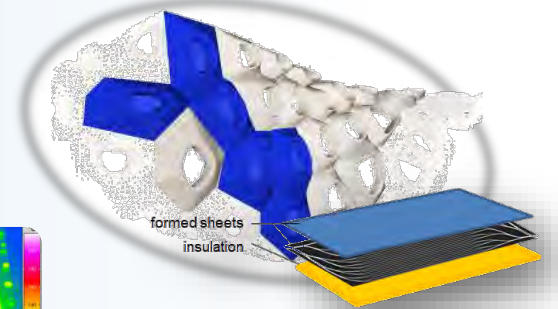


2014: Side wall of a tram

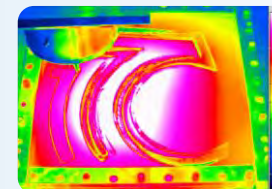


2018 - 2020: CORNET-Project
„Variable Tool“
Geometry-variable tool for small series production

2021 - 2022: CORNET-Project
„Rapid Sheet“
Rapid prototyping of sheet metal parts using intelligent 3D-printed dies



2020 - 2022: CORNET-Project „FutureFacade“
Combination of individualised design and solar heat functionality



2012 – 2014: CORNET-Project
„ISFLight“ - Heat supported ISF of Lightweight Materials



Incremental Sheet Forming

Test setup at Fraunhofer IWU

CNC gantry type machine

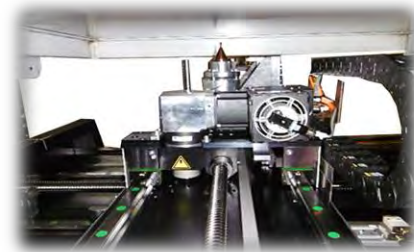
- **modular and height adjustable sheet metal clamping frame**

- max. sheet dimensions:
4.000 mm x 2.000 mm
- Drawing depth \leq 500 mm



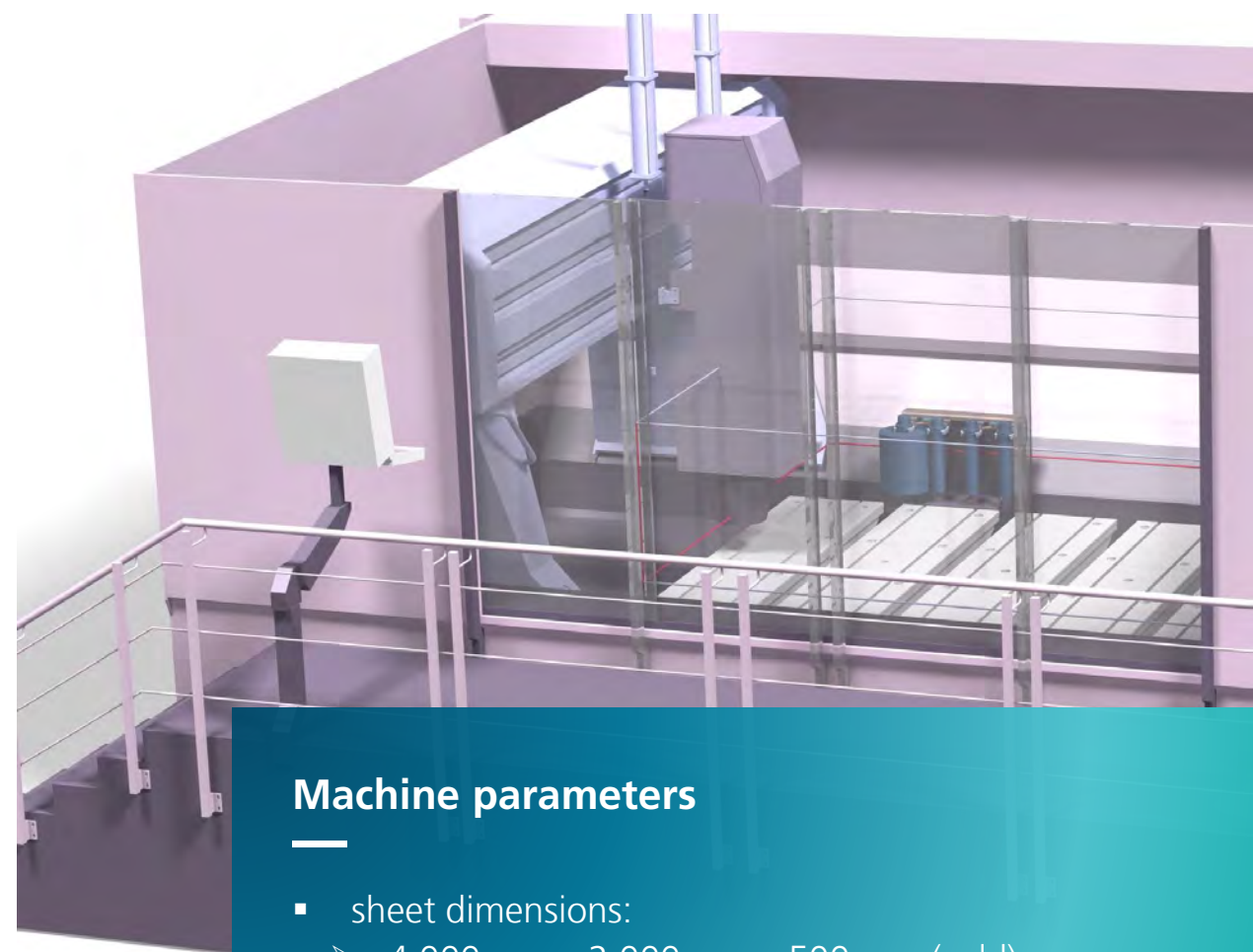
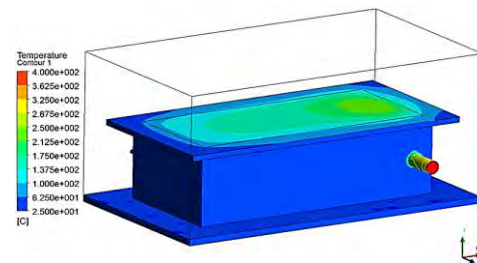
- **variable counter tool**

- max. sheet dimensions:
2.000 mm x 2.000 mm
- Drawing depth \leq 270 mm



- **globale component tempering**

- \leq 250 °C
- max. sheet dimensions:
2.000 mm x 1.000 mm
- Drawing depth \leq 500 mm



Machine parameters

- sheet dimensions:
 - 4.000 mm x 2.000 mm x 500 mm (cold)
 - 2.000 mm x 1.000 mm x 500 mm (max. 250°C)
- sheet thickness: \leq 2.5 mm (Steel) | \leq 5 mm (Alu)
- max. z-Force: $F = 20$ kN
- max. Speed: $v = 15$ m/min

Incremental Sheet Forming

Test setup at Fraunhofer IWU

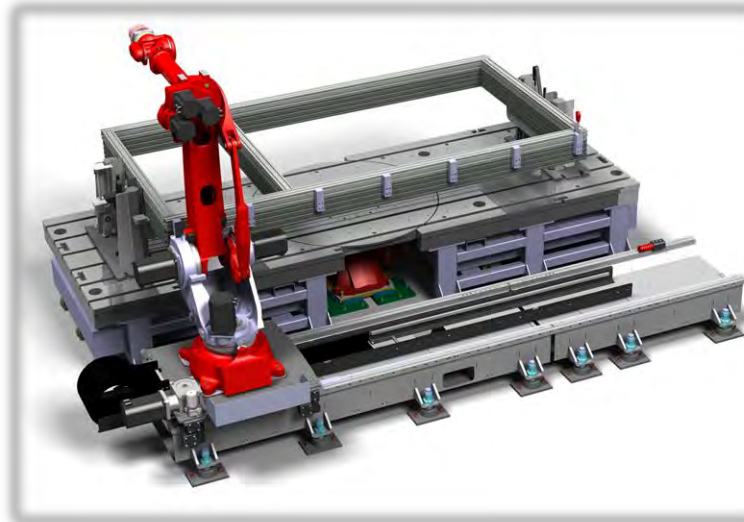
- Germany-wide competence center for geometry-flexible manufacturing using ISF
- Expansion of the machine park at Fraunhofer IWU Chemnitz

Mini-ISF-Center



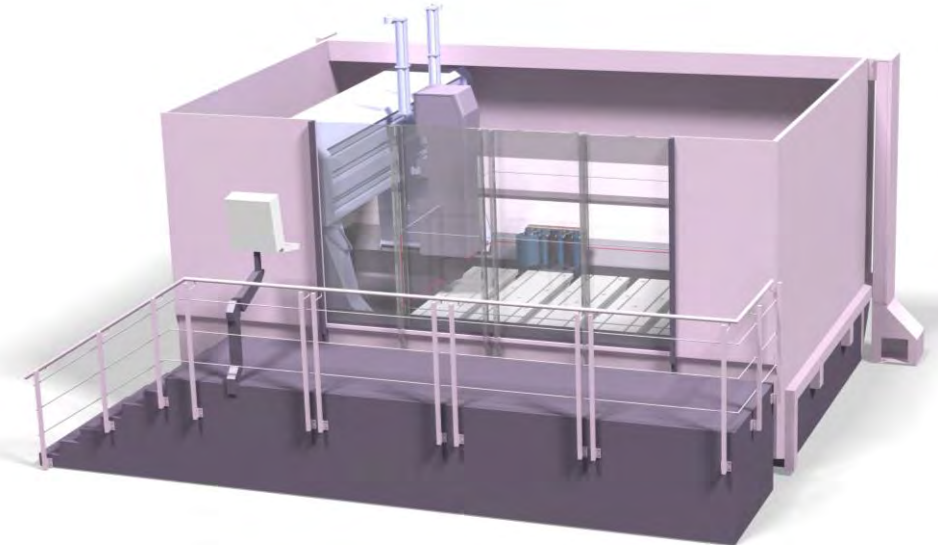
- working space: approx. 2,000 mm x 1,000 mm x 200 mm
- max. load: approx. 1,3 kN

Vision Robot Cell



- working area: approx. 2.000 mm x 1.000 mm x 6.000 mm
- max. Traglast: ca. 2 kN
- vorr. Verfügbarkeit: ab 10/2024

ISF-Gantry Machining Center



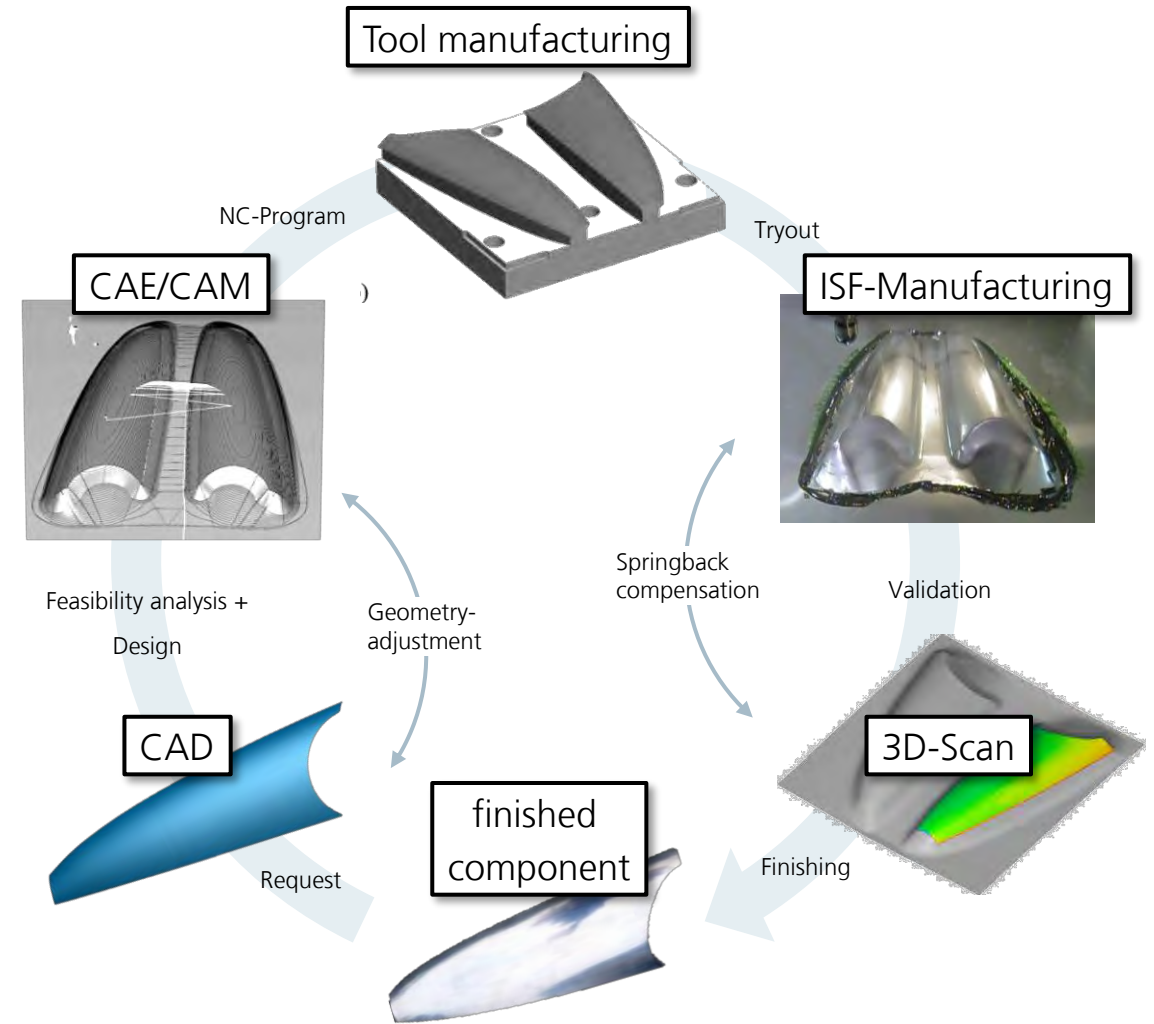
- working area: approx. 4,000 mm x 2,000 mm x 1,000 mm
- max. pressing force in z-direction: approx. 20 kN

Incremental Sheet Forming

Continuous CAx process chain

Use of established CAx process chains for the tool design process and for component manufacture

- Support of flexibility and agility of kinematic shaping processes
- Realization of extremely short cycle times from CAD model to first part (1 week using the silver bumblebee as an example)

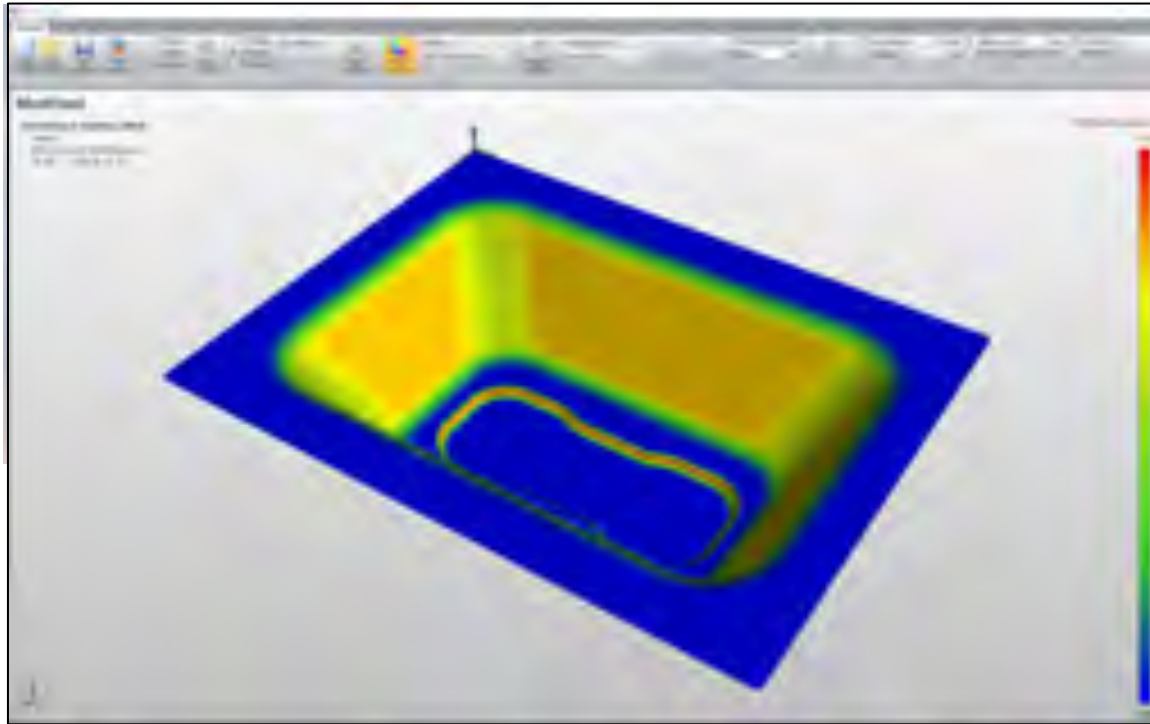


Challenges

- Connection of CAD, CAM + CAE for the prediction of the "optimal" forming path
- Computing times and performance of current simulation software and computing technology

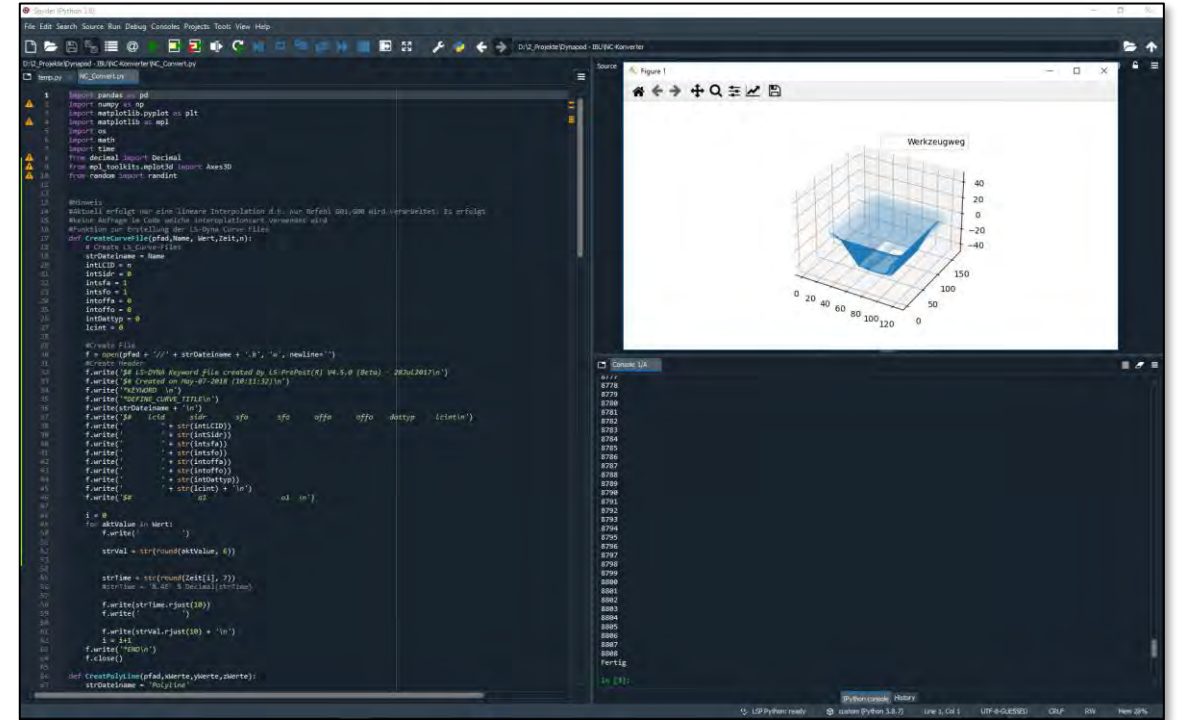
Incremental Sheet Forming

ISF-Software-Tools made by Fraunhofer IWU



Visualization tool

Analysis of the sheet thickness distribution as a function of the component geometry



```
1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import matplotlib as mpl
5 import os
6 import sys
7 import time
8 import math
9 from math import sqrt, sin, cos, atan2
10 from random import randint
11
12 def CreateCurve(pfad, Name, Wert, Zeit, n):
13     # Create LS-Dyna file
14     strDataName = Name
15     InitID = 0
16     InitID = 0
17     InitID = 1
18     InitID = 0
19     InitID = 0
20     InitID = 0
21     InitID = 0
22     InitID = 0
23     InitID = 0
24     InitID = 0
25     InitID = 0
26     InitID = 0
27     InitID = 0
28     InitID = 0
29     InitID = 0
30     InitID = 0
31     InitID = 0
32     InitID = 0
33     InitID = 0
34     InitID = 0
35     InitID = 0
36     InitID = 0
37     InitID = 0
38     InitID = 0
39     InitID = 0
40     InitID = 0
41     InitID = 0
42     InitID = 0
43     InitID = 0
44     InitID = 0
45     InitID = 0
46     InitID = 0
47     InitID = 0
48     InitID = 0
49     InitID = 0
50     InitID = 0
51     InitID = 0
52     InitID = 0
53     InitID = 0
54     InitID = 0
55     InitID = 0
56     InitID = 0
57     InitID = 0
58     InitID = 0
59     InitID = 0
60     InitID = 0
61     InitID = 0
62     InitID = 0
63     InitID = 0
64     InitID = 0
65     InitID = 0
66     InitID = 0
67     InitID = 0
68     InitID = 0
69     InitID = 0
70     InitID = 0
71     InitID = 0
72     InitID = 0
73     InitID = 0
74     InitID = 0
75     InitID = 0
76     InitID = 0
77     InitID = 0
78     InitID = 0
79     InitID = 0
80     InitID = 0
81     InitID = 0
82     InitID = 0
83     InitID = 0
84     InitID = 0
85     InitID = 0
86     InitID = 0
87     InitID = 0
88     InitID = 0
89     InitID = 0
90     InitID = 0
91     InitID = 0
92     InitID = 0
93     InitID = 0
94     InitID = 0
95     InitID = 0
96     InitID = 0
97     InitID = 0
98     InitID = 0
99     InitID = 0
100     InitID = 0
```

Python-Tool

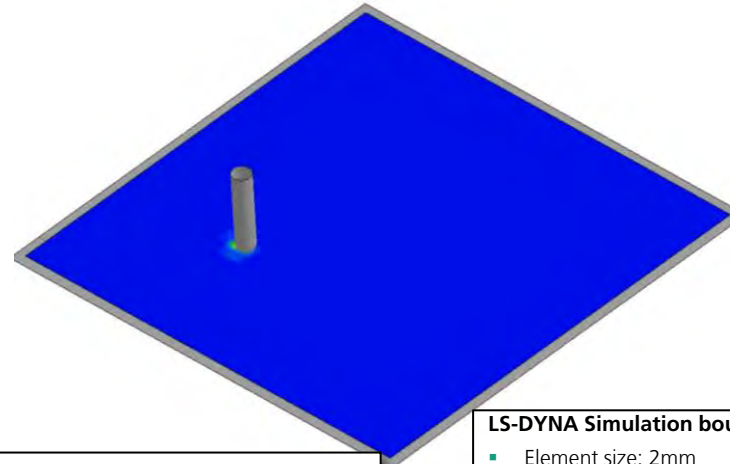
Compilation of CNC path data into AutoForm and LS-Dyna readable data

Incremental Sheet Forming

FE-Simulation

Simulation possible with commercially available FE software (e.g. LS-DYNA, Abaqus, AutoForm-HemPlanner)

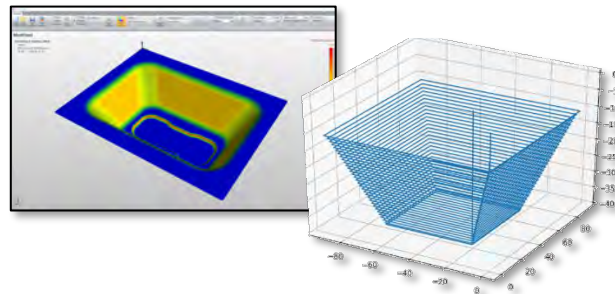
- Challenges: Computation times + failure prediction
- Currently: mainly empirical design of the forming path.



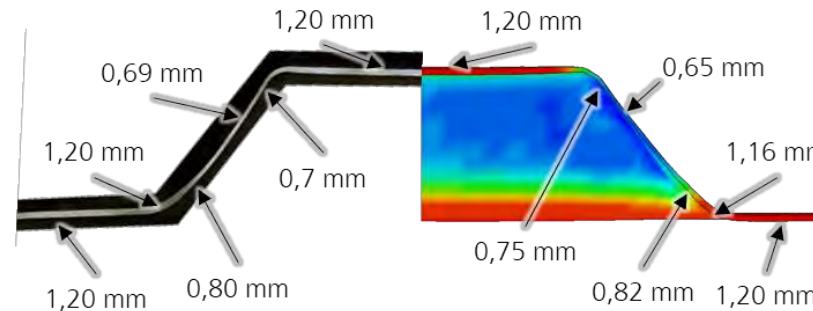
Real process: 25 min
Simulation time: 24 h

LS-DYNA Simulation boundary conditions

- Element size: 2mm
- Material model: MAT024;
- Tool speed ≈ 2.5 m/s
- Calculation on 24 cores



Fraunhofer IWU software tools for analytical prediction of sheet thinning (left) and Python tool for compiling the forming path (right).



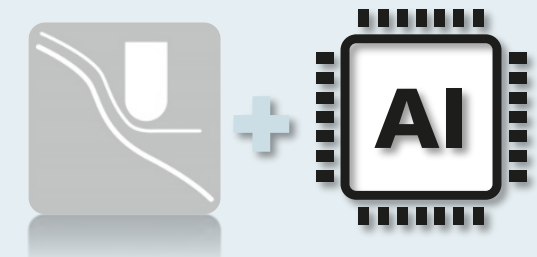
Comparison of sheet thinning between experiment (left) and simulation (right).

Focus of current research

knowledge-based path planning

Application of artificial intelligence and machine learning methods

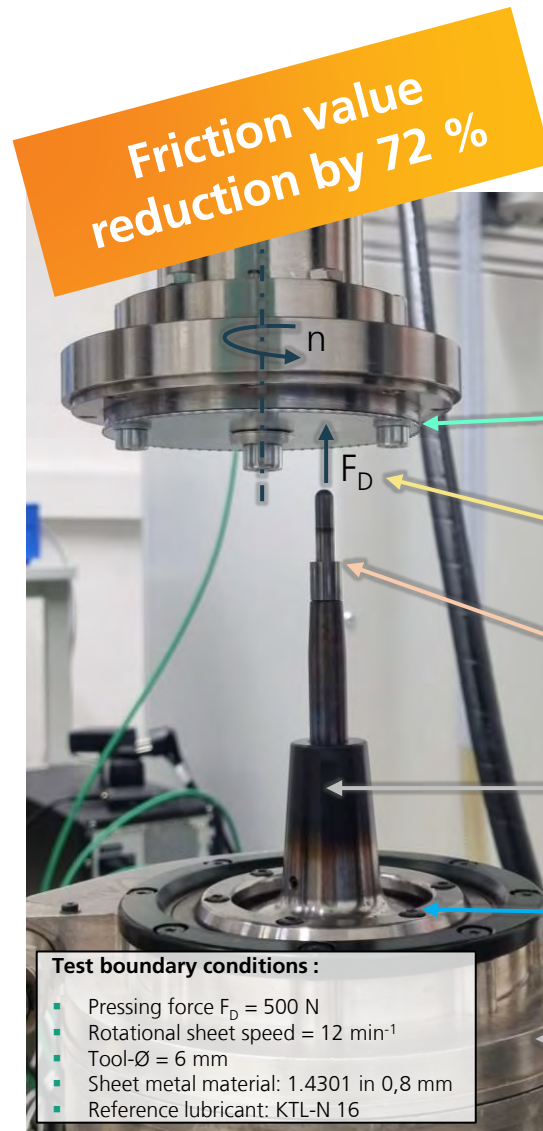
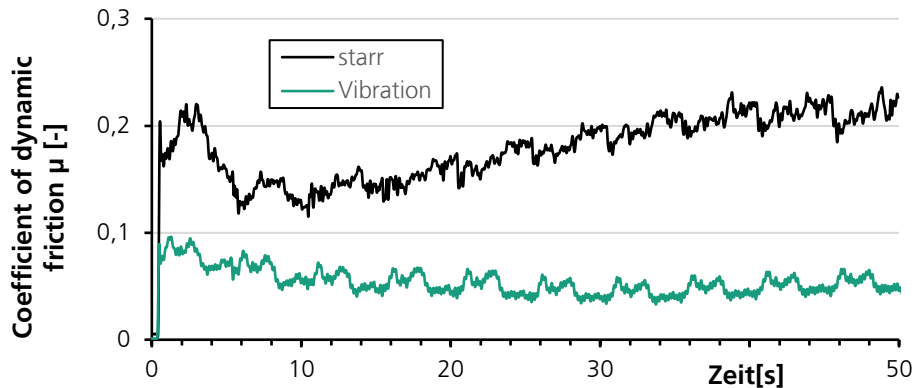
Use of high-performance computing technology



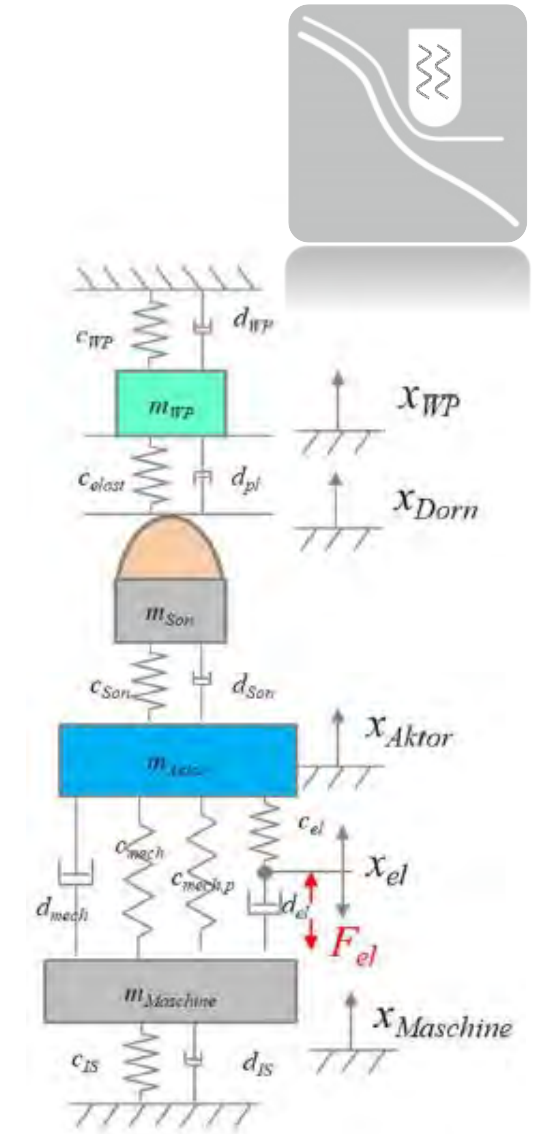
Incremental Sheet Forming

VibroForming

- Reduction of forming forces and improvement of component quality (lower springback) through the use of ultrasonic-assisted forming tools
- preliminary work and patents on vibration actuators in the field of machining and peening as a basis for actuator development for ISF
 - friction value reduction by 72 % at 23 kHz in pin-on-disc model test
 - sustainable forming technology by using vibration superposition instead of lubricants as an environmentally friendly method to reduce the coefficient of friction



Stift-Scheibe-Modellversuch mit angepasstem piezo-elektrischen Bohrwerkzeug



Model of the ISF vibration unit with process position, workpiece and machine

Incremental Sheet Forming

Economical production of prototypes and small series



04



Technology Demonstrator Silver Bumblebee®

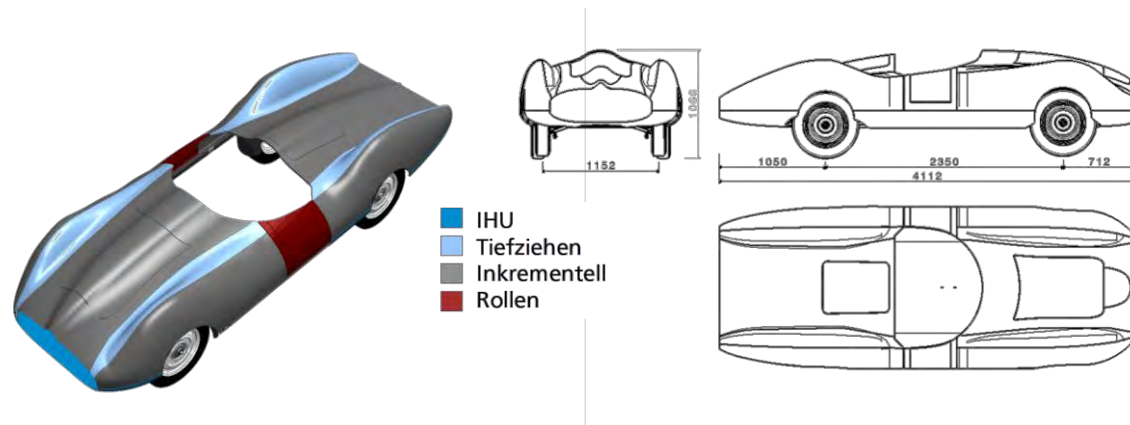


Incremental Sheet Forming

Technology Demonstrator Silver Bumblebee®

Reconstruction of the outer panel of an Auto Union racing car in cooperation with the Vehicle Museum Chemnitz

- Cost-efficient and fast forming technology for small quantities
 - Cycle time from CAD data set to first part within 1 week



Incremental Sheet Forming

Technology Demonstrator Silver Bumblebee®

AutoBild Reportage 10/2020

REPORTAGE
WIR FORMEN DIE ZUKUNFT

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist mit 74 Standorten und 28 000 Mitarbeitern eine der größten Forschungsanstalten des Landes. In Chemnitz erfinden die Ingenieure den Automobilbau neu

SCHÜSTERN WIRD JA nachgesagt, sie tragen die schlechtesten Schuhe. Manchmal lässt sich das auch auf Diplom-Ingenieure übertragen. Sören Scheffler forscht am Fraunhofer-Institut in Chemnitz gerade am Auto der Zukunft. Und fährt was? „Einen zehn Jahre alten Verbrenner“, sagt Scheffler. Der müsse – trotz Batteriemobilität – auch noch etwas halten, zumindest bis moderne Brennstoffzellenantriebe breit verfügbar seien.

Scheffler ist einer von 670 Mitarbeitern des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik. Die großen Hallen hier in Chemnitz sind gewissermaßen die verlängerte Werkbank der Autohersteller. Wenn die ihre Produktion modernisieren wollen, lassen sie sich hier helfen. Beispiel: In Autofabriken stehen Roboter normalerweise aus Sicherheitsgründen in Käfigen. Hier in Chemnitz bringen die Forscher einem Roboter gerade bei, dass er einen menschlichen Kollegen erkennt – und ihn nicht mit seinem großen Greifarm aus Versehen umhaut. Das Ziel: Mensch und Maschine sollen zukünftig gemeinsam am Auto schrauben.

Schefflers größter Schatz steht allerdings im Keller: die „Silber-

A Mit diesem Dorn wird das Blech in die gewünschte Form geprescht

Vorlage für die „Silberhummel“ war ein Konstruktionsschwingen Mer Auto Union aus den 1940er-Jahren

Inger (50) zeigt die neueste Idee der Holzform, die ein Dorn formt

A Links die fertigen Kotflügel, rechts die Holzform, über die das Blech zuvor gelegt und dann mit dem Dorn bearbeitet wurde

Durch die neue Technik lohnt die industrielle Automobilproduktion bereits ab Stückzahl 100

Mithilfe der Dorn-Technik lassen sich etwa Türen oder Kotflügel für Oldtimer formen

62 ACTUALIA | 8. OKTOBER 2020



Links die fertigen Kotflügel, rechts die Holzform, über die das Blech zuvor gelegt und dann mit dem Dorn bearbeitet wurde

hummel“. Ein Fahrzeug, das auf den ersten Blick sehr historisch aussieht – aber ein Innovations-träger ist. „Wenn die Autobauer heute ein Blechteil formen wollen, benötigen Sie dafür Werkzeugformen“, sagt Scheffler. Die werden in tiefe Pressen eingespannt und bringen das Bauteil durch Druck in Form. Das Problem: Ein komplett eingearbeiteter Werkzeugsatz aus Guss kann locker 500 000 Euro und mehr kosten. Zu viel Geld, wenn man nur eine Kleinserie bauen möchte oder eine Ersatzmotorgehäuse für den geliebten Oldtimer benötigt.

Aus dem Holzblock die Form gefasst, die das Blech bekommen soll“, sagt Scheffler – siehe Foto oben. Dann wird ein gerades Blech darüber gespannt, das anschließend ein Dorn Stück für Stück zurechtbiegt, bis es die endgültige Form hat. „Das lohnt sich bei Stückzahlen von 1 bis 500“, sagt Scheffler. Es sei nicht nur preiswerter, sondern gehe auch schneller. „In einem Fall haben wir am Freitag >>

Durch die neue Technik lohnt die industrielle Automobilproduktion bereits ab Stückzahl 100



Als erstes Projekt formten die Chemnitz eine Straßenbahrschleppwand

63

ACTUALIA | 8. OKTOBER 2020



REPORTAGE

Demnächst soll die „Silberhummel“ einen Wasserstoffantrieb erhalten. Bis dahin heißt es: schieben

das Holz besorgt – und am Dienstag das Blechteil geformt.“ Zuerst entstand auf diese Weise das Seitenteil einer StraÙenbahn. „Aber das fand auf der Messe kaum Beachtung“, sagt Scheffler. Also schufen sie etwas Emotionaleres: einen Rennwagen der Auto Union aus den 1940er-Jahren, den es bislang nur auf Papier gab.

Heraus kam die „Silberhummel“. Vier Räder, Fahrwerk, Lenkrad, zwei Türen. Und vor allem: eine Karosserie, die ein simpler Dorn geformt hat.

In den kommenden Monaten wollen die Forscher ihrer „Silberhummel“ nun Flügel verleihen – in Form eines Brennstoffzellenantriebs. Diese auf Wasserstoff



Versuchspresse zum Umformen von Bipolarplatten für Brennstoffzellen



Mit solchen Pressen werden Autoteile normalerweise hergestellt

64

ACTUALIA | 8. OKTOBER 2020

FRAUNHOFER: DIE MP3-ERFINDER

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Stammsitz in München wurde 1949 gegründet. Ihre 28 000 Mitarbeiter betreiben „anwendungsorientierte Forschung“. Berühmteste Erfindung ist das MP3-Musikformat. Finanziert wird die Gesellschaft zu 30 Prozent vom Bund. Den Rest müssen die Forscher über Unternehmensaufträge oder öffentlich finanzierte Forschungsaufträge erwirtschaften.

basierende Technologie fristet bekommen. In Deutschland – nur knapp 100 Wasserstofftankstellen gibt es bundesweit. Und vor allem: ein Brennstoffzellenantrieb. Diese auf Wasserstoff

Im kommenden Jahr wollen wir die Silberhummel mit Brennstoffzellenantrieb fahren.“ Sören Scheffler, Diplomingenieur

JOSEPH VON FRAUNHOFER

Namensgeber der Forschungsgesellschaft ist Joseph von Fraunhofer. Er wird 1787 als elftes Kind eines Glasermeisters in Straubing (Bayern) geboren, lernt Spiegel-schleifer, bildet sich weiter – und baut später Fernrohre für Sternwarten (mit einem wird der Neptun entdeckt). 1822 ernannt ihn der Uni Erlangen zum Ehrendoktor. Und ein Jahr später, obwohl er keine akademische Ausbildung hat, wird Fraunhofer volles Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Er stirbt 1826 an Lungen Tuberkulose. Heute sind ein Mondkrater und ein Asteroid nach ihm benannt.



Sören Scheffler und Jens Unger (50) in der „Silberhummel“



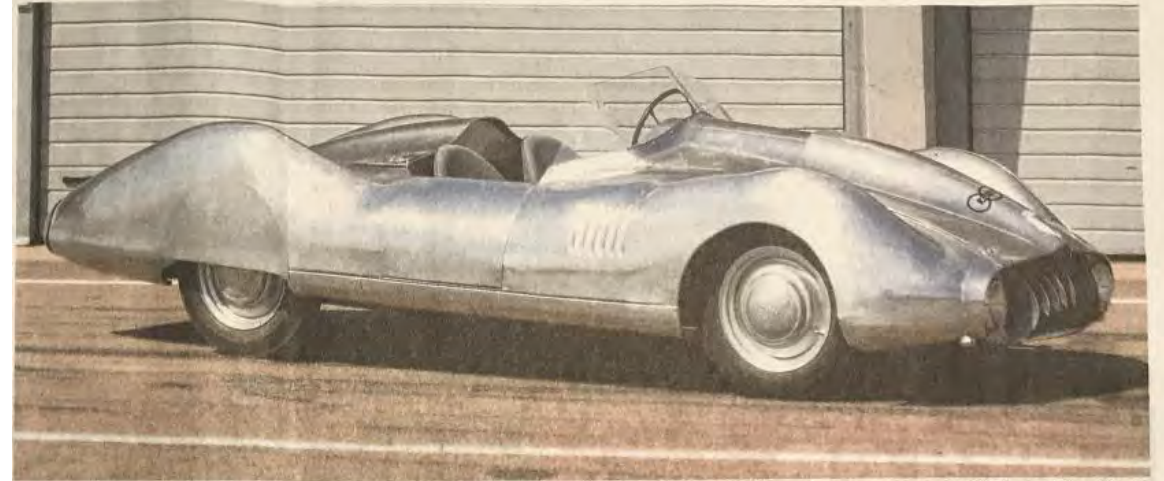
Incremental Sheet Forming

Technology Demonstrator Silver Bumblebee®

Vehicle Museum Chemnitz / Freie Presse



Der letzte Auto-Union-Sportwagen rollt.



Der von Frieder Bach gebaute DKW-F9-Sportwagen kurz nach seiner Fertigstellung beim Fototermin auf dem Sachsenring. Der zweiseitige Roadster wird von einem Dreizylinder-Zweitaktmotor mit 28 PS angetrieben.

FOTO: FRIEDER BACH



Frieder Bach mit der Kopie der Zeichnung aus dem Jahr 1940, die Grundlage für den Bau des DKW-F9-Sportwagens war.

FOTO: GEORG ULRICH DOSTMANN/ARCHIV



Frieder Bach vor seiner Garage, in der sein Sohn Thorsten und er das Auto montiert haben, am Lenkrad des Sportwagens.

FOTO: ANDREAS EICHLER

Incremental Sheet Forming

Technology Demonstrator Silver Bumblebee®



Inkrementelle Blechumformung Strategie für kleine und mittlere Stückzahlen

Ihr Ansprechpartner:
Dipl.-Ing. Dieter Weise
Telefon +49 371 5397-1218
Fax +49 371 5397-6-1218
dieter.weise@iwu.fraunhofer.de

Umformprozess des hinteren Kotflügels der „Silberhummel“



Incremental Sheet Forming

Economical production of prototypes and small series



05

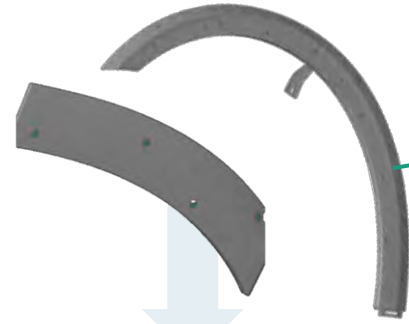
Example parts



Incremental Sheet Forming

Example parts – Wheel arch extensions Porsche Dakar

Reverse Engineering



Reverse Engineering

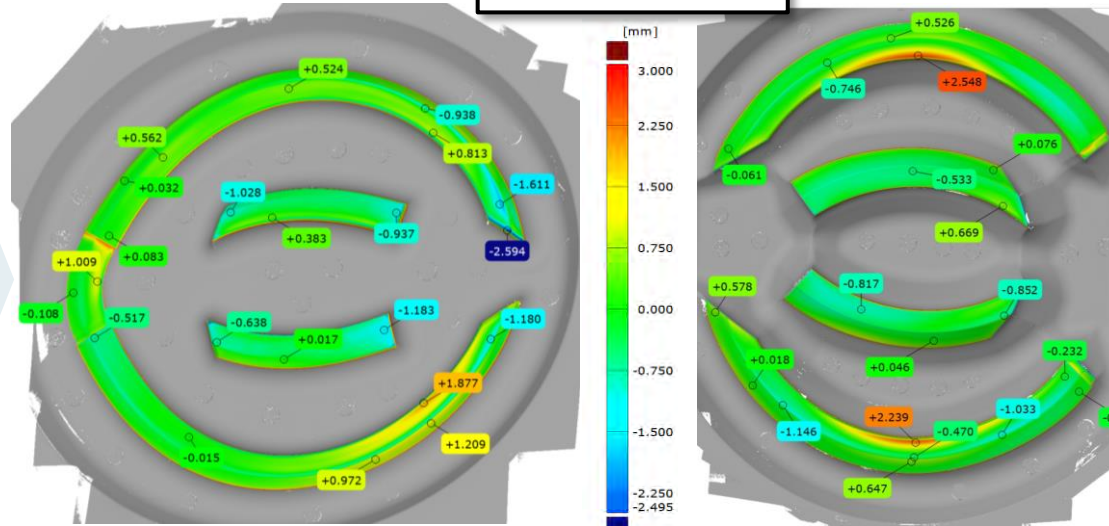


ISF-process



Complete set (left + right)

3D-Measurement



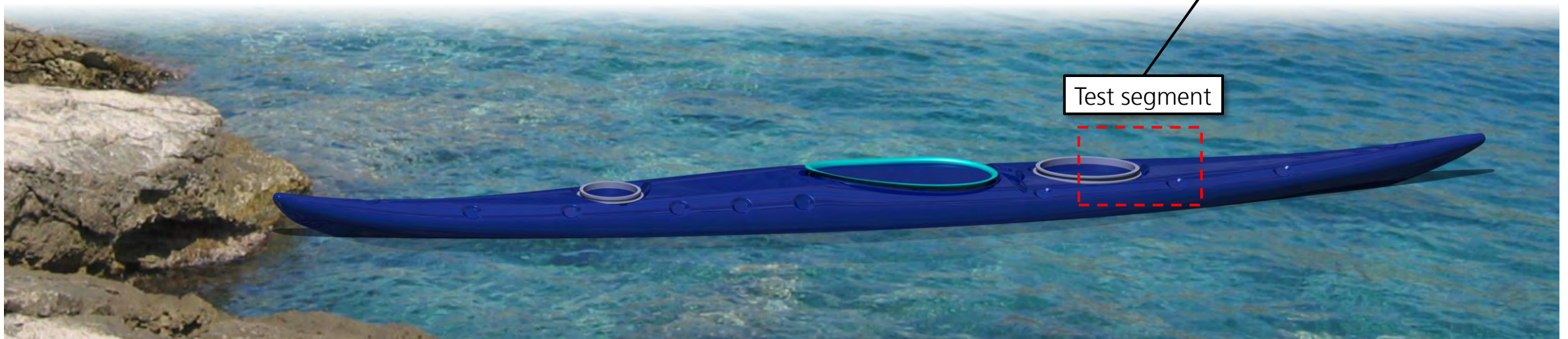
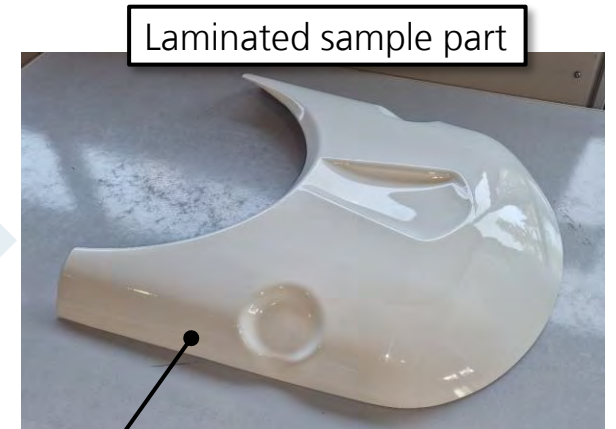
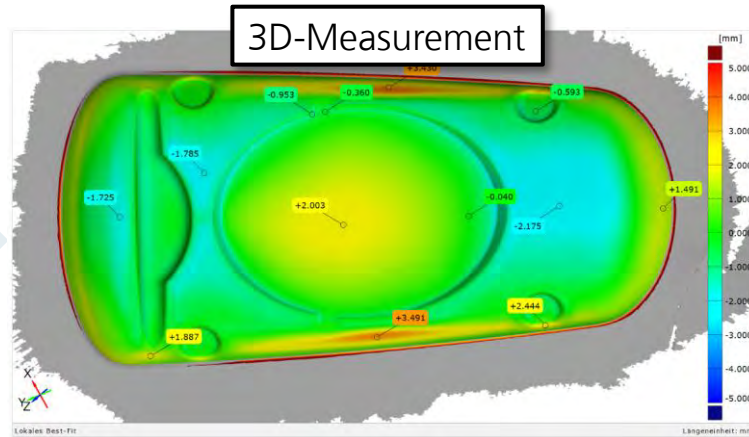
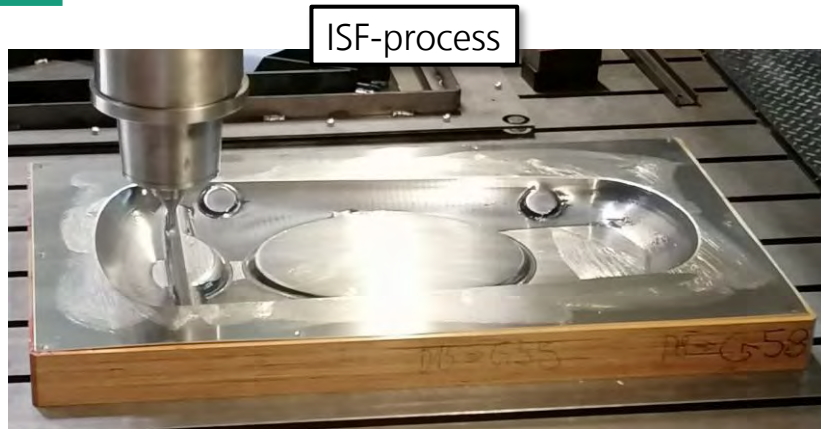
ISF-process



Complete set (left + right)

Incremental Sheet Forming

Example parts – Laminating mold for kayak segment



Incremental Sheet Forming

Example parts



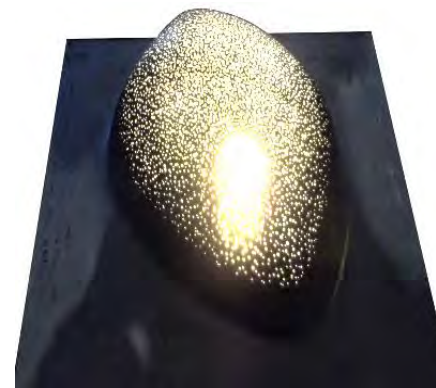
Swing

EN AW-6014, $t_0 = 1,2$ mm



Fraunhofer-Logo

CuZnB7 E30, $t_0 = 1$ mm



Lamp

DX56, $t_0 = 0,8$ mm



Star

Ti Grade 1, $t_0 = 0,6$ mm



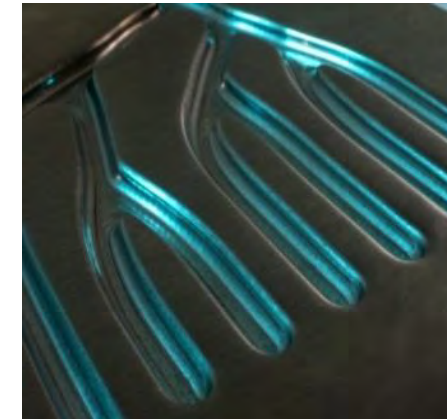
Stylized number

EN AW-5182, $t_0 = 1,2$ mm



Bead

DC04, $t_0 = 0,7$ mm

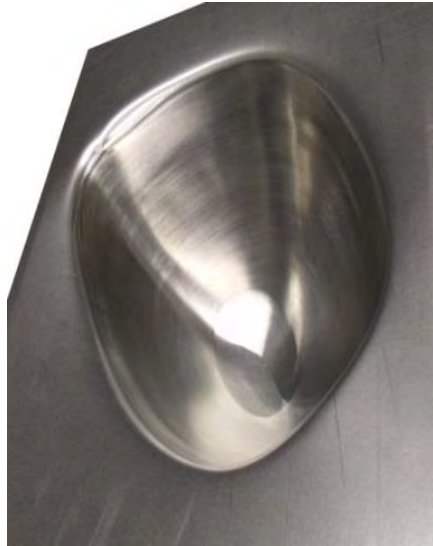


Canal structure

EN AW-5182, $t_0 = 1,0$ mm

Incremental Sheet Forming

Example parts



Shell

DX54, $t_0 = 0.6$ mm



Truncated pyramid

AZ31, $t_0 = 1.2$ mm



Heat exchanger

Copper, $t_0 = 0.3$ mm



Laminating form

EN AW-1050, $t_0 = 1,0$ mm

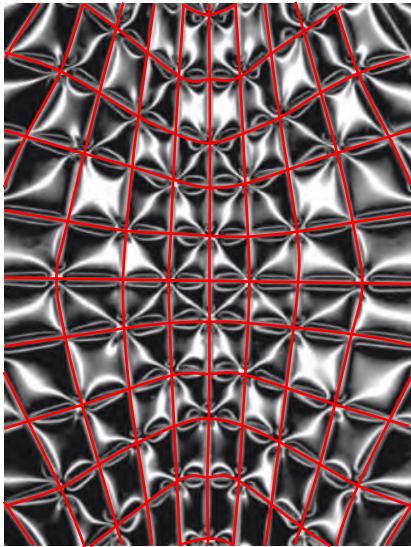


Beam

Litecore, $t_0 = 1.5$ mm

Incremental Sheet Forming

Example parts



Decorative Structure
EN AW-6014, $s_0 = 1,2$ mm



Speaker housing



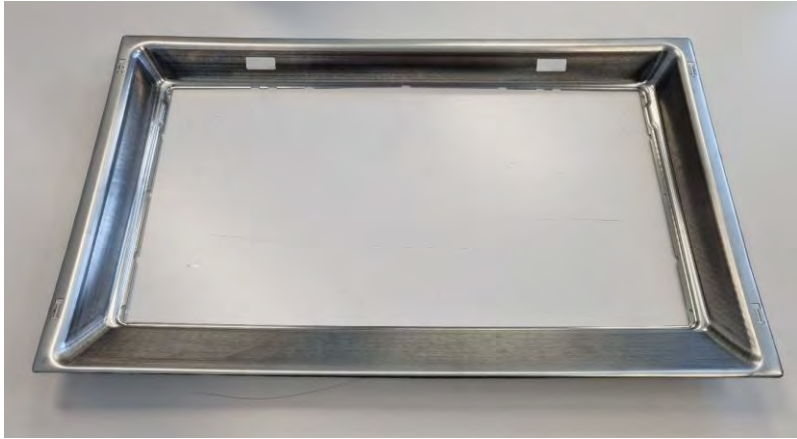
Chair
EN AW-6014, $s_0 = 1,0$ mm



Trophy
DX56, $s_0 = 0,8$ mm

Incremental Sheet Forming

Example parts



Frame cooker hood
DX54, $t_0 = 1,0$ mm



Company logo
DC06, $t_0 = 1,0$ mm



Beaded plate 2.500 mm x 1.500 mm
DC01, $t_0 = 1,5$ mm



Cooking chamber shell
DC03/04 ED, $t = 0,5$ mm



Cover flap
DC01, $t_0 = 3,0$ mm



Ventilation box
DC01, $t_0 = 1,0$ mm

Incremental Sheet Forming

Example parts



Advertising sign e-charging station
1.300 mm x 250 mm

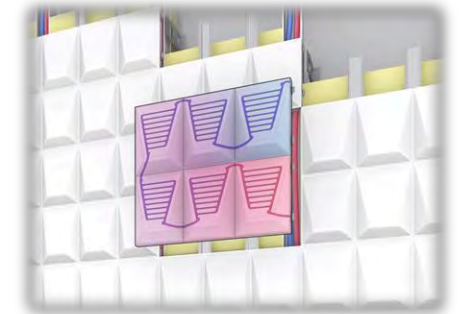
EN AW-1050, $t_0 = 1,0$ mm



**Freeform facade element with
solar thermal functionality**

500 mm x 400 mm (scaled)

DX54, $t_0 = 0,8$ mm



Contact

M. Sc. Peter Scholz
Forming Technology Division
Tel. +49 371 5397-1253
Fax +49 371 5397-6-1253
peter.scholz@iwu.fraunhofer.de

Dipl. Ing. Dieter Weise
Forming Technology Division
Tel. +49 371 5397-1218
Fax +49 371 5397-6-1218
dieter.weise@iwu.fraunhofer.de

Thank you for the attention!
