

htw saar

Hochschule für  
Technik und Wirtschaft  
des Saarlandes  
University of  
Applied Sciences



1989 – 2019

30 Jahre Forschung und Wissenstransfer  
an der htw saar

# Die Vereinbarkeit technologischer und ökonomischer Aspekte bei produzierenden Unternehmen

**Prof. Dr.-Ing. Jürgen Griebisch**

**Marco Busse, M.Eng.**

**Tobias Häfele, M.Eng.**

**Dominique Lehmon, M.Eng.**

**Pascal Paulus, M.Eng.**

**Matthias Wilbert, M.Eng.**

Fakultät für Ingenieurwissenschaften

## 1. Wettbewerbsfähigkeit in einem dynamischen Konkurrenzumfeld

Im Jahr 2017 erfolgte der Abschluss einer Studie zu mittelständischen Unternehmen<sup>1</sup>, und es wurde festgestellt, dass sich zukünftig niemand – eine angemessene Nutzung von Daten vorausgesetzt – herausreden kann, dass mögliche Zukunftsfelder des Unternehmens nicht erkannt werden, weil diese nicht direkt im eigenen Aufgabenbereich liegen<sup>2</sup>. Dabei halten Nadvornik et al.<sup>3</sup> fest, dass Unternehmen nur dann ertragsstark bleiben, wenn sie ihre heutige Position auch in Zukunft halten können. Wiederum stellen in der Vergangenheit erzielte Erfolge in einem dynamischen Wettbewerbsumfeld keinen Wert dar, weil zukünftige Erfolgspotenziale fortwährend bei sich ändernden Rahmenbedingungen angepasst und neu erarbeitet werden müssen. Diese Ausführung steht in enger Übereinstimmung mit Balassa<sup>4</sup>, der bereits im Jahr 1962 formulierte, dass die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens seine Fähigkeit ist, seine Produkte und Dienstleistungen verkaufen zu können („ability to sell“).

## 2. Der Stellenwert von „ability to sell“ im Labor „Industrielle Produktion“

Entsprechend widmen sich das Labor und die zugehörige Forschergruppe „Industrielle Produktion“ (abgekürzt: *Labor IP*) der htw saar dem Ziel, Fertigungsprozesse und Produktionssysteme so auszurichten und anzuwenden, dass diese in einem innovativen Wettbewerbsumfeld bestehen können.

Dabei müssen sowohl eine Abschätzung der technischen Machbarkeit als auch der wirtschaft-

lichen Rahmenbedingungen erfolgen, bevor neue Technologien angewandt werden. Gerade mit fortschreitender Digitalisierung oder Vernetzung von Prozessen (Stichwort: *Internet of Things* oder *IoT*) dürfen die Gesamtkosten von Bauteilen oder Systemen nicht als Summe sequentiell folgender Einzelprozesse, d. h. einzelner Fertigungsverfahren, betrachtet werden. Daher ist es auch der Kerngedanke der Forschergruppe, in Prozessketten zu denken. Dies macht eine iterative, d. h. schrittweise Vorgehensweise notwendig, welche wiederkehrend prüfen muss, ob nicht alternative Verfahrenskombinationen zum gleichen oder vielleicht sogar technologisch besseren Ergebnis führen – und insgesamt eine größere Kostenersparnis erreicht werden kann.

Stellvertretend hierfür stehen die nachfolgend dargestellten Ergebnisse wissenschaftlicher Arbeiten des Labors IP unter dem Aspekt „ability to sell“ – beginnend ab einem grundlegenden Verständnis von Einzelprozessen, deren Wechselwirkung untereinander sowie auf diese Weise hergestellten Bauteilen und Produktionssystemen. Ihnen allen gemeinsam ist die Anwendung des Strahlwerkzeugs „Laser“<sup>A</sup>, da dieses aufgrund seiner hohen Flexibilität sich bestens eignet für digitalisierte Anwendungen und deswegen im Labor IP mit insgesamt sechs Systemen vertreten ist.

## 3. Der Laserstrahl – ein universelles Werkzeug im Umfeld von IoT

Vorrangig kommen im Labor mit Metallen und Kunststoffen Materialtypen im festen Aggregatzustand zum Einsatz. Die mit diesen Materialien wechselwirkenden Laserstrahlen werden entweder reflektiert, absorbiert oder transmittiert,

<sup>A</sup> Die im Labor IP eingesetzten Laserstrahlquellen emittieren Laserlicht im Bereich zwischen  $\lambda=530\text{nm}$  (grün) bis in den nicht sichtbaren IR-Bereich bei  $1031\text{nm} \leq \lambda \leq 1064\text{nm}$ .

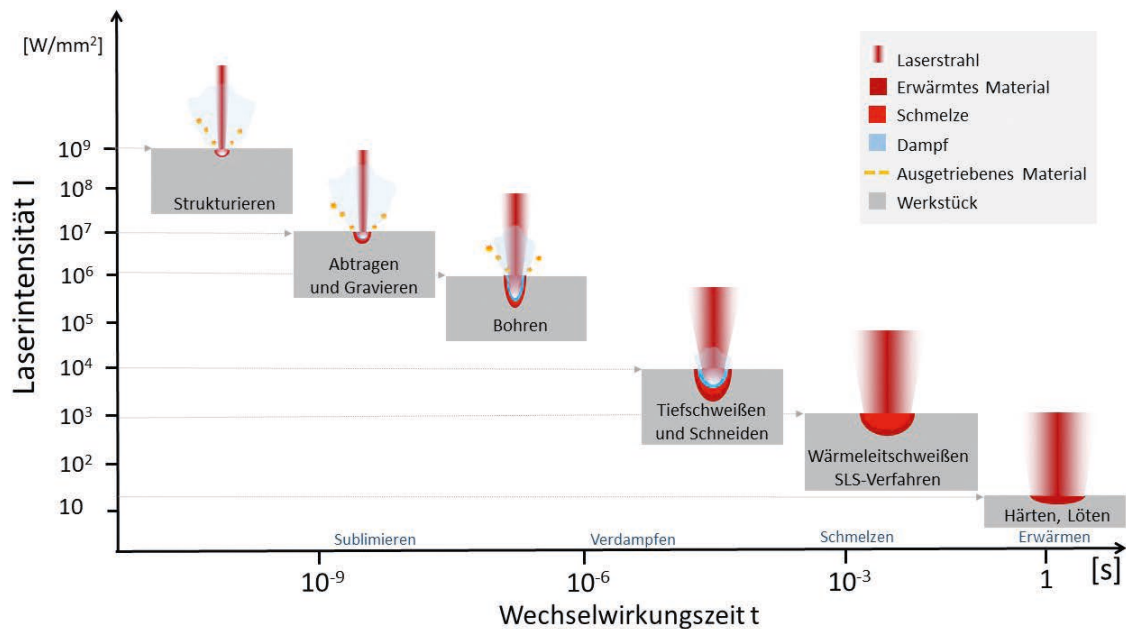


Abb. 1: Darstellung der Vielfalt von Laseranwendungen in Abhängigkeit der Leistungsdichte (Intensität  $I=P/A$ ) sowie der Wechselwirkungszeit des Strahls auf das Werkstück. Kommen bei Intensitäten bis  $I=10^9\text{W/mm}^2$  cw-betriebene Laser zum Einsatz, werden ab diesen Werten (hier z. B. beim Bohren) gepulste Systeme eingesetzt, welche in der Lage sind, höhere Leistungsspitzen zu erreichen. (Quelle: eigene Darstellung)

so dass die Absorption beim Auftreffen eines Laserstrahls auf eine Werkstückoberfläche zu einer Kenngröße wird, welche entscheidend für die „Leistungsfähigkeit des Laserlichts“, d. h. dessen wirtschaftliche Nutzung, ist. Dabei hängt der absorbierte Anteil von einer großen Anzahl unterschiedlicher, beeinflussbarer Faktoren ab, von denen beispielhaft der Strahleinfallswinkel, die Laserwellenlänge, aber auch die Stoffeigenschaften des Werkstücks zu nennen sind. Bei fixer Wellenlänge resultiert die hohe Flexibilität dieses Werkzeugs maßgeblich aus der Variation von zwei Hauptparametern (siehe hierzu Abbildung 1):

- der Intensität oder Leistungsdichte,
- der Wechselwirkungs- oder Einwirkzeit des Laserstrahls auf das Werkstück.

#### 4. Die Notwendigkeit von Grundlagenuntersuchungen

Ausgangspunkt fundierter Betrachtungen der „ability to sell“ ist das vorgenannte Verständnis der phänomenologischen Zusammenhänge von Fertigungsverfahren, die bei der Herstellung von Produkten zum Einsatz kommen können. Daher beginnt die wissenschaftliche Arbeit im Labor IP im Regelfall auch mit Grundlagenversuchen zu diesen Fertigungsverfahren. Dies wird nachfolgend für Bearbeitungsprozesse in der Lasermaterialbearbeitung beschrieben – beispielhaft dargestellt für das selektive Lasersintern (SLS-Verfahren).

Dabei handelt es sich um ein additives Fertigungsverfahren (Additive Manufacturing, abgekürzt: AM), welches an der htw saar erstmalig unter Einsatz einer EOS P100-Anlage angewandt wurde<sup>5</sup>. Als Strahlquelle wird ein  $\text{CO}_2$ -Gaslaser mit einer mittleren Leistung von  $P=30\text{W}$  zum Aufschmelzen des Materials verwendet. Dieses Verfahren dient dem Zweck, Produkte für Kunden individualisiert ab Losgröße 1 herzustellen. BMW beispielsweise hat hierzu ein Pilotprojekt mit seiner Fahrzeugmarke „Mini“ gestartet<sup>6</sup>, obwohl die in der Automobilbranche kurzen Zykluszeiten typischerweise im Bereich von  $t_{\text{Zyklus}} < 60\text{s}$  in Verbindung mit einem sehr hohen Automatisierungsgrad heute noch nicht realisiert werden können.

Auch im Labor IP konnte die langjährig erarbeitete Kernkompetenz im Bereich von Fertigungsverfahren und teilweise bereits sensorisch gesteuerter Abläufe aufgrund der unterschiedlichen Zeitkonstanten beim Lasersintern nicht einfach übertragen werden. Zum besseren Verständnis der Phänomene und Wechselwirkungen wurden deswegen Grundlagenuntersuchungen durchgeführt. Eine Besonderheit des SLS-Verfahrens sind die längeren Laufzeiten von Prozessbeginn bis -ende, die ihre Ursache im schichtweisen Aufbau eines Produkts haben, indem lagenweise pulverförmiges Material aufgeschmolzen wird. Dabei wird die Bauteilgeometrie auf Grundlage von 3D-CAD-Daten schichtweise an die Maschine übermittelt, um mit einem Laserstrahl das Pulver aufzuschmelzen und zu verfestigen. Infolgedessen verfügen diese Bauteile über Material-

eigenschaften, welche ihren Einsatz sowohl im Prototypenbau als auch für Serienbauteile möglich machen.

Im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren ermöglicht AM eine direkte Bauteilfertigung, d. h. es müssen zuvor weder Werkzeuge noch Formen oder Hilfsmittel aufwändig hergestellt werden. Zusätzlich können durch den schichtweisen Aufbau hochkomplexe Geometrien erzeugt werden, die mit herkömmlichen Verfahren nicht oder nur mit sehr hohen Kosten darstellbar wären. Der Aufbau dieser Strukturen orientiert sich an bionischen Prinzipien (siehe Abbildung 2). Dabei können entlang ermittelter Lastpfade die Bauteile durch heterogen verteilte und auch heterogen aufgebaute, innere Strukturen verstärkt werden, ohne Material aus Gründen einer übertriebenen Sicherheit in Bereiche zu deponieren, welche nicht festigkeitsrelevant sind. Ergebnisse der Arbeit im Labor IP mit Gewichtsreduktionen im Bereich von über 70% werden auch durch Ergebnisse anderer Forschergruppen<sup>7</sup> bestätigt.

Ein Anwendungsbeispiel für den heterogenen Aufbau von Bauteilen als Ergebnis eines F&E-Projekts mit einem regionalen Unternehmen skizziert Abbildung 3. Es zeigt eine orthopädische Einlegesohle, die im Labor IP zuerst im CAD-Modell erzeugt, dann anlagengerecht aufbereitet und abschließend im SLS-Verfahren hergestellt wurde<sup>8</sup>.

### 5. Umgang mit fertigungsbedingten Wechselwirkungen und Abhängigkeiten

Es gibt nahezu immer eine Alternative, Bauteile mit anderen als den aktuell angewandten Fertigungsverfahren herzustellen. Sei es, dass ein einzelnes Verfahren durch ein anderes ersetzt wird oder aber, dass sich die gesamte Prozess-

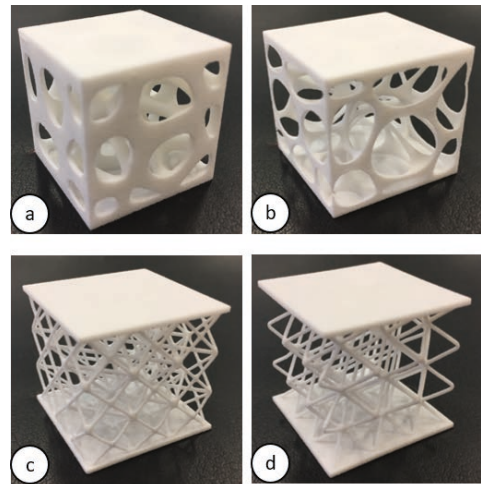


Abb. 2: Strukturbeispiele a) bis d) von Elementen in AM-Bauteilen, welche auf Grundlage bionischer Prinzipien aufgebaut werden<sup>8</sup>. (Quelle: Tobias Häfele, htw saar)

kette ändert, weil auch die vorlaufenden und nachfolgenden Prozesse geändert werden müssen. Fertigungsverfahren haben aber zur Konsequenz, dass die zeichnungsgerechte Ausführung zusätzlich noch von der Wahl des Vormaterials oder den Maschinen-, Prozess- und Bearbeitungsparametern beeinflusst wird, so dass insgesamt eine große Anzahl von Wechselwirkungen und Abhängigkeiten entsteht, welche gerne in einem Ishikawa- oder auch Ursache-Wirkungsdiagramm dargestellt werden<sup>9</sup>.

Der Gesamteinfluss der einzelnen Parameter mündet in die Betrachtung zur Robustheit eines Prozesses, d. h. dessen Anfälligkeit auf die Änderungen einzelner Faktoren. Grafisch äußert sich dies im Abstand, den ein Bearbeitungspunkt als Kombination zweier Prozessparameter von



Abb. 3: Schematische Darstellung der CAD-Zeichnung einer orthopädischen, d. h. individualisierten Einlegesohle (Mitte), aufgebaut auf Grundlage einer Pedobarografiemessung (links) und Umsetzung der CAD-Zeichnung als AM-Teil aus Kunststoff Polyamid PA128. (Quelle: Dominique Lehmon, htw saar)

den einzelnen Grenzen seines Prozessfensters einnimmt, d. h. dem Bereich, der zu Arbeitsergebnissen führt, die der Anwender geprüft und freigegeben hat. Mit Blick auf die Robustheit eines Prozesses beschreibt Abbildung 4 beispielhaft diesen Sachverhalt, indem vier Begrenzungslinien festgelegt werden<sup>1</sup>. Mit Abschluss dieser Festlegungen für den hier beispielhaft ausgewählten Fertigungsprozess „Laserschweißen I-Nahtstumpfstoß mit t=2mm Blechdicke“ kann das Prozessfenster aufgespannt werden.

### 6. Sensoren als Datensammler einer digitalisierten Produktion

Mit der Forderung nach Robustheit und dem Wissen um die möglichen Grenzen von Parameterfeldern werden zukünftige Produktionsabläufe auf den Einsatz einer Vielzahl von Sensoren (auch: Messwertaufnehmer) nicht mehr verzichten können. Sensoren sind die unverzichtbaren Datensammler in Zeiten von Big Data, indem sie zur Erfassung oder Messung physikalischer Größen dienen. Beispielsweise werden Größen wie Druck, Leuchtdichte oder Temperatur von einem Sensor erfasst und in ein analoges elektrisches Signal umgewandelt.

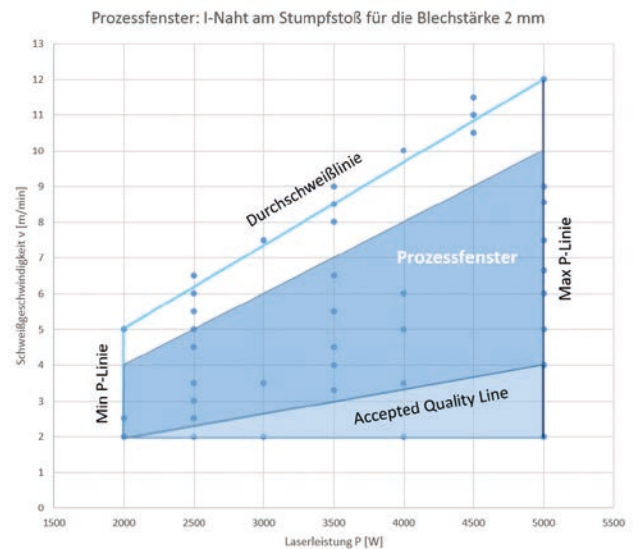


Abb. 4: Schematische Darstellung des Prozessfensters zur Kombination der Parameter Laserleistung P und Schweißgeschwindigkeit v für das Laserschweißen einer I-Naht-Stumpfstoßverbindung<sup>1</sup>. (Quelle: eigene Darstellung)

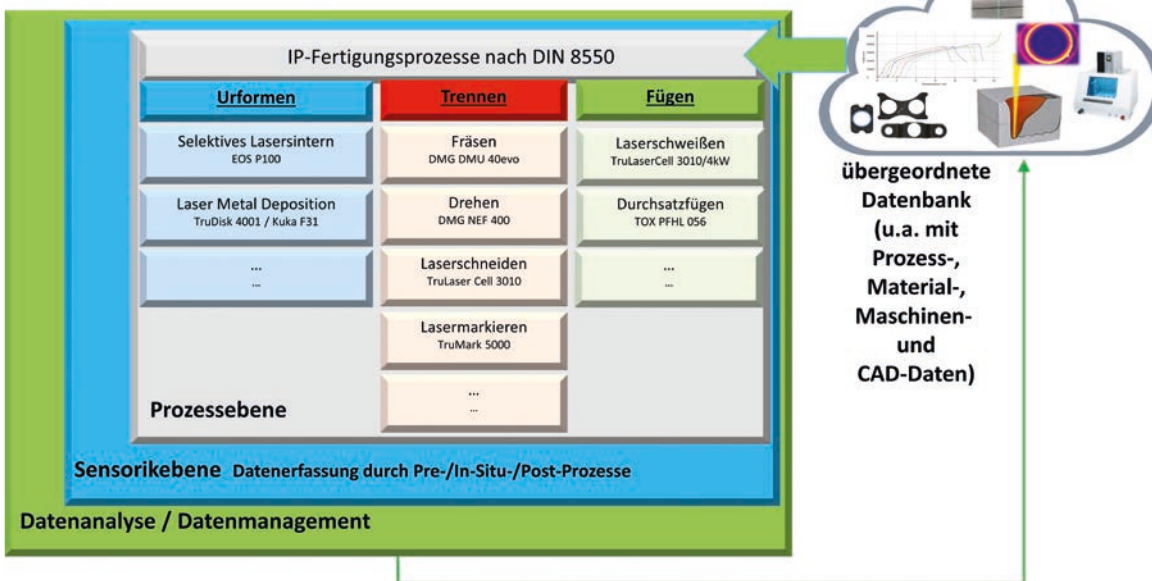


Abb. 5: Erweiterung der Prozessebene von Kernprozessen im Labor „Industrielle Produktion“ um die Aspekte von Big Data durch sensorbasierte Datenerfassung, -analyse und -auswertung. (Quelle: eigene Darstellung)

Gartner stellt als Ergebnis seiner Marktforschung dar<sup>10</sup>, dass sich „der Sensormarkt bis 2023 kontinuierlich weiterentwickeln wird. Neue Sensoren werden voraussichtlich in der Lage sein, eine größere Bandbreite an Situationen und Ereignissen zu erkennen, während aktuelle Sensoren im Preis sinken oder durch ein verändertes Packaging neue Anwendungen unterstützen“.

Vor diesem Hintergrund und dem auch in einem Forschungsschwerpunkt der htw saar formulierten Bestreben<sup>11</sup>, Prozesse robust, nachhaltig und effizient auszurichten, sind Sensoren im Labor IP seit Jahren bereits ein zentrales Element für die notwendige fortlaufende Überwachung relevanter Prozessparameter oder -signale.

Diese Zusammenhänge skizziert Abbildung 5 für die acht Kernprozesse aus den Bereichen Urformen, Trennen und Fügen, die im Labor IP Anwendung finden. Ihnen ist eine Ebene übergeordnet (Ebene blau=Sensorikebene), welche die Überwachung von Prozessen mittels Sensoren darstellt, die vor, während oder nach dem Bearbeitungsprozess zum Einsatz kommen. Eine dritte Ebene repräsentiert deren Übergabe in die Datenanalyse- und Managementebene (Ebene grün=Datenebene), wodurch drei maßgebliche Aspekte von automatisierten Fertigungsabläufen berücksichtigt werden können:

1. Ergebnismessung:
  - Erfassung des Arbeitsergebnisses – auch im Sinne einer Rückverfolgbarkeit
2. Robustheitsmessung:
  - Notwendigkeit der Nachregelung von Parametern
3. Vernetzungsmessung:
  - Speichern von Daten als Ausgangswerte für Folgeprozesse

Auf Grundlage dieser Überlegungen hat das Labor IP – beginnend im Jahr 2012 – bereits eine Vielzahl von Projekten durchgeführt, von denen an dieser Stelle auszugsweise nur Abschlussarbeiten von wissenschaftlichen Mitarbeitern des Labors genannt sein sollen:

- I. die automatisierte Sortierung, Vermessung und Ablage von Kurvenscheiben von Abgasrückführventilen (AGR) mittels digitaler Bildverarbeitung<sup>12, 13</sup> (siehe Abbildung 6);
- II. ein System zur Erfassung von Bauteilfehlern beim Durchsatzfügen<sup>14</sup> und



Abb. 6: Vollautomatisierte Mess- und Sortiereinheit für Kurvenscheiben (im Bild oben links dargestellt), wie diese in Abgasrückführventilen von Verbrennungsmotoren in Diesel-PKWs eingesetzt werden<sup>12, 13</sup>.

III. die Digitalisierung von Prozessketten in der Schuhindustrie<sup>8</sup>.

## 7. Substitution eines PKW-Strukturbauteils

Dieses Kapitel fasst die anwendungsorientierte Vorgehensweise im Labor IP zusammen, indem das Wissen um die wichtigen Einflussfaktoren von Fertigungsverfahren in der Produktion, deren Abgrenzung zu konkurrierenden Verfahren sowie die Konzepterstellung und Realisierung prototypischer Produktionsanlagen gezeigt wird. Am Beispiel der Anfrage eines Unternehmens aus der Automobilzulieferindustrie aus dem Jahr 2016 wird nachfolgend beschrieben, wie Bauteile mit optimierten Bauteileigenschaften entwickelt und letztendlich zu günstigeren Gesamtkosten hergestellt werden können.

Ausgangspunkt war das Versagen eines PKW-Strukturbauteils und die Forderung eines OEM-Premiumfahrzeugherstellers<sup>8</sup>, das bestehende Bauteil entweder zu optimieren oder dieses durch ein Neues zu ersetzen. Die Bereitschaft zum Ersatz spiegelt gleichzeitig auch die Dringlichkeit des Anliegens wider, weil Serienfreigaben von Bauteilen in der Automobilindustrie einem definierten, sehr langwierigen Prozess unterliegen, der im Wesentlichen entwickelt wurde, um Lieferungen

- in hinreichender Menge,
- mit hinreichender Qualität und
- in geforderter Termintreue der Lieferanten

sicherzustellen. Sicherheitskritische Teile werden dabei schon lange vor Serienanlauf bemustert, so dass dieser aufwändige Prozess während eines Produktlebenszyklus nicht wiederholt werden soll. Zwei Aspekte begründen aber eine Abkehr von dieser Vorgehensweise:

1. Bereits vorliegende Feldausfälle aufgrund unzureichender Bauteilqualität
2. Erhebliche Kosteneinsparungen während des verbleibenden Produktlebenszyklus

Im vorliegenden Fall handelte es sich um Fahrwerksbauteile, die korrosionsresistent und – bedingt durch Antriebs- und Fahreinflüsse – wegen der mehrachsigen Schwingungsbelastung auch dauerschwingfest ausgelegt sein müssen. Konventionelle Technologien erfüllten diese Kriterien nicht, weil Spaltkorrosion und Schwingungsbrüche aufgrund von thermisch induzierten Spannungsspitzen zum strukturellen Versagen des Verbundes führten. Deswegen wurde zu Beginn der 1990er Jahre auf Grundlage empirischer



Abb. 7: Vergrößerung eines M8-Gewindedurchzugs, bei dem die konzentrischen Ringe die Anzahl der einzelnen Arbeitsschritte (Stadien) repräsentieren.



Abb. 9: Napfgezogenes, umgeformtes Bauteil (links) und lasergeschweißtes Funktionsmuster zur Durchführung der Versuchsreihen (rechts).

<sup>8</sup> OEM: Original Equipment Manufacturer (hier: Hersteller von Kraftfahrzeugen)

Versuche das „Aufformen von Durchzügen“ entwickelt, welches bei Befestigungselementen die oben genannten Kriterien erfüllen konnte. Ergebnis war ein Verfahren, bei dem ein „Gewindedurchzug“ durch Umformen erzeugt wird<sup>15, 16</sup> (siehe hierzu auch Abbildung 7):

Ausgehend von einer flachen Blechplatte wird zuerst eine Blechhalbkugel tiefgezogen, so dass hinreichend viel Material im unmittelbaren Umfeld des auszuformenden Tubus deponiert werden kann. Durch stufenweises Vor- und Rückformen entsteht ein im Blech integriertes Element (siehe Abbildung 8), das einer Hülse oder einer Gewindemutter (siehe Abbildung 7) ähnlich ist<sup>17</sup>. Die Grenzen dieses Verfahrens treten auf, wenn die Fließfähigkeit des Materials beispielsweise bei härtesten Stählen verhindert, dass weder die Radien des Durchzugs noch die Grundform des Tubus vollständig ausgeformt sind. Außerdem treten Überlegfalten auf, welche bei einer Belastung des Gewindes die Gefahr des Setzverhaltens und damit auch das Versagen der gesamten Schraubverbindung vergrößern.

sollte. Mit einer Herstellung dieser Variante ergaben sich aber zwei Nachteile, welche zur Entscheidung geführt haben, das PKW-Strukturbauteil zukünftig lasergeschweißt herzustellen:

1. nahezu doppelte Herstellkosten aufgrund eines höheren Materialaufwands, eines zusätzlichen Arbeitsgangs sowie höherer Handlingskosten;
2. reduzierte Bauteilfestigkeit, weil die umformtechnisch bedingt oberflächennahe, festigkeitssteigernde Materialverdichtung zerspannend entfernt und der Gefügeverlauf im Bauteil unterbrochen wurde.

Die Entscheidung, zu wechseln, wurde auch getragen von der strategischen Ausrichtung des OEM, bei zukünftigen – auch elektromobilen – Fahrzeuggenerationen zunehmend höher- und höchstfeste Stähle einzusetzen.

Auf Grundlage früherer Arbeiten zum lasergeschweißten Durchzug<sup>18, 19, 20, 21, 22</sup> wurde eine Geometrie erarbeitet, welche bei höchsten

#### Simulationsergebnisse zur mehrstufigen Umformung (Gewindedurchzug)

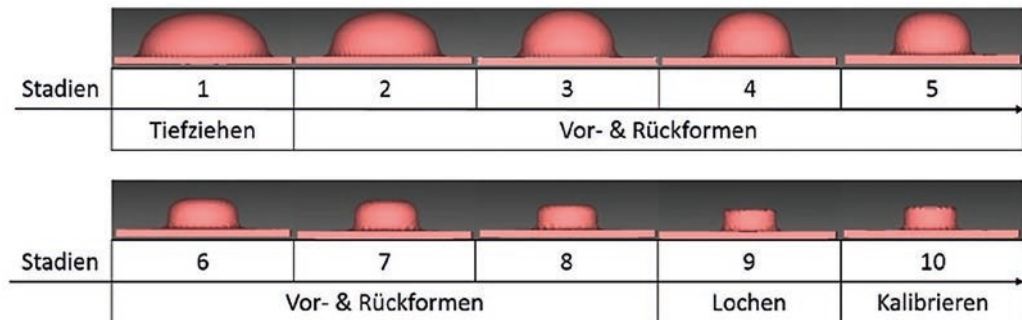


Abb. 8: Simulation der Stadien-gänge eines aufgeformten Gewindedurchzugs mit Simufact. Forming.  
(Quelle: eigene Darstellung)

Wegen des Bauteilversagens gem. Anfrage des OEM im Jahr 2016 wurde mittels einer FEM-Simulation auf Grundlage der verwendeten Parameter der Prozess der mehrstufigen Umformung mit der Simulationssoftware Simufact. Forming nachgebildet (Abbildung 8). Ziel dabei war, durch eine Verbesserung der Geometrie zu überprüfen, ob die vorgenannten Bauteilfehler<sup>18</sup> wie z. B. Überlegfalten ohne eine Veränderung des Werkstoffes vermieden werden konnten. Dies war aber nicht der Fall.

Daraufhin wurden Überlegungen zur Verbesserung des Bearbeitungsergebnisses angestellt, indem eine Kombination von massivem Umformen und hochgenauer Zerspanung als zusätzlicher Arbeitsgang zur Anwendung kommen

Festigkeiten minimale Herstellkosten gewährleisten sollte (siehe Abbildung 9). Entsprechende Vorversuche und zerstörende Bauteilprüfungen – sowohl an der htw saar als auch bei den Projektpartnern – wiesen deutlich bessere Ergebnisse für die lasergeschweißte Lösung auf. Im Vergleich zur konventionellen Lösung konnten sowohl gleichmäßigere Ergebnisse bei der Zugprüfung des Bauteils als auch eine Steigerung der Ausreißkräfte um bis zu 50% erreicht werden. An diese ersten Versuche anschließende Prüfungen in dynamischen Fahr- und Crashesituationen des OEM bestätigten diese Ergebnisse, so dass abschließend ein Vergleich der Bauteilkosten durchgeführt wurde, um nachweislich darzustellen, dass auch hier im Falle eines Einsatzes härtester Stähle erhebliche Vorteile auftreten.

Nach der technologischen Absicherung des Laserschweißverfahrens mittels zerstörender Prüfverfahren wurden aufgrund der kleinen Bauteilgröße (Länge: 80mm; Breite 34mm; Höhe 15mm) Überlegungen hinsichtlich möglicher Kosteneinsparungen im Rahmen eines neuen Anlagenkonzepts erstellt. Durch eine Abkehr von teuren Portallösungen mit angetriebenen x- und y-Achsen oder eines Industrieroboters mit Scannerlösung wurde untersucht, inwiefern die Umsetzung der Fertigungsaufgabe durch den Einsatz einer einfachen, d. h. kostengünstigen Bearbeitungsstation möglich ist. Es zeigte sich, dass für Bauteile mit Außenmaßen in vorgenannter Größenordnung die Bauteilpositionierung in x- und y-Richtung erfolgen kann, indem Werkstückträger vom durchlaufenden Förderband ausgehoben und indexiert, d. h. in Schweißposition fixiert werden. Die notwendige Bewegung des Laserstrahls in x- und y-Richtung übernimmt ein Laserscanner mit einem Bearbeitungsfeld von ungefähr 110mm\*110mm. Ein möglicherweise notwendiger Höhenausgleich für Korrekturmaßnahmen bzw. bei der Verwendung anderer Bauteile wird mit einer angetriebenen Z-Achse realisiert. Abbildung 10 zeigt das erste Funktionsmuster mit den Öffnungen für das Transportband. Abbildung 11 stellt schematisch das Konzept der gesamten Prozesskette mit den einzelnen Bearbeitungs-, Prüf- und Handlungstationen dar. Im Sinne eines voll integrierten Sensorkonzeptes mit selbstjustierenden und selbstregulierenden Bearbeitungsstrategien konnte im Jahr 2019 mit den Vorarbeiten für ein wissenschaftliches Forschungsprojekt bereits begonnen werden.

Basierend auf dem zuvor beschriebenen Anlagenkonzept wurde ein Kostenvergleich zwischen dem lasergeschweißten sowie dem aufgeförmten/zerspannten Durchzug durchgeführt. Dabei ergab sich ein erheblicher Kostenvorteil zugunsten der Laserschweißlösung, weil einerseits der günstigere Maschinenstundensatz der Anlage im Vergleich zu einer Lösung mit angetriebenen X-/Y-Achsen und andererseits das integrierte Gesamtkonzept mit reduzierten Handlings- und Prüfkosten klare Vorteile aufwies. Insgesamt resultierte aus der vollautomatisierten Prozessfolge ein Kostenvorteil in Höhe von über 20%. Dadurch wies die lasergeschweißte Lösung nicht nur bessere Bauteileigenschaften auf, sondern konnte sogar betriebswirtschaftlich überzeugen – der „ability to sell“ war auf diese Weise vollumfänglich Rechnung getragen worden.



Abb. 10: Bild des Funktionsmusters der einfachen Bearbeitungsstation mit beleuchteter Öffnung für das durchlaufende Transportband (hier ohne Schleusen und Sicht auf die innenliegende Laserstrahlquelle).  
(Quelle: Jürgen Griebisch)

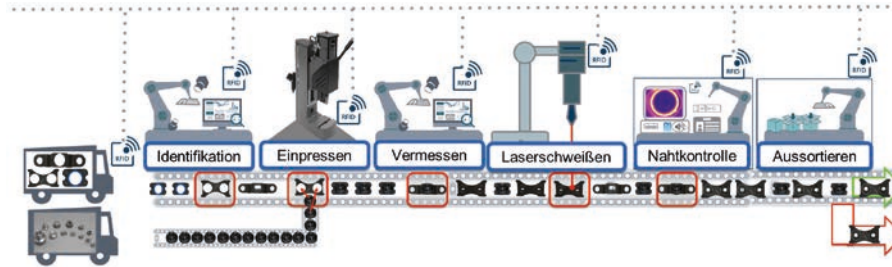


Abb. 11: Schematische Darstellung der konzipierten Produktionsanlage zur automatisierten Herstellung lasergeschweißter Durchzüge mit multisensorischer Ausstattung zur Erfassung der Bearbeitungsparameter und -ergebnisse sowie dem jeweiligen Fertigungsstatus.  
(Quelle: eigene Darstellung)

Durchzug	aufgeförm	lasergeschweiß
<i>Verfahrensfolgen (nur Kernprozesse)</i>		
1. Arbeitsgang	Umformen/Folgeverbund	Stanzan Rohling (Blech)
2. Arbeitsgang	Zerspanen (Fräsen)	Waschen
3. Arbeitsgang	Waschen	Laserschweißanlage
4. Arbeitsgang	Prüfen und Markieren	Versand
5. Arbeitsgang	Versand	
Taktzeit [in Sekunden]	8	4
Jahresstückzahl (angefragt)	3 Mio. Teile	
<b>Teilepreis</b> u. a. inkl. Material, Zukaufteile, Lohn- und Maschinenkosten inkl. Schrottrückvergütung, Gemeinkosten, Werkzeug- und Vorrichtungskostenumlage (ohne Versand und Verpackung)	0,647€/Teil	0,514€/Teil

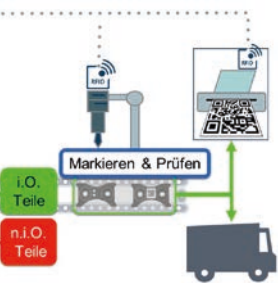


## 8. Zusammenfassung und Ausblick

Die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens misst sich daran, inwiefern es seine Produkte erfolgreich am Markt platzieren kann. Dass dabei nicht immer der Preis ausschlaggebend sein muss, haben die Untersuchungen im Labor IP gezeigt. Entscheidungsrelevante Alleinstellungsmerkmale technischer Art können beispielsweise Eigenschaften wie höhere Festigkeitswerte oder geringere Korrosionsanfälligkeit sein, die Konkurrenzprodukte nicht haben. Aber auch die Möglichkeit der Individualisierung von Produkten, d. h. die Herstellung mit Losgröße 1, wird zukünftig eine immer wichtigere Rolle spielen. In diesem Zusammenhang kommen neue Verfahren wie die additive Fertigung Zug um Zug zum Einsatz. Prozessketten werden deswegen vielfältiger ausfallen, und sie müssen flexibel konfigurierbar sein, um

unterschiedliche Vormaterialien abschließend einzigartig zu machen.

Den damit einhergehenden, vielfältigen Fragestellungen widmen sich das Labor „Industrielle Produktion“ und die dort arbeitenden Forscherinnen und Forscher seit nahezu 8 Jahren. Beginnend mit grundlegenden Arbeiten zu einzelnen Fertigungsverfahren und dem Wissen um deren technologisch, ökonomisch und ökologisch sinnvolle Kombination, wird zukünftig aus Sicht der industriellen Produktion die Durchgängigkeit von Datenformaten und Prozessdaten ein wichtiger Faktor sein. Hybride Produkte und Produktionssysteme, welche ausgerichtet sind, Hard- und Software mit Geschäftsmodellen wie zum Beispiel Smart Services zu kombinieren, stellen zukünftig eine zwingende Voraussetzung für die internationale Wettbewerbsfähigkeit, d. h. die „ability to sell“, dar.



### Literatur

- 1 JUNKER, A.; GRIEBSCH, J.: „Unternehmensnachfolge und Unternehmenswertsteigerung – Konzepte für den Mittelstand“; in: Springer Gabler, 2017; ISBN: 978-3-658-16429-4
- 2 GRIEBSCH, J.: „Konfliktfeld oder friedliche Koexistenz – KMU-Vertrauenskultur und Big Data“; in: sichtbar-Hochschulmagazin der htw saar; Ausgabe 1/2017; ISSN 2509-4645; Seiten 63-65
- 3 NADVORNIK, W.; SYLLE, F.: „Bewertung ertragsschwacher Unternehmen“; in: Handbuch Unternehmensbewertung, Herausgeber: Petersen und Zwirner; 2. Auflage, Oktober 2017; Seite 1273ff.
- 4 BALASSA, B.: „Recent developments in the competitiveness of American industry and prospects for the future“; in: Factors affecting the United States balance of payments; Herausgeber: 87. U.S. Congress, Session 2, Joint Economic Committee; Washington D.C.
- 5 HÄFELE, T.: „Optimierung lasergesinterter Bauteile durch Analyse der herstellungsbezogenen Parameter unter Anwendung der verfahrensbedingten konstruktiven Möglichkeiten“; Abschlussarbeit (Bachelor) im Studiengang Maschinenbau, htw saar, Betreuer: J. Griebisch; Saarbrücken, März 2013
- 6 KÄFER, S.: „3D-Kunststoffdruck - Losgröße 1 durch Additive Fertigung bei BMW“; in: Maschinenmarkt, Ausgabe: 17.06.19; Vogel-Verlag <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/losgroesse-1-durch-additive-fertigung-bei-bmw-a-838488/>
- 7 MÖLLER, S.; QUITTER, D.: „Bionische Bauteilverstärkungen additiv fertigen“; In: Konstruktionspraxis; Ausgabe 05.10.17; Vogel Communications Group; 2017
- 8 LEHMON, D. M.: „Conceptual approach to digitalizing the value chain in the footwear industry by use of additive manufacturing technologies“; internationale Abschlussarbeit (engl. Masterthesis) im Studiengang Engineering und Management, htw saar, Betreuer: J. Griebisch; Saarbrücken, September 2018
- 9 von LAER, H.: „Grundlagen qualitätsorientierten Handels“; in: Deutsche Gesellschaft für Qualität, DGQ; Konferenzbeitrag zum 60. Geburtstag, Dezember 2012
- 10 BREMMER, M.: „Das sind die 10 wichtigsten IoT-Trends bis 2023“; In: Computerwoche digital; Ausgabe vom 27.11.2018
- 11 Forschungsschwerpunkte der htw saar: <https://www.htwsaar.de/forschung/profil/schwerpunkte>
- 12 BUSSE, M.: „Auslegung und Erstellung einer Automatisierungsanlage mit einer hochgenauen Bauteilüberprüfung“; Abschlussarbeit (Masterthesis) im Studiengang Engineering und Management, htw saar, Betreuer: J. Griebisch; Saarbrücken, März 2013
- 13 GRIEBSCH, J.; BUSSE, M.; HÄFELE, T.: „Auch kleine Schritte führen zum Erfolg“; in: sichtbar-Hochschulmagazin der htw saar; Ausgabe 1/2016; ISSN 2509-4645; Seiten 18-20
- 14 WILBERT, M.: „Entwicklung einer Sensorik zur Detektierung von Halsrissen bei Clinchverbindungen“; Abschlussarbeit (Masterthesis) im Studiengang Engineering und Management, htw saar, Betreuer: J. Griebisch, Saarbrücken, September 2014
- 15 KAUTH, F.: „Befestigungselement, das ein Blechteil mit Gewindedurchzug umfasst“; Patent DE4437177B4, Deutsches Patent- und Markenamt, München, April 1996
- 16 GRIESEMER, A.: „Verfahren zur Herstellung von Durchzügen an Blechteilen“; Patent EP0379649B, Deutsches Patent- und Markenamt, München, August 1993
- 17 FANG, X. et al.: „Gewichtsoptimierung mehrstufig umgeformter Bauteile“; Lightweight Design 5, 6 (2012), ISSN: 1865-4819, Seiten 39-44
- 18 GRIEBSCH, J.; CALLES, W.; BUSSE, M.; WILBERT, M.; FISCHER, S.; WIEDEN, H.; BONK, U.; LÖFFLER, K.: „Laserschweißen hochdynamischer belasteter Befestigungspunkte im PKW-Rohbau“; in: Festschrift 25 Jahre 1989-2014; ISBN 978-3-00-050489-1; August 2015; Seiten 138-141
- 19 DAUSINGER, F.; GRIEBSCH, J.; HACK, R.: „Verfahren zur Bestimmung der momentanen und Herbeiführung einer gewünschten Eindringtiefe eines Bearbeitungsstrahls in ein Werkstück sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens“; in: Patent DE000019522493A1, Dt. Marken- und Patentamt, München
- 20 MAYR, E.; GRIEBSCH, J.: „Verfahren zum thermischen Fügen von zwei Bauteilen zu einem Element sowie Bauelemente hergestellt nach diesem Verfahren“; in: Patent DE000019949905A1
- 21 STUMM, C.; BUSSE, M.; LEINENBACH, F.; WILBERT, M.; BECKER, P.; FAUPEL, B.; GRIEBSCH, J.: „Steigerung der Prozessstabilität bei der Lasermaterialbearbeitung mittels Multisensorüberwachung zur Implementierung einer Echtzeit-Regelung“, DVS Congress 2012, Saarbrücken, 17.09. – 18.09.2012
- 22 LÖFFLER, K.: Automotive Photonics, Konferenz zu Anwendungen und Trends in der Automobilindustrie, Trumpf Ditzingen, 27.01.2015