

STUDIE

WERTSCHÖPFUNGS- POTENZIALE IM LEICHTBAU

UND DEREN BEDEUTUNG FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG

Weniger ist mehr.





WERTSCHÖPFUNGS- POTENZIALE IM LEICHTBAU

UND DEREN BEDEUTUNG FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG

Eine Studie im Auftrag der Leichtbau BW GmbH
Koordination Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI



Leichtbau BW GmbH



Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI



Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA



Fraunhofer-Institut für Chemische Technologien ICT



Karlsruher Institut für Technologie



Karlsruhe Institut für Technologie – wbk Institut für Produktionstechnik



INHALT

KAPITEL 1	EINLEITUNG UND HINTERGRÜNDE	06
KAPITEL 2	STUDIENAUFBAU UND VORGEHEN	07
KAPITEL 3	AKTUELLER STAND ZUR VERBREITUNG VON LEICHTBAU IM VERARBEITENDEN GEWERBE	09
	3.1 Der Einsatz von Leichtbautechniken in Deutschland	09
	3.2 Der Einsatz von Leichtbautechniken in Baden-Württemberg	10
	3.3 Fazit zur Verbreitung von Leichtbautechniken in der Industrie	12
KAPITEL 4	WERTSCHÖPFUNGSSTRUKTUREN UND PROZESSKETTEN IM LEICHTBAU	13
	4.1 Übersicht der Wertschöpfungsstrukturen im Leichtbau	13
	4.2 Betriebliche Motive und Hemmnisse beim Leichtbau	14
	4.3 Akteure in Baden-Württemberg im Kunststoff-Leichtbau	16
	4.4 Wertschöpfungspotenziale beim RTM-Verfahren	17
	4.5 Wertschöpfungspotenziale beim SMC-Verfahren	21
	4.6 Akteure in Baden-Württemberg im Metall-Leichtbau	24
	4.7 Wertschöpfungspotenziale im Metall-Leichtbau	25
KAPITEL 5	AKTUELLER STAND ZUR VERBREITUNG VON LEICHTBAU IM VERARBEITENDEN GEWERBE	28
	5.1 Kostenmodelle für den Leichtbau: Grundlagen	28
	5.2 Vorgehen und Methodik zur Berechnung der Kostenstrukturen	28
	5.3 Kostenstrukturen für den Kunststoff-Leichtbau im RTM-Verfahren, aufgestellt durch das wbk Institut für Produktionstechnik	29
	5.4 Kostenstrukturen für den Kunststoff-Leichtbau im SMC-Verfahren, aufgestellt durch das Fraunhofer ICT	36
	5.5 Kostenstrukturen für den Metall-Leichtbau beim Tiefziehen, aufgestellt durch das Fraunhofer IPA	40
KAPITEL 6	ZUSAMMENFASSUNG	45
KAPITEL 7	ANHANG	48
	7.1 Eingangsdaten des Kostenmodells beim RTM-Verfahren	48
	7.2 Eingangsdaten des Kostenmodells beim SMC-Verfahren	50
	7.3 Eingangsdaten des Kostenmodells beim Tiefziehen	52
KAPITEL 8	LITERATUR	54
KAPITEL 9	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	54
NOTIZEN		56
IMPRESSUM		59



VORWORT

Leichtbau ist ein Leitthema der Zukunft. Die Entwicklung und Anwendung dieser Schlüsseltechnologie sichert die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen sowie den Erhalt von Arbeitsplätzen im Land. Denn neue Methoden, Prozesse und Werkstoffe des Leichtbaus wie etwa durchgängige Simulation oder eine erhöhte Produktperformance schaffen mehrwertige Produkte mit hohem Kundennutzen.

Baden-Württemberg ist im Leichtbau bereits gut aufgestellt. In kaum einer anderen Region Europas ist das Zusammenspiel aus Forschung und Industrie über die gesamte Wertschöpfungskette so eng wie im Südwesten Deutschlands. Die Kompetenzen der Unternehmen und Institute im Land reichen von der Produktionstechnik und Automatisierung über Computer Aided Engineering/Simulation sowie Faserverbund- oder Metall-Leichtbau bis hin zur Kunststofftechnologie.

Die vorliegende Studie soll gerade kleinen und mittleren Unternehmen den Einstieg in die neue Technologie erleichtern, indem sie die Leichtbau-Wertschöpfungskette im Land für ausgewählte Technologien analysiert und darstellt. Das Ergebnis ist ein einfaches und kostenfreies Werkzeug, das es Unternehmen ermöglicht, für ihre eigenen Wertschöpfungsschritte – von den Rohstoffen bis zum Endprodukt – die technischen und wirtschaftlichen Potenziale und Hemmnisse für die Zukunft konkret einzuschätzen.

Die Studie zeigt auch auf, wie die baden-württembergischen Hersteller und Ausrüster in den einzelnen Wertschöpfungsstufen und Prozessschritten aufgestellt sind und wo die größten Potentiale in kommerzieller Hinsicht liegen. Aus den Ergebnissen der Studie können Industrie sowie Forschung konkrete Handlungsmöglichkeiten für ihren Einstieg in die Zukunftstechnologie Leichtbau ableiten.



Theresia Bauer

THERESIA BAUER MDL

Ministerin für Wissenschaft, Forschung
und Kunst des Landes Baden-Württemberg



Nils Schmid

DR. NILS SCHMID MDL

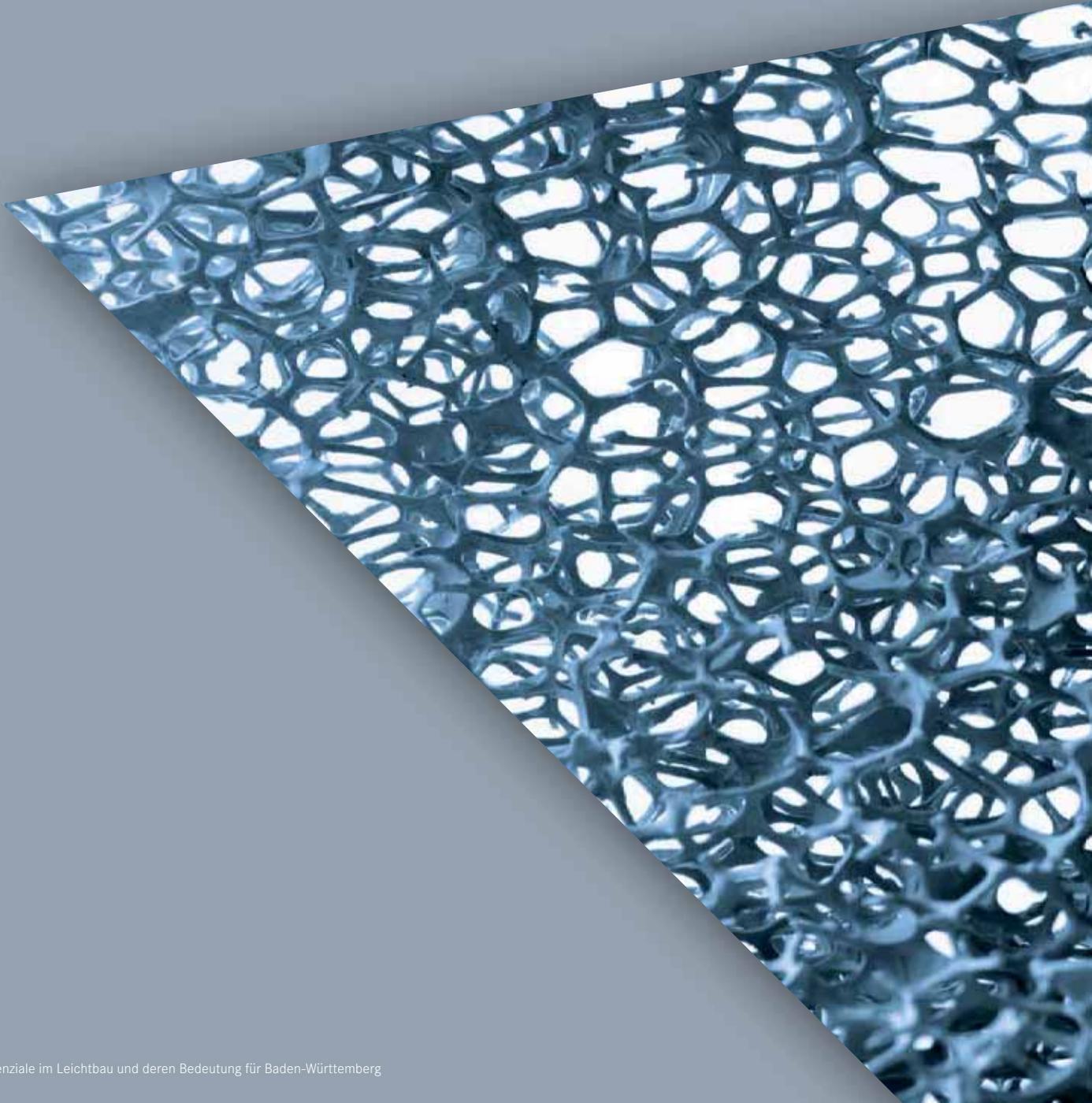
Minister für Finanzen und Wirtschaft
des Landes Baden-Württemberg



Wolfgang Seeliger

DR. WOLFGANG SEELIGER

Geschäftsführer der
Leichtbau BW GmbH





KAPITEL 1

EINLEITUNG UND HINTERGRÜNDE

Mit dem Leichtbau werden große Hoffnungen verbunden. Leichtbau beschreibt eine bestimmte Konstruktionsphilosophie, die mit dem grundsätzlichen Ziel von Gewichtseinsparungen weitere Vorteile wie bspw. Funktionsverbesserungen durch Funktionsintegration und neue Möglichkeiten des Designs mit sich bringt. Unter Berücksichtigung technologischer, ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte wird mit dem Leichtbau das Ziel verfolgt, die Effizienz des betrachteten Gesamtsystems zu erhöhen.

LEICHTBAU – MEHR ALS REINE GEWICHTSREDUKTION

Das grundsätzliche Ziel von Gewichtseinsparungen wird durch den Einsatz von Leichtbauwerkstoffen wie beispielsweise kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) oder glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK), aber auch durch höherfeste Stähle und Aluminium erreicht. Durch die Integration mehrerer Bauteilfunktionen in ein Bauteil ist darüber hinaus auch ein hoher Grad an Funktionsintegration realisierbar. Dies führt zu einer Reduzierung der Montage- und Fügeschritte sowie zu einer Vereinfachung der Fertigungslogistik. Sowohl die Gewichtsreduktion als auch die Funktionsintegration ermöglichen eine Reduktion der Baugruppen- bzw. Bauteilkosten.

Leichtbaustrategien können darüber hinaus dazu führen, dass die Dynamik und Steifigkeit von Komponenten bzw. Systemen verbessert werden. Dies bietet wiederum einen Funktionsmehrwert, der zu einer höheren Wirtschaftlichkeit führen kann.

Für die Industrie bedeutet die Leichtbauweise somit nicht nur eine Gewichtseinsparung, sondern auch die Realisierung von neuen Anwendungen sowie von neuen Eigenschaften von Systemen. Dies führt letztlich zu Kostensenkungen beim eigenen Produkt oder der Herstellung völlig neuer Produkte. Mithilfe von Leichtbau sind Unternehmen folglich in der Lage, ihre Wettbewerbsposition zu stärken.

AUF DEM WEG ZUR LEICHTBAU-INDUSTRIE?

Anhand des leichtbaubezogenen Systemgedankens ergeben sich jedoch weitreichende Veränderungen für die Industrie. Der Einsatz neuer Materialien wie bspw. von Verbundwerkstoffen oder von Ersatzmaterialien wie hochfestem Stahl und Aluminium bedeuten für Unternehmen deutliche Veränderungen in ihren Produktionsabläufen. Von der Produktentwicklung und der dazu gehörenden Methodenentwicklung über beherrschbare Produktionsprozesse einschließlich der Qualitätssicherung bis hin zu Reparatur- und werkstoffsichernde Recyclingverfahren werden Technologien benötigt, um innovative Leichtbauprodukte nachhaltig herstellen zu können. Diese Philosophie in Bezug auf Leichtbau wird bestehende Wertschöpfungsstrukturen in erheblichem Maße beeinflussen.

Auf dem Weg zur Leichtbau-Industrie existieren neben den neu entstehenden Potenzialen auch Hemmnisse für die an der Wertschöpfung beteiligten Unternehmen. Noch ist unklar, welche Wertschöpfungsstrukturen dem Leichtbau zugrunde liegen, welche Akteure

in diesem Innovationsfeld tätig sind und welche technischen Prozesse sich hinter den Leichtbau-Verfahren verbergen.

Daher gibt diese Broschüre einen Überblick zum ökonomisch-technischen Stand der Wertschöpfung im Leichtbau und analysiert Potenziale sowie Hemmnisse des Leichtbaus für die deutsche Industrie und insbesondere die Bedeutung von Leichtbau für Baden-Württemberg.

ASPEKTE DER WERTSCHÖPFUNGSSTUDIE

Das Ziel der Studie „Wertschöpfungspotenziale im Leichtbau“ ist es, möglichst allgemein die Wertschöpfungsstrukturen verschiedener Leichtbau-Verfahren offenzulegen, technische und wirtschaftliche Hemmnisse und Potenziale entlang der Prozesskette aufzuzeigen und zu analysieren, wie die baden-württembergische Industrie im Leichtbau im nationalen Vergleich aufgestellt ist. Diese Wertschöpfungspotenziale werden für Verfahrenstechnologien im Metall- und im Kunststoff-Leichtbau analysiert.

Als Ergebnis dieser Studie ergibt sich ein über-sichtliches Bild mit Wertschöpfungsmodellen im Leichtbau, das die heutige Situation in der Produktion beschreibt, die wesentlichen technischen und ökonomischen Treiber und Hemmnisse darstellt sowie die spezifischen Stärken und Schwächen baden-württembergischer Akteure analysiert und entsprechende Handlungsfelder zur Stärkung der Leistungsfähigkeit in diesem Technologiegebiet aufzeigt.

Um diese Ziele zu erreichen und entsprechende Wertschöpfungsmodelle im Leichtbau entwickeln zu können, werden folgende Punkte für eine Untersuchung berücksichtigt:

- ▼ **Relevanz für die Industrie**, d. h. welche Branchen und Sektoren wenden derzeit verstärkt Leichtbautechniken in ihrer Produktion an und welche Unternehmen übernehmen hier Vorreiterrollen.
- ▼ **Schlüsselakteure** in der Wertschöpfungskette, d. h. welche Unternehmensgruppen partizipieren an der Wertschöpfung und welche besondere Rolle nehmen diese im Leichtbau ein.
- ▼ **Wertschöpfungsstrukturen**, um die Anteile der an der Wertschöpfung teilhabenden Unternehmensgruppen identifizieren zu können.
- ▼ **Prozessketten und -kosten** von Leichtbau-Verfahren, um Betrieben Einblicke in die Prozessschritte und den dahinterstehenden Prozesskosten geben zu können.



KAPITEL 2

STUDIENAUFBAU UND VORGEHEN

Die Studie soll sowohl allgemeine überwiegend qualitative Aspekte abdecken als auch spezifische und soweit möglich quantitative Daten liefern. Der Aufbau der Studie orientiert sich an einer Top-down-Betrachtung, die auf einer industriellen Sektorebene beginnt und auf einer technischen Prozessebene endet. Die Studie adressiert dabei Fragestellungen entlang der vier zuvor beschriebenen Dimensionen:

1 RELEVANZ FÜR DIE INDUSTRIE

- ▼ Welche Branchen und Sektoren setzen derzeit verstärkt auf Leichtbautechniken in der Produktion?
- ▼ Welche Unternehmensgruppen weisen einen besonders hohen Entwicklungsstand bei der Anwendung von Leichtbautechniken auf?
- ▼ Welche Bedeutung hat der Leichtbau für die Industrie in Baden-Württemberg und wo liegen Stärken und Schwächen im nationalen Vergleich?

Um diese Fragen beantworten zu können, wurde die Erhebung Modernisierung der Produktion 2012 des Fraunhofer ISI herangezogen. Diese breitenempirische Umfrage liefert eine repräsentative Datenbasis des deutschen Verarbeitenden Gewerbes, die es erlaubt, belastbare Ergebnisse zur Relevanz von Leichtbau in der Industrie zu erzeugen.

2 SCHLÜSSELAKTEURE UND UNTERNEHMENSGRUPPEN

- ▼ Welche Unternehmensgruppen partizipieren an der Wertschöpfung im Leichtbau?
- ▼ Welchen unternehmerischen Motiven und Hemmnissen sehen sich diese Schlüsselakteure beim Einsatz von Leichtbautechniken gegenübergestellt?
- ▼ Welche Unternehmen mit Sitz in Baden-Württemberg sind in der Wertschöpfungskette zum Leichtbau aktiv und welche Aufgaben übernehmen diese?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen wurde einerseits auf das Wissen und auf die Einschätzungen der am Forschungsprojekt beteiligten Experten zurückgegriffen. Andererseits wurde eine eigens für diese Studie durchgeführte Online-Befragung genutzt, um Eindrücke aus der unternehmerischen Praxis zu sammeln. Die Verknüpfung qualitativer und quantitativer Analysen ermöglicht es, zunächst Zusammenhänge von Schlüsselakteuren und Wertschöpfungspotenzialen im Leichtbau zu identifizieren und zugleich die Relevanz von Motiven und Hemmnissen nach Schlüsselakteuren quantitativ zu erfassen.

3 WERTSCHÖPFUNGSSTRUKTUREN

- ▼ Wie hoch sind die Anteile je Wertschöpfungsstufe entlang der gesamten Kette?
- ▼ Welcher Anteil ist dabei für den Produktionsstandort Baden-Württemberg von besonderer Bedeutung?

Um die Wertschöpfungsstrukturen im Detail analysieren zu können, wurden eigens für diese Studie mehrere Kostenmodelle entwickelt. Diese Kostenmodelle erlauben Einblicke in die Wertschöpfungsstrukturen im Leichtbau über die verschiedenen Stufen hinweg. Diese dienen auch als Grundlage für die Prozesskostenanalyse.

4 PROZESSKETTEN UND -KOSTEN

- ▼ Wie sehen die Prozessketten für die verschiedenen Leichtbau-Verfahren aus und welche Prozessschritte verbergen sich im Detail dahinter?
- ▼ Welche Kosten verursachen die einzelnen Prozesse im Produktionsprozess und welche Schritte sind mit Hemmnissen bzw. Potenzialen behaftet?
- ▼ Welche Anteile entfallen auf die verschiedenen Kostenarten und wie verändern sich Kostenstrukturen bei Preis- und Absatzschwankungen?
- ▼ Welche Kostentreiber existieren aktuell und wo liegen Kostensenkungspotenziale für Betriebe in der Prozesskette?

Diese Analyse basiert einerseits auf Expertenwissen und -einschätzungen. Hierdurch wurden die einzelnen Prozessschritte identifiziert sowie deren Hemmnisse und Potenziale. Andererseits wurden die dahinterstehenden Kostenstrukturen durch die entwickelten Kostenmodelle erzeugt. Hierdurch entsteht ein umfassender Blick auf die Prozessketten der verschiedenen Leichtbau-Verfahren.

Im Rahmen der Studie wird auf die folgenden technischen Verfahren fokussiert:

1) Verfahren für den Kunststoff-Leichtbau mit Analyse des

- ▼ RTM-Verfahrens (Resin Transfer Moulding)
- ▼ SMC-Verfahrens (Sheet Moulding Compound) sowie

2) Verfahren für den Metall-Leichtbau im

- ▼ Tiefziehen und im
- ▼ Gussverfahren, ohne spezifische Kostenkalkulation.

Zur Beantwortung der zuvor aufgeführten Fragen wird auf verschiedene Methoden zurückgegriffen. Diese Methoden basieren sowohl auf qualitativen als auch auf quantitativen Analysen.



VORGEHEN UND METHODIK

Modernisierung der Produktion 2012: Grundlage der statistischen Analysen zu den Fragestellungen der Relevanz von Leichtbau in der Industrie bildet die vom Fraunhofer ISI durchgeführte Erhebung Modernisierung der Produktion 2012. Diese Erhebung wird seit 1993 in zwei- bis dreijährigem Abstand in Deutschland durchgeführt und deckt alle Branchen des Verarbeitenden Gewerbes ab. Mit etwa 1.500 antwortenden Betrieben je Erhebungsrunde ist diese repräsentative Umfrage die größte breitenempirische Erhebung, die in diesem Bereich durchgeführt wird. Detaillierte Erläuterungen zur Umfrage finden sich in Jäger/Maloca 2013.¹

Experteneinschätzungen: Insbesondere Fragestellungen zu Wertschöpfungsstrukturen und technischen Prozessketten basieren auf Erfahrungswissen und Einschätzungen von Experten der jeweiligen Leichtbau-Verfahren.² In dieser Studie wurden die Ergebnisse zum metallischen Leichtbau vom Fraunhofer IPA, zum Kunststoff-Leichtbau im SMC-Verfahren vom Fraunhofer ICT und zum Kunststoff-Leichtbau im RTM-Verfahren vom KIT-wbk erarbeitet.

Kostenmodelle: Insgesamt wurden drei Kostenmodelle für diese Studie entwickelt, die auf die Beantwortung der Fragen zu Wertschöpfungsanteilen und Prozesskosten abzielen.³ Die Modelle basieren alle auf einer ähnlichen Grundstruktur, die sich auf der Einschätzung von Experten stützt. Jedes Kostenmodell wurde zudem mit individuellen Anpassungen versehen, um die Besonderheiten der verschiedenen Verfahren abbilden zu können. Die Kostenmodelle wurden von den jeweiligen Experten entwickelt und im Konsortium validiert. Die Berechnungen beim RTM-Verfahren wurden vom KIT-wbk, beim SMC-Verfahren vom Fraunhofer ICT sowie beim Tiefziehen vom Fraunhofer IPA durchgeführt.

Eine **Online-Befragung** („Leichtbau-Befragung des Fraunhofer ISI 2014“) diente der Identifikation des aktuellen und kurz- bis mittelfristigen (5 Jahre, bis 2020) Fokus deutscher Unternehmen und Forschungseinrichtungen (mit Fokus auf Akteure in Baden-Württemberg) im Bereich von Materialentwicklungen sowie Branchen und Anwendungsmärkte. Zudem wurde nach treibenden und hemmenden Faktoren im Kontext der Leichtbauentwicklung und -anwendung gefragt. Die hier vorliegende Studie nutzt die Online-Befragung, um Einblicke zu den Hemmnissen und Treibern der Industrie zum Thema Leichtbau zu bekommen. Insgesamt steht hierzu eine Datenbasis von 99 Unternehmen zur Verfügung, die sich auf die verschiedenen Akteursgruppen entlang der Wertschöpfungskette im Leichtbau verteilen.

¹ Vgl. Jäger, A.; Maloca, S. (2013): Dokumentation der Umfrage Modernisierung der Produktion 2012, Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

² Zur Methodik von Expertenbefragungen vgl. bspw. Mayring, P. (2003): Qualitative Inhaltsanalyse – Grundlagen und Techniken, 8. Auflage, Weinheim.

³ Zur Methodik der Kostenrechnung vgl. bspw. Coe-nenberg, A. G.; Fischer, T. M.; Günther, T. (2007): Kostenrechnung und Kostenanalyse, 6. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart.

KAPITEL 3

AKTUELLER STAND ZUR VERBREITUNG VON LEICHTBAU IM VERARBEITENDEN GEWERBE

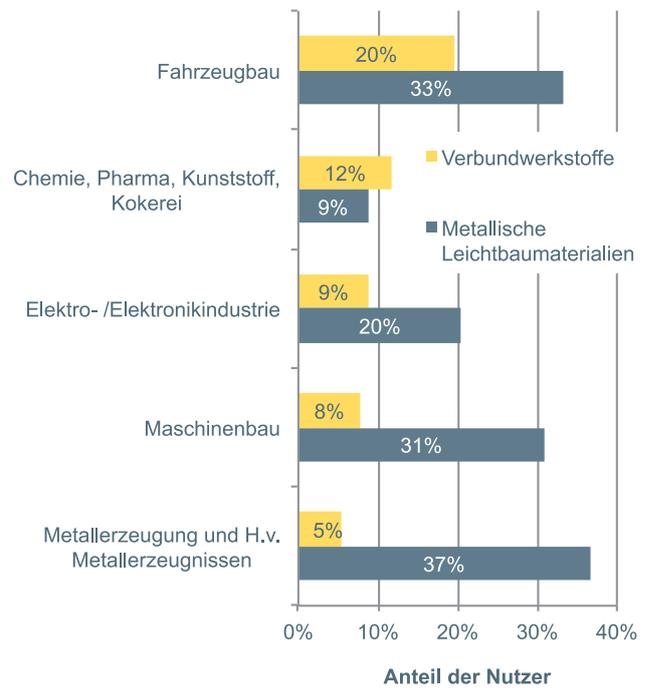
Die Anwendungspotenziale von Leichtbautechnologien werden als sehr groß eingeschätzt. Investitionen in Technologien zur Herstellung und zur Be- und Verarbeitung von Leichtbaumaterialien sind daher wichtig, um die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie zu erhalten.

Dass Leichtbaumaterialien nicht erst seit wenigen Jahren in der Industrie Verwendung finden, ist offensichtlich. Manche Materialien wie z. B. Aluminium und hochfeste Stähle werden bereits in Großserien eingesetzt, andere Materialien wie z. B. faserverstärkte Kunststoffe konnten sich noch nicht endgültig durchsetzen. Der Einsatz von Leichtbaumaterialien ist im Vergleich zu konventionellen Materialien in der Regel mit höheren Kosten verbunden, was vielerorts nicht zuletzt an den eher handwerklich ausgelegten Herstellungs- und Bearbeitungsprozessen (z. B. Handlamination) liegt.

Die Herstellung innovativer Produkte aus Leichtbaumaterialien erfordert industrielle Herstellungstechnologien und -prozesse. Solche technischen Prozesse, die die Herstellung, Be- und Verarbeitung von Leichtbaumaterialien auch unter ökonomischen Gesichtspunkten attraktiv machen, haben eine starke Hebelwirkung auf den breitflächigen Einsatz von Leichtbaumaterialien. Demnach liefert die Verbreitung industrieller Herstellungs-, Be- und Verarbeitungsprozesse auch einen guten Anhaltspunkt über die Bedeutung von Leichtbautechnologien in der Industrie. Bislang existieren keine belastbaren, empirisch fundierten Erkenntnisse darüber, wie viele Betriebe solche Technologien bereits einsetzen und welche Nutzertypen sich dahinter verbergen. Daher soll im Rahmen dieser Studie analysiert werden, wie weit verbreitet Prozesstechniken zur Herstellung, Be- oder Verarbeitung von Leichtbauwerkstoffen, im Speziellen metallischer Leichtbau und kunststoffbasierte Verbundwerkstoffe, im Verarbeitenden Gewerbe insgesamt sind. Vertiefend soll zum einen untersucht werden, ob bestimmte Unternehmenscharakteristika wie Größe, Branchenzugehörigkeit oder Stellung in der Wertschöpfungskette Einfluss auf die Nutzung solcher Prozesstechniken haben und zum anderen, ob Betriebe aus Baden-Württemberg hinsichtlich der Nutzung solcher Verfahren besser oder schlechter aufgestellt sind als das Verarbeitende Gewerbe in Deutschland insgesamt. Diese Informationen sind wichtig um festzustellen, wo die Nutzung schon heute intensiv ist und wo noch nicht ausgeschöpfte Potenziale brachliegen.

Die nachfolgend dargestellten Analyseergebnisse beruhen auf Auswertungen der ISI-Erhebung Modernisierung der Produktion aus dem Jahr 2012. Bei der ISI-Erhebung Modernisierung der Produktion handelt es sich um eine repräsentative Stichprobe, die mehr als 1.500 Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes umfasst, sodass sich ein sehr belastbares Bild über die Nutzung moderner Technologien zur Verarbeitung von Leichtbau in der deutschen und im Speziellen in der baden-württembergischen Industrie zeichnen lässt.

Bearbeitung von Leichtbaumaterialien im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands nach ausgewählten Branchen



Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Abbildung 3-1: Anteil der Nutzer von Verbundwerkstoffen sowie metallischen Leichtbaumaterialien im deutschen Verarbeitenden Gewerbe nach ausgewählten Branchen

3.1

DER EINSATZ VON LEICHTBAUTECHNIKEN IN DEUTSCHLAND

Techniken zur Herstellung, Be- oder Verarbeitung von Leichtbauwerkstoffen haben mittlerweile im Verarbeitenden Gewerbe Deutschlands eine vergleichsweise große Bedeutung gewonnen. Fast ein Viertel der Betriebe (24 Prozent) setzt entsprechende Verfahren heute in ihren Produktionen ein. Die weitaus größte Bedeutung kommt dabei Prozesstechniken für den metallischen Leichtbau zu. Demgegenüber haben Prozesstechniken für Verbundwerkstoffe noch nicht so eine große Verbreitung erfahren. Lediglich acht Prozent der Betriebe nutzen solche Technologien.

VERBREITUNG VON LEICHTBAUTECHNIKEN NACH BRANCHEN DES VERARBEITENDEN GEWERBES

Differenziert man das gesamte Verarbeitende Gewerbe nach Branchen, so zeigen sich zwischen den einzelnen Bereichen große Unterschiede. Führend bei der Nutzung von Leichtbautechniken sind Betriebe, die der Metall- und Elektroindustrie zuzuordnen sind.



In der Branche Metallerzeugung und Herstellung von Metallerzeugnissen, im Fahrzeugbau wie auch im Maschinenbau liegen die Nutzerquoten für Leichtbauprozessstechniken jeweils bei über einem Drittel. Am häufigsten setzen solche Technologien Betriebe ein, die Metalle bzw. Metallerzeugnisse herstellen. Gemäß ihrer Kompetenz im Bereich Metall liegt auch ihr Schwerpunkt auf Prozessstechnologien für den metallischen Leichtbau.

Ebenfalls hoch sind die Nutzerquoten im Fahrzeugbau (Automobil-/Nutzfahrzeugbau bzw. Zulieferindustrie). Mit fast 37 Prozent der Firmen nimmt diese Industrie auch einen Spitzenplatz ein. Der Fahrzeugbau scheint gerade bei kunststoffbasierten Verbundstoffen eine Vorreiterbranche darzustellen. Rund 20 Prozent der Betriebe aus dem Fahrzeugbau setzen entsprechende Prozessstechniken in ihrem Betrieb ein. Ein Drittel der Betriebe nutzt Techniken für den metallischen Leichtbau. Im Maschinenbau liegt der Schwerpunkt eindeutig auf der Be- bzw. Verarbeitung von metallischem Leichtbau. Fast ein Drittel der Betriebe setzt solche Techniken ein, wohingegen nur acht Prozent der Betriebe kunststoffbasierte Verbundstoffe verarbeitet.

Erwähnenswert ist zudem die Chemieindustrie. Erwartungsgemäß ist hier die Bedeutung von metallischem Leichtbau zwar eher gering, allerdings nimmt die Branche im Bereich von Verbundstoffen eine Spitzenposition ein. Mit 12 Prozent Nutzerquote liegt die Branche hier nach dem Fahrzeug auf dem zweiten Rang. Wie zudem aus der Analyse ersichtlich wird, spielen Leichtbaumaterialien in den übrigen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes eine eher untergeordnete Rolle. Insgesamt zeigt sich somit im Branchenvergleich ein erwartbares Bild. In der Metall- und Elektroindustrie hat mittlerweile der metallische Leichtbau eine durchaus beachtenswerte Bedeutung eingenommen. Prozessstechnologien für Verbundstoffe nutzen vor allem der Fahrzeugbau und Unternehmen der Chemischen Industrie.

VERBREITUNG VON LEICHTBAUTECHNIKEN NACH BETRIEBSCHARAKTERISTIKA

Moderne Prozessstechnologien werden schwerpunktmäßig zunächst von Großunternehmen adoptiert. Kleine und mittlere Betriebe (KMU) nutzen innovative Technologien in der Regel erst mit einem gewissen Zeitverzug. Dieses bekannte Bild zeigt sich auch im Hinblick auf Produktionstechniken für den Leichtbau. In Großunternehmen (über 250 Mitarbeiter) ist der Nutzungsgrad für Leichtbau-Produktionstechniken deutlich höher. Rund 35 Prozent der Großbetriebe setzen entsprechende Technologien ein. Der Schwerpunkt liegt auch hier auf metallischem Leichtbau.

Bei kleinen und mittleren Betrieben liegt die Nutzerquote bei etwa 22 Prozent, wobei sich die Schwerpunktsetzung zwischen metallischem Leichtbau und Verbundwerkstoffen im Vergleich zu Großunternehmen nicht unterscheidet. Diese Unterschiede sind zu erwarten gewesen, da Großunternehmen tendenziell schneller neue Technologien adaptieren. Sie verfügen in der Regel über eine bessere Ressourcenausstattung zur Entwicklung von auf neuen Werkstoffen beruhenden Produkten sowie den dazugehörigen Prozessen. Dennoch fällt der Unterschied zwischen Großunternehmen und KMU vergleichsweise gering aus. Die Diskrepanzen sind beispielsweise in anderen Technologien wie Nano- oder Mikrotechnologie deutlicher. Dies lässt darauf schließen, dass KMU ihre Aktivitäten im Bereich

Leichtbau auch forciert haben und mögliche Chancen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit bzw. zur Ausdehnung ihrer Geschäftsaktivitäten erkannt haben.

Prozessstechnologien für den Leichtbau werden deutschlandweit heutzutage schwerpunktmäßig für die Einzel- bzw. Klein- und Mittelserie eingesetzt (27 bzw. 25 Prozent). Für die Großserie liegt die Nutzerquote auf einem deutlich geringeren Niveau (17 Prozent). Offen ist, was die Ursachen für diese Ungleichverteilung sind. Einerseits könnte es darauf zurückzuführen sein, dass leistungsfähige Prozessstechnologien bislang nur für die Einzel- bzw. Klein- und Mittelserie verfügbar sind. Dies würde darauf hindeuten, dass im Hinblick auf die Entwicklung neuer leistungsfähigerer Technologien ein Schwerpunkt auf die Großserienfertigung gelegt werden könnte. Andererseits könnte es aber auch daran liegen, dass bislang solche modernen und damit in der Regel auch kostenintensiven Materialien vorrangig in Produkten eingesetzt werden, die in Klein- oder Mittelserie gefertigt werden, beziehungsweise von Branchen nachgefragt werden, deren Produkte eher in Klein- und Mittelserien gefertigt werden.

Des Weiteren zeigen die Analysen, dass vor allem Systemzulieferer entsprechende Kompetenzen in der Herstellung, Be- oder Verarbeitung von Leichtbaumaterialien aufgebaut haben. Besonders auffällig ist dies für kunststoffbasierte Verbundstoffe. Mit etwa 15 Prozent liegt hier der Nutzeranteil deutlich höher als bei Herstellern von Endprodukten bzw. bei Teile- oder Komponentenzulieferern. Erstaunlich ist, dass solche Prozessstechnologien für den Leichtbau bei Endproduzenten eine vergleichsweise geringe Bedeutung haben. Dies deutet darauf hin, dass das Prozess-Know-how vor allem in vorgelagerten Stufen in der Wertschöpfungskette zu finden ist.

3.2

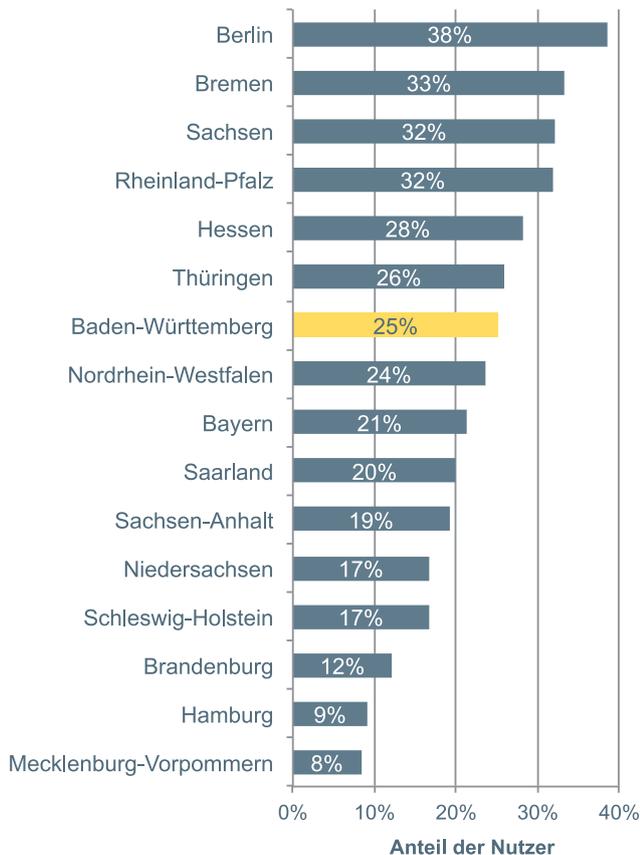
DER EINSATZ VON LEICHTBAUTECHNIKEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

LEICHTBAU IN BADEN-WÜRTTEMBERG IM NATIONALEN VERGLEICH

Baden-Württemberg ist eine der industriestärksten und innovativsten Regionen in Deutschland und in Europa. Das Verarbeitende Gewerbe in Baden-Württemberg ist eher mittelständisch strukturiert sowie stark durch die Automobilindustrie und den Maschinenbau geprägt.

Betrachtet man das gesamte Verarbeitende Gewerbe in Baden-Württemberg, so zeigt sich im Ländervergleich eine überdurchschnittliche Nutzung von Prozessstechnologien für den Leichtbau in baden-württembergischen Unternehmen. Die Stärke ist vor allem im metallischen Leichtbau angesiedelt. Ein Viertel der Unternehmen in Baden-Württemberg setzt derartige Technologien ein. Der Nutzungsgrad liegt etwa zwei Prozentpunkte über dem Schnitt für Gesamtdeutschland. Bei Verbundstoffen hingegen liegt Baden-Württemberg leicht unter dem Bundesdurchschnitt.

Bearbeitung von metallischen Leichtbaumaterialien oder Verbundwerkstoffen im Verarbeitenden Gewerbe nach Bundesländern



Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

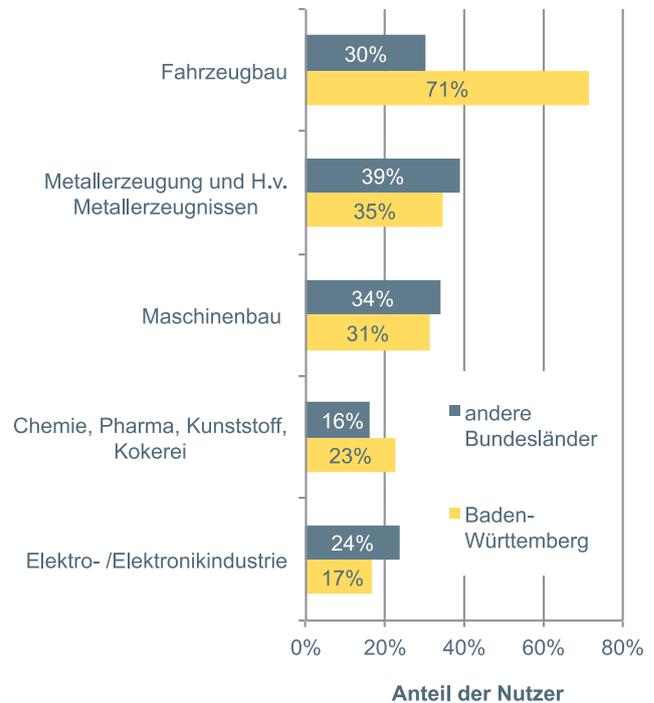
Abbildung 3-2: Anteil der Nutzer von Verbundwerkstoffen oder metallischen Leichtbaumaterialien im deutschen Verarbeitenden Gewerbe nach Bundesländern.

CHARAKTERISTIKA DER LEICHTBAU-INDUSTRIE IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Dieser Vorsprung speist sich in erster Linie durch die Automobilindustrie. Fast drei Viertel aller baden-württembergischen Betriebe, die in den Automobilbranchen aktiv sind, verfügen über Technologien zur Herstellung, Be- oder Verarbeitung von Leichtbaumaterialien. Der Nutzungsgrad ist damit fast 2,5mal so hoch wie im Bundesschnitt.

Der Vorsprung ist auch auf die ausgeprägten Stärken bei den kunststoffbasierten Verbundstoffen zurückzuführen. Die Hälfte der Automobilhersteller bzw. -zulieferer verfügt über entsprechende Prozesstechniken, wobei der Anteil an Großunternehmen hier besonders hoch ist. In der Chemiebranche ist der Vorsprung mit sieben Prozentpunkten nicht ganz so ausgeprägt, zeigt sich aber dennoch stattlich. Erstaunlich ist, dass sich dieser Vorsprung nicht in den andern Branchen, wie der Metall- und Elektroindustrie, wiederfinden lässt. Hier liegt Baden-Württemberg durchgängig – wenn auch nur

Bearbeitung von metallischen Leichtbaumaterialien oder Verbundwerkstoffen in Baden-Württemberg im nationalen Branchenvergleich



Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Abbildung 3-3: Anteil der Nutzer von Verbundwerkstoffen oder metallischen Leichtbaumaterialien in Baden-Württemberg im nationalen Branchenvergleich.

gering – hinter dem Bundesdurchschnitt. Damit zeigt sich zum einen, dass der Automobilbau in Baden-Württemberg die Leitbranche schlechthin für die Herstellung von Leichtbauprodukten ist. Dieser Dominanz stehen Schwächen in der Breite des Verarbeitenden Gewerbes gegenüber. Gerade die Schwäche des Maschinenbaus im Bereich Leichtbau überrascht vor dem Hintergrund des Anspruchs der Innovationsführerschaft.

Zudem zeigen die Ergebnisse, dass die Leichtbau-Stärke Baden-Württembergs überdurchschnittlich auf den Aktivitäten von Großunternehmen beruht. Die Hälfte der Großunternehmen in Baden-Württemberg verfügt über entsprechende Produktionsausrüstung, wohingegen der Anteil der anderen Bundesländer nur bei 30 Prozent liegt. Dass die Verbreitung von Leichtbau-Prozesstechniken in kleinen und mittleren Unternehmen auch in Baden-Württemberg auf einem deutlich geringeren Niveau liegen als in Großunternehmen, war zu erwarten; dass sie aber auch unter dem bundes-



weiten Durchschnitt liegen, hingegen nicht. Damit bestätigen sich auch im Technologiefeld „Leichtbau“ die Ergebnisse anderer aktueller Untersuchungen, die dem industriellen Mittelstand in Baden-Württemberg einige Schwächen, insbesondere im Bereich von Zukunftstechnologien attestieren.⁴

Die Dominanz des Automobilbaus im Bereich des Leichtbaus zeigt sich auch im Hinblick auf produktionsseitige Strukturmerkmale der Unternehmen wie der Seriengröße der Hauptprodukte. Während im restlichen Deutschland vor allem Leichtbauteile in Kleinserie und weniger in Mittel- oder gar Großserie gefertigt werden, ergibt sich in Baden-Württemberg ein nahezu umgekehrtes Bild. Hier setzen vorrangig Unternehmen Produktionstechniken für den Leichtbau ein, die ihre Kernprodukte in mittlerer Seriengröße herstellen. Solche Produkte gehen beispielsweise in Sondermodelle im Automobilbau ein. Auch geben 24 Prozent der mit Leichtbau-Produktionstechnologie ausgestatteten baden-württembergischen Unternehmen an, dass ihre Produkte vornehmlich in Großserie hergestellt werden. Der Anteil der Unternehmen, die auf Kleinserie spezialisiert sind, liegt bei 15 Prozent. Vor allem im metallischen Leichtbau sind die Seriengrößen in Baden-Württemberg größer. Bei kunststoffbasierten Verbundstoffen zeigen sich keine signifikanten Unterschiede im Ländervergleich.

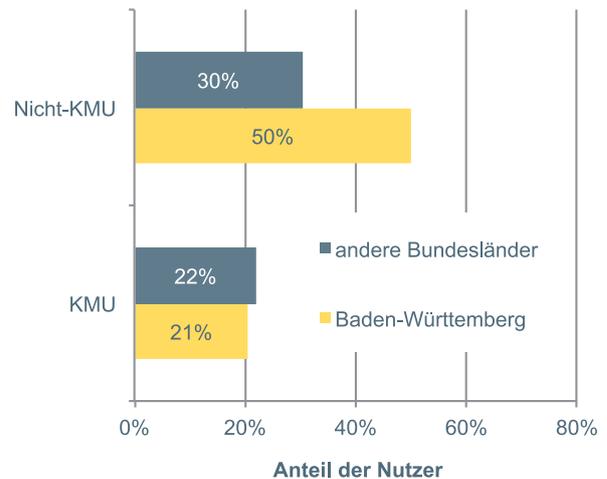
3.3

FAZIT ZUR VERBREITUNG VON LEICHTBAUTECHNIKEN IN DER INDUSTRIE

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Herstellung, Be- und Verarbeitung von Leichtbaumaterialien im deutschen Verarbeitenden Gewerbe eine Bedeutung erreicht hat, die weit über den Exotenstatus hinausgeht. Rund ein Viertel der Unternehmen verfügt über Produktionstechnologien, die das Verarbeiten von Leichtbaumaterialien erlauben. Der metallische Leichtbau dominiert. Die Verarbeitung von kunststoffbasierten Verbundstoffen hat in der Breite noch nicht Einzug in die Fabrikhallen gehalten.

Baden-Württemberg ist im Bundesvergleich zunächst gut aufgestellt. Es finden sich im Land vergleichsweise mehr Industrieunternehmen, die über Kompetenzen in der Verarbeitung von Leichtbaumaterialien verfügen. Allerdings beruht diese Stärke auf wenigen Säulen – auf Großunternehmen und auf dem Automobilbau. Kleine und mittlere Unternehmen sind im Bundesvergleich ebenso schwach aufgestellt wie in anderen Branchen jenseits der Automobilindustrie. Hier liegt Baden-Württemberg allenfalls auf Bundesniveau. Vor dem Hintergrund des Anspruches, eine der weltweit innovativsten Regionen mit spezifischen Stärken in der Metall- und Elektroindustrie zu sein, sind die Ergebnisse daher eher negativ als positiv zu werten.

Bearbeitung von metallischen Leichtbaumaterialien oder Verbundwerkstoffen nach Unternehmensgröße



Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2012, Fraunhofer ISI

Abbildung 3-4: Anteil der Nutzer von Verbundwerkstoffen oder metallischen Leichtbaumaterialien nach Unternehmensgröße in Baden-Württemberg im nationalen Vergleich.

⁴ Zanker, C.; Som, O.; Buschak, D. (2014): Industrieller Mittelstand: Spitzenstellung in Gefahr? Analyse zur Innovationsfähigkeit kleiner und mittlerer Unternehmen in der Metropolregion Stuttgart, IHK Stuttgart, Stuttgart 2014; sowie Fritsch, R., Neuhäusler, P., Rothengatter, O. (2013): Strategische Forschung – Eine Analyse zu den operativen Schwerpunkten der Baden-Württemberg Stiftung, Karlsruhe 2013.

KAPITEL 4

4.1

ÜBERSICHT DER WERTSCHÖPFUNGS-STRUKTUREN IM LEICHTBAU

Für eine umfassende Betrachtung der Wertschöpfung im Leichtbau ist der gesamte Prozess vom Rohstoff bis zum Endprodukt zu berücksichtigen. Hierzu lassen sich fünf generische Stufen darstellen, die in der Grafik abgebildet sind. Die Stufen zwei bis vier beschreiben den eigentlichen Kernprozess im Leichtbau von der Halbzeugherstellung über die Bauteilherstellung bis zur End- und Nachbearbeitung des Bauteils.

(1) ROH- UND WERKSTOFFE

Die erste Wertschöpfungsstufe beinhaltet den Abbau, die Gewinnung und die Verarbeitung der für das Produkt benötigten Rohstoffe. Je nach Produkt und Verfahren sind verschiedene Rohstoffe notwendig, die durch jeweils individuelle Verfahren abgebaut werden müssen. Je nach Anwendung sind die Rohstoffe nochmals zu bearbeiten, sodass bspw. Legierungen oder Faserhalbzeuge entstehen, die dann in den weiteren Fertigungsprozess eingehen.

(2) HALBZEUGHERSTELLUNG

Bei der Herstellung von Halbzeugen werden die Roh- und Werkstoffe in vorgefertigte Gegenstände mit vergleichsweise geringer Produktkomplexität umgewandelt. Dieser Fertigungsprozess wird meist durch Ur- oder Umformung sowie Trennverfahren durchgeführt. Hierzu zählt bspw. das Gießen oder Absägen, um Werkstoffe in die gewünschte Form zu bringen. Beispiele für Halbzeuge sind Bleche, Stangen, Rohre oder auch Platten, die häufig aus Kunststoffen oder Metall bestehen. Vorgeformte Faserstrukturen, sogenannte Preforms, gehören ebenfalls zu den Halbzeugen.

(3) BAUTEIL

Im Anschluss an das gefertigte Halbzeug erfolgt die Bauteilherstellung. Ein Bauteil stellt ein Einzelteil eines meist technischen Gesamtprodukts dar. Hier wird das Halbzeug in die endgültige Form des Teils umgewandelt. Dieser Prozess wird häufig durch Umformung wie Pressen, Biegen, Ziehen oder Schmieden durchgeführt. Das fertige Bauteil kommt in seiner Form dem End- oder vorläufigen Zwischenprodukt bereits recht nahe.

(4) END- UND NACHBEARBEITUNG

In der End- und Nachbearbeitung wird das Bauteil so bearbeitet, dass die Anforderungen an Funktionalität und Qualität für das zu verwendende Endprodukt erfüllt sind. Hierzu zählen bspw. Besäumung, Oberflächenbehandlung, Lackierung oder Reinigung. Am Ende dieses dreistufigen Kernprozesses steht dann das eigentliche Leichtbauprodukt, welches im Gesamtprozess ein vorläufiges Zwischenprodukt darstellt.

(5) MONTAGE

Die letzte Stufe im Wertschöpfungsprozess im Leichtbau beinhaltet die Montage. Dabei wird das final bearbeitete Leichtbauprodukt in das eigentliche Endprodukt integriert. Je nach Bauteil und je nach Endprodukt kann der Montageprozess sehr unterschiedlich ausfallen. Dies kann bspw. die Montage eines Kofferraumdeckels sein, aber auch der Einbau eines Motorblocks in eine Pkw-Karosserie.

WER IST AN DER WERTSCHÖPFUNG BETEILIGT?

Die Wertschöpfung entlang der fünf generisch dargestellten Stufen ist je nach Bauteil sehr unterschiedlich. Durch die hohe Komplexität dieser Kette in der Realität sind an solch einem gesamten Wertschöpfungsprozess meist nicht nur ein Unternehmen, sondern eine Vielzahl von Unternehmen beteiligt, die jeweils in unterschiedlichen Branchen agieren sowie verschiedene Produkte entwickeln und herstellen.

Für die Gewinnung und Verarbeitung der für das Produkt benötigten Materialien sind zu Beginn der Kette die Roh- und Werkstoffhersteller involviert. Diese liefern ihre Zwischenprodukte an Hersteller von Metall- und Kunststoffprodukten, die in der Wertschöpfungskette als Zulieferer von Teilen oder Systemen agieren. Weiterhin werden Maschinen und Anlagen benötigt, auf denen diese Produkte mittels technischer Verfahren gefertigt werden. Diese Produktionsverfahren werden von technischen Ausrüstern bereitgestellt. Die von den Zulieferern gefertigten Produkte werden dann an Original Equipment Manufacturer (OEM) geliefert, die dann mit ihrem Endprodukt die Endkunden beliefern.

Somit kann nicht von einem einzigen allgemeingültigen Wertschöpfungsprozess im Leichtbau gesprochen werden, sondern es existiert eine Vielzahl an Wertschöpfungsstrukturen, die maßgeblich vom Produkt und vom technischen Fertigungsverfahren abhängen. Für eine detaillierte Analyse von Wertschöpfungsstrukturen im Leichtbau werden daher exemplarische Leichtbau-Verfahren für Produkte aus Metall und Kunststoff im Detail untersucht.



Abbildung 4-1: Generische Wertschöpfungskette im Leichtbau mit fünf Stufen, vom Rohstoff bis zum Endprodukt



So stellt diese Analyse einerseits einen Auszug an Unternehmen aus Baden-Württemberg dar, die am Wertschöpfungsprozess im Leichtbau teilhaben und gruppiert diese anhand ihrer Aktivitäten. Andererseits erfolgt eine Prozessanalyse, welche auf die einzelnen technischen Prozessschritte eingeht und zugleich die im Produktionsprozess entstehenden Kosten untersucht. Hierdurch lassen sich mehrere Wertschöpfungsmodelle im Leichtbau entwickeln, welche die technisch-wirtschaftlichen Eigenschaften von Leichtbauverfahren beschreiben.

4.2

BETRIEBLICHE MOTIVE UND HEMMNISSE BEIM LEICHTBAU

Die Motive und Hemmnisse, die bei Unternehmen für oder gegen den Einstieg in den Leichtbau existieren, sind vielfältig. Wie Hemmnisse und Motive von den Schlüsselakteuren im Kernprozess bewertet werden, lässt sich mithilfe der durchgeführten Online-Befragung mit Leichtbau-Experten identifizieren. Hier konnten Hemmnisse und Motive beim Leichtbau von Zulieferbetrieben, von OEMs und von Ausrüstern analysiert werden.

HEMNMISSE BEIM LEICHTBAU IM ÜBERBLICK

Dabei wird deutlich, dass die Mehrzahl der Unternehmen, die den Schlüsselakteuren zuzurechnen sind, keine hemmenden Faktoren mit dem Leichtbau in Verbindung bringen. Insgesamt sehen sich lediglich 30 Prozent der Unternehmen mit Herausforderungen beim Leichtbau konfrontiert. Dies bedeutet, dass zwei von drei Unterneh-

Anteil der Unternehmen (nach Akteursgruppe) die Hemmnisse beim Leichtbau sehen

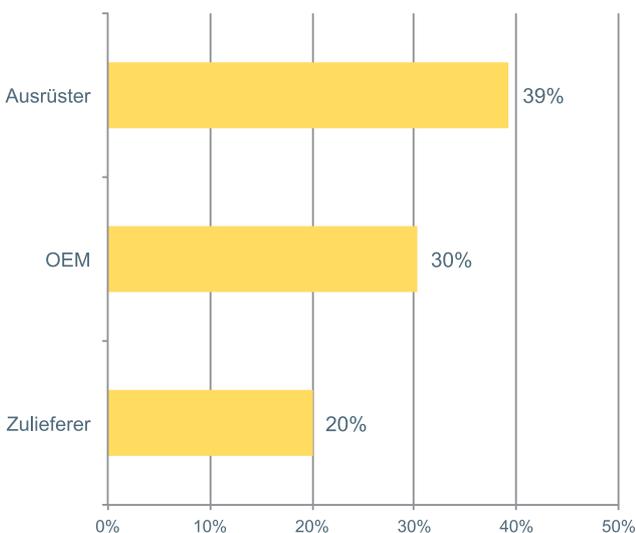


Abbildung 4-2: Anteil der Unternehmen nach Akteursgruppe, die Hemmnisse beim Leichtbau sehen

men, die aus den Gruppen der Schlüsselakteure stammen, keinerlei hemmenden Faktoren oder Schwierigkeiten beim Einstieg in den Leichtbau sehen.

Allerdings zeigt sich bei einer Differenzierung nach Unternehmensgruppe, dass hier Unterschiede existieren. Hier wird bspw. deutlich, dass die Ausrüster technischer Verfahren den Leichtbau stärker mit Hemmnissen verbinden, als die beiden anderen Akteursgruppen. 39 Prozent sehen sich mit Herausforderungen konfrontiert. Im Gegensatz dazu sehen bei den OEMs etwa nur jedes dritte und bei den Zulieferbetrieben sogar nur jedes fünfte Unternehmen Hemmnisse. Der Anteil der Betriebe, der sich beim Leichtbau mit Schwierigkeiten konfrontiert sieht, ist also von der am Kernprozess partizipierenden Akteursgruppe abhängig.

Werden die hemmenden Faktoren im Einzelnen betrachtet, wird dieser Unterschied nochmals verdeutlicht (vgl. Abbildung 4-3). Ausrüster nennen als hemmende Faktoren insbesondere die durch Leichtbau entstehenden Kosten, die Verfügbarkeit von Ressourcen, die geringen Möglichkeiten des Recyclings sowie die Verwendung von Materialien. Ähnlich bewertet die Gruppe der OEMs die hemmenden Faktoren. Allerdings werden die Faktoren im Vergleich zu den Ausrüstern von einem geringeren Anteil an Unternehmen genannt.

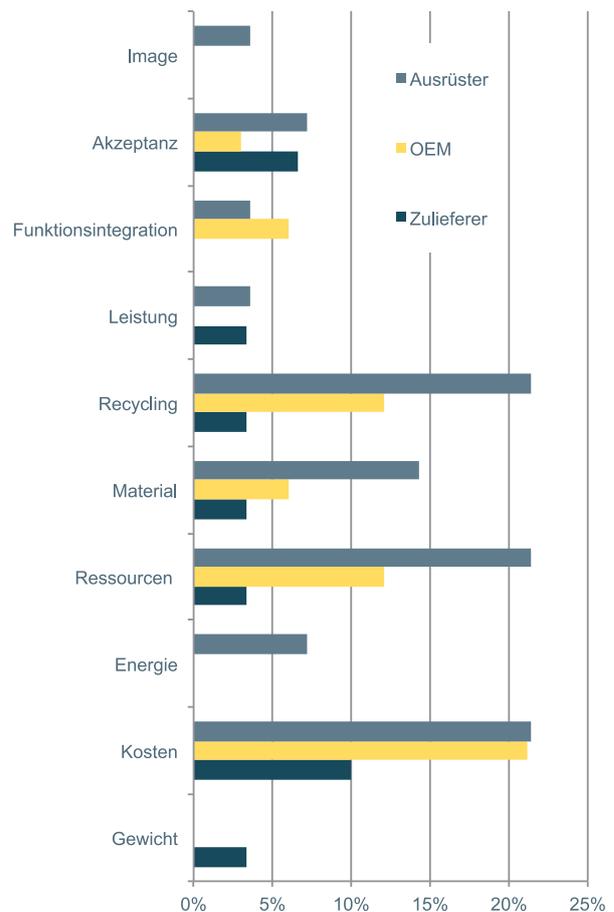


Abbildung 4-3: Anteil der Unternehmen, die Hemmnisse beim Leichtbau sehen, nach Akteursgruppe und Hemmnis.

Bei den Zulieferbetrieben wird keines der Hemmnisse von mehr als zehn Prozent der Unternehmen gesehen.

Über alle Akteursgruppen hinweg gesehen scheint der Kostenfaktor die größte Schwierigkeit beim Leichtbau darzustellen. Hier sehen, mit etwa 20 Prozent der Ausrüster und der OEMs sowie zehn Prozent der Zulieferer, die meisten Unternehmen die größten Hemmnisse. Weiterhin scheinen auch die Verfügbarkeit von Ressourcen und die Möglichkeiten des Recyclings Themen zu sein, die bei allen Gruppen vergleichsweise größere Schwierigkeiten hervorrufen. Die Verwendung bzw. Verarbeitung von Materialien im Leichtbau wird insbesondere von den Ausrüstern hervorgehoben.

Alle anderen Gründe werden von weniger als zehn Prozent der Unternehmen als Herausforderung genannt. Somit scheinen jenseits der zuvor genannten Hemmnisse sonstige Faktoren für Schlüsselakteure weniger relevant zu sein.

MOTIVE FÜR DEN LEICHTBAU IM ÜBERBLICK

Im Gegensatz zu den Hemmnissen überwiegen die Motive für Anwendungen im Leichtbau bei den Schlüsselakteuren jedoch deutlich.

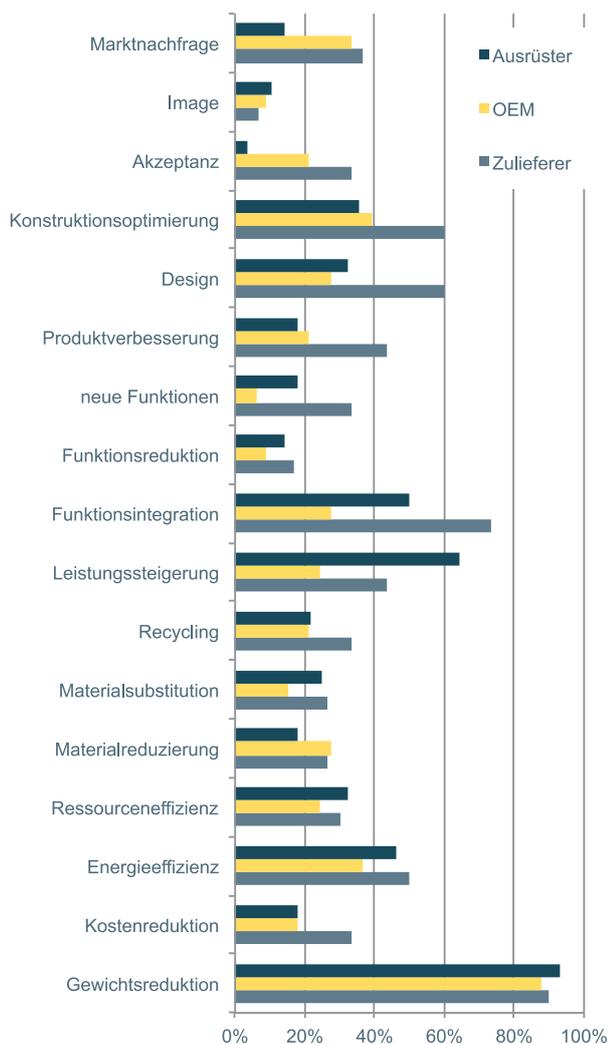


Abbildung 4-4: Motive für den Leichtbau, nach Unternehmensanteilen der einzelnen Akteursgruppen.

Die Betriebe scheinen demnach mit dem Leichtbau eher Vorteile anstatt Nachteile zu verbinden. Auch hier existieren Unterschiede zwischen den einzelnen Akteursgruppen. Die entsprechende Grafik zeigt den Anteil der Unternehmen nach Akteursgruppe, die das jeweilige Motiv als sehr wichtig erachten.

Der Anteil der Ausrüster, die Gründe für Leichtbau-Anwendungen sehen, fällt im Vergleich zu den anderen beiden Akteursgruppen geringer aus. Die Gruppe der Zulieferer stellt den höchsten Anteil an Unternehmen, die Motive für Leichtbau-Anwendungen nennen. Wie bei den Hemmnissen liegt die Gruppe der OEMs bei den Gründen für die Nutzung von Leichtbau-Anwendungen zwischen den beiden anderen Akteursgruppen.

Auch wird deutlich, dass etwa 90 Prozent aller Betriebe, unabhängig von der Unternehmensgruppe, Gewichtseinsparungen als zentralen Grund für den Leichtbau nennen. Die grundsätzliche Zielsetzung des Leichtbaus wird also auch von den Unternehmen als Hauptzweck angesehen. Andere Gründe, die von Betrieben genannt werden, stellen sich hinsichtlich deren Wichtigkeit unterschiedlich für die einzelnen Gruppen dar.

Die Funktionsintegration wird von den Zulieferbetrieben als zweitwichtigster Grund für Leichtbau-Anwendungen genannt. Die Konstruktionsoptimierung sowie das Design sehen 60 Prozent und die Energieeffizienz 50 Prozent der Zulieferer als wichtigen Treiber, um im Leichtbau tätig zu sein. Alle anderen Gründe werden von weniger als der Hälfte der Zulieferer als wichtig erachtet. Motive, die für die Gruppe der Zulieferer weniger wichtig zu sein scheinen, sind bspw. das Image und die Reduzierung von Funktionen. Diese wurden von weniger als 20 Prozent der Zulieferer als sehr wichtig erachtet.

Für die Gruppe der OEMs sind eine höhere Energieeffizienz, die Optimierung von Konstruktionen und die Marktnachfrage die wichtigsten Gründe für den Leichtbau. Diese werden von etwa jedem dritten OEM als sehr wichtig erachtet. Das Image, neue Funktionen, die Reduzierung von Funktionen, Materialsubstitution und Kostenreduzierung werden von weniger als 20 Prozent der Gruppe der OEMs als sehr wichtig eingeschätzt. Die Ausrüster sehen nach der Gewichtsreduktion insbesondere Leistungssteigerungen, Funktionsintegrationen und die Energieeffizienz als wichtigste Gründe für den Leichtbau. Der Anteil der Ausrüster, die diese Motive nennen, liegt überall bei 40 Prozent oder mehr. Im Gegensatz dazu stellen Image, Akzeptanz, Produktverbesserungen, neue Funktionen oder Funktionsreduzierungen, Reduzierung des Materialeinsatzes und die Kostenreduktion weniger wichtige Gründe für Ausrüster dar. Diese werden von weniger als 20 Prozent der Betriebe als sehr wichtig erachtet.

Insgesamt wird deutlich, dass die Mehrheit der Unternehmen den Leichtbau eher mit neuen Potenzialen, als mit Schwierigkeiten verbindet. Eines der wesentlichen Hemmnisse sind die für Unternehmen entstehenden Kosten, die mit einem Einstieg in den Leichtbau einhergehen. Allerdings existiert eine Vielzahl an Gründen, die diesen Hemmnissen gegenüberstehen.



4.3

AKTEURE IN BADEN-WÜRTTEMBERG IM KUNSTSTOFF-LEICHTBAU

In Baden-Württemberg sind zahlreiche Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette im Kunststoff tätig. Traditionell ist Baden-Württemberg in weiter vorgelagerten Stufen in der Wertschöpfungskette vergleichsweise weniger stark aufgestellt. Materialien werden häufig aus dem Ausland bezogen und zugekauft. Als Bundesland mit einer im Vergleich hohen Industriequote und einem überdurchschnittlichen Anteil mit Unternehmen aus dem Maschinen- und Fahrzeugbau wächst die Relevanz des Kunststoff-Leichtbaus zum Ende der Wertschöpfungskette. Die verschiedenen Unternehmen lassen sich in Akteursgruppen unterteilen, also Unternehmen, deren Geschäft die gleiche Tätigkeit innerhalb der Wertschöpfungskette oder entlang der einzelnen Stufen beinhaltet. Die entsprechende Grafik zeigt einen Auszug exemplarischer Unternehmen mit Sitz in Baden-Württemberg, die entlang der Wertschöpfungskette aktiv sind. Jedes Unternehmen ist der entsprechenden Stufe zugeteilt in der es geschäftstätig ist, sowie einer Akteursgruppe, deren Unternehmen vergleichbare Tätigkeiten ausüben. Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern stellt lediglich einige exemplarische Akteure dar, um einen Eindruck der praktischen Relevanz

für das Land Baden-Württemberg zu vermitteln. Für Baden-Württemberg sind vier Hauptgruppen von besonderer Bedeutung für den Kunststoff-Leichtbau.

ROH- UND WERKSTOFFHERSTELLER (I)

Eine erste Gruppe für diese Wertschöpfungskette stellen Akteure dar, welche Roh- und Werkstoffe gewinnen und diese verarbeiten. Diese sehr früh in der Wertschöpfung angesiedelten Unternehmen halten hohe Anteile an der Gesamtwertschöpfung von Leichtbauprodukten, die aus Kunststoff bestehen. Betriebe aus dieser Gruppe stellen bspw. die duromeren Matrix-Werkstoffe her. Der Anteil dieser Unternehmen ist in Baden-Württemberg im Gegensatz zu den restlichen Wertschöpfungsstufen vergleichsweise gering. Traditionell ist Baden-Württemberg in diesem Bereich weniger stark vertreten.

AUSRÜSTER TECHNISCHER VERFAHREN (II)

Eine weitere Gruppe an Akteuren beinhaltet technische Ausrüster, also die Hersteller von Maschinen und Anlagen, auf denen Kunststoffprodukte gefertigt werden. In dieser Gruppe existiert eine ganze Reihe an Unternehmen in Baden-Württemberg, die meist im Maschinen- und Anlagenbau tätig sind. Diese Betriebe sind somit nicht der Zulieferkette im Kunststoff, sondern einer eigenen Ausrüsterkette zuzuzählen. Ihr Wertschöpfungsanteil lässt sich in den Kosten zur Beschaffung von Maschinen und Anlagen wiederfinden, die eben-

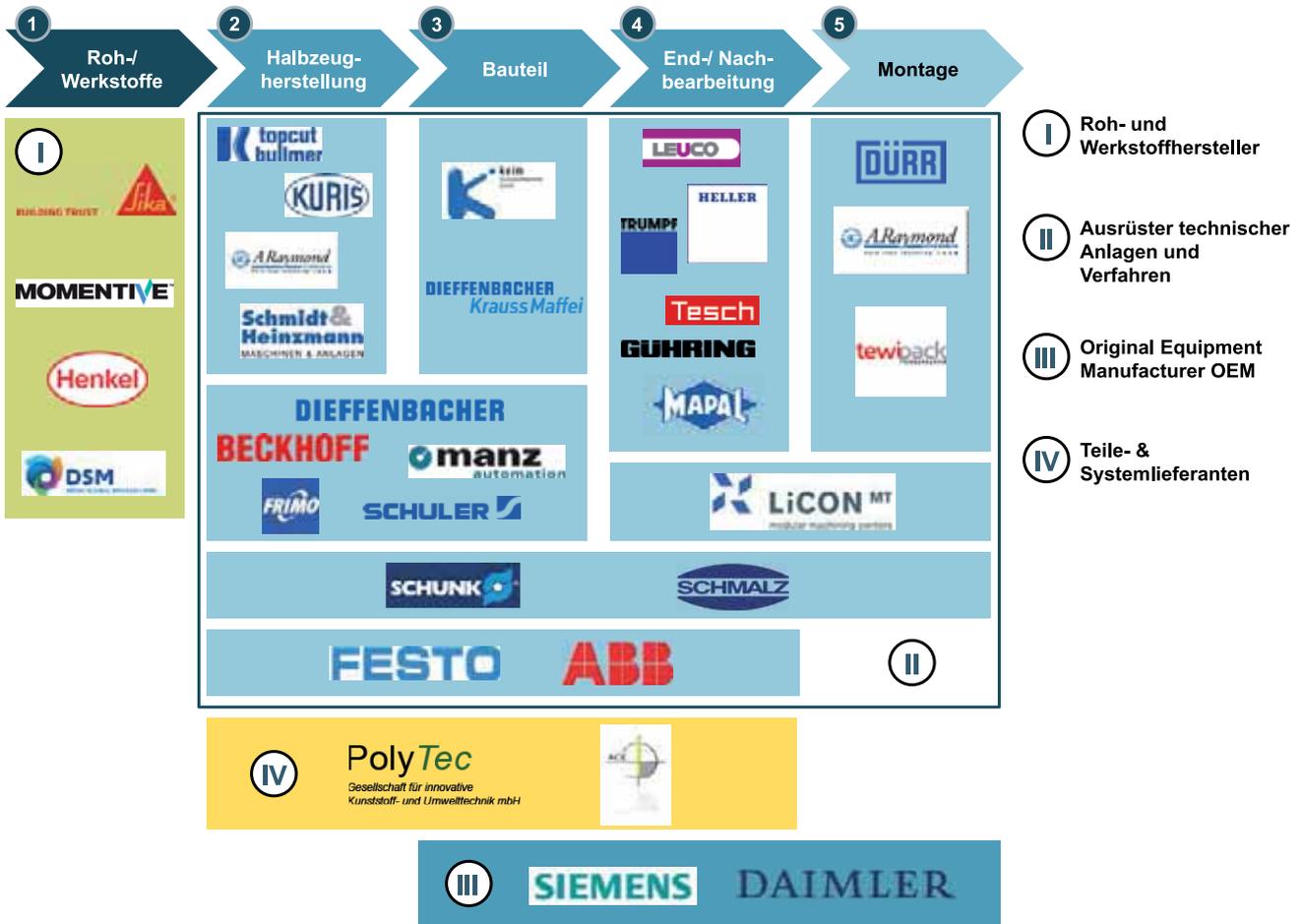


Abbildung 4-5: Die vier Akteursgruppen im Kunststoff-Leichtbau entlang der Wertschöpfungsstufen (mit Beispielen baden-württembergischer Unternehmen)

falls im Leichtbauprodukt enthalten sind. Die Gruppe der Ausrüster ist äußerst heterogen. Sie stellt bspw. Umformtechniken, aber auch Montagesysteme her. Ebenfalls existieren Betriebe, die sämtliche Verfahren zur Bearbeitung von Kunststoffprodukten entlang mehrerer Wertschöpfungsstufen bereitstellen.

ORIGINAL EQUIPMENT MANUFACTURER (III)

Eine dritte Gruppe im Wertschöpfungsprozess stellen die Original Equipment Manufacturer (OEM) dar. Diese Unternehmen produzieren die Endprodukte für den Endkunden und stehen am Ende der Wertschöpfungskette. Häufig sind die OEMs aber nicht nur in der letzten Stufe der Wertschöpfung tätig, sondern verfolgen eine Integration vorgelagerter Prozessschritte. Der Anteil dieser Unternehmen ist in Baden-Württemberg vergleichsweise hoch. Betriebe sind hier verstärkt im Automobilbau oder in der Elektronikbranche tätig und vertreiben ihre Produkte an den Endkunden. In Bezug auf die Wertschöpfungskette können diese Unternehmen also nicht nur Hersteller, sondern auch Kunde von Leichtbauprodukten sein.

TEILE- UND SYSTEMLIEFERANTEN (IV)

Die vierte Gruppe beschreibt Unternehmen, welche Teile oder Systeme zuliefern. Häufig sind dies Teile- oder Systemlieferanten der OEMs. Diese Gruppe ist im eigentlichen Kernprozess des Leichtbaus tätig und produziert das vorläufige Zwischenprodukt. Betriebe,

die dieser Gruppe zuzuzählen sind, agieren in verschiedenen Branchen und weisen in Baden-Württemberg eine vergleichsweise hohe Verbreitung auf. Auch diese Gruppe ist sehr heterogen hinsichtlich Branchenzugehörigkeit und Wertschöpfungstiefe ihrer Betriebe.

4.4

WERTSCHÖPFUNGSPOTENZIALE BEIM RTM-VERFAHREN

Der Resin Transfer Moulding (RTM) Prozess ist vor allem für die Produktion von Hochleistungsfaserverbunden in Verwendung und basiert auf textilen Halbzeugen, die mit einer Polymermatrix kombiniert werden. Gewebe oder Gelege, z. B. aus Kohlenstoff-, Glas- oder Aramidfasern, werden zu einem sogenannten Preform vorgeformt und besäemt (Halbzeugherstellung). Anschließend wird der Preform in einer Presse positioniert, mit einem Harzsystem infiltriert und zu einem FVK-Bauteil ausgehärtet (Bauteilherstellung). Bei Bedarf erfolgen danach eine Nachbearbeitung sowie Lackierung der RTM-Bauteile.

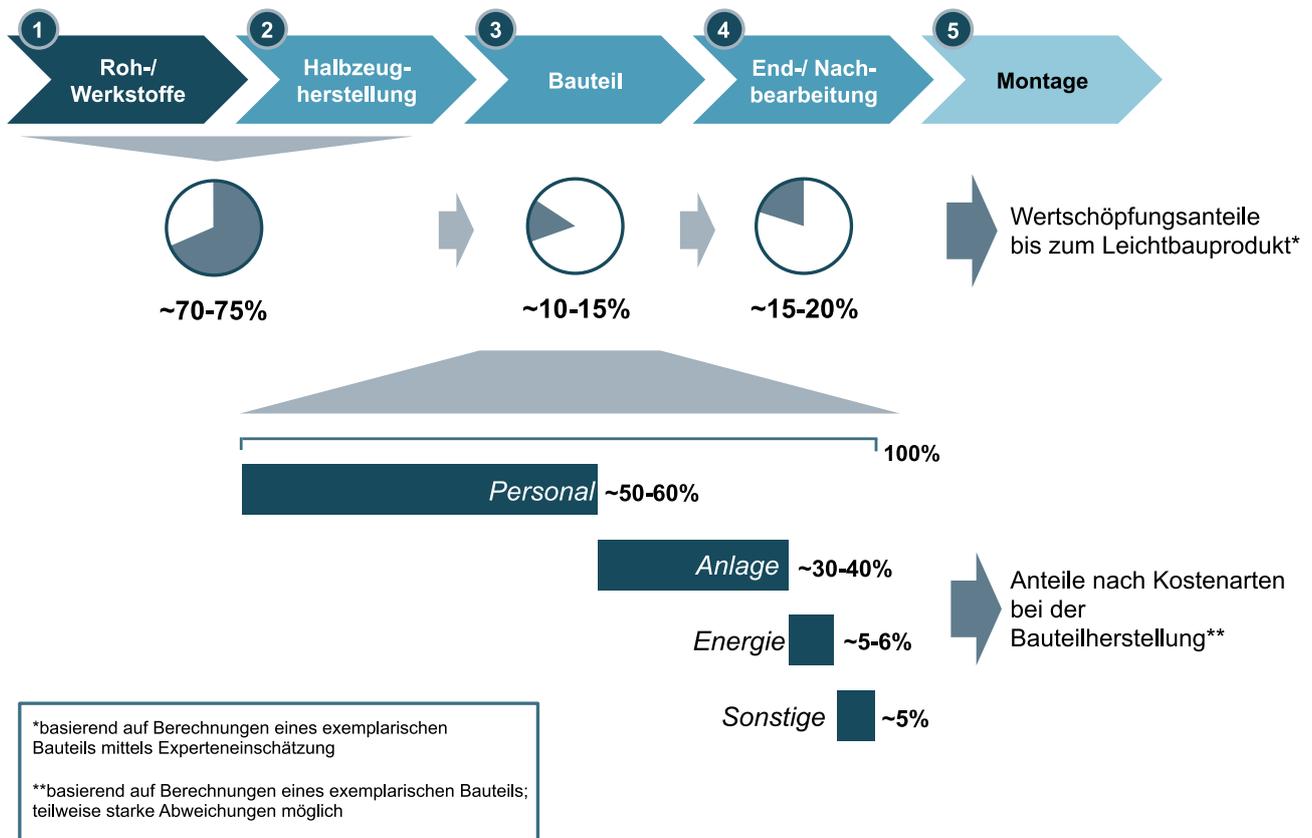


Abbildung 4-6: Wertschöpfungsanteile entlang der Stufen auf Basis eines exemplarischen Bauteils beim RTM-Verfahren



WERTSCHÖPFUNGSANTEILE ENTLANG DER EINZELNEN STUFEN

Die Wertschöpfung im RTM-Verfahren weist je Prozessstufe sehr unterschiedliche Anteile auf. Die Wertschöpfungsanteile über die verschiedenen Stufen bis zum Leichtbauprodukt sind in Abbildung 4-6 dargestellt. Die hier ausgewiesenen Anteile basieren auf der Berechnung der Kostenstrukturen eines exemplarischen schalenförmigen Bauteils. Je nach Bauteilart und -komplexität sind dabei jedoch Abweichungen möglich.

Mithilfe der Berechnung der Kostenstruktur wird ersichtlich, dass der größte Anteil der Gesamtwertschöpfung eines Leichtbauprodukts im RTM-Verfahren bereits in der ersten Prozessstufe „Roh- und Werkstoffe“ durch deren Gewinnung und Verarbeitung mit ca. 60 Prozent realisiert wird. Bei den 60 Prozent werden auch sämtliche Materialverluste durch Verschnitt eingerechnet (auch aus der Besäumung in den später folgenden Prozessschritten „Halbzeugherstellung“ und „End- und Nachbearbeitung“). Der Hauptteil der Wertschöpfung findet somit außerhalb der eigentlichen Kernprozesse Halbzeugherstellung (Preforming) und Bauteilherstellung (Infiltration) statt und steckt - zum Großteil aufgrund der Verschnittmenge - im Material.

Der Prozessschritt „Halbzeugherstellung“, in dem hauptsächlich das Preforming stattfindet, hat einen Wertschöpfungsanteil, der zwischen zehn und 15 Prozent liegt. Der Prozessschritt „Bauteil“, in dem durch die Infiltration der Halbzeuge die eigentliche Bauteilherstellung stattfindet, kommt ebenfalls auf einen Wertschöpfungsanteil zwischen zehn und 15 Prozent. Die End- und Nachbearbeitung des Bauteils weist einen Anteil zwischen 15 und 20 Prozent der Wertschöpfung eines FVK-Leichtbauprodukts auf, welches im RTM-Verfahren gefertigt wird. Die Lackierung der Bauteile wird hier nicht berücksichtigt, da die Anforderungen hieran zu unterschiedlich sind, als dass eine allgemeingültige Aussage getroffen werden kann.

Die nachfolgende Stufe „Montage“ wurde bei der Kostenberechnung ebenfalls nicht berücksichtigt, da die vorliegenden Kostenanteile zu stark von der Art des Bauteils und der zugehörigen Baugruppe abhängig sind und für diese Betrachtung zu stark variieren. Allgemein kann eine Montage von RTM-Bauteilen (CFK oder GFK) durch Verkleben oder mithilfe von zuvor eingebrachten Lasteinleitungselementen (Inserts) durch Verschrauben erfolgen.

ANTEILE DER KOSTENARTEN BEI DER BAUTEILHERSTELLUNG

Der Prozess zur Bauteilherstellung im Leichtbau lässt sich weiter nach verschiedenen Kostenarten aufteilen. Auch diese Verteilung basiert auf der Berechnung eines exemplarischen Bauteils. Der Hauptteil der Kosten im RTM-Verfahren entsteht durch den geringen Automatisierungsgrad und dem unzureichenden Prozessverständnis. Eine Vielzahl der Prozessschritte ist lediglich manuell oder teilautomatisiert möglich, wodurch ein hoher Personalbedarf erforderlich wird. Dieser Anteil liegt zwischen 50 und 60 Prozent der Prozesskosten zur Bauteilherstellung.

Den zweitgrößten Posten stellen die Anschaffungskosten für die Anlagen und Werkzeuge dar. So sind etwa 30 bis 40 Prozent der

Kosten des Prozessschritts „Bauteil“ auf die technische Ausstattung zurückzuführen. Hierbei ist anzumerken, dass das Verhältnis zwischen Personal und Anlage stark variieren kann und bspw. vom Automatisierungsgrad, von der Taktzeit und vom Auslastungsgrad sowie vom Personaleinsatz abhängt.

Der verbleibende Anteil von etwas über zehn Prozent setzt sich aus Energiekosten und sonstigen Kosten wie bspw. für die Anlagenwartung und für die Miete der Hallenfläche zusammen.

AKTUELLE KOSTENTREIBER UND KOSTENSENKUNGS- POTENZIALE (HALBZEUGE UND MATERIALIEN)

Beim Produktionsprozess existieren mehrere Kostentreiber, die im Rahmen einer Prozesskostenanalyse besonders berücksichtigt werden sollten. Die Materialien sind teilweise als kostenkritisch anzusehen, insbesondere Aramid- und Kohlenstofffasern.

Die Herstellung von Kohlenstofffasern findet durch Carbonisierung von sogenannten Precursoren bei ca. 1.500°C statt, weswegen deren (Produktions-)Kosten zu einem Großteil vom Energiepreis abhängen. Ein geringer Preisrückgang ist durch den Ausbau der Produktionskapazitäten zu erwarten, jedoch nur wenn die Energiekosten nicht gleichzeitig ansteigen. Zusätzlich sind die Precursoren sehr teuer. Durch eine Kapazitätserhöhung bei der Precursorenherstellung kann jedoch von Kostenreduzierungen ausgegangen werden.

Glasfasern sind im Vergleich zu Aramid- und Kohlenstofffasern sehr günstig und haben mit Abstand den größten Anteil für Fasermaterialien am Markt. Sie besitzen aber auch geringere mechanische Eigenschaften und weisen eine deutlich höhere Dichte als Kohlenstofffasern auf. Für hochbelastete Leichtbau-Produkte sind Glasfasern ungeeignet.

Aramidfasern sind für den RTM-Prozess nahezu nicht relevant, da ihre Eigenschaften (geringe Steifigkeit und große Dehnbarkeit) selten gefragt sind und sie darüber hinaus auch sehr teuer sind.

Verstärkungsfasern werden in der Regel direkt beim Produzenten zu Geweben, Gelegen und Matten weiterverarbeitet und teilweise konfektioniert. Auf diese Halbzeuge kann zusätzlich noch ein thermisch aktivierbarer Klebstoff, der Binder, aufgebracht werden, um das spätere Preforming durchführen zu können. Die fertigen flächigen Halbzeuge werden auf Rollen aufgewickelt und so weiterverkauft. Die Herstellung von Geweben und Gelegen ist besonders kritisch für eine marktfähige Anwendung, da sie zum einen teuer und komplex ist und zum anderen die genaue Orientierung der Fasern gewährleistet werden muss.

Für die FVK-Bauteile werden neben den Fasern auch Matrix bzw. Kunststoff benötigt. Im RTM-Prozess kann dieser aus Thermoplasten oder Duromere bestehen. Thermoplastische Matrices sind für den RTM-Prozess bisher kaum verbreitet, auch wenn sie große Vorteile wie z. B. schnelle Prozesszeiten mit sich bringen. An einer Anwendung von Thermoplasten im RTM-Prozess wird momentan geforscht, eine Umsetzung in der Großserie steht aber trotz der geringeren Zykluszeiten noch aus.

Duomere Matrices bestehen aus Harzsystemen. Diese setzen sich aus Harz, Härter und Additiven zusammen. Jedes Harz benötigt einen bestimmten Typ Härter und darauf abgestimmte Additive für die Einstellung der Werkstoff- und Verarbeitungseigenschaften. Für verschiedene Anwendungsbereiche gibt es die unterschiedlichsten Harzsysteme, z. B. Epoxidharze, Polyesterharze und Phenolharze. Harz, Härter und Additive werden in der Regel als fertiges Harzsystem angeboten und müssen lediglich passend dosiert und vermischt werden. Das Harzsystem ist für eine Vielzahl an Eigenschaften eines Faserverbunds verantwortlich, z. B. die Wärme- und Chemikalienbeständigkeit. Um eine großserienfähige Anwendung von Hochleistungsfaserverbunden zu erreichen, müssen die Harzsysteme schnell aushärten (Zugabe von Katalysatoren), somit besteht für die Harzsysteme eine besondere technisch-wirtschaftliche Herausforderung. Neuste duomere Harzsysteme benötigen eine Aushärtezeit von ca. 2 – 3 Minuten.

In Abhängigkeit des jeweiligen Matrixsystems ergeben sich unterschiedliche Bauteilkosten. Das Matrixsystem muss entsprechend der gewünschten Bauteileigenschaften passend ausgewählt werden. Im Vergleich zu den Faserwerkstoffen sind die Kosten für das Harzsystem gering. Durch die stetige Entwicklung neuer Harzsysteme mit besseren Eigenschaften werden die Kosten zukünftig kaum sinken.

PROZESSCHRITTE BEIM RTM-VERFAHREN MIT HEMMNISSEN UND POTENZIALEN

Im Prozessschritt „Halbzeugherstellung“ findet das Preforming statt. Hier wird aus den flächigen Faserhalbzeugen eine formstabile 3D-Geometrie erzeugt. Dazu werden die Gewebe und Gelege auf eine Werkzeugform in einer bestimmten Reihenfolge und unter Einhaltung bestimmter Orientierungen gelegt (Stacking) und anschließend von diversen Stempeln bzw. Schiebern oder einer Membran unter erhöhter Temperatur angepresst. Die hohe Temperatur aktiviert den Binder, sodass zum einen die verschiedenen Lagen aneinander haften und zum anderen der Preform seine Formstabilität erhält. Anschließend wird der Preform zurechtgeschnitten und einer Qualitätskontrolle unterzogen.

Die Herstellung der Preforms erweist sich als besonders kostenintensiv, da die Handhabung der Faserhalbzeuge aufgrund unausgereifter Automatisierungs- und Verkettungslösungen teilweise manuell durchgeführt wird. Insbesondere das Absortieren (Vereinzeln) sowie das prozesssichere Stapeln der flächenförmigen Halbzeuge müssen für eine großserienreife Automatisierung gelöst werden. Erste Forschungsansätze hierzu existieren bereits und es ist zu erwarten, dass in den nächsten Jahren der Einsatz in Großserie erfolgt. Zudem müssen beim Drapieren der flächigen Halbzeuge auf die Werkzeuggeometrie die Halbzeuge oft manuell glatt ausgestrichen werden. Es existieren zwar schon erste Automatisierungslösungen am Markt, aber diese sind teilweise noch nicht ausgereift und/oder weisen noch Optimierungspotenzial auf. Auch hier bestehen Forschungsansätze, die prozesssichere Drapierung automatisiert durchzuführen.

Großes Potenzial besteht auch bei der Reduzierung des Faserverchnitts. Aufgrund der teilweise unausgereiften Technologien sowie dem eingeschränkten Prozesswissen kommt es in Abhängigkeit von der Bauteilkomplexität zu sehr viel Verschnitt des teuren Ausgangsmaterials (Fasern). Der Verschnitt kann bisher nur eingeschränkt weiterverwendet werden und muss zumeist entsorgt werden. Durch Optimierung der Anlagen und Prozesse lassen sich die großen Verschnittmengen reduzieren und als Folge davon die Bauteilkosten reduzieren.

Die Preforms werden im nächsten Prozessschritt „Bauteil“ mit dem Harzsystem infiltriert. Dieser Prozess ist in die Schritte Temperierung (Werkzeug und Harzsystem), Positionierung des Preforms, RTM-Formgebung (Injektion und Infiltration), Aushärtung und Entnahme des Bauteils gegliedert.

Die besäumten Preforms werden in das Werkzeug der RTM-Pressen eingelegt und in Abhängigkeit des jeweiligen Verfahrens unter hohem Druck (Injektionsdruck bis zu 100 bar) mit dem Harzsystem infiltriert, nachdem das Werkzeug geschlossen wurde. Die Presse muss für eine geeignete Bauteilqualität eine Parallelitätsregelung besitzen. Das Positionieren des Preforms in der Presse ist auf Grund der Faserorientierung und der komplexen Preformhandhabung kritisch.

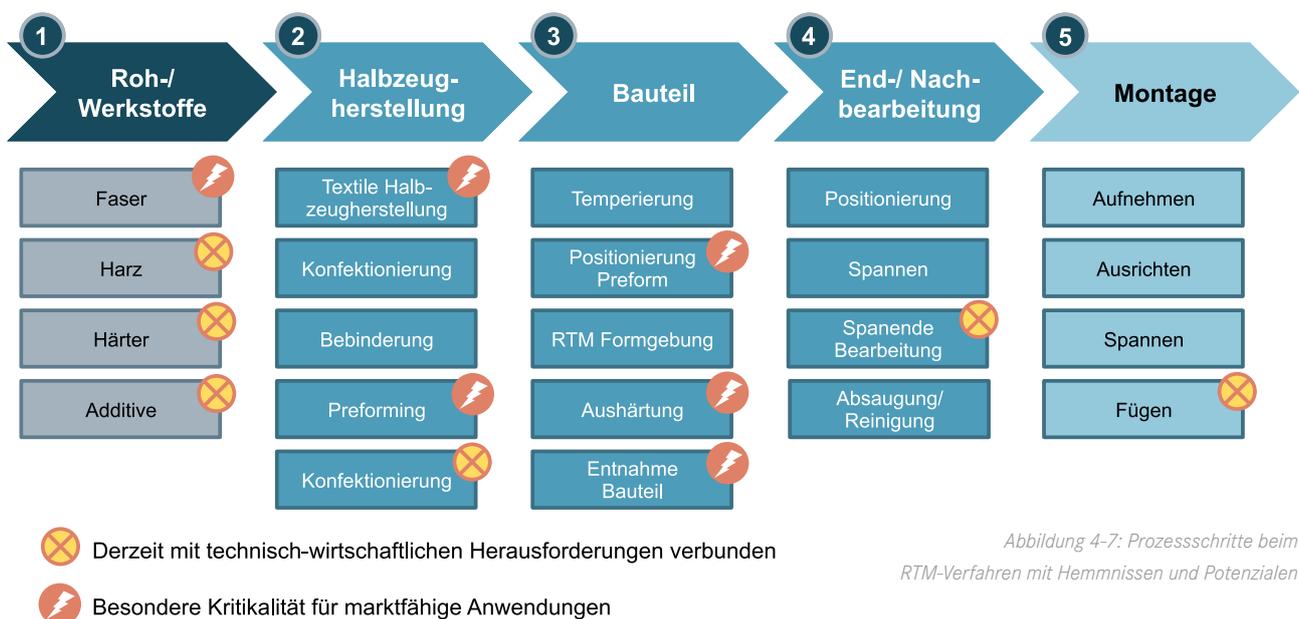


Abbildung 4-7: Prozessschritte beim RTM-Verfahren mit Hemmnissen und Potenzialen



Die Aushärtung ist ebenfalls ein kritischer Faktor, da eine vollständige Aushärtung gewährleistet werden muss und dies der zeitintensivste Prozessschritt ist. Für eine wirtschaftliche großserienfähige Anwendung muss die Prozesszeit zwingend reduziert werden. Die Aushärtezeit hängt vom verwendeten Harzsystem, der Bauteilgröße und der Aushärtetemperatur ab. Ebenfalls verursacht die Temperierung des Harzes und der Werkzeuge derzeit hohe Energiekosten. Hier besteht allerdings die Möglichkeit, mittels Energierückgewinnungssystemen diese Kosten zu reduzieren.

Zudem ist auch die Entnahme des fertigen Bauteils kritisch, da zum einen das Herauslösen des Bauteils aus der Werkzeugform oftmals schwergängig ist (ein Trennmittel als Additiv im Harzsystem kann dies erleichtern) und zum anderen das Bauteil bei hohen Temperaturen weich und leicht verformbar ist, was jedoch zu vermeiden ist. Der Prozessschritt „End- und Nachbearbeitung“ besteht aus den Prozessen Positionieren, Spannen, spanende Bearbeitung und Reinigung. Hier ist lediglich die spanende Bearbeitung mit Herausforderungen verbunden, da Kohlenstofffaserstaublungengängig sein kann und eventuell Schäden der Lunge und Atemwege hervorrufen kann. Somit ist zumindest eine Absaugung des entstehenden Staubes unabdingbar, von Vorteil ist die Bearbeitung im Sprühwassernebel, um den Staub direkt zu binden. Eine Lackierung der Bauteile würde ebenfalls in die End- und Nachbearbeitung fallen, wird hier jedoch wegen der zu großen Unterschiede in den Anforderungen an die Lackierung nicht berücksichtigt.

Der letzte Prozessschritt ist die Montage. Sie setzt sich aus den Unterprozessen Aufnehmen, Ausrichten, Spannen und Fügen zusammen. Das Fügen von endlosfaserverstärkten Faserverbundbauteilen, wie sie im RTM-Prozess hergestellt werden, ist technisch-wirtschaftlich herausfordernd, da herkömmliche Prozesse aus der Metallverarbeitung nur unzureichend angewendet werden können. Es sollten nachträglich keine Bohrungen oder Taschen in die Bauteile eingebracht werden, da diese den Faserverlauf und somit die Lastpfade unterbrechen. Eine Direktverschraubung oder das Nieten von FVK-Bauteilen ist somit nur eingeschränkt möglich, hinzu kommt auch, dass die Kontaktkorrosion zwischen Metall und Kohlenstofffasern, die die Verbindung zwischen den Bauteilen mit der Zeit stark schwächt, beachtet werden muss. Eine Verschraubung mit anderen Bauteilen kann jedoch durch das Einbringen von Lasteinleitungselementen in den Lagenaufbau umgesetzt werden. Verschweißen ist bei duromeren Matrices ebenfalls nicht möglich. Als weitere Lösung bietet sich das Verkleben an, das auch die zuvor genannte Kontaktkorrosion unterbindet.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR BETRIEBE BEIM EINSATZ DES RTM-VERFAHRENS

Die Analyse der RTM-Wertschöpfungskette zeigt, dass die einzelnen Prozessschritte aus wirtschaftlicher Sicht teilweise noch sehr hohes Entwicklungspotenzial bieten. Darauf basierend können nachfolgende Handlungsempfehlungen beschrieben werden.

Aus der Verteilung der Gesamtprozesskosten wird ersichtlich, dass die Materialkosten, hier vor allem die Kosten für Kohlenstofffasern, einen Großteil der Gesamtkosten ausmachen. Die hierdurch abzuleitende einfachste Empfehlung, die Materialkosten zu senken, ist

jedoch in Bezug auf die Gesamtprozesskosten nicht zielführend. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Materialkosten auch in Zukunft nur unwesentlich gesenkt werden können, sodass sie auch weiterhin der größte Kostenfaktor bei der Herstellung von CFK-Bauteilen bzw. FVK-Bauteilen sind. Dies liegt zum einen an den extrem hohen Energiekosten für die Produktion der Verstärkungsfasern und zum anderen an den unzureichenden Verarbeitungsverfahren, bei denen viel Material ungenutzt verloren geht. Beispielsweise fällt bei der Konfektionierung der Gewebe und Gelege ein großer Teil der nutzbaren Materialfläche als Verschnitt weg, da die Zuschnitte auch bei optimaler Verteilung auf der Fläche nicht ohne Lücken zurechtgeschnitten werden können. Im Optimalfall können die Fasern aus den Verschnittresten noch dem Recycling zugeführt werden, sodass der Wertverlust nicht zu groß wird. Verschnitt wird aber trotzdem immer mit einem finanziellen Verlust behaftet sein. Die wirtschaftlichste Möglichkeit der Kostenreduzierung im ersten Prozessschritt „Roh- und Werkstoffe“ ist somit die Einsparung von Materialien. Die Materialeinsparung kann dabei über folgende Vorgehensweisen erreicht werden:

▼ **Reduzierung der eingebrachten Fasermenge:**

Durch die teilweise noch geringe Erfahrung mit Faserverbundwerkstoffen werden bei der Auslegung der Bauteile große Sicherheitsfaktoren berücksichtigt. Durch Optimierungen in der Simulation ist eine Reduzierung der Sicherheitsfaktoren möglich und somit auch eine Verringerung der eingesetzten Fasermenge. Eine weitere Möglichkeit ist die lastpfadgerechte Einbringung von Verstärkungsfasern. So reicht es oft, die Bauteile nur an den hochbelasteten Strukturen zu verstärken, um somit einen Großteil der Verstärkungsfasern einzusparen.

▼ **Verringerung des Verschnitts am 2D-Halbzeug:**

Eine Verringerung des Verschnitts ist beispielsweise durch die optimierte Herstellung von Preforms möglich. Hier kann beispielsweise durch die Verwendung mehrerer kleiner, kompakter Subpreforms anstatt eines großen sperrigen Preforms ein größerer Anteil des Faserhalbzeugs genutzt werden. Da hierdurch jedoch schlechtere Bauteileigenschaften erzeugt werden, muss dementsprechend mehr Material verwendet werden (Aufdickung an einzelnen Bauteilbereichen).

▼ **Verringerung des Verschnitts am 3D-Preform:**

Beim endkonturnahen Preforming fällt weniger Verschnitt an, da im Vergleich zu bisherigen Preforms kleinere Zuschnitte verwendet werden bzw. der anschließende Beschnitt der Preforms reduziert wird. Ebenso ist es möglich, durch das direkte Ablegen von Rovings in Form des Preforms den Verschnitt nahezu komplett zu vermeiden. Die Legeverfahren sind momentan noch sehr langsam und unwirtschaftlich, bergen aber durch die optimale Materialnutzung ein sehr großes Potenzial für Weiterentwicklungen.

Im zweiten Prozessschritt „Halbzeugherstellung“ ist eine Kosteneinsparung vor allem durch die Automatisierung der Prozesse und eine geeignete Prozessverkettung erreichbar. Für die automatisierte Prozessverkettung fehlt momentan noch nutzbare Greiftechnik für biegeschlaffe, luftdurchlässige Faserhalbzeuge wie Gewebe oder

Gelege. Dementsprechend müssen Handhabungssysteme entwickelt werden, die unkritisch in einem automatisierten Prozessablauf eingesetzt werden können. Weiterhin besteht noch Entwicklungsbedarf beim Drapieren der zugeschnittenen Fasermatten auf das Preformingwerkzeug. Hier wird bisher manuell oder teilautomatisiert gearbeitet, eine sinnvolle Kosteneinsparung ist aber nur bei einer vollständigen Automatisierung möglich. Zur erfolgreichen Automatisierung ist es darüber hinaus nötig, geeignete QS-Maßnahmen in die Prozessketten der Halbzeugherstellung zu integrieren. Hierdurch wird es möglich, frühzeitig Schäden im Halbzeug zu identifizieren und dieses auszusortieren. Zur Erreichung dieser Ziele sind neue Sensorsysteme und QS-Strategien nötig, hier liegt somit ein großes Potenzial für zukünftige Entwicklungen.

Die Kosten der Bauteilherstellung im dritten Prozessschritt bestehen zu großen Teilen aus den Investitionskosten für Anlagen und Werkzeuge und den Kosten für Arbeitskräfte. Die Anlagenkosten lassen sich nur senken, indem die Anlagen optimal ausgelastet werden (3-Schicht-Betrieb) oder neue Prozesse und Materialsysteme entwickelt werden, die weniger Anlagenleistung, z. B. Pressenkräfte, benötigen. Die Werkzeugkosten lassen sich eventuell durch den Einsatz von modular aufgebauten Werkzeugen senken, die gleichzeitig noch eine lange Lebensdauer besitzen (Austausch lediglich von verschlissenen Werkzeugbereichen). Eine weitere Möglichkeit der Kostensenkung erfolgt durch den Einsatz von schnelleren Harzsystemen. Momentan wird von einer 3,5-minütigen Aushärtung ausgegangen, was gut zwei Dritteln des Gesamtzyklus entspricht. Wenn hier eine Verringerung der Aushärtedauer erreicht wird, können kürzere Taktzeiten erreicht werden und sämtliche Kosten verteilen sich auf mehr Bauteile. Weiterhin können die Arbeitskosten reduziert werden, indem auch in der Bauteilherstellung ein erhöhter Grad an Automatisierung eingesetzt wird. Das Drapieren der Halbzeuge in der Werkzeugform, die Entnahme des teilweise mit dem Werkzeug verklebten Bauteils und die anschließende Reinigung des Werkzeugs werden momentan meist von Hand durchgeführt.

Der vierte Prozessschritt „End- und Nachbearbeitung“, in dem das Bauteil besäumt wird, ist deutlich teurer als die Prozessschritte zwei und drei. Dies liegt an den recht teuren Preisen der Fräswerkzeuge für FVK bei gleichzeitig geringer Standzeit (max. 30 Minuten Einsatz) und am erhöhten Maschinenstundensatz der Fräszelle, begründet durch die Mehrkosten aus der zwingend nötigen Absaugung der Faserstäube. Eine Kostenreduktion ist somit über neu entwickelte Fräser möglich, die eine längere Standzeit bei niedrigeren Kosten aufweisen. Ein größeres Potenzial der Kostenreduktion kann durch den (nahezu) vollständigen Verzicht auf die Nachbearbeitung erschlossen werden. Dies wird erreicht, sobald Preforms in Endkontur hergestellt bzw. nach Zuschnitt auf Endkontur infiltriert werden können.

4.5

WERTSCHÖPFUNGSPOTENZIALE BEIM SMC-VERFAHREN

WERTSCHÖPFUNGSANTEILE ENTLANG DER EINZELNEN STUFEN

Die Wertschöpfung im SMC-Verfahren für den Kunststoff-Leichtbau weicht von den Wertschöpfungsanteilen des RTM-Verfahrens deutlich ab. Die Wertschöpfungsanteile über die verschiedenen Stufen zeigt die entsprechende Grafik. Die hier ausgewiesenen Anteile basieren auf der Berechnung der Kostenstrukturen eines exemplarischen Bauteils, deren Kennzahlen auf der Einschätzung von Experten basieren. Je nach Bauteil sind also Abweichungen möglich. Auch hier zeigt sich, dass weite Teile der Wertschöpfung bereits bis zur Halbzeugherstellung generiert werden. Zwar ist dieser nicht so hoch wie beim RTM-Verfahren, dennoch liegt er bei etwa 50 Prozent der Gesamtwertschöpfung.

Die Herstellung des Bauteils weist etwa einen Anteil zwischen 25 und 30 Prozent der Wertschöpfung des exemplarischen Leichtbauprodukts auf. Ein etwas geringerer Anteil von etwa 20 bis 25 Prozent entfällt auf die End- und Nachbearbeitung. Im Vergleich zum RTM-Verfahren weist das SMC-Verfahren also eher in den hinteren Wertschöpfungsstufen höhere Anteile auf. Auch hier wurde die nachfolgende Stufe der Montage bei der Kostenberechnung nicht berücksichtigt, da hier die Kostenanteile zu stark von der Art des Bauteils abhängig sind und für diese Betrachtung zu stark variieren würden.

ANTEILE DER KOSTENARTEN BEI DER BAUTEILHERSTELLUNG

Insbesondere ergeben sich Unterschiede zwischen den Kunststoffverfahren bei einer Betrachtung der Bauteilherstellung. Während das RTM-Verfahren mit hohen Personalkosten einhergeht, ist das SMC-Verfahren von deutlich höheren Energiekosten geprägt. Diese weisen bei diesem Anwendungsfall einen Anteil von 35 bis 40 Prozent der Prozesskosten für die Bauteilherstellung aus. Sie stellen folglich gemeinsam mit den Anlagenkosten den größten Posten der Kosten für die Bauteilherstellung. Die Kosten für die Anlage und für Energie machen somit einen Anteil von über 75 Prozent der Gesamtkosten in dieser Wertschöpfungsstufe aus.

Die Kosten für das an dem Prozess beteiligte Personal stellen einen Anteil von 20 bis 25 Prozent. Der verbleibende Anteil von unter fünf Prozent setzt sich aus sonstigen Kosten wie bspw. für Anlagenwartung und Miete zusammen. Auch hier ist anzumerken, dass das Verhältnis der einzelnen Kostenblöcke stark variieren kann und von verschiedenen Faktoren abhängt.

AKTUELLE KOSTENTREIBER UND KOSTENSENKUNGSPOTENZIALE

Beim SMC-Verfahren existieren mehrere Prozessschritte, die derzeit noch mit technisch-wirtschaftlichen Herausforderungen behaftet sind. Ein entscheidender Kostentreiber stellt bspw. die Beschaffung der Rohstoffe dar. Durch die hohen Rohstoffpreise, bei denen auch zukünftig kaum von Preisreduzierungen ausgegangen



werden kann, stellen die Materialkosten den größten Kostenblock im Kernprozess des Leichtbaus im SMC-Verfahren.

Ein weiterer Punkt, der Kosten schnell ansteigen lässt, ist die Zykluszeit beim Pressen des Bauteils. Durch die lange Zykluszeit beim Pressprozess kann nur eine vergleichsweise geringe Stückzahl gefertigt werden, wodurch die umgelegten Anlagekosten je Stück sehr hoch sind. Kostensenkungspotenziale bestehen hier bspw. durch neue Automatisierungslösungen und Verbesserungen im Pressverfahren.

Ebenfalls ist das Lackieren im Prozessschritt Nachbearbeitung ein entscheidender Kosten-treiber. Insbesondere die Oberflächenbehandlung hochwertiger Bauteile mit entsprechenden Eigenschaften verursacht hohe Kosten beim Nachbearbeitungsprozess. Dieser Verfahrensschritt ist derzeit einer der kritischen Prozesse im SMC-Verfahren.

PROZESSCHRITTE BEIM SMC-VERFAHREN MIT HEMMNISSEN UND POTENZIALEN

Als Sheet Moulding Compound (SMC) bezeichnet man flächige, mit geschnittenen Fasern verstärkte (z. B. Glasfasern) Harzmatten, die in einem Heißpressprozess zu einem Bauteil geformt und ausgehärtet werden. Daher ist der SMC-Fertigungsprozess im Wesentlichen ein zweistufiges Verfahren, das sich in die Halbzeug- und die Bauteilherstellung mit der anschließenden Nachbearbeitung gliedert.

Für den Werkstoff SMC steht eine vielfältige Auswahl an Rohstoffen zur Verfügung. So können beispielsweise Harze auf Basis von ungesättigten Polyestern (UP), Vinylester oder auch Epoxidharze (EP) als Matrix-Komponente verwendet werden. Als Verstärkungsfasern werden üblicherweise Glasfasern verwendet, während der Einsatz von Kohlenstofffasern derzeit ständig zunimmt. Je nach Anwendung werden unterschiedlich große Anteile an Füllstoffen eingesetzt, wodurch Kosten, Verarbeitungs- und Bauteileigenschaften beeinflusst werden können.

Nach der Vermischung der Rohstoffe findet auf Flachbahnanlagen die eigentliche Halbzeugherstellung statt. Dabei wird das Harz-Füllstoff-Gemisch auf eine Trägerfolie gerakelt und mit den Verstärkungsfasern bestreut. Diese werden von Faserspulen (Rovings) abgewickelt und mit einem Schneidwerk auf eine Länge von ca. 25 mm geschnitten. Der Vorgang der Halbzeugherstellung ist bereits vollständig automatisierbar. Dabei gilt es, während des gesamten Prozesses eine möglichst gleichbleibende hohe Qualität hinsichtlich der Homogenität des Harz-Füllstoff-Gemisches, seiner Aufbereitung auf der SMC-Flachbahnanlage und der Faserzudosierung sicherzustellen.

Nach der Imprägnierung der Fasern durch das Harz-Füllstoff-Gemisch wird das Compound aufgerollt und in einen Reifeprozess übergeben. Dabei findet eine Viskositätssteigerung statt, wodurch das SMC-Halbzeug eine lederartige Konsistenz erlangt und handhabbar wird. Dieser Reifeprozess, der gewissen Schwankungen

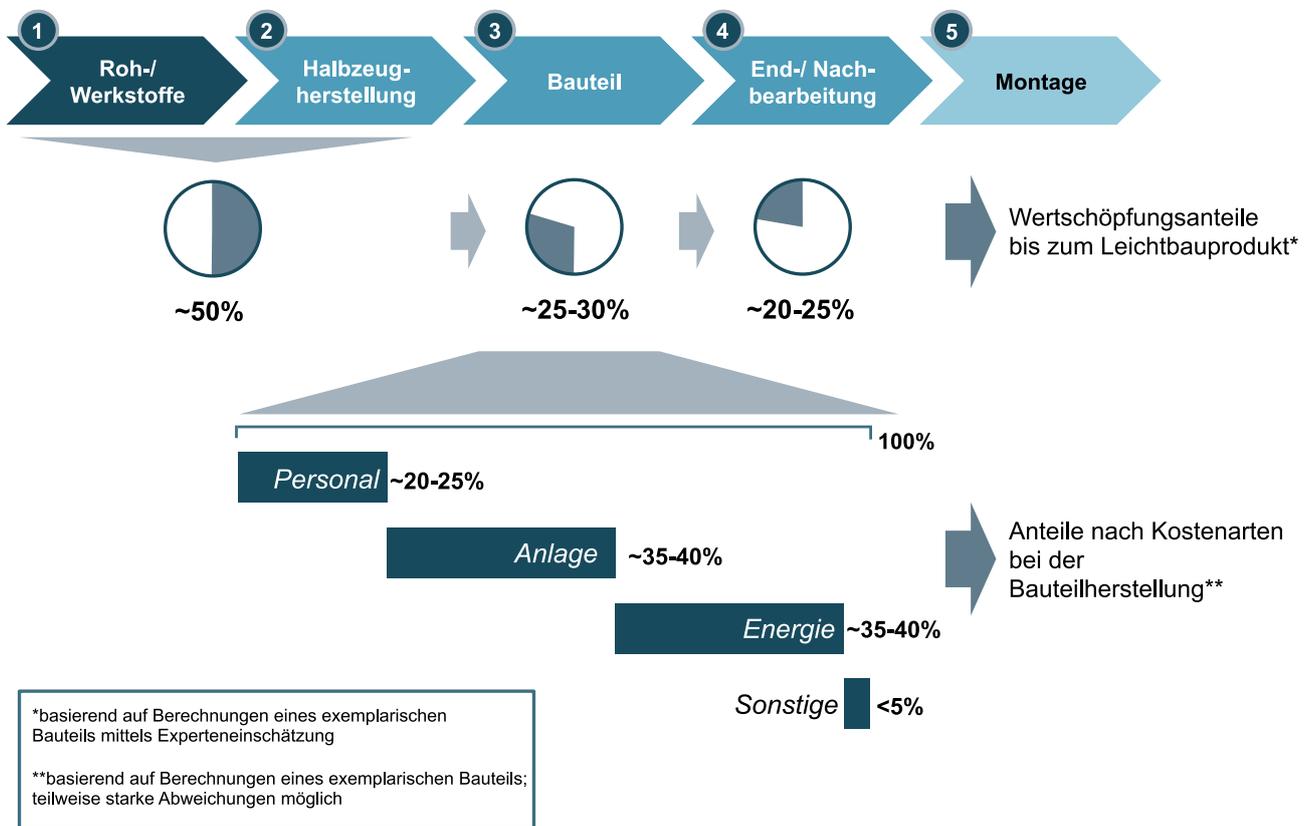


Abbildung 4-8: Wertschöpfungsanteile entlang der Stufen auf Basis eines exemplarischen Bauteils beim SMC-Verfahren

unterliegen kann, muss ebenfalls prozessbegleitend kontrolliert werden, um gleichbleibende Verarbeitungseigenschaften im Pressprozess zu gewährleisten.

Bei der Bauteilherstellung wird das SMC-Halbzeug zunächst abgewickelt, zurechtgeschnitten und in mehreren Lagen (Stacking) gestapelt. Je nach Werkstoffzusammensetzung und Anwendung kann es sinnvoll sein, vor dem Einlegen in das Presswerkzeug ein Preform herzustellen. Beim formgebenden Pressprozess fließt der SMC-Werkstoff unter Druck (ca. 100 - 200 bar) und Temperatur (ca. 120 - 170 °C) und füllt so die Werkzeugkavität. Bei hohen Anforderungen an die Bauteiloberflächenqualität kann nach dem Aushärten ein In Mould Coating auf das Bauteil aufgebracht werden.

Die Nachbearbeitung beinhaltet die spanende Bearbeitung des Bauteils, das Entgraten und einen möglichen Lackierprozess. Gefügt werden SMC-Bauteile meist durch Kleben. Derzeit stellt die spanende Bearbeitung – zumindest bei Verwendung von Kohlenstoffverstärkungsfasern – noch eine Herausforderung dar, da entsprechende Prozesse aus der Metallbearbeitung nicht übertragbar sind. Für die Einleitung hoher Kräfte in das SMC-Bauteil sind entsprechende Krafteinleitungselemente vorzusehen.

Das Lackieren von SMC-Bauteilen kann dazu führen, dass sich bauteiloberflächennahe Poren durch die hohen Temperaturen beim Lackierprozess ausdehnen und somit zu Ausschussteilen führen. Daher gilt es, bei Bauteilen für den Sichtbereich eine prozessbe-

gleitende Qualitätssicherung einzuführen, um insbesondere den Reifevorgang des SMC-Halbzeuges zu überwachen.

Die Montage von SMC-Bauteilen beinhaltet das Aufnehmen, Ausrichten, Spannen und gegebenenfalls das Fügen. Das Fügen von endlosfaserverstärkten Faserverbundbauteilen mit duromerer Matrix ist praktisch nur durch Kleben möglich. Für eine Verschraubung sind bei der Nachbearbeitung eingebrachte Vorrichtungen notwendig. Stand heute ist der Sheet Moulding Compound-Prozess bereits mittel- und großserienfähig und quasi voll automatisierbar. Die im Vergleich zu metallischen Verfahren geringen Anschaffungskosten für Anlagen machen ihn vor allem bei mittleren Stückzahlen wirtschaftlich attraktiv. Durch die formgebende Verarbeitung in einem einzigen Presswerkzeug können sehr komplexe Geometrien für maßhaltige und temperaturbeständige Bauteile erzielt werden.

Insbesondere die Simulation des Formfüllvorgangs bei der Bauteilherstellung und die resultierenden Faserorientierungen im SMC-Bauteil – und somit seine mechanischen Eigenschaften – stellen derzeit noch eine Herausforderung dar. Fortschritte auf diesem Gebiet würden die Auslegung von SMC-Bauteilen erheblich beschleunigen und könnten zu einer weiteren Gewichtsreduzierung führen, da somit mit einem geringeren Sicherheitsfaktor konstruiert werden könnte.

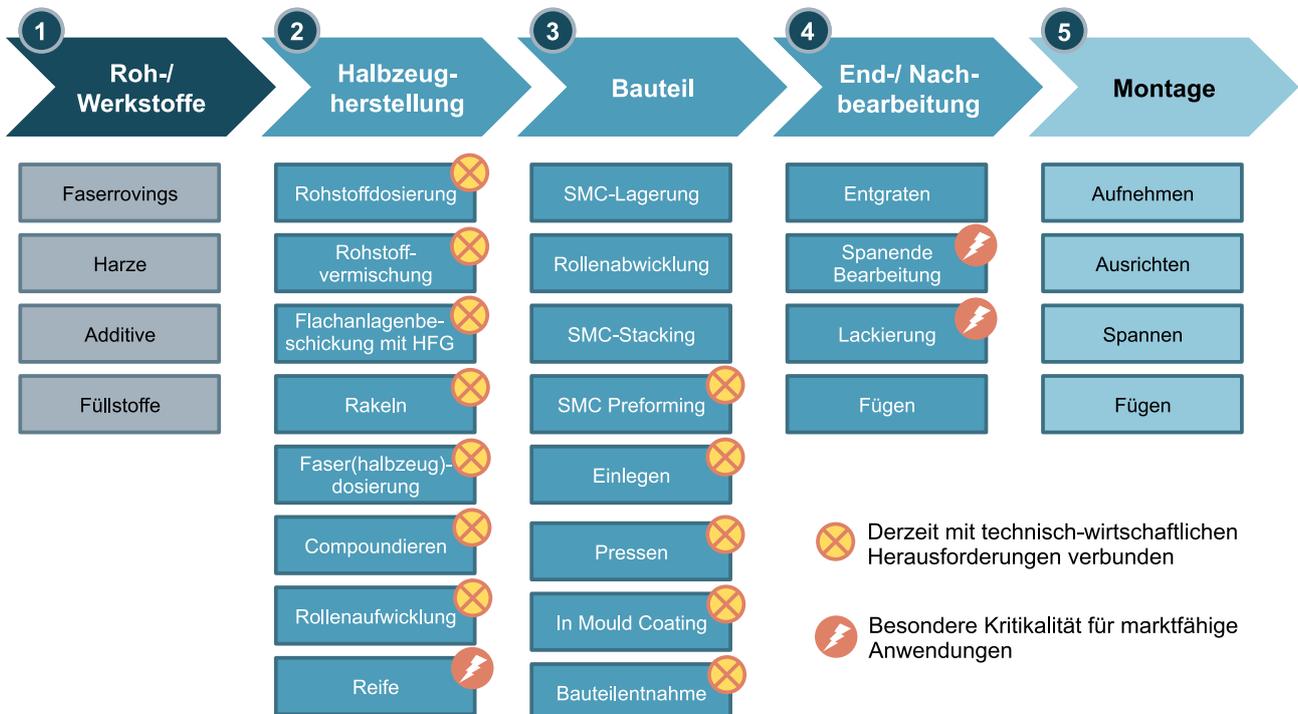


Abbildung 4-9: Prozessschritte beim SMC-Verfahren mit Hemmnissen und Potenzialen



4.6

AKTEURE IN BADEN-WÜRTTEMBERG IM METALL-LEICHTBAU

Auch im Metall sind zahlreiche Unternehmen mit Sitz in Baden-Württemberg entlang der Wertschöpfungskette tätig. Ebenfalls ist davon auszugehen, dass Baden-Württemberg in den vorgelagerten Stufen vergleichsweise weniger stark aufgestellt ist. Materialien werden häufig aus dem Ausland bezogen und zugekauft, während zum Ende der Wertschöpfungskette die Relevanz des Metall-Leichtbaus wächst.

Auch für den Metall-Leichtbau lässt sich die gleiche Zuteilung an Unternehmensgruppen, die als Schlüsselakteure im Leichtbau an-

gesehen werden können, heranziehen. Die zugehörige Grafik zeigt einen Auszug exemplarischer Unternehmen mit Sitz in Baden-Württemberg, die entlang der Wertschöpfungskette aktiv sind.

Jedes Unternehmen ist der entsprechenden Stufe zugeteilt, in der es geschäftstätig ist, sowie einer Akteursgruppe, deren Unternehmen vergleichbare Tätigkeiten ausüben. Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern stellt lediglich einige exemplarische Akteure dar, um einen Eindruck der praktischen Relevanz für das Land Baden-Württemberg im Metall-Leichtbau zu vermitteln.

ROH- UND WERKSTOFFHERSTELLER (I)

Die erste Gruppe stellt Unternehmen dar, die Roh- und Werkstoffe gewinnen und diese verarbeiten. Diese sind sehr früh in der Wertschöpfungskette angesiedelt und halten auch beim Metall hohe Anteile an der Gesamtwertschöpfung von Leichtbauprodukten.

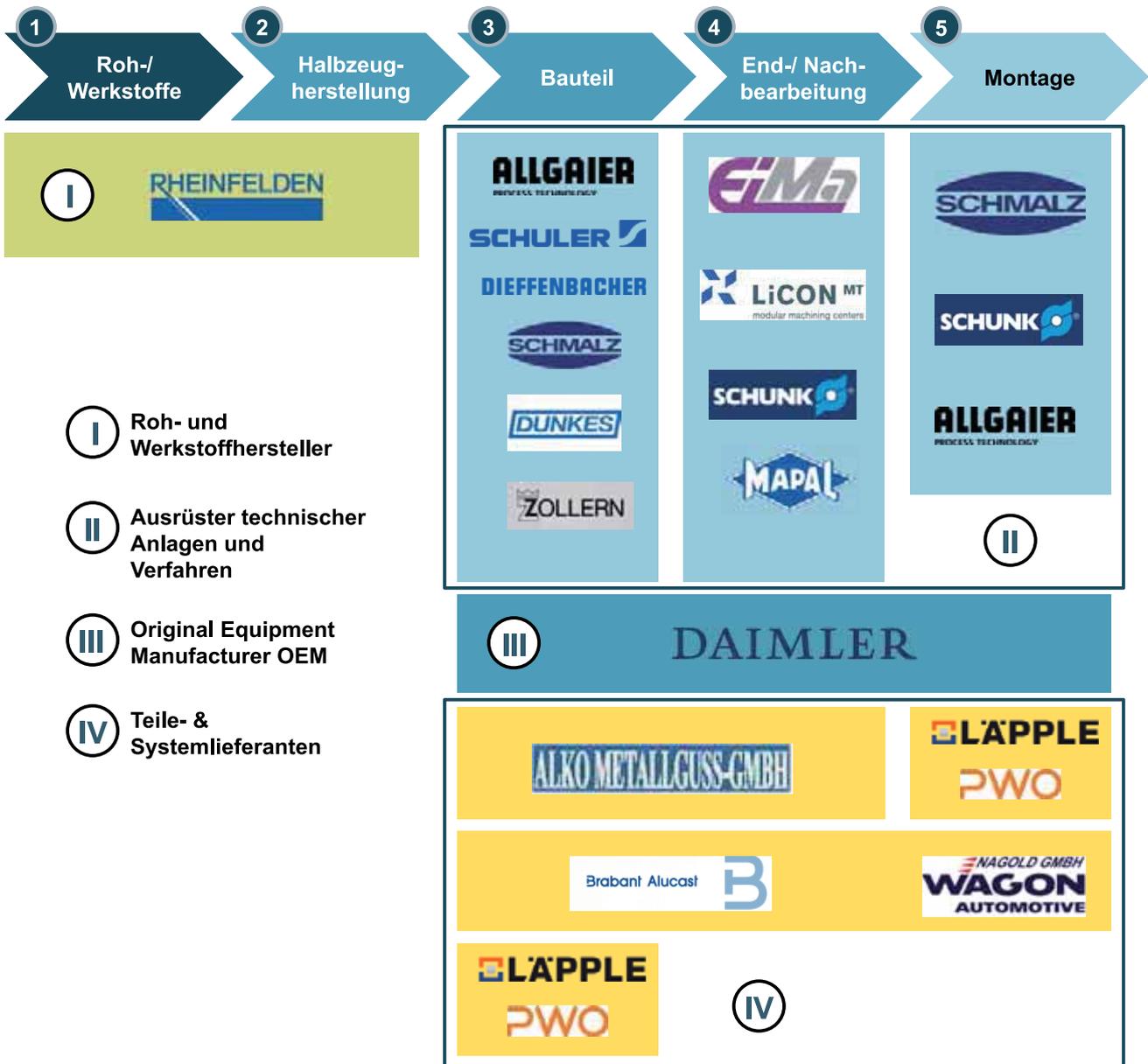


Abbildung 4-10: Die vier Akteursgruppen im Metall-Leichtbau entlang der Wertschöpfungsstufen (mit Beispielen baden-württembergischer Unternehmen)

Neben der reinen Rohstoffgewinnung partizipieren diese Betriebe hauptsächlich über die Legierungsbildung und beliefern damit nachgelagerte Wertschöpfungsstufen. Traditionell ist Baden-Württemberg in diesem Bereich, im Vergleich zu anderen Teilen der Wertschöpfungskette, weniger stark vertreten.

AUSRÜSTER TECHNISCHER VERFAHREN (II)

Die zweite Gruppe der Schlüsselakteure beinhaltet Ausrüster technischer Verfahren, also die Hersteller von Maschinen und Anlagen, auf denen Leichtbauprodukte gefertigt werden. Diese Gruppe ist in Baden-Württemberg vergleichsweise stark vertreten. Häufig sind diese Betriebe im Maschinen- und Anlagenbau tätig und sind einer eigenen Ausrüsterkette zuzuzählen. Ihr Wertschöpfungsanteil lässt sich in den Kosten zur Beschaffung von Maschinen und Anlagen im Kernprozess wiederfinden, die ebenfalls im Leichtbauprodukt enthalten sind. Die Betriebe dieser Gruppe sind äußerst heterogen und stellen Umformtechniken oder Montagesysteme her. Auch hier existieren Betriebe, die sämtliche Verfahren zur Bearbeitung von Metallprodukten über die gesamte Kette bereitstellen.

ORIGINAL EQUIPMENT MANUFACTURER (III)

Original Equipment Manufacturer (OEM) sind auch im Metall als einer der Schlüsselakteure im Wertschöpfungsprozess im Leichtbau zu sehen. Diese Unternehmen produzieren einerseits die Endprodukte und beziehen andererseits das Leichtbauprodukt als vorläufiges Zwischenprodukt. Oftmals sind die OEMs aber nicht nur in der letzten Stufe der Wertschöpfung tätig, sondern integrieren vorgelagerte Prozessschritte. Der Anteil dieser Unternehmen

ist in Baden-Württemberg vergleichsweise hoch. Betriebe sind hier verstärkt im Automobilbau oder in der Elektrotechnik tätig.

TEILE- UND SYSTEMLIEFERANTEN (IV)

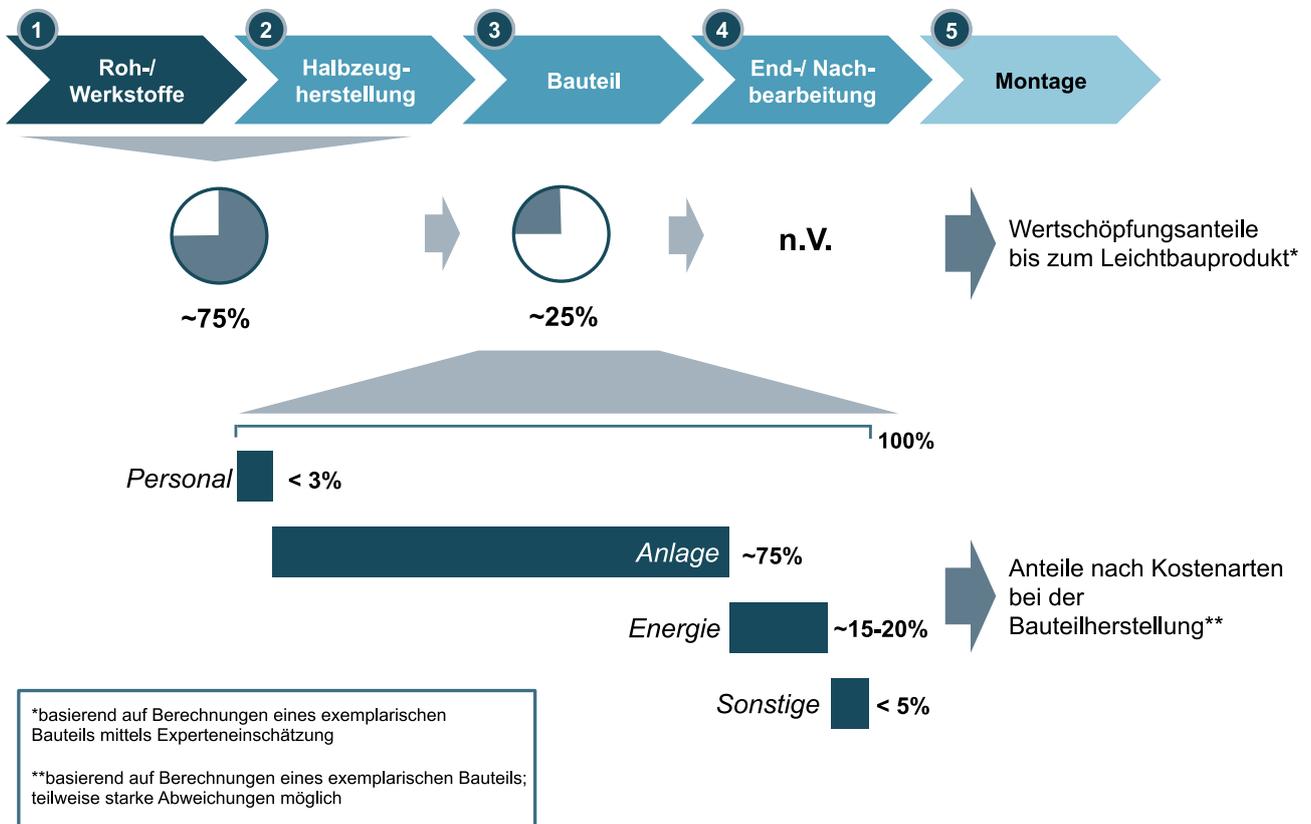
Die vierte Gruppe besteht aus Unternehmen, welche Teile oder Systeme den OEMs zuliefern. Diese Gruppe betreibt den eigentlichen Kernprozess des Leichtbaus und produziert das vorläufige Zwischenprodukt. Betriebe, die dieser Gruppe zuzuzählen sind, agieren in verschiedenen Branchen und weisen in Baden-Württemberg eine vergleichsweise hohe Verbreitung auf. Auch diese Gruppe ist sehr heterogen hinsichtlich Branchenzugehörigkeit und Wertschöpfungstiefe ihrer Betriebe.

4.7

WERTSCHÖPFUNGSPOTENZIALE IM METALL-LEICHTBAU

WERTSCHÖPFUNGSANTEILE ENTLANG DER EINZELNEN STUFEN

Die Wertschöpfung für den Metall-Leichtbau mit entsprechenden Anteilen ist für die nachfolgende Analyse für das Tiefziehen dargestellt. Auch hier hält die Herstellung des Materials und des Halbzeugs mit ca. 75 Prozent den Hauptteil der Wertschöpfung. Da die End- und Nachbearbeitung in diesem Verfahren nicht notwendig ist, entfallen die verbleibenden 25 Prozent der Gesamtwertschöpfung auf die Herstellung des Bauteils.



*basierend auf Berechnungen eines exemplarischen Bauteils mittels Experteneinschätzung
 **basierend auf Berechnungen eines exemplarischen Bauteils; teilweise starke Abweichungen möglich

Abbildung 4-11: Wertschöpfungsanteile entlang der Stufen auf Basis eines exemplarischen Bauteils beim Tiefziehen



ANTEILE DER KOSTENARTEN BEI DER BAUTEILHERSTELLUNG

Bei der Betrachtung der Kostenanteile für die Bauteilherstellung wird deutlich, dass es sich um einen hochautomatisierten Prozess handelt. Etwa 75 Prozent der gesamten Kosten zur Herstellung des exemplarischen Bauteils entfallen auf die Anlage. Der zweitgrößte Posten dieser Kostenstruktur ist die für die Anlage benötigte Energie. Die Energiekosten machen nochmals 15 bis 20 Prozent der Gesamtkosten dieser Wertschöpfungsstufe aus.

Folglich scheinen die verbleibenden Kostenarten eher vernachlässigbar. Das Personal verursacht lediglich einen Kostenanteil von unter drei Prozent. Auch andere Kosten wie bspw. für Wartung oder Miete fallen mit unter fünf Prozent kaum ins Gewicht. Allerdings kann das Verhältnis der einzelnen Kostenblöcke stark variieren und hängt von mehreren Faktoren ab.

AKTUELLE KOSTENTREIBER UND KOSTENSENKUNGSPOTENZIALE

Verfahren im Metall-Leichtbau sind bereits auf einem vergleichsweise hohen Entwicklungsstand. Sowohl beim Tiefziehen als auch im Gussverfahren existieren nur wenige Prozessschritte, die mit Herausforderungen für Betriebe verbunden sind. Grundsätzlich sind die Metallverfahren im Kernprozess mit hohen Energiekosten verbunden. Dies kommt insbesondere durch die energieintensiven Prozesse bei der Umformung zustande. Mit Kostensenkungen bei den Energiekosten ist derzeit nicht zu rechnen.

Ein entscheidender Treiber im Metall-Leichtbau sind die Stückzahlen. Bei Großserienanwendungen können hohe Automatisierungsgrade realisiert werden, was zu deutlichen Kostensenkungen bei den verarbeitenden Werkstoffen, den zugehörigen Blechdicken und dem Pressprozess führt. Hierdurch verringern sich deutlich die Kosten je Bauteil.

Andererseits existiert das Problem bei Kleinserien als Kostentreiber. Sind die Stückzahlen zu klein, steigen die umgelegten Maschinenkosten für ein Bauteil rasant an. Insbesondere beim Formwerkzeug

und beim Pressen ist hier von deutlichen Kostensteigerungen je Bauteil auszugehen.

PROZESSSCHRITTE BEIM GUSSVERFAHREN MIT HEMMNISSEN UND POTENZIALEN

Das Gießen in der Metallverarbeitung zählt zu den wichtigsten Herstellverfahren von Metallbauteilen. Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Gießverfahren, welche je nach Geometrie und Komplexität des Bauteils ausgewählt werden. Gießen zählt zu den urformenden Herstellverfahren nach DIN 8580.

Zu Beginn der Prozesskette steht der Rohstoffabbau. Die Erze werden gefördert und aufbereitet, sodass beispielsweise Roheisen oder reines Aluminium vorliegt. Der Abbau besitzt eine hohe Kritikalität, da es sich um endliche Rohstoffe handelt, die nur begrenzt verfügbar sind. Die Rohstoffaufbereitung ist sehr energieintensiv, weshalb sie für die Prozesskettenbetrachtung ebenfalls als besonders kritisch eingestuft wird. Für viele Applikationen wird nicht der reine Werkstoff genutzt, sondern Legierungen mit anderen Metallen. Bei der Legierungsbildung ist auf eine exakte Dosierung der Zusatzelemente zu achten, um die gewünschten Eigenschaften der Legierung zu erhalten.

Die legierten Halbzeuge werden in der Regel auf zweierlei Arten vom Hersteller bezogen. Zum einen als angelieferte flüssige Schmelze zur direkten Weiterverarbeitung oder zum anderen als sogenannte Masseln, die später wieder aufgeschmolzen und dann zu Bauteilen vergossen werden. Je nach Anlieferungsform kann die Schmelze sofort weiterverarbeitet werden oder können die Masseln bis zur Verwendung gelagert werden.

PROZESSSCHRITTE BEIM TIEFZIEHEN MIT HEMMNISSEN UND POTENZIALEN

Ein weiteres Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus metallischen Werkstoffen ist die Blechumformung. Dieses Verfahren wird im Rahmen der Studie exemplarisch am Beispiel des Tiefziehprozesses dargestellt.

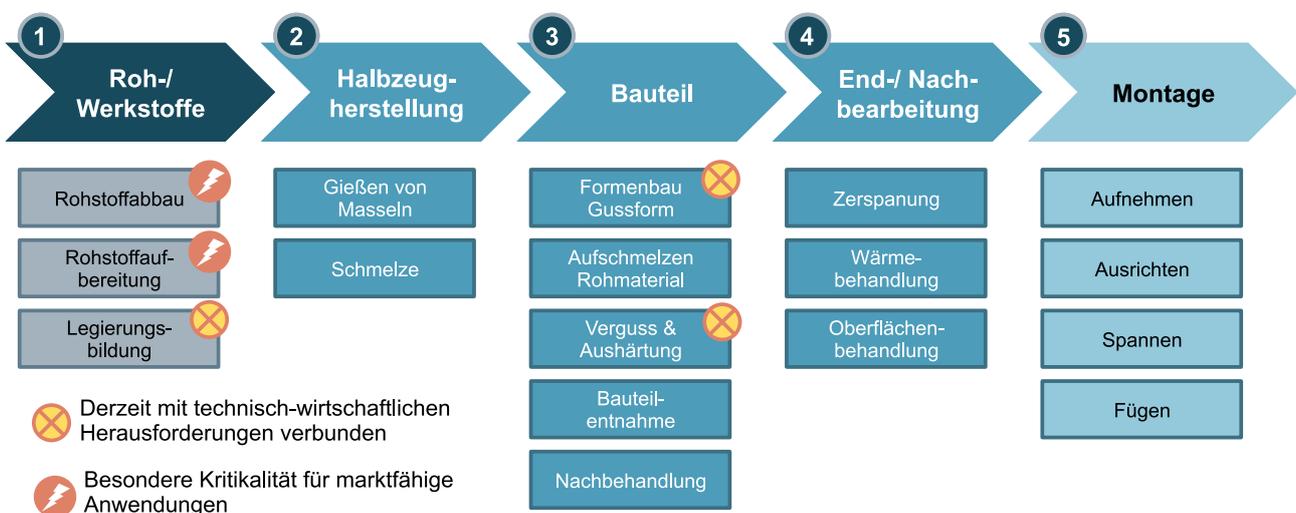


Abbildung 4-12: Prozessschritte beim Gussverfahren mit Hemmnissen und Potenzialen

Bei diesem Fertigungsverfahren werden Blechrohlinge in Pressenanlagen, je nach Anwendungsfall in einem oder in Kombination mit weiteren Nachformungsschritten, zu Bauteilen ausgeformt. Die einzelnen Pressenanlagen, welche die entsprechenden Teilprozessschritte durchführen, ergeben in ihrer Gesamtheit die vollständige Pressenstrabe. Der Rohstoffabbau, die Rohstoffaufbereitung sowie die Legierungsbildung erfolgen nach demselben Muster wie beim Gießen. Jedoch werden nachgelagert unterschiedliche Schritte zur Halbzeugherstellung durchlaufen.

Nach der Herstellung von Walzbarren durch den sogenannten Formatguss werden diese in Walzwerken zu Blechen variabler Dicke und Breite gewalzt. Die Minstdicken liegen im Bereich weniger Mikrometer bei der Herstellung von Folien. Anschließend können die Bleche gegläht werden, um spezielle Eigenschaften einzustellen oder die spätere Verformbarkeit zu verbessern. Beim Recken und Entfetten werden Wellen im Blech geglähtet und Rückstände des Walzöles entfernt. Abschließend wird das Blech zu sogenannten Coils aufgewickelt.

Der Tiefziehprozess zur Bauteilherstellung untergliedert sich in mehrere Teilschritte. Ähnlich wie beim Gießen werden beim Tiefziehen Formen benötigt. Die Negativform, welche die Bauteildimensionen abbildet, wird beim Umformprozess als Matrize bezeichnet. Zu Beginn der Prozesskette wird das Blech mit einem Stanzwerkzeug auf die entsprechende Größe vorkonfektioniert und anschließend in das Ziehwerkzeug eingelegt. Dies geschieht meist auf einer separaten Stanzpresse, da der Stanzprozess auf maximale Hubzahl ausgelegt ist und die Platinenstapel für die anschließende Pressenstrabe vorbereitet werden können.

Die Herstellung des Bauteils geschieht mittels aufgesetzten Blechhaltern zur Fixierung der Platine und dem Ziehstempel zur Formgebung der Bauteilgeometrie in der Matrize. Eine begrenzte Umformbarkeit des eingesetzten Werkstoffes oder zu große Ziehwege

können zu Schwierigkeiten bei der Herstellung führen, sodass es zu Rissen oder zur Faltenbildung kommen kann.

Anschließend werden die Ränder in mehreren Folgeoperationen beschnitten und gebogen. In einer voll automatisierten Fertigung in einer Pressenstrabe finden sich vom Ziehen des Bauteils bis zum Beschnitt und Falzen alle Prozesse wieder und werden durch spezielle Handlungseinheiten und Automatisierungseinrichtungen zum jeweils nächsten Prozessschritt befördert. Die Einzelschritte sind alle gleichgetaktet, sodass kein Werkstückstau entsteht. Die Prozessschritte nach dem Ziehen des Bauteils sind hier unter End-/ Nachbearbeitung gelistet und tauchen in der Kostenabschätzung der nachfolgenden Kapitel jedoch nicht gesondert auf. Die anfallenden Kosten sind in den gesamten Herstellprozess mit eingerechnet. Da die nachgelagerten Prozessschritte „Beschnitt“ und „Nachformen“ alle auf einer Pressenstrabe durchgeführt werden, findet eine separate Berechnung nicht statt.

Eine mechanische Endbearbeitung mittels zerspanender Verfahren ist bei dem betrachteten Bauteilspektrum zumeist nicht nötig und erfolgt bei Bedarf erst im Rohbau der fertigen Karosserie. Die Oberflächenbehandlung umfasst meist die kathodische Tauchlackierung sowie die Aufbringung des Decklackes auf die Bauteile. Diese Prozesse fallen entweder für die Einzelkomponenten an oder werden dem Zusammenbau nachgeschaltet.

Die Montage von Blechbauteilen erfolgt meist automatisiert oder in teilautomatisierten Prozessen in speziellen, oft roboterbasierten Schweißanlagen. Hier werden die Einzelteile, beispielsweise für Rohkarosserien, zusammengebaut, bevor sie die Prozessschritte zur Oberflächenbehandlung wie die kathodische Tauchlackierung und die Endlackierung durchlaufen.

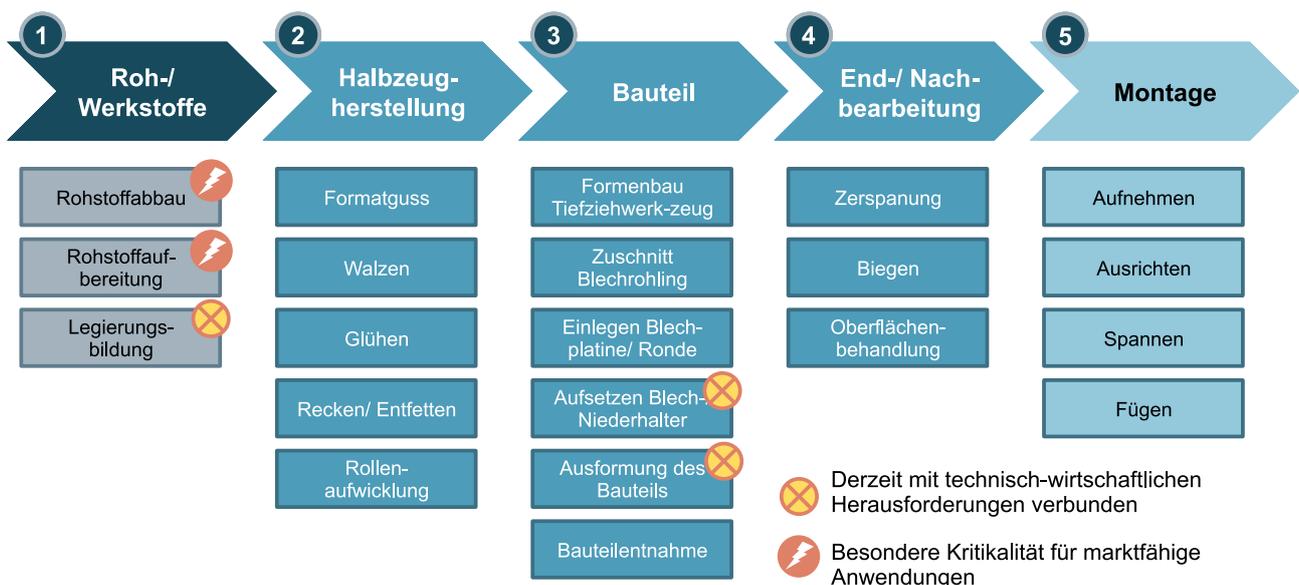


Abbildung 4-13: Prozessschritte beim Tiefziehen mit Hemmnissen und Potenzialen



KAPITEL 5

KOSTENSTRUKTUREN VON LEICHTBAU-VERFAHREN FÜR KUNSTSTOFF UND METALL

5.1

KOSTENMODELLE FÜR DEN LEICHTBAU: GRUNDLAGEN

Vor einem Einstieg in die Produktion mit Leichtbau empfiehlt es sich, eine Kostenabschätzung hinsichtlich der entstehenden Bauteilkosten sowie der Funktionalität durchzuführen. Hierzu wurden verschiedene Modelle entwickelt, die Unternehmen bei einer Kostenanalyse helfen können.

WAS KÖNNEN DIE KOSTENMODELLE?

Um Betriebe bei einer ersten Kostenabschätzung zu unterstützen, wurden neue Kostenmodelle entwickelt. Diese Kostenmodelle zeigen,

- ▼ welche Kostenstrukturen im Leichtbau für eine Berechnung zu berücksichtigen sind,
- ▼ wie die Wertschöpfungsanteile entlang der einzelnen Stufen im Produktionsprozess verteilt sind,
- ▼ welche Prozesskosten sich hinter den einzelnen Prozessschritten im Kernprozess verbergen,
- ▼ wo Potenziale für Kostensenkungen im Kernprozess existieren.

Die Kostenmodelle sind so aufgebaut, dass sie von Unternehmen einfach und mit geringem Zeitaufwand angewendet werden können. In den nächsten Abschnitten wird die Anwendung der Kostenmodelle anhand exemplarischer Bauteile beschrieben und deren Kostenstrukturen werden analysiert.

Zwar geben diese Anwendungen Einblicke zur Kostenhöhe und den dahinterstehenden Kostenstrukturen, dennoch wird darauf hingewiesen, dass diese Größen sich je nach Bauteil und Betrieb stark unterscheiden können. Eine eigene Kostenanalyse ist somit unumgänglich. Die gezeigten Anwendungen sollen hierzu lediglich zur Unterstützung dienen.

WO KANN ICH MEHR ZU DEN KOSTENMODELLEN ERFAHREN?

Insgesamt wurden drei Kostenmodelle entwickelt. Die Modelle basieren alle auf einer ähnlichen Grundstruktur die sich an generischen Wertschöpfungs- und Prozessschritten orientiert. Jedes Kostenmodell wurde zudem mit individuellen Anpassungen versehen, um die Besonderheiten der verschiedenen Verfahren abbilden zu können.

In einem gewissen Rahmen können die Kostenmodelle auch an andere Prozesse angepasst werden. Hierzu werden jedoch ein genaues Prozessverständnis und je nach Detailgrad der Veränderungen umfassende Kenntnisse in Microsoft Excel vorausgesetzt.

Die Kostenmodelle wurden von den jeweiligen Experten des Konsortiums entwickelt und exemplarisch validiert. Die herangezogenen Parameter und Kennzahlen basieren ebenfalls auf dem Erfahrungswissen der Experten sowie teilweise auf der einschlägigen Literatur der verschiedenen Fertigungsverfahren.

Die Berechnungen für Strukturbauteile im RTM-Verfahren wurden vom KIT-wbk, bei semistrukturellen Bauteilen im SMC-Verfahren vom Fraunhofer ICT sowie bei exemplarischen metallischen Bauteilen vom Fraunhofer IPA durchgeführt.

5.2

VORGEHEN UND METHODIK ZUR BERECHNUNG DER KOSTENSTRUKTUREN

Die von den Forschungsinstituten entwickelten Kostenmodelle wurden mit Standardwerten für die jeweiligen Beispielbauteile ausgefüllt. Da jedes Verfahren gewisse Vor- und Nachteile gegenüber anderen Verfahren hat und nur unter bestimmten Voraussetzungen zur Anwendung kommt, sind die hier vorgestellten Verfahren nicht miteinander vergleichbar.

So wird im Kostenmodell für die RTM-Prozesskette ein mittelmäßig komplexes Strukturbauteil in Hutprofilform für geringe Stückzahlen betrachtet, das aus einem Hochleistungsfaserverbund besteht. In dem Modell der SMC-Prozesskette wird mit einer Motorhaube ein flächiges Bauteil, das besondere Anforderungen an die Oberfläche stellt, für große Stückzahlen betrachtet. In der Metallleichtbau-Prozesskette dagegen wird für größte Stückzahlen ein einfaches Bauteil für die Beplankung eines Fahrzeugs gewählt, an das keine weiteren Anforderungen gestellt werden.

Für den Anwender relevant ist nur das Tabellenblatt „Eingabemaske“. Hier erfolgen alle relevanten Eingaben und auch die Ergebnisse werden hier angezeigt.

Allgemein gilt für alle Modelle, dass Werte in grün hinterlegten Feldern durch Benutzereingaben variiert werden dürfen, so z. B. die Jahresstückzahl, Bauteildimensionen und Materialkosten. Blau und grau hinterlegte Felder liefern Zwischenergebnisse, diese Felder sollen nicht verändert werden, da sonst eine fehlerfreie Berechnung der Gesamtkosten nicht gewährleistet werden kann. Zu diesen Feldern gehören hauptsächlich die zusammengefassten Kosten am Ende eines jeden Prozessschrittes und die Berechnungen zwischendrin. Das Endergebnis wird in der letzten Zeile gelb hinterlegt dargestellt.

Zusätzlich gibt es eine kleine Übersicht in der Liste Sensitivität in den ersten Zeilen, die die Bauteilkosten bei verschiedenen Parametern wiedergibt.

Die Kosten werden sowohl als Bauteilkosten als auch als Kosten pro Kilogramm angegeben. Darüber hinaus kann in jedem Prozessschritt separat der Ausschuss festgelegt werden. Um die Potenziale der einzelnen Wertschöpfungsketten aufzuzeigen, wird der Ausschuss vernachlässigt.



Die Kostenmodelle sind entsprechend der Wertschöpfungsstrukturen aufgebaut. Zu Beginn muss die Jahresstückzahl in dem dafür vorgesehenen Feld eingetragen werden, gleiches gilt für die Bauteildimensionen eines bereits definierten Bauteils, für das eine werkstoffkonforme Auslegung und somit Geometriedaten existieren.

ROH- BZW. WERKSTOFFE

Für die Kostenevaluation sind die Rohstoffkosten als Eingangsgrößen definiert und werden in Abhängigkeit des Bauteilvolumens in Materialkosten überführt, wobei auch indirekte Kosten durch Lagerung oder Verschnitt berücksichtigt sind.

HALBZEUGHERSTELLUNG

Falls eine Verarbeitung der Werkstoffe zu Halbzeugen stattfindet, werden hier die Kosten eingetragen.

BAUTEIL

In diesem Teil werden alle Schritte und Kosten berücksichtigt, die zur Formgebung des Bauteils beitragen. Es werden die Abschreibungen der Investitionskosten für Anlagen und Werkzeuge berücksichtigt, welche auf der Bauteilgröße und Komplexität, die anfangs eingegeben wurden, basieren. Ebenso werden unterschiedliche Abschreibungszeiträume berücksichtigt.

Entsprechend der vorzugebenden Jahresstückzahl wird durch die Kostenmodelle berechnet, wie viele Fertigungslinien notwendig sind bzw. wie stark diese ausgelastet werden. Übersteigt die Jahresstückzahl die Kapazität einer Fertigungslinie, wird mit einer weiteren Anlage kalkuliert. Dabei wird eine vollständige Anlagenauslastung z. B. durch andere Fertigungsaufträge angenommen, was jedoch nur bei optimaler Kapazitätsauslastung erreichbar ist.

Die Energiekosten werden in Abhängigkeit der Anlagenleistung mit 15 Cent/kWh (Statista) berechnet. Hier werden auch die prozentuale Anlagenverfügbarkeit, Anzahl der Werktage pro Jahr, Anzahl der Arbeitsschichten und die Arbeitszeit pro Schicht definiert. Kosten für Hallenmiete und Wartung werden anhand gängiger Werte angegeben. Anschließend wird die Prozessdauer angegeben, hieraus berechnen sich die Anlagenauslastung und das benötigte Personal in den Arbeitskosten. Die Zwischenergebnisse werden in der Zeile „Prozesskosten Formgebung“ zusammengefasst.

END- UND NACHBEARBEITUNG

Hier werden anhand gängiger Werte des Fräserpreises, der Vorschubgeschwindigkeit, der Standzeiten des Fräasers, der Besäumlänge, der Spannzeiten und des Maschinenstundensatzes die Kosten für die End- und Nachbearbeitung der Bauteile berechnet.

Im Tabellenblatt „Hintergrundberechnung“ sind die verschiedenen Daten und Hintergrundberechnungen aufgeführt, die in der „Eingabe Maske“ verwendet werden. Hier müssen in der Regel keine Daten verändert werden. Eine Anpassung ist nur für die Kostenfaktoren in der Liste „Kostenfaktor Bauteil“, den Preisen in der Liste „Werkzeugkosten“ und die Dichte der verschiedenen Materialien in der Liste „Materialauswahl“ möglich.

Im Tabellenblatt „Grafiken“ sind die aktuellen Grafiken der Prozesskostenverteilung abgebildet. Ebenfalls sind hier die Grafiken für die Sensitivitätsanalysen zu finden, deren Berechnung im Tabellenblatt Sensitivität durch Klick auf die jeweiligen Buttons erfolgt. Hier sind auch diverse Einstellmöglichkeiten für die Erstellung der Diagramme gegeben. Erneut gilt: grüne Felder dürfen angepasst werden, graue Felder sind Berechnungsergebnisse.

Mithilfe des Kostenmodells können die Herstellungskosten für unterschiedlich große und komplexe Bauteile abgeschätzt werden. Dabei kann der Einfluss verschiedener Variablen wie Stückzahl, Rohstoff- bzw. Halbzeugpreise, Energiekosten etc. als Szenarien dargestellt werden, um somit eine erste Machbarkeitsanalyse für die Leichtbauverfahren SMC, RTM oder Metallbauweise durchzuführen. Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Restriktionen kann die Kostenanalyse auch auf weitere Prozesse angewendet werden. Hierbei sollte jedoch beachtet werden, dass dann die Sensitivitätsanalysen und Vergleiche in der Liste Sensitivität im Tabellenblatt „Eingabe Maske“ unter Umständen nicht mehr korrekt dargestellt werden. Solange darauf geachtet wird, dass die Zwischenergebnisse der einzelnen Prozessschritte in den dunkelblau hinterlegten Feldern am Ende des jeweiligen Prozessschritts stehen, werden diese am Ende auch korrekt berechnet.

5.3

KOSTENSTRUKTUREN FÜR DEN KUNSTSTOFF-LEICHTBAU IM RTM-VERFAHREN, AUFGESTELLT DURCH DAS WBK INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK

FUNKTIONSWEISE DES EXCEL-MODELLS FÜR DAS RTM-VERFAHREN

Im Tabellenblatt „Eingabe Maske“ in der Liste „Sensitivität“ wird eine Übersicht über die Standardkosten und die Kosten für drei verschiedene Varianten angegeben:

- ▼ Materialkosten (in % im Vergleich zur Standardberechnung)
- ▼ Bauteilkomplexität (von 1 bis 5 eintragbar)
- ▼ Differenz Aushärtezeit (Abweichung der Aushärtezeit vom Wert der Standardberechnung)

Diese Tabelle wird für die Berechnung der Sensitivitätsanalyse genutzt und bildet somit die Basis für die Diagramme in Tabellenblatt Grafiken. Es können hier für den schnellen Vergleich unterschiedliche Werte als Abweichung vom Standard eingegeben und direkt die Abweichungen von den Standardkosten angegeben werden. Die Werteberechnung findet in den Spalten G-J, L-O und Q-T statt, welche zwecks einer besseren Übersicht ausgeblendet wurden. Diese Tabellen werden automatisch an die Eingaben der Tabelle Standard in den Spalten B-E angepasst, sodass alle Eingaben von dort übernommen und nur die Abweichungen aus der Tabelle Sensitivität übernommen werden. Es müssen also in den ausgeblendeten Spalten keine Eingaben geändert werden.



Die Diagramme im Tabellenblatt „Grafiken“ müssen noch über ein Makro im Tabellenblatt „Sensitivität“ manuell aktualisiert werden. Hier können einmal für die Stückzahlbezogene Sensitivitätsanalyse Startwert, Stückelung und Maximalstückzahl angegeben werden (alle grün hinterlegt). Nach einem Klick auf „Stückzahlbezogene Sensitivität angeben“ werden mit diesen Werten die Sensitivitätsanalyse durchgeführt und aus der im gleichen Blatt erstellten Liste die Diagramme im Tabellenblatt „Grafiken“ erstellt. Weiter unten befindet sich eine weitere Liste, mit deren Hilfe die Kostenbezogene Sensitivitätsanalyse berechnet wird. Hier können Startwert, Stückelung und Maximum in % und die gewünschte Stückzahl angegeben werden. Nach Klick auf „Kostenbezogene Sensitivität angeben“ wird die Tabelle erstellt und das Diagramm im Tabellenblatt „Grafiken“ gezeichnet.

Für den RTM-Prozess werden in den folgenden Abschnitten die Kostenstrukturen anhand eines Beispielbauteils in Abhängigkeit der Stückzahl und verschiedener Kostenparameter aufgestellt.

BESCHREIBUNG DES EXEMPLARISCHEN BAUTEILS UND DESSEN HERSTELLUNGSVERFAHREN

Exemplarisch wird die Kostenstruktur für ein schalenförmiges Strukturbauteil aus kohlenstofffaserverstärktem Epoxidharz dargestellt. Der Faservolumengehalt beträgt 50 Prozent, die Bauteilmaße betragen L x B x H: 800 mm x 200 mm x 100 mm bei einer Bauteildicke von durchschnittlich 2 mm. Die Wanddicken sind jedoch variabel und gehen nur über das gesamte Bauteilvolumen in die Rechnung ein. Das Bauteilvolumen wird mit $0,0006 \text{ m}^3$ angegeben. Die Kohlenstofffasern werden als bebinderte Gewebe und Gelege zugekauft, geschnitten und in einer Preformanlage abgelegt. Dort werden sie anschließend unter Druck und hoher Temperatur zum Preform weiterverarbeitet, welches einer optischen Qualitätssicherung unterzogen wird. Das Preform wird anschließend besäemt und in das beheizte RTM-Pressenwerkzeug eingelegt. Die Presse wird geschlossen und das Harzsystem injiziert. Nach der Infiltration erfolgt die Aushärtung des Bauteils, anschließend wird die Presse wieder geöffnet, das Bauteil entnommen und das Werkzeug gereinigt. Nachdem das Bauteil abgekühlt ist, wird es einer optischen Qualitätskontrolle unterzogen und anschließend in der Endbearbeitung auf die gewünschte Zielkontur gefräst und gereinigt.

PARAMETERWERTE UND KENNZAHLEN

Die Kostenbeschreibung wird anhand einer Jahresstückzahl von 25.000 Bauteilen durchgeführt. Die Bauteildimensionen ergeben eine projizierte Werkzeugfläche von $0,16 \text{ m}^3$. Das Bauteilvolumen muss unabhängig von der Bauteilgröße von Hand eingetragen werden, es beträgt hier $0,0006 \text{ m}^3$.

Die Materialkosten werden aufgrund von aktuellen Preislisten⁵ eingegeben. Da im Berechnungstool eine Auswahl zwischen verschiedenen Fasern und Harzsystemen möglich ist, wird die Eingabe für alle Materialien gefordert. Die Dichte der Materialien wird entsprechend aktueller Materialdatenblätter in der Hintergrundbe-

rechnung bereitgestellt. Dort werden aus der Eingabe des geforderten Harz- und Fasertyps und des Faservolumengehalts auch die Gesamtdichte und der Kilopreis des Verbundmaterials berechnet. Mithilfe des Bauteilvolumens werden die Materialkosten je Bauteil angegeben. Hinzugerechnet werden mit 60 Prozent der Gesamtkosten noch die indirekten Materialkosten, diese beinhalten beispielsweise benötigte Additive, Lagerung und hauptsächlich Verschnitt. Es ist jedoch zu beachten, dass dieser Wert vom jeweiligen Bauteil abhängig ist und dementsprechend höher oder niedriger liegen kann. Die gesamten Materialkosten je exemplarischem Bauteil belaufen sich somit auf 41,06 EUR.

Die Preformingkosten werden mit den gleichen Kosten wie die Gesamtkosten der Formgebung angegeben. Für das Preforming werden zwar kleinere Pressen benötigt, jedoch ist hier die Handhabung komplexer. Außerdem werden durch die teilweise komplexe Drapierung mehrere Verfahrsachsen nötig, was den Prozess zusätzlich verkompliziert. Weiterhin müssen die Halbzeuge und Preforms konfektioniert werden. Die Kosten belaufen sich somit auf 7,25 EUR.

In einer Hintergrundberechnung werden auf Basis der projizierten Werkzeugfläche und dem Injektionsdruck die benötigte Pressengröße und die damit verbundenen Kosten automatisch ausgewählt. Genauso werden das Werkzeug und dessen Kosten über die projizierte Werkzeugfläche und die Bauteilkomplexität definiert. Unter Heranziehung der Anlagenauslastung (siehe Tabelle „Pressenzyklus“, 78,11 Prozent) werden die Anzahl der benötigten Pressen und Werkzeuge (je eins) und die damit verbundenen Kosten berechnet.

Die Abschreibungsdauer der Werkzeuge wird auf 5 Jahre, die der Pressen auf 15 Jahre festgelegt und darüber die Abschreibungskosten unter Berücksichtigung der Jahresstückzahl pro Bauteil angegeben. Hierzu wird für die Presse die Anlagenauslastung berücksichtigt, da die Presse auch für die Herstellung anderer Bauteile genutzt werden kann. Für das Werkzeug gilt dies nicht, da dies bauteilspezifisch ist.

Die Maschinenverfügbarkeit (85 Prozent), die Anzahl an Werktagen (220 Tage), Schichten (2) und die Arbeitszeit pro Schicht (7,25 Stunden) werden entsprechend aktueller Industriedaten eingegeben. Der Energiebedarf wird durch die zuvor erwähnte Hintergrundberechnung automatisch eingetragen. Zusammen mit dem momentan für Unternehmen geltenden Energiepreis von 0,15 EUR/kWh und der Gesamtjahreslaufzeit der Anlage (unter Berücksichtigung der Auslastung von 78,11 Prozent) ergeben sich die Energiekosten je Bauteil. Zusätzlich wird auch die benötigte Standfläche von ca. 250 m^2 je Prozesskette in der Arbeitshalle in Abhängigkeit der Anlagenanzahl und deren Auslastung berücksichtigt. Die Kosten werden in Anlehnung an hierfür übliche Preise mit 600 EUR/ 100 m^2 je Monat angegeben und auf ein Bauteil heruntergerechnet. Ebenfalls werden hier die jährlichen Instandhaltungskosten mit 1 Prozent des Anlagenwertes in Abhängigkeit der Ausnutzung berücksichtigt (vgl. Abb. RTM-Anlagenkosten im Anhang).

⁵ Die Materialpreise wurden mittels tabellierter Werte der Datenbank „CES EduPack 2013“ ermittelt und mit Preisanfragen bei Zwischenhändlern abgeglichen. Je nach Einkaufskonditionen können die Materialpreise extrem stark schwanken.

Die Anzahl der benötigten Anlagen wird über die Pressenzykluszeit berechnet. Hierzu werden zuerst die Zeiten für das Einlegen des Preforms (25 Sekunden), das Öffnen und Schließen der Presse (jeweils 10 Sekunden), die Aushärtung (230 Sekunden), die Bauteilentnahme (20 Sekunden), und Werkzeugreinigung (10 Sekunden) eingegeben und somit die gesamte Zykluszeit von 305 Sekunden berechnet. Mithilfe der gesamten Zykluszeit und der Gesamtarbeitszeit aus der vorigen Tabelle wird die theoretisch mögliche Jahresstückzahl angegeben und zusammen mit der tatsächlich geforderten Jahresstückzahl die Anlagenauslastung berechnet (vgl. Abb. RTM-Pressenzyklus im Anhang).

Zu den bisherigen Kosten werden noch die Kosten für Arbeitskräfte hinzugezählt. Der Stundenlohn wird mit 45 EUR/h angegeben, je Anlage wird eine Arbeitskraft benötigt. Unter Berücksichtigung der Anzahl an herstellbaren Bauteilen pro Stunde und der Jahresstückzahl werden die Arbeitskosten je Bauteil berechnet.

Die gesamten Prozesskosten der Formgebung setzen sich somit aus den Abschreibungskosten der Anlage, den Energiekosten, den Kosten für die Fläche in der Arbeitshalle, den Wartungskosten und den Kosten für Arbeitskräfte zusammen und betragen je Bauteil 7,25 EUR.

Die End- und Nachbearbeitung bei diesem Bauteil beschränkt sich auf die Endbesäumung des Bauteils durch Fräsen. Die Kosten für einen Fräser belaufen nach aktueller Preisliste ca. 35 EUR, der Vorschub wird mit 800 mm/min und die Standzeit eines Fräasers mit 30 min angegeben. Die Besäumlänge beträgt 2400 mm, für Spannen und Entspannen des Bauteils wird mit jeweils einer halben Minute gerechnet. Der Maschinenstundensatz für das Fräsen von CFK-Bauteilen beträgt 110 EUR und liegt damit höher als für die gängige Metallbearbeitung. Jedoch muss hier eine geeignete Absaugung berücksichtigt werden, die mit Extra-Kosten zu Buche schlägt. Aus der Besäumdauer, der Dauer für das Spannen und Entspannen der Bauteile und dem Maschinenstundensatz berechnen sich die Maschinenkosten je Bauteil zu 7,33 EUR. Die Kosten für den Fräser werden auf Basis der möglichen Schnittlänge und der Standfestigkeit mit 3,50 EUR auf jedes Bauteil umgelegt. Zusammengerechnet ergeben sich die Prozesskosten für die End- und Nachbearbeitung zu 11,92 EUR.

Die gesamten Herstellungskosten werden nochmals in der folgenden Tabelle „Herstellungskosten“ zusammengefasst. Bei einer Jahresstückzahl von 25.000 Bauteilen betragen die Einzelkosten für das beschriebene Bauteil 67,48 EUR.

Die gesamte Berechnung wird, wie in Abschnitt 5.2 beschrieben, ohne die Berücksichtigung von Ausschuss durchgeführt, um die Prozesspotenziale aufzuzeigen. Im Tool ist aber je Wertschöpfungsstufe ein Feld vorgesehen, in das der Ausschuss prozentual eingegeben werden kann.

Es ist zu beachten, dass sich der Ausschuss aufaddiert. Das heißt, wenn eine Stückzahl von 25.000 Bauteilen gefordert wird, muss bei einem Gesamtausschuss von 50 Prozent von einer anfänglichen Bauteilmenge von 50.000 ausgegangen werden (dies wird automatisch berechnet). Die Bauteilmengen verringern sich Schritt für Schritt in der Prozesskette, sodass die Kostendifferenzen zwischen zwei Rechnungen inklusive und exklusive Ausschuss vom ersten zum letzten Prozessschritt stetig abnehmen.

Zusätzlich wird für die komplette Prozesskette keinerlei Automatisierung der Handhabung angenommen.

KOSTENANTEILE DES EXEMPLARISCHEN BAUTEILS

In Abbildung RTM-1 sind alle Prozesskosten für das exemplarische Bauteil in EUR einzeln aufgezählt. In Abbildung RTM-2 werden die Kosten für das Material, die Halbzeugherstellung, die Formgebung und die End- und Nachbearbeitung nochmal übersichtlich aufgeführt. In Abbildung RTM-3 wird die Verteilung der Formgebungskosten auf die Unterprozesse Arbeitskosten, Anlagenkosten, Energiekosten, Kosten für Fläche in der Arbeitshalle und Wartungskosten aufgezeigt.

In Abbildung RTM-1 und Abbildung RTM-2 ist deutlich zu erkennen, dass die Materialkosten mit 60,86 Prozent bei einer Stückzahl von 25.000 Bauteilen pro Jahr einen Großteil der Kosten ausmachen. Eine Reduktion des Kostenpunkts „Materialien“ bietet somit das größte Potenzial für Kosteneinsparungen, dies wird später in mehreren Sensitivitätsanalysen näher betrachtet.⁶

Verteilung der Prozesskosten, Stückzahl: 25.000

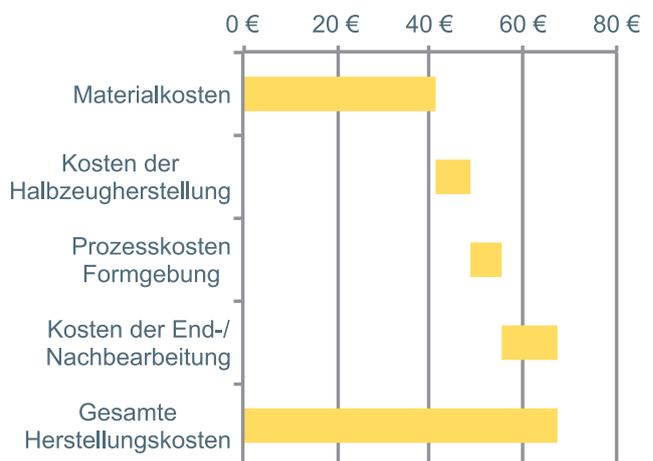


Abbildung 5-1: RTM-1: Verteilung der Prozesskosten des exemplarischen Bauteils im RTM-Verfahren

Die End- und Nachbearbeitung folgt an zweiter Stelle mit nur noch 17,66 Prozent der Gesamtkosten. Das Preforming und die eigentliche Formgebung im RTM-Werkzeug machen mit jeweils 10,74 Prozent den geringsten Teil der Gesamtkosten aus.

⁶ vgl. jedoch Fußnote 5.



Bei näherer Betrachtung der Formgebungskosten in Abbildung RTM-3 ist ersichtlich, dass hier die Arbeitskosten mit 52,6 Prozent einen Großteil der Gesamtkosten ausmachen, gefolgt von den Anlagenkosten mit 30,88 Prozent, den Energiekosten mit 6,09 Prozent, den Kosten für Fläche in der Arbeitshalle mit 7,76 Prozent und Wartungskosten mit 2,67 Prozent. Durch Einsparung von Arbeitskräften, erreichbar durch eine Automatisierung der Prozesse, ist für den Prozess der Formgebung die größte Kosteneinsparung möglich.

KOSTENVERÄNDERUNGEN DURCH VARIATION DER PRODUKTIONSMENGEN

Dieselbe Kostenberechnung wird für eine Stückzahl von 9.000 Bauteilen pro Jahr erstellt, die einzelnen Kosten sind in der Abbildung 7-8 im Anhang aufgeführt.

Die Herstellungskosten eines Bauteils steigen von 67,48 EUR auf 72,03 EUR an. Eine übersichtliche Darstellung liefern die Abbildungen RTM-4, RTM-5 und RTM-6.

Die Materialkosten bleiben zwar gleich, betragen nun aber prozentual nur noch 57,01 Prozent der gesamten Prozesskosten. Die Anteile der Preform- und Formgebungskosten steigen auf jeweils 13,22 Prozent an. Die Kosten für die End- und Nachbearbeitung bleiben gleich, anteilmäßig sinken sie jedoch auf 16,54 Prozent.

Bei der Betrachtung von Abbildung RTM-6 ist leicht zu erkennen, wo die Ursache der höheren Bauteilkosten liegt, diese ist in dem erhöhten Anteil der Anlagekosten zu begründen. Die Anschaffungskosten für Maschinen und Anlagen betragen anstatt von zuvor 2,24 EUR nun 4,51 EUR je Bauteil und haben sich damit verdoppelt.

Die Kosten für die Arbeitskräfte, Energie, Fläche in der Arbeitshalle und für die Wartung bleiben gleich, da sie an die Anlagenauslastung angepasst werden.

Die gezeigten Diagramme lassen eine hohe Abhängigkeit der Bauteilkosten von der Jahresstückzahl vermuten. Daher sind in Abbildung RTM-7 die Stückkosten in Abhängigkeit der Jahresstückzahl für folgende Fälle abgebildet:

- ▼ Standard
- ▼ 10 Prozent geringere Materialkosten
- ▼ Bauteilkomplexität 1
- ▼ 30 Sekunden geringere Aushärtezeit

Der Kurve „Standard“ liegen Materialkosten in Höhe von 41,06 EUR, eine Bauteilkomplexität 3 und eine 230sekundige Aushärtezeit zugrunde. Die Werte der anderen Kurven weichen in Bezug auf die Standardkurve nur um den jeweils angegebenen Parameter ab.

Alle Kurven haben anfangs bei zunehmender Jahresstückzahl stark sinkende Stückkosten gemeinsam. Bei einer Stückzahl von ca. 32.000 steigen die Stückkosten sprunghaft an. Dies ist der zusätzlichen Anschaffung neuer Werkzeuge geschuldet. Die Kurve für eine 30 Sekunden geringere Aushärtezeit weist diesen Sprung erst bei einer Jahresstückzahl von ca. 35.500 Bauteilen auf, da durch die kürzere Zykluszeit die Anlagen erst später voll ausgelastet werden.

Die Kurve „Bauteilkomplexität 1“ zeigt, dass anfangs eine geringere Bauteilkomplexität, z. B. ein flaches Bauteil mit konstanter Wanddicke der Komplexität 1, eine größere Einsparmöglichkeit bietet als 10 Prozent geringere Materialkosten. Die Anlagenabschreibungen

Verteilung der Prozesskosten, Stückzahl: 25.000

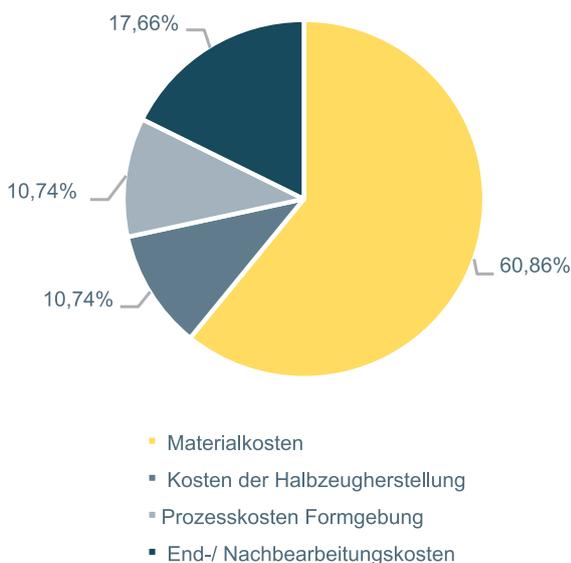


Abbildung 5-2: RTM-2: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen

Verteilung der Prozesskosten der Formgebung, Stückzahl: 25.000

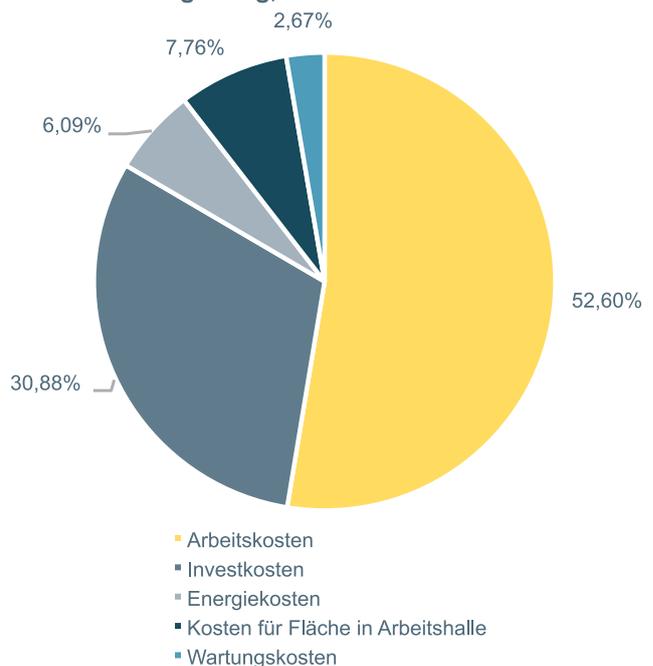
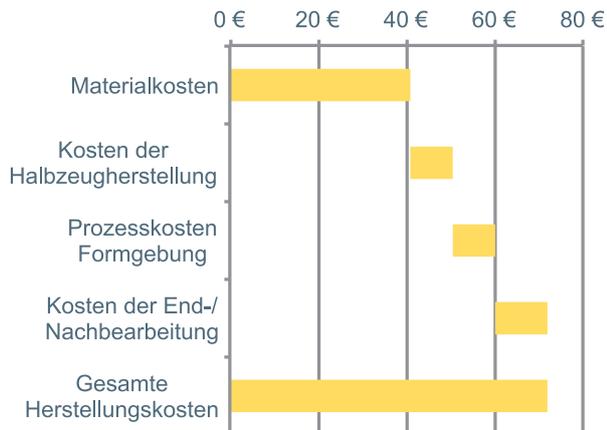


Abbildung 5-3: RTM-3: Anteile der Kostenarten bei der Bauteilherstellung

Verteilung der Prozesskosten, Stückzahl: 9.000



Verteilung der Prozesskosten, Stückzahl: 9.000

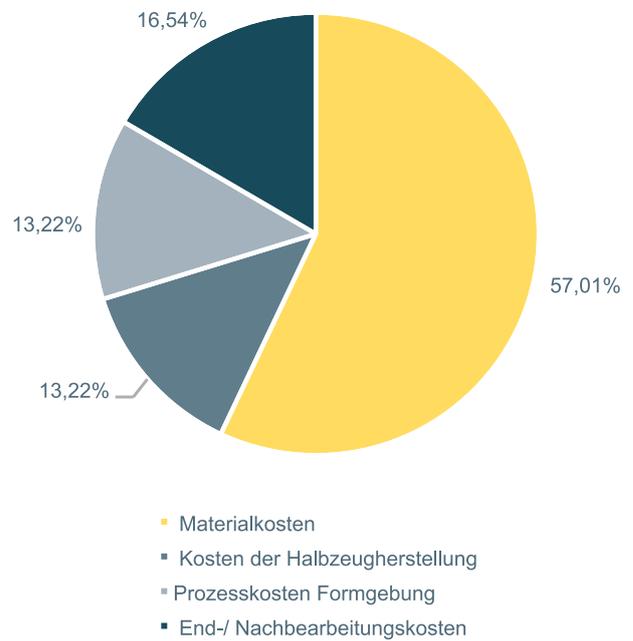


Abbildung 5-4: RTM-4: Verteilung der Prozesskosten bei geringeren Produktionsmengen (9.000 Stück)

Abbildung 5-5: RTM-5: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen bei geringeren Produktionsmengen (bei 9.000 Stück)

Verteilung der Prozesskosten der Formgebung, Stückzahl: 9.000

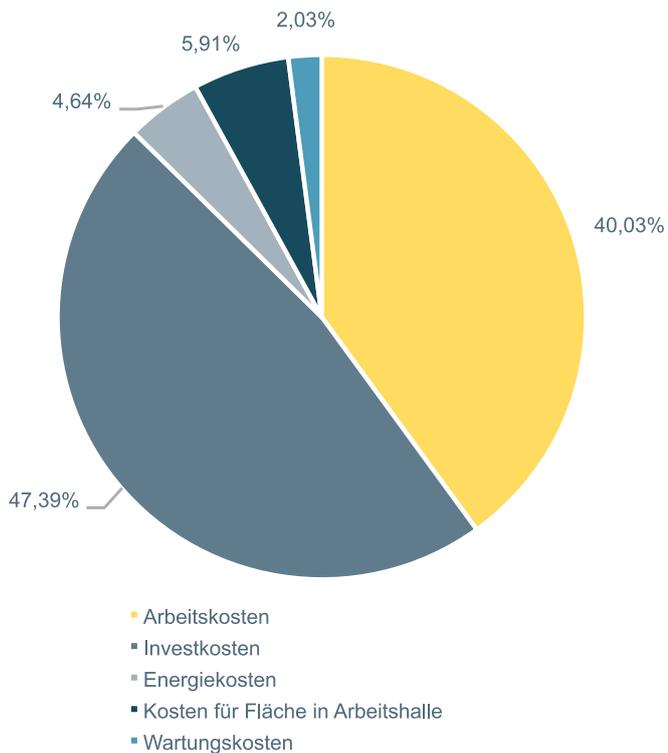


Abbildung 5-6: RTM-6: Anteile der Kostenarten bei der Bauteilherstellung bei geringeren Produktionsmengen (bei 9.000 Stück)



Sensitivitätsanalyse Stückzahlbezogen

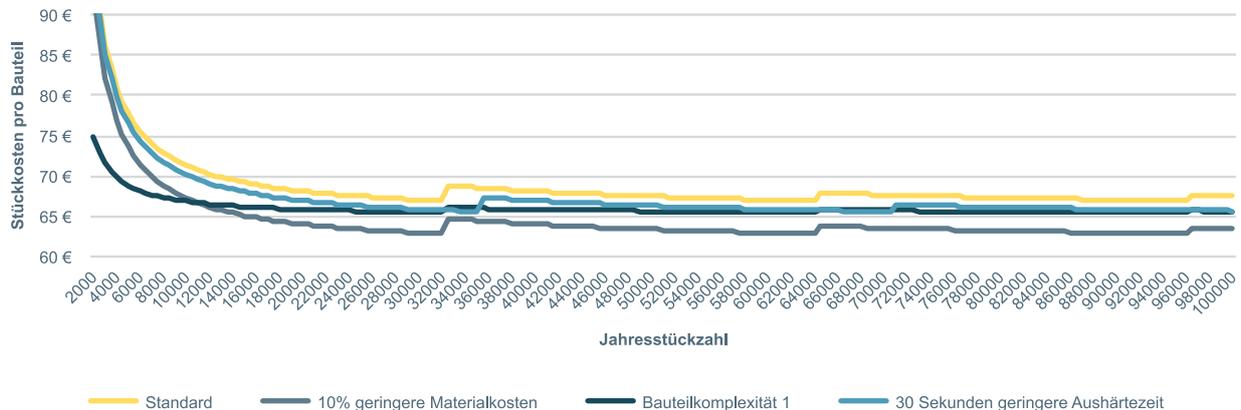


Abbildung 5-7: RTM-7: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten nach Stückzahlen (a)

je Bauteil sind von der Gesamtstückzahl abhängig, somit können bei geringer Stückzahl die Werkzeugkosten nur auf wenige Bauteile umgelegt werden.

Dies wirkt sich für die Variante mit 10 Prozent geringeren Materialkosten, aber einer Bauteilkomplexität 3 im niedrigen Stückzahlbereich negativ aus. Die Variante mit unveränderten Materialkosten sowie der Bauteilkomplexität 1 besitzt im Gegensatz dazu bei niedrigen Stückzahlen durch die geringeren Werkzeugkosten große Vorteile. Die Materialkosten hingegen sind von der Stückzahl unabhängig. Erst bei einer Stückzahl von ca. 11.000 Bauteilen pro Jahr ist der Punkt erreicht, an dem ein um 10 Prozent günstigeres Material niedrigere Bauteilkosten zur Folge hat als ein Absenken der Bauteilkomplexität auf Stufe 1. Beide Varianten sind an diesem Punkt ca. 4,00 EUR günstiger als die Standard-Variante.

Eine um 30 Sekunden geringere Aushärtezeit bewirkt bis zu einer Stückzahl von 32.000 eine durchgehende Preisverringerung von 1,20 EUR gegenüber dem Standard. Im Bereich zwischen 32.000 und 35.000 Bauteilen wirkt sich die Verkürzung der Aushärtezeit besonders positiv aus, da im Gegensatz zu den anderen Fällen hier eine höhere Stückzahl produziert werden kann, ohne dass neue Anlagen angeschafft werden müssen.

In Bezug auf den Standard ist hier eine Ersparnis von ca. 3,00 EUR möglich. Bei einer Produktion von mehr als 15.000 Bauteilen pro Jahr resultieren aus der zehnpromtigen Materialkostensenkung im Vergleich zu den anderen berechneten Varianten jederzeit die geringsten Stückkosten. Im weiteren Kurvenverlauf oberhalb einer Stückzahl von 35.000 Bauteilen sind für alle Varianten nochmals kleine Sprünge zu erkennen, die auf den Einsatz zusätzlicher Anlagen hinweisen.

Es ist aber ersichtlich, dass bereits mit einer Stückzahl von 32.000 nahezu die geringstmöglichen Stückkosten erreicht werden und durch eine Stückzahlerhöhung keine weiteren Einsparungen mehr möglich sind, solange nicht z. B. die Arbeitszeiten oder Anzahl der

Schichten erhöht werden oder der Automatisierungsgrad gesteigert wird. Die Stückkosten bei einer Stückzahl von 32.000 betragen für

- ▼ die Standardvariante: 66,92 EUR,
- ▼ 10 Prozent geringere Materialkosten: 62,81 EUR,
- ▼ Bauteilkomplexität 1: 65,47 EUR,
- ▼ 30 Sekunden geringere Aushärtezeit (Stückzahl: 35.000): 65,57 EUR.

In Abbildung RTM-8 ist der interessante Bereich mit einer Stückzahl von 5.000 bis 35.500 Bauteilen aus RTM-7 für eine bessere Lesbarkeit vergrößert dargestellt.

KOSTENVERÄNDERUNGEN DURCH PREISENTWICKLUNGEN

In Abbildung RTM-9 wird für eine Jahresstückzahl von 25.000 Bauteilen die prozentuale Abhängigkeit der Bauteilkosten von der Höhe der Kostenfaktoren der unterschiedlichen Varianten dargestellt. Hier werden erneut die Bauteilkosten der Standardberechnung den variablen Materialkosten, Bauteilkomplexitäten und Aushärtezeiten gegenübergestellt. Dabei werden die einzelnen Werte prozentual von dem jeweiligen Standardwert angenommen und führen so zu den jeweiligen Bauteilkosten. Zum Beispiel hat ein Absenken der Materialkosten auf 50 Prozent eine Bauteilkostenreduzierung auf 70 Prozent zur Folge.

Der Einfluss des Kostenfaktors geht für die Variante der variablen Materialkosten linear in die Bauteilkosten ein. Der Einfluss der Varianten mit variabler Bauteilkomplexität und Aushärtezeit ist nicht linear, da die Werkzeugkosten stufenweise in Abhängigkeit der Bauteilkomplexität erhöht werden und die geringe Aushärtezeit an einem gewissen Punkt die Anschaffung einer neuen Anlage bewirkt, um die benötigte Jahresstückzahl zu erreichen. Somit steigen die Bauteilkosten sprunghaft an. Die Bauteilkomplexität kann nicht in Prozent angegeben werden, hier sind jedoch die 5 Stufen der Bauteilkomplexität auf die gesamte x-Achse aufgeteilt.

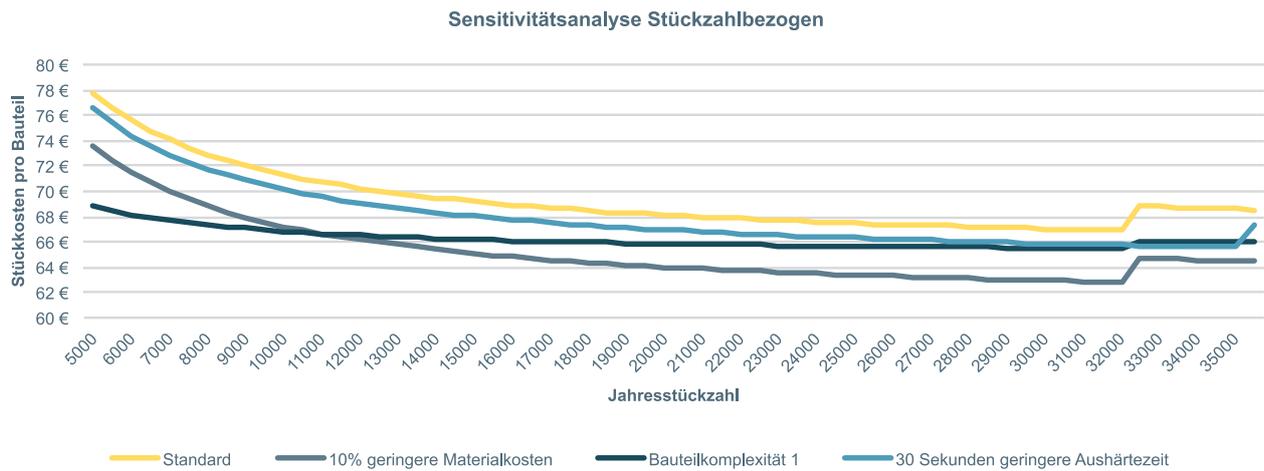


Abbildung 5-8: RTM-8: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten nach Stückzahlen (b)

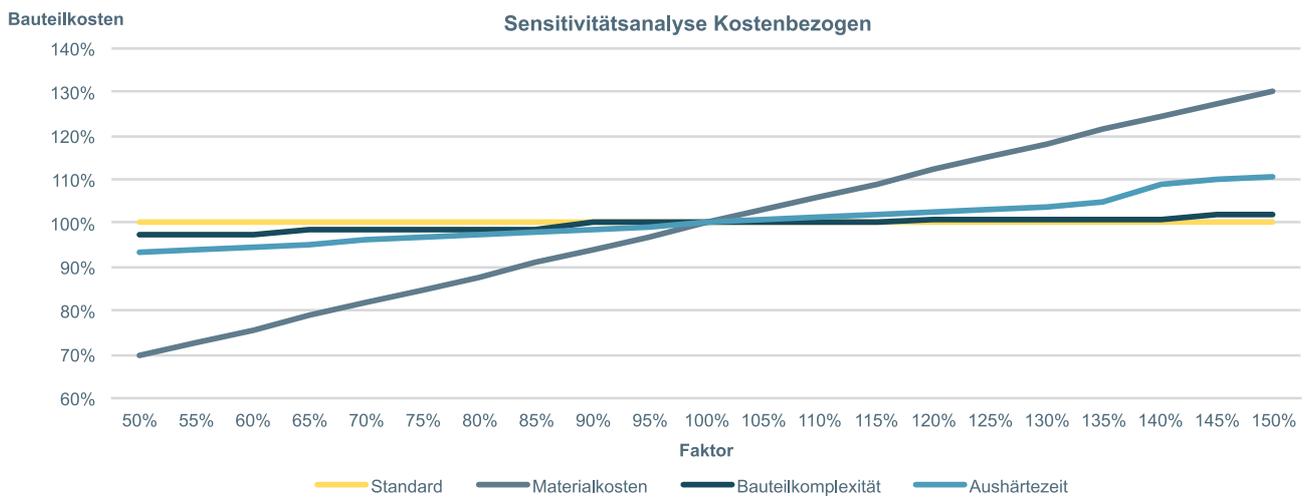


Abbildung 5-9: RTM-9: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten durch Preisveränderungen

Somit entsprechen die Prozentangaben den Stufen der Bauteilkomplexität wie folgt:

- ▼ 50 % – 60 %: Bauteilkomplexität 1
- ▼ 65 % – 85 %: Bauteilkomplexität 2
- ▼ 90 % – 115 %: Bauteilkomplexität 3
- ▼ 120 % – 140 %: Bauteilkomplexität 4
- ▼ 145 % – 150 %: Bauteilkomplexität 5

Diese Zuordnung erlaubt die Abbildung und den Vergleich aller untersuchten Variationen in einem Diagramm.

In diesem Diagramm wird ersichtlich, dass die Materialkosten den größten Anteil an den Bauteilkosten besitzen.



5.4

KOSTENSTRUKTUREN FÜR DEN KUNSTSTOFF-LEICHTBAU IM SMC-VERFAHREN, AUFGESTELLT DURCH DAS FRAUNHOFER ICT

FUNKTIONSWEISE DES EXCEL-MODELLS FÜR DAS SMC-VERFAHREN

Im Tabellenblatt „Eingabe Maske“ in der Liste „Sensitivität“ wird eine Übersicht über die Standardkosten und die Kosten für drei verschiedene Varianten angegeben:

- ▼ Materialkosten (in % im Vergleich zur Standardberechnung)
- ▼ Bauteilkomplexität (von 1 bis 5 eintragbar)
- ▼ Differenz Aushärtezeit (Abweichung der Aushärtezeit vom Wert der Standardberechnung)

Diese Tabelle wird für die Berechnung der Sensitivitätsanalyse genutzt und bildet somit die Basis für die Diagramme in Tabellenblatt Grafiken. Es können hier für den schnellen Vergleich unterschiedliche Werte als Abweichung vom Standard eingegeben werden und direkt die Abweichungen von den Standardkosten angegeben werden. Die Werteberechnung findet in den Spalten G-J, L-O und Q-T statt, welche zwecks einer besseren Übersicht ausgeblendet wurden. Diese Tabellen werden automatisch an die Eingaben der Tabelle Standard in den Spalten B-E angepasst, sodass alle Eingaben von dort übernommen werden und nur die Abweichungen aus der Tabelle Sensitivität übernommen werden. Es müssen also in den ausgeblendeten Spalten keine Eingaben geändert werden.

Die Diagramme im Tabellenblatt „Grafiken“ müssen noch über ein Makro im Tabellenblatt „Sensitivität“ manuell aktualisiert werden. Hier können einmal für die Stückzahlbezogene Sensitivitätsanalyse Startwert, Stückelung und Maximalstückzahl angegeben werden (alle grün hinterlegt). Nach einem Klick auf „Stückzahlbezogene Sensitivität angeben“ wird mit diesen Werten die Sensitivitätsanalyse durchgeführt und aus der im gleichen Blatt erstellten Liste die Diagramme im Tabellenblatt „Grafiken“ erstellt. Weiter unten befindet sich eine weitere Liste, mit deren Hilfe die Kostenbezogene Sensitivitätsanalyse berechnet wird. Hier können Startwert, Stückelung und Maximum in % und die gewünschte Stückzahl angegeben werden. Nach Klick auf „Kostenbezogene Sensitivität angeben“ wird die Tabelle erstellt und das Diagramm im Tabellenblatt „Grafiken“ gezeichnet.

Für den SMC-Prozess werden in den folgenden Kapiteln die Kostenstrukturen an Hand eines Beispielbauteils in Abhängigkeit der Stückzahl und verschiedener Kostenparameter aufgestellt.

BESCHREIBUNG DES EXEMPLARISCHEN BAUTEILS UND DESSEN HERSTELLUNGSVERFAHRENS

Exemplarisch wird die Kostenstruktur für ein schalenförmiges PKW-Außenhautbauteil, einer Motorhaube, aus SMC mit glasfaserverstärktem UP-Harz dargestellt. Der Faservolumengehalt beträgt ca. 22 Prozent bei einem Füllstoffvolumengehalt von ca. 40 Prozent.

Die Bauteilmaße betragen L x B x H: 1450,0 mm x 1050,0 mm x 2,35 mm. Das SMC-Halbzeug für die Verarbeitung von Bauteilen mit Class-A-Oberflächen wird dabei zugekauft. Die Verarbeitung findet auf einer hydraulischen Presse mit Parallelitätsregelung statt. Nach der Bauteilfertigung im Pressverfahren wird das Bauteil abgekühlt und einer optischen Qualitätskontrolle unterzogen. Anschließend wird es in der Endbearbeitung entgratet. Auf eine Einbeziehung der Kosten für einen möglichen In-Mold-Coating- und Lackierprozess wurde hier verzichtet.

PARAMETERWERTE UND KENNZAHLEN

Die Kostenbeschreibung ist beispielhaft bei einer Jahresstückzahl von 40.000 Bauteilen durchgeführt. Aus den Bauteildimensionen ergeben sich ein Bauteilvolumen von 0,0035 m³ und eine projizierte Werkzeugfläche von 1,52 m².

Die Materialkosten werden aufgrund von aktuellen Preislisten eingegeben. Im Berechnungstool ist eine Auswahl zwischen verschiedenen Harzen und Verstärkungsfasern möglich. Die Materialdichte wird entsprechend aktueller Materialdatenblätter in der Hintergrundberechnung bereitgestellt. Mithilfe des Bauteilvolumens und unter Berücksichtigung von Materialverschnitt werden die Materialkosten je Bauteil angegeben. Hinzugerechnet werden mit 8 Prozent der Gesamtkosten noch die indirekten Materialkosten, diese beinhalten beispielsweise Transport und Lagerung der Halbzeuge. Die gesamten Materialkosten je Bauteil belaufen sich somit auf 16,34 EUR.

Die Herstellung des SMC-Halbzeugs wird pauschal mit dem Faktor 0,2 der Materialkosten berechnet. Die Kosten für die Halbzeugherstellung belaufen sich somit auf 3,27 EUR.

In einer Hintergrundberechnung werden auf Basis der projizierten Werkzeugfläche und dem Presskraftbedarf die benötigte Pressengröße und die damit verbundenen Kosten automatisch ausgewählt. Genauso werden das Werkzeug und dessen Kosten über die projizierte Werkzeugfläche und die Bauteilkomplexität ausgewählt. Unter Heranziehung der Anlagenauslastung werden die Anzahl der benötigten Pressen und Werkzeuge entsprechend der Jahresstückzahl und die damit verbundenen Kosten berechnet.

Die Abschreibungsdauer der Werkzeuge ist in diesem Beispiel auf 5 Jahre, die der Pressen auf 15 Jahre festgelegt und darüber die Abschreibungskosten unter Berücksichtigung der Jahresstückzahl pro Bauteil angegeben. Es wird davon ausgegangen, dass die Fertigungsanlagen durch die Produktion anderer Bauteile vollständig ausgelastet werden können. Die Anlagenverfügbarkeit (hier 85 Prozent), die Anzahl der Werkzeuge pro Jahr (hier 220 Tage), Anzahl der Schichten pro Tag (hier 2) und die Netto-Arbeitszeit pro Schicht (hier 7,25 Stunden) werden entsprechend aktueller Industriedaten eingegeben.

Der Energiebedarf wird durch die zuvor erwähnte Hintergrundberechnung automatisch eingetragen. Zusammen mit dem momentan für einen Großteil der Unternehmen geltenden Energiepreis von 0,15 EUR/kWh und der Gesamtjahreslaufzeit der Anlage ergeben sich die Energiekosten je Anlagenstunde. Zusätzlich wird auch die benötigte Standfläche von ca. 250 m² in der Arbeitshalle in Ab-

hängigkeit der Anlagenanzahl berücksichtigt. Die Kosten werden in Anlehnung an hierfür übliche Preise mit 600 EUR/100 m² pro Monat angegeben und zunächst auf eine Anlagenstunde heruntergebrochen. Ebenfalls werden hier die jährlichen Instandhaltungskosten mit 1 Prozent des Anlageninvestitionswertes berücksichtigt.

Die Anzahl der benötigten Anlagen wird über die Pressenzykluszeit berechnet. Hierzu werden die Zeiten für das Einlegen des Preforms, das Öffnen und Schließen der Presse, die Aushärtung (ca. 45 Sekunden je Millimeter Bauteildicke), die Bauteilentnahme und Werkzeugreinigung eingegeben und somit die gesamte Zykluszeit berechnet. Mithilfe der gesamten Zykluszeit und der Gesamtarbeitszeit aus der vorigen Tabelle wird die theoretisch mögliche Jahresstückzahl angegeben und zusammen mit der tatsächlich geforderten Jahresstückzahl die Anlagenauslastung berechnet.

Zu den bisherigen Kosten werden noch die Kosten für Arbeitskräfte hinzugezählt. Die Stundenarbeitskosten werden mit 45 EUR/h angenommen, je Anlage wird in diesem Beispiel eine Arbeitskraft benötigt. Unter Berücksichtigung der Anlageauslastung wird die tatsächlich benötigte Arbeitszeit ermittelt und über den Stundenlohn und Jahresstückzahl die gesamten Arbeitskosten pro Bauteil berechnet.

Die Kosten des gesamten Prozessschritts der Formgebung belaufen sich auf 8,02 EUR.

Die End- und Nachbearbeitung bei diesem Bauteil beschränkt sich in diesem Fallbeispiel auf die Endbesäumung des Bauteils durch Fräsen. Die Kosten für einen Fräser belaufen nach aktueller Preisliste ca. 35 EUR, der Vorschub wird mit 800 mm/min und die Standzeit eines Fräasers mit 60 min angegeben. Die Besäumlänge beträgt 5000 mm. Für das Spannen und Entspannen des Bauteils wird mit jeweils einer halben Minute Zeitaufwand kalkuliert. Aus der Besäumdauer, der Dauer für das Spannen und Entspannen der Bauteile und dem Maschinenstundensatz berechnen sich die Maschinenkosten zu 12,38 EUR pro Motorhaube. Zusammengerechnet ergeben sich die Prozesskosten für die End- und Nachbearbeitung zu 17,62 EUR je Bauteil.

Die gesamten Herstellungskosten werden nochmals in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Bei einer Jahresstückzahl von 40.000 SMC-Motorhauben betragen die Einzelkosten für das beschriebene Bauteil 45,25 EUR.

KOSTENANTEILE DES EXEMPLARISCHEN BAUTEILS

In Abbildung SMC-1 sind die Teilprozesskosten pro Bauteil für das oben beschriebene Szenario dargestellt. In Abbildung SMC-2 ist die Verteilung der Kosten für die Teilprozesse beschrieben.

In Abbildung SMC-1 und Abbildung SMC-2 ist deutlich zu erkennen, dass die Material- und Halbzeugkosten mit über 43 Prozent bei einer Stückzahl von 40.000 Bauteilen pro Jahr den Großteil der Kosten ausmachen.

Verteilung der Prozesskosten, Stückzahl: 40.000

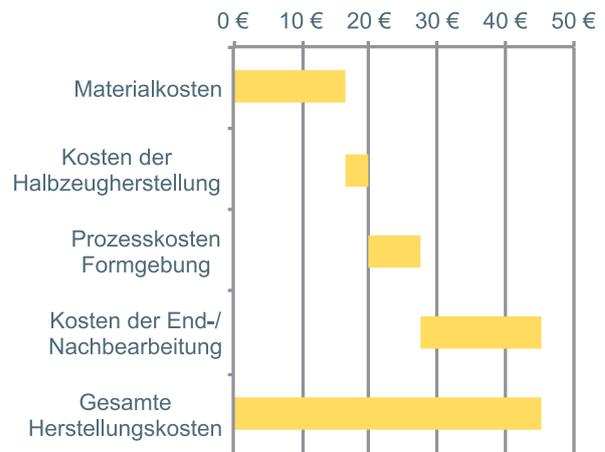


Abbildung 5-10: SMC-1: Verteilung der Prozesskosten des exemplarischen Bauteils im SMC-Verfahren

Verteilung der Prozesskosten, Stückzahl: 40.000

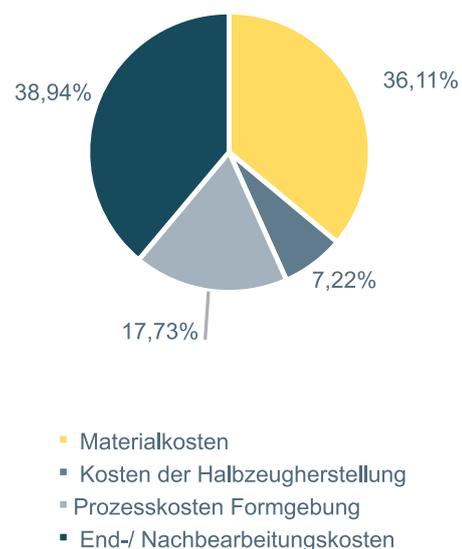


Abbildung 5-11: SMC-2: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen



KOSTENVERÄNDERUNGEN DURCH VARIATION DER PRODUKTIONSMENGEN

Eine weitere Kostenbetrachtung wird für eine Stückzahl von 25.000 Bauteilen pro Jahr erstellt.

Die Herstellungskosten eines Bauteils steigen wegen der geringeren Jahresstückzahl von 45,25 EUR auf 45,82 EUR an. Dieser relativ moderate Kostenanstieg ist begründet durch die dem Kostenmodell zugrunde liegende Annahme, dass die Anlagenkapazität innerhalb eines Jahres voll ausgeschöpft wird. Bei geringerer Auslastung würden sich die Anlagenfixkosten zu einem höheren Anteil auf ein einzelnes Bauteil niederschlagen, sodass sich die Bauteilkosten somit erhöhen würden. Lediglich das Formwerkzeug, das einem Bauteil eindeutig zuzuordnen ist, wird voll auf die geringere Stückzahl umgelegt.

Die gezeigten Diagramme lassen eine hohe Abhängigkeit der Bauteilkosten von der Jahresstückzahl vermuten. In Abbildung SMC-7 sind die Stückkosten in Abhängigkeit der Jahresstückzahl für folgende Fälle abgebildet:

- ▼ Standard
- ▼ 10 Prozent geringere Materialkosten
- ▼ Verringerte Bauteilkomplexität (Bauteilkomplexität 1)
- ▼ Um 30 Sekunden verringerte Aushärtezeit

Alle Graphen für die Bauteilkosten verlaufen bis zu einer Jahresstückzahl von ca. 50.000 bzw. ca. 60.000 im Falle der verringerten Aushärtezeit degressiv. Ab dieser Stückzahl steigen die Stückkosten sprunghaft an. Dies ist der zusätzlichen Anschaffung weiterer Anlagen und Formwerkzeuge geschuldet, wobei die Formwerkzeuge in diesem Fall zunächst nicht voll ausgelastet sind.

KOSTENVERÄNDERUNGEN DURCH PREISENTWICKLUNGEN

In Abbildung SMC-8 wird für eine Jahresstückzahl von 40.000 Bauteilen die prozentuale Abhängigkeit der Bauteilkosten von der Höhe der Kostenfaktoren der unterschiedlichen Varianten dargestellt. Zum Beispiel hat ein Absenken der Materialkosten um 20 Prozent eine Bauteilkostenreduzierung um ca. 12 Prozent zur Folge.

Verteilung der Prozesskosten, Stückzahl: 25.000

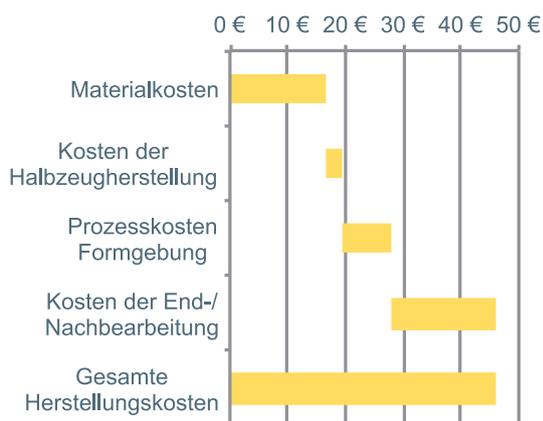
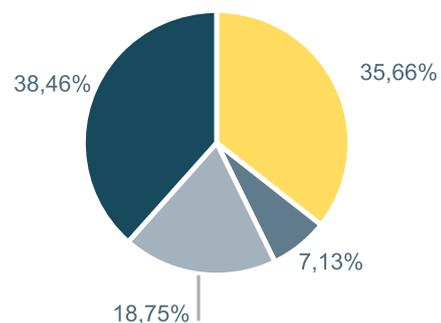


Abbildung 5-12: SMC-4: Verteilung der Prozesskosten des exemplarischen Bauteils im SMC-Verfahren bei geringen Produktionsmengen (25.000 Stück)

Verteilung der Prozesskosten, Stückzahl: 25.000



- Materialkosten
- Kosten der Halbzeugherstellung
- Prozesskosten Formgebung
- End-/ Nachbearbeitungskosten

Abbildung 5-13: SMC-5: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen bei geringen Produktionsmengen (25.000 Stück)

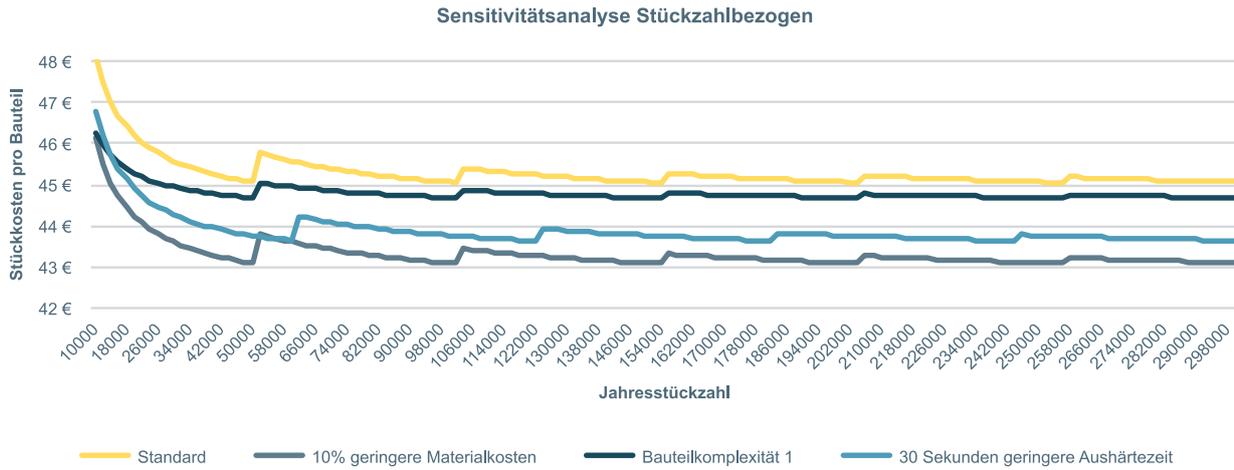


Abbildung 5-14: SMC-7: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten nach Stückzahlen

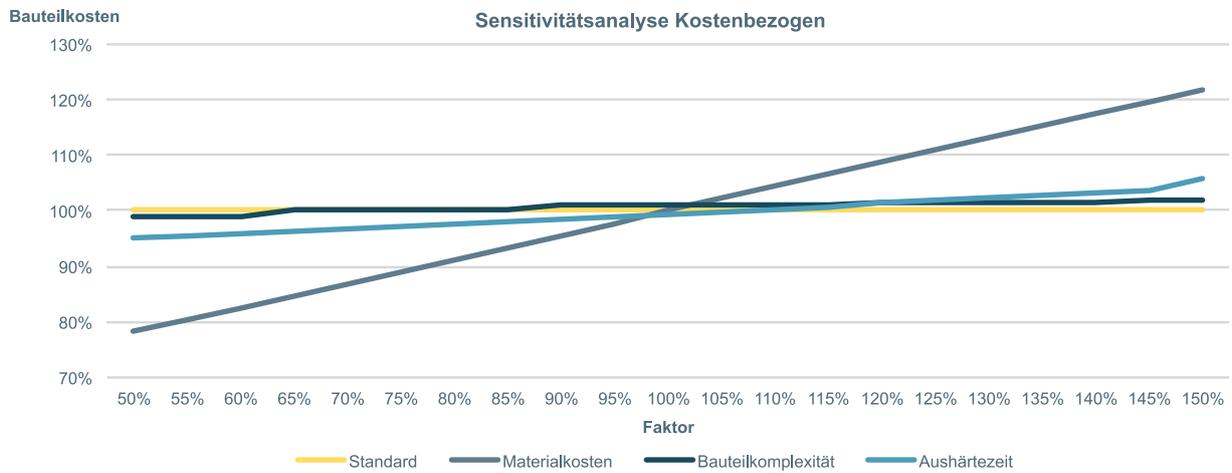


Abbildung 5-15: SMC-8: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten durch Preisveränderungen



5.5

KOSTENSTRUKTUREN FÜR DEN METALL-LEICHTBAU BEIM TIEFZIEHEN, AUFGESTELLT DURCH DAS FRAUNHOFER IPA

FUNKTIONSWEISE DES EXCEL-MODELLS FÜR DAS TIEFZIEHEN

In der Liste Sensitivität der Eingabemaske des Excel-Modells wird eine Übersicht über die Standardkosten und die Kosten für zwei verschiedene Varianten angegeben.

- ▼ Materialkosten (in % im Vergleich zur Standardberechnung)
- ▼ Stromkosten (in % im Vergleich zur Standardberechnung)

Diese Tabelle wird für die Berechnung der Sensitivitätsanalyse benutzt und bildet somit die Basis für die Diagramme im Tabellenblatt Grafiken. Es können hier für den schnellen Vergleich unterschiedliche Werte als Abweichung vom Standard eingegeben werden und direkt die Abweichungen von den Standardkosten angegeben werden. Die Werteberechnung findet in den Spalten H-K und M-P statt. Diese Tabellen werden automatisch an die Eingaben der Tabelle Standard in den Spalten B-E angepasst, sodass alle Eingaben von dort übernommen und nur die Abweichungen aus der Tabelle Sensitivität übernommen werden.

Die Diagramme im Tabellenblatt Grafiken müssen noch über ein Makro im Tabellenblatt Sensitivität manuell aktualisiert werden. Hier können einmal für die Stückzahlbezogene Sensitivitätsanalyse Startwert, Stückelung und Maximalstückzahl angegeben werden (alle grün hinterlegt). Nach einem Klick auf „Stückzahlbezogene Sensitivität angeben“ wird mit diesen Werten die Sensitivitätsanalyse durchgeführt und aus der im gleichen Blatt erstellten Liste die Diagramme im Tabellenblatt Grafiken erstellt. Weiter unten befindet sich eine weitere Liste, mit deren Hilfe die Kostenbezogene Sensitivitätsanalyse berechnet wird. Hier können Startwert, Stückelung und Maximum in % und die gewünschte Stückzahl angegeben werden. Nach Klick auf „Kostenbezogene Sensitivität angeben“ wird die Tabelle erstellt und das Diagramm im Tabellenblatt Grafiken gezeichnet.

Für den Tiefzieh-Prozess werden in den folgenden Abschnitten die Kostenstrukturen anhand eines Beispielbauteils in Abhängigkeit der Stückzahl und verschiedener Kostenparameter aufgestellt.

BESCHREIBUNG DES EXEMPLARISCHEN BAUTEILS UND DESSEN HERSTELLUNGSVERFAHRENS

Bei dem exemplarisch ausgewählten Bauteil handelt es sich um eine Beplankung einer Aluminium-Seitentür für ein Personen-Kraftfahrzeug. Dieses Bauteil stellt ein typisches Serienbauteil für eine hochautomatisierte Massenfertigung dar. Es wird aus Blech-zuschnitten durch Umformprozesse hergestellt. Am Beispiel des Tiefziehens wird die detaillierte Kostenbetrachtung durchgeführt.

Die Herstellung beginnt mit dem Zuschneiden der Blechplatinen aus aufgerolltem Blechmaterial, den sogenannten Coils, welche in

bestimmten standardisierten Blechdicken und -breiten bezogen werden können. Der Platinenzuschnitt erfolgt außerhalb der eigentlichen Pressenstraße auf einer einzelnen Presse, da bei diesem Prozessschritt mit einer deutlich höheren Hubzahl gearbeitet werden kann als beim späteren Umformungsprozess. Die Platinen werden gestapelt und im Anschluss daran der eigentlichen Pressenstraße zugeführt. Die Ausbringung der Zuschnittanlage an Platinen kann bei bis zu 120 Hüben pro Minute liegen, während die Pressenstraße hingegen eine Hubzahl von etwa 10 pro Minute besitzt.

Den nächsten Schritt bilden das eigentliche Ziehen und die Ausformung des Bauteils. Bei diesen Prozessschritten wird die wesentliche Geometrie des späteren Bauteils geformt. Die weiteren Pressen beschneiden den Rand mit Stanzwerkzeugen und Schieberwerkzeugen. Abschließend wird der Falzflansch abgestellt. Die beschriebenen Prozessschritte erfolgen alle im gleichen Takt innerhalb einer Pressenstraße mit Handlineinheiten zur automatischen Entnahme und Ablage der Bauteile in die einzelnen Pressen. Die Ausbringung am Ende der Pressenstraße kann bei etwa 600 Beplankungsteilen pro Stunde liegen, da die Zykluszeit der Pressenstraße etwa 6 Sekunden pro Bauteil beträgt und 10 Hübe pro Minute durchgeführt werden.

Durch die Blechumformung können eine sehr gute Oberflächenqualität sowie eine wiederholgenaue Maßhaltigkeit erreicht werden. Für Schwierigkeiten im Fertigungsprozess können die Werkstoffe ursächlich sein, wenn die Voraussetzungen hinsichtlich der Bruchdehnung nicht erfüllt sind. Genügt der Werkstoff jedoch den Anforderungen der Pressenbetreiber, so läuft der beschriebene Fertigungsprozess äußerst stabil und hat sich deshalb auch prinzipiell, so wie beschrieben oder in leicht abgewandelten Varianten, bei allen Fahrzeugherstellern etabliert.

PARAMETERWERTE UND KENNZAHLEN

Im Anschluss an die allgemeine Beschreibung des Tiefziehprozesses wird im Folgenden für die exemplarische Aluminium-Seitentür eine detaillierte Berechnung durchgeführt. Dabei wird eine Jahresstückzahl von 100.000 Bauteilen angenommen bei einer Ausschussquote von 0 Prozent.

Für die Kostenstruktur des Rohmaterials wird auf Anfragen bei den jeweiligen Lieferanten zurückgegriffen. Diese Daten stellen eine gewisse Unsicherheit dar, da diese je nach Abnahmemenge oder aktuellem Rohstoffpreis deutlich variieren können. Die angenommenen 3,30 EUR stellen einen zum Zeitpunkt der Anfertigung des Handbuchs aktuellen Richtwert für den Einkaufspreis dar und können im Excel-Modell unter Blechpreis angepasst werden. Dieser Preis für eine geeignete Aluminiumlegierung wurde von einem Experten genannt. Die Ausnutzung des Blechzuschnitts liegt bei etwa 50 bis 55 Prozent, da zur Fixierung mittels Blechhalter und zum Nachfließen mehr Material benötigt wird als für einen endkonturnahen Zuschnitt.

Auch die Aussparungen für die Fensteröffnungen müssen ausgestanzt werden und verringern so die nutzbare Menge. Diese Aussparungen sind aus Gründen der Vereinfachung in der Berechnung jedoch nicht berücksichtigt. Auf die tatsächlichen Abmessungen

werden hier pauschal 40 Prozent als Materialaufschlag hinzuge-rechnet, was aus der Darstellung zu den benötigten Längen und Breiten ersichtlich wird. Der Beschnitt besitzt bei Sortenreinheit noch etwa einen Restwert von 1,45 EUR und kann dem Rohstoffzyklus wieder zugeführt werden, weshalb dieser anschließend vom er-rechneten Materialpreis abgezogen wird. So beläuft sich der Mate-rialpreis für ein Bauteil am Ende auf 14,88 EUR. Die zugehörigen Bau-teilabmessungen verstehen sich als abgeschätzte Mittelwerte der Seitentüren gängiger Kraftfahrzeuge und sind im Anhang aufgeführt.

Die Anlagenkosten setzen sich aus den Anschaffungskosten für die Pressenstraße mit zugehörigen Handlungseinheiten sowie der vor-gelagerten Platinenherstellung zusammen. Die Kosten für die Coil-anlage belaufen sich auf ca. 8 Mio. EUR. Die Beschaffungskosten für die Zieh- und Nachformungspresen sowie die nötigen Handling-einheiten liegen bei ungefähr 13 Mio. EUR. Die entsprechend not-wendigen Werkzeuge haben einen Gesamtpreis von etwa 1,25 Mio. EUR. Somit belaufen sich die Anlagenkosten zur Herstellung einer Türbeplankung auf 22,25 Mio. EUR für dieses Beispiel und können beliebig in den Angaben der Kosten für Pressen und Werkzeuge angepasst werden. Dieser Wert stellt die Anschaffungskosten für die Anlage dar.

Der Betrachtung wird ein Dreischichtbetrieb an 220 Arbeitstagen pro Jahr bei einer Arbeitszeit von 7,25 Stunden pro Schicht und einer Anla-genverfügbarkeit von 85 Prozent zugrunde gelegt. Die Werte können in den entsprechenden Feldern des Excel-Modells angepasst werden. Die Energiekosten beruhen auf Werten aus der Statista Datenbank für das Jahr 2013 und belaufen sich auf einen Durchschnittswert von 15 Cent pro Kilowattstunde für industrielle Verbraucher. Aus dem Energieverbrauch der Anlage, der ange-nommenen Abschreibung der Pressen und Handlungseinheiten auf 15 Jahre und den nötigen Wartungskosten sowie den Kosten für die Hallenfläche kann letztendlich der Maschinenstundensatz be-rechnet werden. Dieser beläuft sich in dem gewählten Beispiel auf 826,44 EUR pro Maschinenstunde. Die Berechnung der Herstel-lungskosten anhand des Stundensatzes ist gleichzusetzen mit der Annahme, dass freie Kapazitäten durch die Produktion anderer Bauteile genutzt werden. Somit werden die Anlagenkosten nicht nur auf die aktuell betrachtete Baureihe bezogen, sondern auf sämtliche produzierten Produkte.

Die Personalkosten fallen bei einer vollautomatisierten Pressen-straße in der Regel nur für einen Mitarbeiter an. Dieser ist oftmals lediglich mit der Prüfung und der Kontrolle des korrekten Prozess-ablaufs betraut. Zur Materialzu- und abfuhr, zur Instandhaltung so-wie zur Aufrechterhaltung des korrekten Betriebs müssen jedoch noch Mitarbeiter wie die Fahrer der Flurförderfahrzeuge, Bediener des Hallenkrans, Instandhaltungsmechaniker sowie weiteres Fach-personal hinzugerechnet werden. Die Kosten für diese Position sinn-voll abzuschätzen ist komplex, da sie je nach Anlage und Personal-struktur variiert. Sie kann entsprechend in den Feldern Kosten pro Arbeitsstunde und Anzahl der benötigten Arbeitskräfte im Excel-Modell geändert werden. Für die Kostenbetrachtung wird deshalb pauschal mit 1,5 Personen bei einem Stundenarbeitsatz von 45 EUR/h gerechnet, sodass sich die Personalkosten für den Betrieb der An-lage auf 67,50 EUR/h belaufen.

Die Zykluszeit bei der Bauteilherstellung liegt bei etwa 6 Sekunden, sodass mit der Pressenstraße 600 Bauteile pro Stunde gefertigt werden können. Die Berechnung der Bauteileanzahl pro Jahr erfolgt unter Berücksichtigung der Arbeitstage pro Jahr, der Schichtanzahl sowie der Stundenzahl pro Schicht. Da die möglich herstellbare Bauteilanzahl die Anzahl der benötigten Bauteile weit übersteigt, wird die Beispielanlage nur zu 4,10 Prozent für die Herstellung einer Türbeplankung ausgenutzt, siehe Anlagenausnutzung im Excel-Modell. Die restliche Zeit steht die Anlage für weitere Kfz-Bauteile (Türinnenteile, Motorhauben, Verkleidungsteile, ...) zur Verfügung, die Anlagenausnutzung wird somit zu 100% angenommen und auf alle Produkte umgelegt. Die fertig gezogenen Bauteile werden in einem Pufferspeicher gelagert, gesammelt und später der Monta-ge zum Zusammenbau zugeführt.

Eine mechanische Endbearbeitung mittels spanender Verfahren findet bei Blechumformteilen nicht statt. Eine kathodische Tauch-lackierung sowie Decklackaufbringung werden meist erst nach Zusammenbau der Rohkarosse durchgeführt. Die Wertschöpfung der Schritte „Zusammenbau/Montage“ sowie „Lackierung“ kann in diesem Abschätzungstool deshalb nicht berücksichtigt werden, da die Prozesse sehr vielschichtig sind und erst beim Vorliegen eines expliziten Anwendungsfalls konkret bestimmt werden können. Aus diesem Grund wird bei der Kostenbetrachtung auf die Prozess-schritte „Montage“ und „Lackierung“ verzichtet.

Die abschließende Umrechnung der Stundenkosten der Anlage auf die einzelnen Kostenbestandteile eines Bauteils ist im Anhang zusammengefasst und liefert einen finalen Endpreis von 18,88 EUR pro Bauteil bei der angenommenen Jahresproduktion von 100.000 Bauteilen.



KOSTENANTEILE DES EXEMPLARISCHEN BAUTEILS

In Abbildung Tiefziehen-1 ist die Aufteilung der Prozesskosten bei einer Stückzahl von 100.000 pro Jahr aufgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Materialkosten den größten Kostenfaktor darstellen, in großem Abstand gefolgt von den Anschaffungskosten für die Anlagen sowie den Energiekosten. Der sehr geringe Anteil der Personalkosten an den Bauteilkosten ist auf die hohe Bauteilaustragung pro Stunde zurückzuführen. Die hohen Stückzahlen auf einer Pressenstraße legen den Anteil der Anlagenkosten an den Bauteilkosten auf einen Wert von 16,28 Prozent fest. Dieser Sachverhalt wird aus Abbildung Tiefziehen-3 ersichtlich.

Abbildung Tiefziehen-2 zeigt ein Tortendiagramm, in welchem die ermittelten Prozesskosten in Anlehnung an die gewählte Einteilung in der Wertschöpfungskette dargestellt sind. Hier ist ebenfalls der starke Einfluss der Materialkosten auf die Gesamtprozesskosten zu erkennen.

KOSTENVERÄNDERUNGEN DURCH VARIATION DER PRODUKTIONSMENGEN

Die Kostenbetrachtung wird in diesem Abschnitt für eine verringerte Stückzahl von 25.000 Bauteilen pro Jahr dargestellt (vgl. Abb. Tiefziehen-Herstellungskosten bei 25.000 Stück im Anhang). Hierzu sind in Abbildung Tiefziehen-4 die einzelnen Kostenanteile aufgetragen. Ab einer Jahresstückzahl von ca. 25.000 Bauteilen kann von einer Großserienproduktion gesprochen werden, welche hochautomatisiert stattfindet und somit die Kostenstruktur gleich bleibt. Die Herstellungskosten eines Bauteils steigen auf 26,38 EUR an. Abbildung Tiefziehen-6 zeigt einen gestiegenen Anteil der Anschaffungskosten für Anlagen, da diese auf weniger Bauteile umgelegt werden können. Die Personalkosten ändern sich absolut nicht, sinken aber relativ zu den Gesamtkosten durch die Verringerung der Stückzahl, da die Taktzeit der gesamten Pressenstraße auch für andere Bauteile gleich bleibt. Die Kostenanteile der betrachteten Wertschöpfungskette sind in Abbildung Tiefziehen-5 dargestellt.

Verteilung Prozesskosten, Stückzahl: 100.000

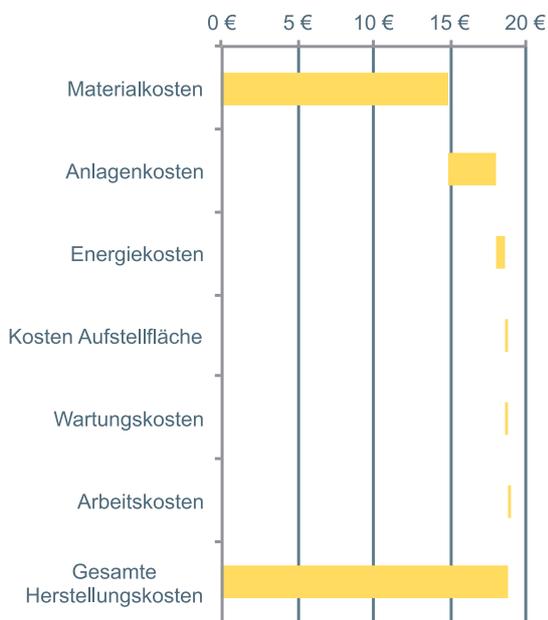


Abbildung 5-16: Tiefziehen-1: Verteilung der Prozesskosten des exemplarischen Bauteils beim Tiefziehen

Verteilung Prozesskosten, Stückzahl: 100.000

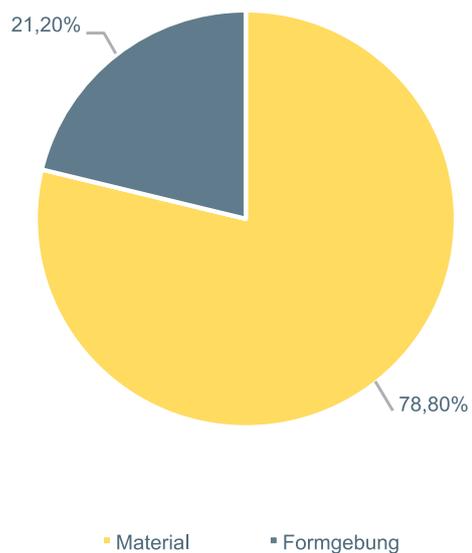


Abbildung 5-17: Tiefziehen-2: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen beim Tiefziehen

Verteilung Prozesskosten, Stückzahl: 100.000

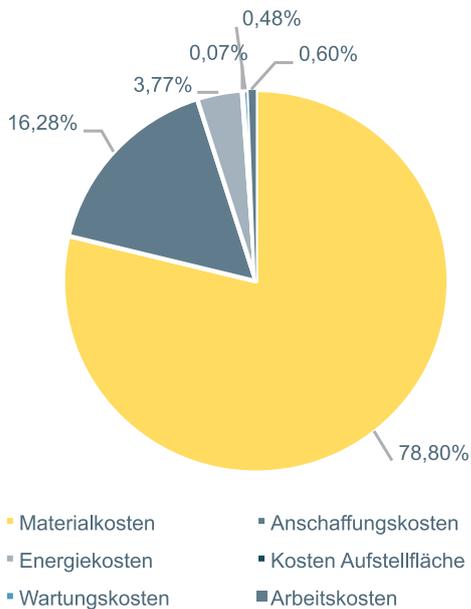


Abbildung 5-18: Tiefziehen-3: Anteile der Kostenarten bei der Bauteilherstellung beim Tiefziehen

Verteilung Prozesskosten, Stückzahl: 25.000

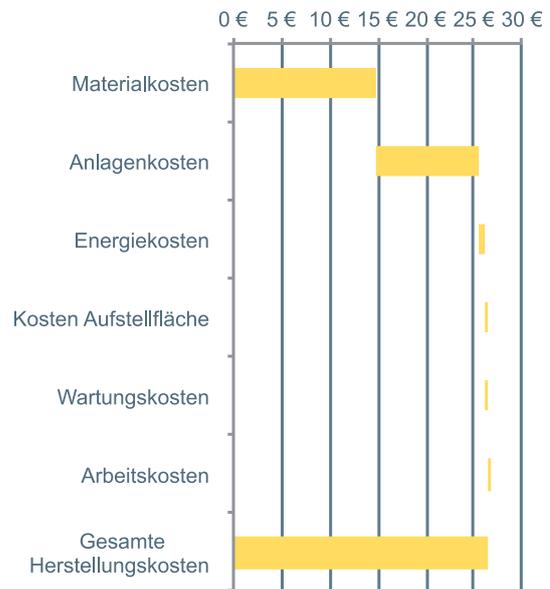


Abbildung 5-19: Tiefziehen-4: Verteilung der Prozesskosten des exemplarischen Bauteils beim Tiefziehen bei geringen Produktionsmengen (25.000 Stück)

Verteilung Prozesskosten, Stückzahl: 25.000

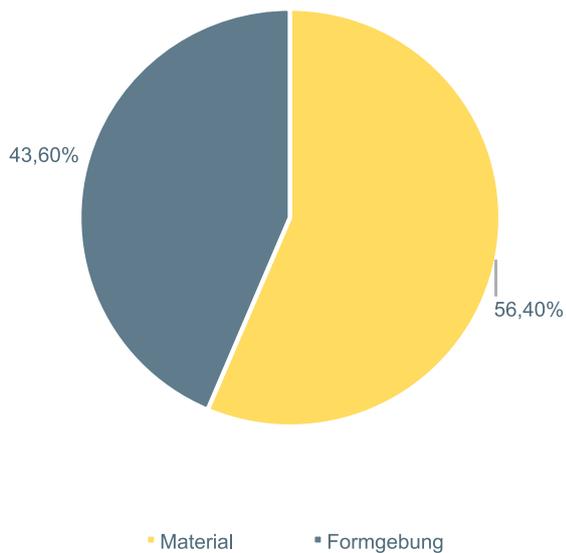


Abbildung 5-20: Tiefziehen-5: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen bei geringen Produktionsmengen (25.000 Stück)

Verteilung Prozesskosten, Stückzahl: 25.000

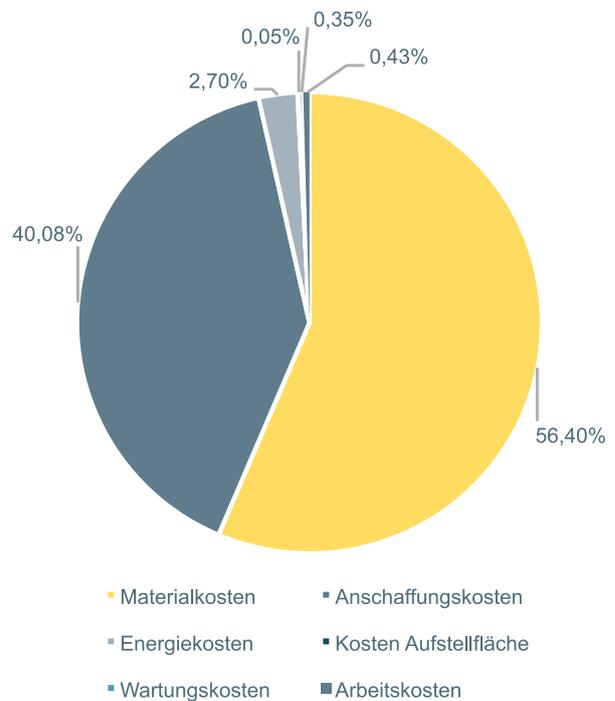


Abbildung 5-21: Tiefziehen-6: Anteile der Kostenarten bei der Bauteilherstellung bei geringen Produktionsmengen (25.000 Stück)



Die gezeigten Diagramme lassen eine hohe Abhängigkeit der Bauteilkosten von der Jahresstückzahl erkennen. In Abbildung Tiefziehen-7 sind die Stückkosten in Abhängigkeit der Jahresstückzahl für folgende fiktive Szenarien abgebildet:

- ▼ Standard
- ▼ 10 Prozent geringere Materialkosten
- ▼ 10 Prozent günstigerer Strom

Alle Graphen verlaufen über die Jahresstückzahl degressiv, wobei die anfängliche Kostenabnahme bei geringeren Stückzahlen deutlicher ausfällt als bei hohen Stückzahlen über 100.000 Bauteilen pro Jahr.

Günstigere Energiekosten für die Herstellung wirken sich lediglich geringfügig auf die Stückkosten aus. Die Verläufe für die Standardberechnung sowie für die 10 Prozent niedrigeren Energiekosten über-

schnneiden sich annähernd über den gesamten aufgetragenen Verlauf, weisen demnach nur einen geringen Einfluss auf die Bauteilkosten auf. Die Stückkosten bei einer Stückzahl von 100.000 betragen für

- ▼ die Standardvariante: 18,88 EUR,
- ▼ 10 Prozent geringere Materialkosten: 17,39 EUR,
- ▼ 10 Prozent günstigerer Strom: 18,81 EUR.

KOSTENVERÄNDERUNGEN DURCH PREISENTWICKLUNGEN

Die Abhängigkeit der Bauteilkosten von der Höhe der Kostenfaktoren der unterschiedlichen Varianten ist in Abbildung Tiefziehen-8 dargestellt. Zum Beispiel hat ein Absenken der Materialkosten um 20 Prozent eine Bauteilkostenreduzierung um ca. 15 Prozent zur Folge. Die Veränderung der Stromkosten hat nur einen sehr geringen Einfluss auf die Bauteilkosten, sodass sich die Kurvenverläufe annähernd komplett überdecken.

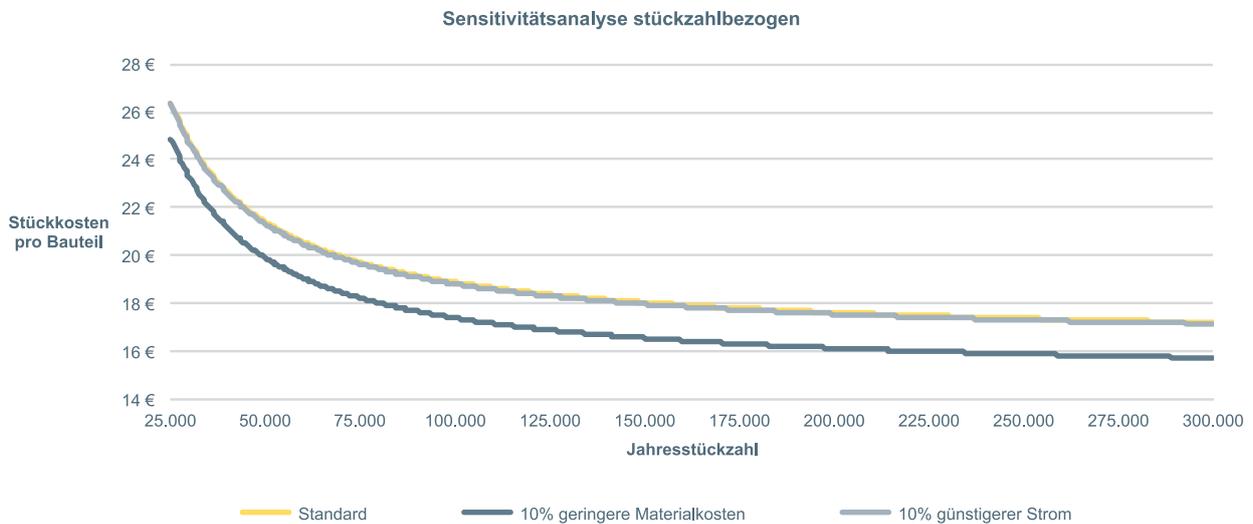


Abbildung 5-22: Tiefziehen-7: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten nach Stückzahlen

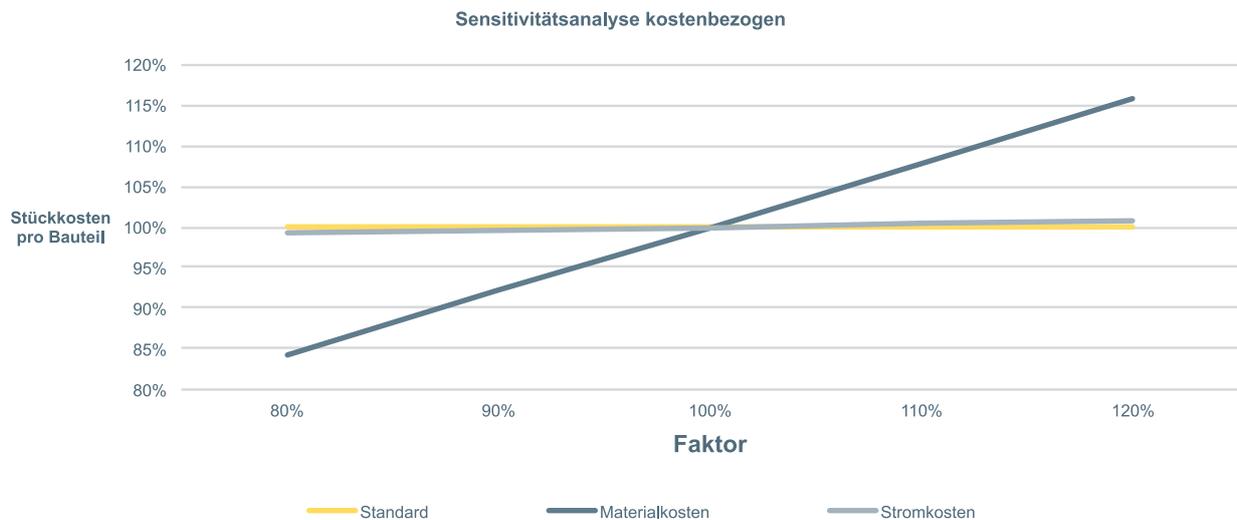


Abbildung 5-23: Tiefziehen-8: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten durch Preisveränderungen

KAPITEL 6

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Studie zeigt, dass das Verarbeitende Gewerbe Baden-Württembergs sich auf dem Weg zu einer Leichtbau-Industrie befindet. Teilweise haben die dort ansässigen Unternehmen bereits wichtige Schritte unternommen und setzen neue Leichtbautechniken ein. Allerdings wird auch deutlich, dass die Mehrzahl der Branchen und Unternehmen der baden-württembergischen Industrie eher durchschnittlich aufgestellt und teilweise sogar als Nachzügler im Leichtbau anzusehen sind. Da aber die Schlüsselakteure den Leichtbau sehr viel stärker mit Vorteilen als mit Nachteilen verbinden, scheint noch erhebliches, bislang unausgeschöpftes Potenzial zu existieren, welches den Leichtbau weiter vorantreiben wird.

AUSGANGSSITUATION FÜR DEN LEICHTBAU IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Baden-Württemberg weist traditionell einen hohen Anteil an Unternehmen auf, die im Maschinen- und Anlagenbau, im Fahrzeugbau oder auch in der Metallindustrie tätig sind. Da der Leichtbau für diese Branchen von besonderer Relevanz ist, gehen damit für das Land Baden-Württemberg als Produktionsstandort für Leichtbau hohe Chancen, aber auch Risiken einher.

Neben dem aktuellen Stand zum Leichtbau in Baden-Württemberg zeigt die vorliegende Studie Einblicke in die Wertschöpfungspotenziale beim Leichtbau für Unternehmen auf. Die zentralen Aspekte sind im Folgenden zusammenfasst.

STELLENWERT DES LEICHTBAUS IM DEUTSCHEN VERARBEITENDEN GEWERBE

Verfahren zur Bearbeitung metallischer Leichtbaumaterialien sind deutlich stärker in der deutschen Industrie verbreitet als Verfahren für Verbundwerkstoffe. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass im Kunststoff die technologische Reife noch nicht voll entfaltet ist und hier Metall-Verfahren derzeit einen höheren Reifegrad aufweisen. Dies deckt sich mit der Experteneinschätzung im Rahmen der Prozessanalyse der verschiedenen technischen Verfahren.

Grundsätzlich weisen der Fahrzeugbau, die Metall- und Elektroindustrie, die chemische Industrie und der Maschinenbau die höchsten Anteile an Unternehmen auf, die Leichtbauverfahren anwenden. Diese Anteile differieren jedoch stark, je nach Betrachtung von metallischen Leichtbaumaterialien oder Verbundwerkstoffen.

Insbesondere Großunternehmen sowie Betriebe mit Einzelfertigung und Kleinserienfertigung setzen Leichtbauverfahren ein. Im Gegensatz zu Endproduktherstellern nutzen besonders Systemzulieferer vermehrt Verfahren zur Bearbeitung von Leichtbaumaterialien.

Dies zeigt nochmals die Relevanz des Kernprozesses im Leichtbau, der vor der Herstellung des eigentlichen Endprodukts stattfindet.

LEICHTBAU IN BADEN-WÜRTTEMBERG IM NATIONALEN VERGLEICH

Im nationalen Vergleich ist Baden-Württembergs Industrie insgesamt durchschnittlich aufgestellt. Dies gilt sowohl für den metallischen als auch für den Kunststoff-Leichtbau. Baden-Württembergs Stärke im Leichtbau ist insbesondere auf den Fahrzeugbau zurückzuführen, der durch große Betriebe getragen wird. Auch die Chemiebranche nutzt überdurchschnittlich häufig Verfahren zur Bearbeitung von Leichtbaumaterialien. Diese Stärke basiert aber ausschließlich auf der Verarbeitung von Verbundwerkstoffen.

In anderen Bereichen ist die baden-württembergische Industrie im Leichtbau eher unterdurchschnittlich aufgestellt. So nutzen baden-württembergische Unternehmen im Maschinenbau überraschenderweise unterdurchschnittlich häufig Leichtbau-Verfahren. Gleiches gilt für die Metall- und Elektrobranche. Auch kleine und mittelständische Unternehmen setzen im Vergleich Leichtbau-Verfahren eher zögerlich ein.

Der Leichtbau in Baden-Württemberg ist somit aktuell von wenigen, dafür stark aufgestellten Großunternehmen geprägt und wird von Betrieben aus dem Bereich des Automobilbaus vorangetrieben. Von einer verstärkten Nutzung von Leichtbau-Verfahren in der breiten Masse kann derzeit, zumindest im nationalen Vergleich, nicht gesprochen werden. Hier liegt jedoch zugleich das Potenzial, um den Leichtbau in Baden-Württemberg weiter voranzubringen.

SCHLÜSSELAKTEURE IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Die Analyse der Wertschöpfungspotenziale zeigt die Chancen und Möglichkeiten zur Stärkung der baden-württembergischen Industrie im Leichtbau auf. Insbesondere die im Leichtbau als Kernprozess betrachteten Wertschöpfungsstufen sind für Baden-Württemberg als Kernbranchen zu erachten. Denn in allen der drei analysierten Gruppen an Schlüsselakteuren ist Baden-Württemberg traditionell stark vertreten.

Dies sind zum Ersten die Ausrüster technischer Verfahren und Anlagen, die insbesondere dem Maschinenbau zuzuzählen sind. Diese Gruppe entwickelt und produziert Automatisierungslösungen für den Leichtbau und birgt folglich hohes Wertschöpfungspotenzial, das derzeit noch nicht voll ausgeschöpft ist. Zweitens stellen Zulieferunternehmen als Teile- oder Systemzulieferer Zwischenprodukte des Leichtbauprodukts her. Diese Gruppe nutzt bereits verstärkt Leichtbau-Verfahren und sollte somit auch für Baden-Württemberg Potenziale aufweisen. Drittens sind die Original Equipment Manufacturer in den Kernprozess involviert, die das Endprodukt herstellen und an den Endkunden ausliefern. Diese Gruppe birgt weitere unerschlossene Potenziale, da diese Betriebe derzeit unterdurchschnittlich bei der Nutzung von Leichtbau-Verfahren vertreten sind.

Folglich sind die Unternehmen, die zu den Schlüsselakteuren im Leichtbau gezählt werden, in Baden-Württemberg vorhanden.



Allerdings ist die Umsetzung und Nutzung von Leichtbau-Verfahren in der Breite noch nicht so stark vorangeschritten wie in anderen Bundesländern. Hieraus ergibt sich die Frage, welche hemmenden und treibenden Faktoren eine Rolle für oder gegen den Einsatz von Leichtbauverfahren in Unternehmen spielen.

HEMNMISSE UND TREIBER BEI SCHLÜSSELAKTEUREN IM LEICHTBAU

Grundsätzlich können alle Schlüsselakteure mit relevanten Anteilen an der Wertschöpfung im Leichtbau partizipieren. Trotzdem bewerten die einzelnen Akteursgruppen sowohl Hemmnisse als auch Motive, die für oder gegen die Nutzung von Leichtbau-Verfahren sprechen, sehr unterschiedlich.

So verbinden Ausrüster im Vergleich zu den anderen beiden Unternehmensgruppen eher Hemmnisse mit dem Leichtbau, während Zulieferer verstärkt Vorteile beim Einsatz von Leichtbau-Anwendungen sehen. Grundsätzlich ist jedoch auch ersichtlich, dass bei einem Vergleich über alle Unternehmensgruppen hinweg die Gründe, die für Leichtbau-Anwendungen sprechen, die Hemmnisse deutlich überwiegen.

Zulieferbetriebe, die im Akteurs-Vergleich eher Vorteile beim Leichtbau erkennen, werden somit häufiger von sich aus solche Verfahren im Betrieb einsetzen als andere Akteure. Dies deckt sich auch mit den Befunden aus der ISI-Umfrage *Modernisierung der Produktion 2012*, woraus hervorgeht, dass insbesondere Systemzulieferer bereits verstärkt auf Leichtbau-Verfahren setzen. Um Hemmnisse bei Ausrüsterbetrieben abzubauen, können bspw. die Bereitstellung von Informationen, Kooperationen zwischen Ausrüsterbetrieben oder zwischen Betrieben und Forschungseinrichtungen sowie ein kontinuierlicher Dialog zwischen den beteiligten Akteuren aus Politik, Forschung und Industrie hilfreich sein.

Insgesamt werden die **größten Hemmnisse** bei den befragten Betrieben **in den durch den Leichtbau entstehenden Kosten** gesehen. Weitere zentrale Faktoren, die von Unternehmen als hemmend angesehen werden, sind die Verfügbarkeit bzw. die Bereitstellung von Ressourcen für den Leichtbau sowie die Möglichkeiten des Recyclings der im Leichtbau verwendeten Materialien. Die Reduktion von Kosten sowie die Schaffung besserer Materialzugänge und Recyclingmöglichkeiten würden demnach zentrale Hemmnisse für Unternehmen abbauen und dem Leichtbau weitere Chancen einräumen.

VORGELAGERTE WERTSCHÖPFUNGS- STRUKTUREN UND -ANTEILE

Der hohe Stellenwert des Materials für den Leichtbau geht ebenfalls aus der Analyse der Wertschöpfungsstrukturen hervor. Dem Material kommt somit nicht nur in der Entwicklung und der Konstruktion oder bei der Anwendung, sondern auch auf der Produktionsseite eine entscheidende Rolle zu. Wie die Analysen der verschiedenen Leichtbau-Verfahren zeigen, nimmt die **Gewinnung und die Verarbeitung von Rohstoffen** sowie die Herstellung der Halbzeuge zwischen **50 und 75 Prozent der Gesamtwertschöpfung eines Leichtbauprodukts** ein. Zwar existieren hier Unterschiede zwischen dem Metall- und Kunststoff-Leichtbau, dennoch ist die

hohe Relevanz des Materials über alle technischen Anwendungen hinweg zu erkennen.

Da diese Wertschöpfungsstufe häufig außerhalb Baden-Württembergs oder Deutschlands angesiedelt ist, ergibt sich für die Leichtbau-Industrie in Baden-Württemberg sowie für die an der Wertschöpfung beteiligten Unternehmen eine hohe Abhängigkeit hinsichtlich der Roh- und Werkstoffversorgung. Sowohl Materialverfügbarkeit als auch Materialpreise stellen kritische Faktoren für die baden-württembergische Leichtbau-Industrie dar. Die hohe Abhängigkeit und der große Einfluss der Materialpreise auf den Preis des Endprodukts gehen auch aus den Berechnungen der Kostenmodelle hervor.

Für Unternehmen in Baden-Württemberg, die im Leichtbau tätig sind oder es werden möchten, gilt es daher, Zulieferstrukturen zu festigen und auszubauen. Dies kann bspw. durch Kooperationsformen oder Allianzen mit ausländischen Unternehmen, die als Materialhersteller tätig sind, geschehen. Ebenfalls kann der Aufbau mehrerer Beschaffungskanäle die Versorgungssicherheit von Roh- und Werkstoffen verbessern. Für Unternehmen, die im Leichtbau tätig sind, ist eine stabile Materialversorgung daher von strategischer Relevanz.

WERTSCHÖPFUNGSANTEILE IM KERNPROZESS

Auf den eigentlichen Kernprozess im Leichtbau entfallen zwischen 25 und 50 Prozent der Gesamtwertschöpfung. Hier sind jedoch große Unterschiede hinsichtlich der anfallenden Kosten und auch der **Kostensenkungspotenziale** ersichtlich. Diese sind **stark bauteilabhängig**. So weist für das exemplarische Bauteil das **RTM-Verfahren** einen vergleichsweise **hohen Personalbedarf** am technischen Prozess auf, während sich das **SMC-Verfahren** für das betrachtete Bauteil im Vergleich **sehr energieintensiv** darstellt. Beim **Metall** dominieren hingegen die **Anschaffungskosten für technische Verfahren und Anlagen**, da dort die Prozesse hoch automatisiert ablaufen.

Durch die verschiedenen Eigenschaften ergeben sich auch sehr unterschiedliche Kostenstrukturen und Kostensenkungspotenziale zwischen den einzelnen Leichtbau-Verfahren. Kunststoff-Leichtbau birgt zwar größere technische und wirtschaftliche Herausforderungen als der Metall-Leichtbau, im Gegenzug existieren bei hier die größeren Potenziale für Leistungssteigerungen.

PROZESSSCHRITTE UND -KOSTEN DER LEICHTBAUVERFAHREN

Die größeren Herausforderungen beim Kunststoff-Leichtbau zeigen sich zum einen an der höheren Anzahl der als kritisch betrachteten Prozessschritte und zum anderen an den identifizierten Kostensenkungspotenzialen. So ist das Kostenminimum beim **Metall-Leichtbau** in vielen Bereichen nahezu erreicht. Hier ist der entscheidende **Kostentreiber** der **Auslastungsgrad der Maschine**. Bei Großserien können deutlich geringere Kosten je Bauteil realisiert werden als bei Kleinserien. Für Unternehmen im Metall-Leichtbau ergeben sich Wettbewerbsvorteile somit über die richtige Auslegung der Maschine, über deren Skalierbarkeit bzw. durch deren Auslastungsgrad.



Im Gegensatz dazu weist der **Kunststoff-Leichtbau** noch deutliche **Kostensenkungspotenziale** auf. Insbesondere durch **Automatisierungslösungen** entlang des Kernprozesses sind hier zukünftig Kostensenkungen zu erwarten. Dies betrifft beim **RTM-Verfahren** z. B. die **textile Halbzeugherstellung** und den vergleichsweise **hohen Energieverbrauch**. Beim **SMC-Verfahren** können durch Automatisierung bspw. die **Zykluszeiten beim Pressen** reduziert werden. Betriebe im Kunststoff-Leichtbau erzielen Wettbewerbsvorteile, indem sie eine möglichst hohe Stabilität der kritischen Prozessschritte bzgl. Qualität und Effizienz erreichen und bei Verfügbarkeit, Maschinen und Anlagen für einen höheren Automatisierungsgrad einsetzen.



KAPITEL 7

ANHANG

7.1

EINGANGSDATEN DES KOSTENMODELLS BEIM RTM-VERFAHREN

	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Jahresstückzahl	Stück/Jahr		25.000
Bauteilgeometrie			
Wandstärke	mm		2,00
Länge	mm		800
Breite	mm		200
Volumen	m ³		0,00060
Bauteilkomplexität			3
			1: Konstante Wanddicke, flaches Bauteil 2: leicht variable Geometrie 3: Unterschiedliche Wandstärke im Bauteil, variable Geometrie 4: Komplizierte Geometrie mit Verstärkungs-Rippen und -Sicken
Projizierte Werkzeugfläche	m ²		0,16

Abbildung 7-1: RTM-allgemein

Rohstoffe	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Materialkosten			
Epoxidharz	€/kg		10,00 €
Phenol-Formaldehyd-Harz	€/kg		6,00 €
Polylester	€/kg		8,00 €
Kohlenstofffaser (Gewebe)	€/kg		40,00 €
Glasfaser (Gewebe)	€/kg		15,00 €
Materialauswahl			
Harzsystem-Typ		Epoxidharz	
Faser-Typ		Kohlenstofffaser (Gewebe)	
Faservolumengehalt	%		50%
Dichte	kg/m ³		1540
Materialkosten pro kg	€/kg		27,78 €
Materialkosten pro Bauteil	€/Stück		25,67 €
Indirekte Materialkosten (Lagerung, Verschnitt, etc)	€/Stück		15,40 €
Gesamte Materialkosten	€/kg bzw. €/Bauteil		44,44 €/kg
41,08 €			
Halbzeugherstellung			
Preforming ungefähr gleiche Kosten wie der Injektionsprozess, kleinere Werkzeuge, dafür mehr Arbeitsschritte und weniger Automatisierung			
Preforming-Kosten	€/kg bzw. €/Bauteil		7,84 €/kg
			7,25 €

Abbildung 7-2: RTM-Rohstoffe

Anlagenkosten	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Injektionsdruck	bar	100	
Investitionskosten je Presse	€		460.000,00 €
Investitionskosten je Werkzeug	€		160.000,00 €
Investitionskosten alle Pressen	€		460.000,00 €
Investitionskosten alle Werkzeuge	€		160.000,00 €
Abschreibungsdauer der Presse	Jahre	15	
Abschreibungsdauer des Werkzeugs	Jahre	5	
jährliche Abschreibungsrate Presse (Anlagenausnutzung berücksichtigt)	€/Jahr		23.954,90 €
jährliche Abschreibungsrate Werkzeug	€/Jahr		32.000,00 €
Investitionskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	2,42 €/kg	2,24 €
Maschinenvfügbarkeit	%	85%	
Werktage pro Jahr	Tage	220	
Anzahl der Schichten	Stück	2	
Arbeitszeit pro Schicht	Stunden	7,25	
Arbeitszeit über das gesamte Jahr	Stunden		2711,50
Nominalleistung je Presse	kW		43,43
Reale Leistung je Presse (80%)	kW		34,74
Energiekosten pro Kilowatt-Stunde	€/kWh	0,15 €	
Energiekosten pro Stunde (Anlagenausnutzung berücksichtigt)	€/Stunde		4,07 €
Energiekosten pro Jahr	€/Jahr		11.038,10 €
Energiekosten	€/kg bzw. €/Bauteil	0,48 €/kg	0,44 €
Kosten für Aufstellfläche in Arbeitshalle pro Anlage und Monat	€/Anlagenfläche/Monat	600,00 €	
Kosten für Aufstellfläche in Arbeitshalle gesamt pro Jahr (Anlagenausnutzung berücksichtigt)	€/Jahr		14.060,48 €
Kosten für Aufstellfläche in Arbeitshalle	€/kg bzw. €/Bauteil	0,61 €/kg	0,56 €
Wartungskosten pro Jahr (1% der Investkosten, Anlagenausnutzung berücksichtigt)	€/Jahr		4.843,06 €
Wartungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	0,21 €/kg	0,19 €

Abbildung 7-3: RTM-Anlagenkosten

Pressenzyklus	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Einlegen des Preforms	Sekunden	25	
Öffnen / Schließen der Presse	Sekunden	10	
Aushärtezeit	Sekunden	230	
Bauteilentnahme	Sekunden	20	
Werkzeugreinigung	Sekunden	10	
Gesamtzyklus-Dauer	Sekunden		305,00
herstellbare Bauteile pro Stunde	Stück pro Stunde		11,80
herstellbare Bauteile pro Tag	Stück pro Tag		171,15
herstellbare Bauteile pro Jahr	Stück pro Jahr		32004,59
Anlagenausnutzung (eine Anlage)	%		78,1%
Anlagenausnutzung (gesamt)	%		78,1%
Anzahl benötigter Pressen und Werkzeuge	Stück		1

Abbildung 7-4: RTM-Pressenzyklus

Arbeitskosten	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Kosten pro Arbeitsstunde	€/Stunde	45,00 €	
Anzahl der benötigten Arbeitskräfte pro Anlage	Stück	1	
Arbeitskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	4,13 €/kg	3,81 €
Prozesskosten Formgebung gesamt	€/kg bzw. €/Bauteil	7,84 €/kg	7,25 €

Abbildung 7-5: RTM-Arbeitskosten

End-/Nachbearbeitung	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Fräserpreis	€	35,00 €	
Vorschub	mm/Minute	800	
Standzeit	Minuten	30	
Besäumlänge	mm	2400	
Spannen / Entspannen Bauteil	Minuten	0,5	
Besäumdauer	Minuten		3,00
Maschinenstundensatz	€/Stunde	110,00 €	
Maschinenkosten je Bauteil	€/Stück		7,33 €
Abschreibung Fräser	€/Stück		3,50 €
10% Puffer			1,08 €
Nachbearbeitungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	12,9 €/kg	11,92 €

Abbildung 7-6: RTM-End- und Nachbearbeitung

Herstellungskosten	Einheit	Ergebnis	Ergebnis
Materialekosten	€/kg bzw. €/Bauteil	44,44 €/kg	41,06 €
Kosten der Halbzeugherstellung	€/kg bzw. €/Bauteil	7,84 €/kg	7,25 €
Arbeitskosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	4,13 €/kg	3,81 €
Investkosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	2,42 €/kg	2,24 €
Energiekosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,48 €/kg	0,44 €
Kosten für Fläche in Arbeitshalle (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,61 €/kg	0,56 €
Wartungskosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,21 €/kg	0,19 €
Prozesskosten Formgebung	€/kg bzw. €/Bauteil	7,84 €/kg	7,25 €
End-/ Nachbearbeitungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	12,9 €/kg	11,92 €
Gesamte Herstellungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	73,03 €/kg	67,48 €

Abbildung 7-7: RTM-Herstellungskosten

Herstellungskosten	Einheit	Ergebnis	Ergebnis
Materialekosten	€/kg bzw. €/Bauteil	44,44 €/kg	41,06 €
Kosten der Halbzeugherstellung	€/kg bzw. €/Bauteil	10,31 €/kg	9,52 €
Arbeitskosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	4,13 €/kg	3,81 €
Investkosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	4,89 €/kg	4,51 €
Energiekosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,48 €/kg	0,44 €
Kosten für Fläche in Arbeitshalle (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,61 €/kg	0,56 €
Wartungskosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,21 €/kg	0,19 €
Prozesskosten Formgebung	€/kg bzw. €/Bauteil	10,31 €/kg	9,52 €
End-/ Nachbearbeitungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	12,9 €/kg	11,92 €
Gesamte Herstellungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	77,95 €/kg	72,03 €

Abbildung 7-8: RTM-Herstellungskosten bei 9000 Stück



7.2

EINGANGSDATEN DES KOSTENMODELLS BEIM SMC-VERFAHREN

	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Jahresstückzahl	Stück/Jahr	40.000	
Bauteilgeometrie			
Wandstärke	mm	2,35	
Länge	mm	1450	
Breite	mm	1050	
Volumen	m ³	0,00358	
Bauteilkomplexität		2	
Projizierte Werkzeugfläche	m ²		1,52

Abbildung 7-9: SMC-Rahmenbedingungen

Rohstoffe	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Materialkosten			
Polyesterharz mit Füllstoff	€/kg	2,50 €	
Vinylesterharz	€/kg	7,00 €	
Epoxidharz	€/kg	5,50 €	
Kohlenstofffaser (Roving)	€/kg	25,00 €	
Glasfaser (Roving)	€/kg	1,90 €	
Materialauswahl			
Harzsystem-Typ		Polyesterharz mit Füllstoff	
Faser-Typ		Glasfaser (Roving)	
Faservolumengehalt	%	22%	
Dichte	kg/m ³		1807
Materialkosten pro kg	€/kg		2,34 €
Materialkosten pro Bauteil	€/Stück		15,13 €
Indirekte Materialkosten (Lagerung, Verschnitt, etc)	€/Stück		1,21 €
Gesamte Materialkosten	€/kg bzw. €/Bauteil	2,53 €/kg	16,34 €
Halbzeugherstellung			
SMC-Herstellung mit Pauschalkosten			
Kosten für SMC-Halbzeug	€/kg bzw. €/Bauteil	0,51 €/kg	3,27 €

Abbildung 7-10: SMC-Materialkosten

Anlagenkosten	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Pressdruck	bar	100	
Investitionskosten je Presse	€		1.822.500,00 €
Investitionskosten je Werkzeug	€		190.000,00 €
Investitionskosten alle Pressen	€		1.822.500,00 €
Investitionskosten alle Werkzeuge	€		190.000,00 €
Abschreibungsdauer der Presse	Jahre	15	
Abschreibungsdauer des Werkzeugs	Jahre	8	
jährliche Abschreibungsrate Presse (Anlagenausnutzung berücksichtigt)	€/Jahr		94.597,09 €
jährliche Abschreibungsrate Werkzeug	€/Jahr		38.000,00 €
Investitionskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	0,51 €/kg	3,31 €
Maschinenverfügbarkeit	%	85%	
Werkzeuge pro Jahr	Tage	220	
Anzahl der Schichten	Stück	2	
Arbeitszeit pro Schicht	Stunden	7,25	
Arbeitszeit über das gesamte Jahr	Stunden		2711,50
Nominalleistung je Presse	kW		251,05
Reale Leistung je Presse (80%)	kW		200,84
Energiekosten pro Kilowatt-Stunde	€/kWh	0,15 €	
Energiekosten pro Stunde (Anlagenausnutzung berücksichtigt)	€/Stunde		23,46 €
Energiekosten pro Jahr	€/Jahr		63.598,73 €
Energiekosten	€/kg bzw. €/Bauteil	0,25 €/kg	1,59 €
Kosten für Aufstellfläche in Arbeitshalle pro Anlage und Monat	€/Anlagenfläche/Monat	600,00 €	
Kosten für Aufstellfläche in Arbeitshalle gesamt pro Jahr (Anlagenausnutzung berücksichtigt)	€/Jahr		14.014,38 €
Kosten für Aufstellfläche in Arbeitshalle	€/kg bzw. €/Bauteil	0,05 €/kg	0,35 €
Wartungskosten pro Jahr (1% der Investkosten, Anlagenausnutzung berücksichtigt)	€/Jahr		15.668,86 €
Wartungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	0,06 €/kg	0,39 €

Abbildung 7-11: SMC-Anlagenkosten

Pressenzyklus	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Einlegen des SMC	Sekunden	15	
Öffnen / Schließen der Presse	Sekunden	10	
Aushärtezeit	Sekunden	110	
Bauteilentnahme	Sekunden	15	
Werkzeugreinigung	Sekunden	30	
Gesamtzyklus-Dauer	Sekunden		190,00
herstellbare Bauteile pro Stunde	Stück pro Stunde		18,95
herstellbare Bauteile pro Tag	Stück pro Tag		274,74
herstellbare Bauteile pro Jahr	Stück pro Jahr		51375,70
Anlagenausnutzung (eine Anlage)	%		77,9%
Anlagenausnutzung (gesamt)	%		77,9%
Anzahl benötigter Pressen und Werkzeuge	Stück		1

Abbildung 7-12: SMC-Pressenzyklus



Arbeitskosten	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Kosten pro Arbeitsstunde	€/Stunde	45,00 €	
Anzahl der benötigten Arbeitskräfte pro Anlage	Stück	1	
Arbeitskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	0,37 €/kg	2,38 €
Prozesskosten Formgebung gesamt	€/kg bzw. €/Bauteil	1,24 €/kg	8,02 €

Abbildung 7-13: SMC-Arbeitskosten

End-/Nachbearbeitung	Einheit	Bedarf	Ergebnis
Fräserpreis	€	35,00 €	
Vorschub	mm/Minute	800	
Standzeit	Minuten	60	
Besäumlänge	mm	5000	
Spannen / Entspannen Bauteil	Minuten	0,3	
Besäumdauer	Minuten		6,25
Maschinenstundensatz	€/Stunde	110,00 €	
Maschinenkosten je Bauteil			12,38 €
Abschreibung Fräser	€/Stück		3,65 €
10% Puffer			1,60 €
Nachbearbeitungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	2,73 €/kg	17,62 €

Abbildung 7-14: SMC-End- und Nachbearbeitung

Herstellungskosten	Einheit	Ergebnis	Ergebnis
Materialkosten	€/kg bzw. €/Bauteil	2,53 €/kg	16,34 €
Kosten der Halbzeugherstellung	€/kg bzw. €/Bauteil	0,51 €/kg	3,27 €
Arbeitskosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,37 €/kg	2,38 €
Investkosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,51 €/kg	3,31 €
Energiekosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,25 €/kg	1,59 €
Kosten für Fläche in Arbeitshalle (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,05 €/kg	0,35 €
Wartungskosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,06 €/kg	0,39 €
Prozesskosten Formgebung	€/kg bzw. €/Bauteil	1,24 €/kg	8,02 €
End-/ Nachbearbeitungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	2,73 €/kg	17,62 €
Gesamte Herstellungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	7 €/kg	45,25 €

Abbildung 7-15: SMC-Herstellungskosten

Herstellungskosten	Einheit	Ergebnis	Ergebnis
Materialkosten	€/kg bzw. €/Bauteil	2,53 €/kg	16,34 €
Kosten der Halbzeugherstellung	€/kg bzw. €/Bauteil	0,51 €/kg	3,27 €
Arbeitskosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,37 €/kg	2,38 €
Investkosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,6 €/kg	3,88 €
Energiekosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,25 €/kg	1,59 €
Kosten für Fläche in Arbeitshalle (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,05 €/kg	0,35 €
Wartungskosten (Formgebung)	€/kg bzw. €/Bauteil	0,06 €/kg	0,39 €
Prozesskosten Formgebung	€/kg bzw. €/Bauteil	1,33 €/kg	8,59 €
End-/ Nachbearbeitungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	2,73 €/kg	17,62 €
Gesamte Herstellungskosten	€/kg bzw. €/Bauteil	7,09 €/kg	45,82 €

Abbildung 7-16: SMC-Herstellungskosten bei 25.000 Stück



7.3

EINGANGSDATEN DES KOSTENMODELLS BEIM TIEFZIEHEN

	Einheit	Bedarf
Jahresstückzahl	Stück/Jahr	100000
Jahresstückzahl bei 0% Ausschuss (Ausschuss am Ende jedes Prozessschritts eintragbar)	Stück/Jahr	
Blechpreis	€/kg	3,30 €

Abbildung 7-17: Tiefziehen-allgemein

Bauteilgeometrie		
Wandstärke	mm	1,00
tatsächliche Länge	mm	1200
tatsächliche Breite	mm	820
tatsächliches Volumen	m ³	
benötigte Länge	mm	1680
benötigte Breite	mm	1150
benötigtes Volumen	m ³	
Volumen des Verschnittmaterials	m ³	
Materialkosten		
Dichte	kg/m ³	2.700
Materialkosten pro Bauteil	€/Stück	
Indirekte Materialkosten (8%)	€/Stück	
Komplette Materialkosten pro Bauteil	€/Stück	
Restwert Verschnittmaterial bei Sortenreinheit	€/kg	1,45 €
Restwert Verschnitt pro Bauteil	€/Stück	
komplette Materialkosten pro Bauteil inkl. Wiederverkauf Verschnitt	€/kg und €/Bauteil	5,6 €/kg
Ausschuss	%	0%
Verbleibende Bauteile	Stück	
Materialkosten gesamt	€/kg und €/Bauteil	5,6 €/kg

Abbildung 7-18: Tiefziehen-Materialkosten

Anlagenkosten		
Kosten für Pressen + Handlingeinheiten	€	21000000
Kosten für Werkzeuge	€	1250000
Abschreibungszeit Pressen + Handlingeinheiten	Jahre	15
Abschreibungszeit Werkzeuge	Jahre	5
Abschreibungskosten Pressen + Handlingeinheiten	€/Jahr	
Abschreibungskosten Pressen + Handlingeinheiten (Anlagenausnutzung berücksichtigt)	€/Jahr	
Abschreibungskosten Werkzeuge	€/Jahr	
Anschaffungskosten für Anlagen pro Bauteil	€/kg und €/Bauteil	1,16 €/kg
Verfügbarkeitsrate	%	85
Arbeitstage pro Jahr	Tage	220
Anzahl Arbeitsschichten	Anzahl	3
Stunden pro Schicht	Stunden	7,25
Maschinenstunden pro Jahr	Stunden	
Abschreibungskosten pro Stunde	€/Stunde	
Nominelle Leistung (Summe aller benötigten Aggregate)	kW	3560
Tatsächliche Leistung	kW	2848
Energiepreis	€/kWh	0,15
Energiekosten pro Stunde	€/h	
Energiekosten pro Jahr	€/Jahr	
Energiekosten pro Bauteil	€/kg und €/Bauteil	0,27 €/kg
Kosten für Stellfläche in Arbeitshalle pro 100m ² und Monat	€/100m ² /Monat	600
Faktor für benötigte Stellfläche (Anzahl Pressen, Handlingeinheiten,...)		4,5
Kosten für Stellfläche pro Jahr (Anlagennutzung & Pressen-/Handlingeinheitenanzahl berücksichtigt)	€/Jahr	
Kosten Stellfläche pro Bauteil	€/kg und €/Bauteil	0 €/kg
Instandhaltung (1% d. Inv. pro Jahr)	€/Jahr	
Instandhaltung pro Jahr (Anlagenausnutzung berücksichtigt)	€/Jahr	
Instandhaltungskosten pro Stunde	€/h	
Instandhaltungskosten pro Bauteil	€/kg und €/Bauteil	0,03 €/kg
Anlagenstundenkosten	€/h	

Abbildung 7-19: Tiefziehen-Anlagenkosten

Arbeitskosten		
Kosten pro Arbeitsstunde	€/Stunde	45,00 €
Anzahl der benötigten Arbeitskräfte	Stück	1,5
Arbeitskosten pro Stunde	€/Stunde	
Arbeitskosten pro Bauteil	€/kg und €/Bauteil	0,04 €/kg

Abbildung 7-20: Tiefziehen-Arbeitskosten

Pressenzyklus	Einheit	Bedarf
Presszeit	Sekunden	2
Öffnen / Schließen der Presse	Sekunden	2
Beladen/Entladen	Sekunden	2
Gesamtzykluszeit	Sekunden	
herstellbare Bauteile pro Stunde	Stück pro Stunde	
herstellbare Bauteile pro Tag	Stück pro Tag	
herstellbare Bauteile pro Jahr	Stück pro Jahr	
Anlagenausnutzung	%	
Anzahl benötigter Anlagen	Stück	

Abbildung 7-21: Tiefziehen-Pressenzyklus

Herstellungskosten pro Bauteil		
Materialekosten	€/kg und €/Bauteil	5,6 €/kg
Anlagenkosten	€/kg und €/Bauteil	1,16 €/kg
Energiekosten	€/kg und €/Bauteil	0,27 €/kg
Kosten Aufstellfläche	€/kg und €/Bauteil	0 €/kg
Wartungskosten	€/kg und €/Bauteil	0,03 €/kg
Arbeitskosten	€/kg und €/Bauteil	0,04 €/kg
Gesamte Herstellungskosten	€/kg und €/Bauteil	7,11 €/kg

Abbildung 7-22: Tiefziehen-Herstellungskosten

Herstellungskosten pro Bauteil		
Materialekosten	€/kg und €/Bauteil	5,6 €/kg
Anlagenkosten	€/kg und €/Bauteil	3,98 €/kg
Energiekosten	€/kg und €/Bauteil	0,27 €/kg
Kosten Aufstellfläche	€/kg und €/Bauteil	0 €/kg
Wartungskosten	€/kg und €/Bauteil	0,03 €/kg
Arbeitskosten	€/kg und €/Bauteil	0,04 €/kg
Gesamte Herstellungskosten	€/kg und €/Bauteil	9,93 €/kg

Abbildung 7-23: Tiefziehen-Herstellungskosten bei 25.000 Stück



KAPITEL 8

LITERATUR

- ▼ **Jäger, A.; Maloca, S. (2013):**
Dokumentation der Umfrage Modernisierung der Produktion 2012, Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- ▼ **Mayring, P. (2003):**
Qualitative Inhaltsanalyse – Grundlagen und Techniken, 8. Auflage, Weinheim.
- ▼ **Coenenberg, A. G.; Fischer, T. M.; Günther, T. (2007):**
Kostenrechnung und Kostenanalyse, 6. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
- ▼ **Zanker, C.; Som, O.; Buschak, D. (2014):**
Industrieller Mittelstand: Spitzenstellung in Gefahr? Analyse zur Innovationsfähigkeit kleiner und mittlerer Unternehmen in der Metropolregion Stuttgart, IHK Stuttgart, Stuttgart 2014.
- ▼ **Frietsch, R., Neuhäusler, P., Rothengatter, O. (2013):**
Strategische Forschung – Eine Analyse zu den operativen Schwerpunkten der Baden-Württemberg Stiftung, Karlsruhe 2013.

KAPITEL 9

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- ▼ **Abbildung 3-1:** Anteil der Nutzer von Verbundwerkstoffen sowie metallischen Leichtbaumaterialien im deutschen Verarbeitenden Gewerbe nach ausgewählten Branchen 09
- ▼ **Abbildung 3-2:** Anteil der Nutzer von Verbundwerkstoffen oder metallischen Leichtbaumaterialien im deutschen Verarbeitenden Gewerbe nach Bundesländern 11
- ▼ **Abbildung 3-3:** Anteil der Nutzer von Verbundwerkstoffen oder metallischen Leichtbaumaterialien in Baden-Württemberg im nationalen Branchenvergleich 11
- ▼ **Abbildung 3-4:** Anteil der Nutzer von Verbundwerkstoffen oder metallischen Leichtbaumaterialien nach Unternehmensgröße in Baden-Württemberg im nationalen Vergleich 12
- ▼ **Abbildung 4-1:** Generische Wertschöpfungskette im Leichtbau mit fünf Stufen, vom Rohstoff bis zum Endprodukt 13
- ▼ **Abbildung 4-2:** Anteil der Unternehmen nach Akteursgruppe, die Hemmnisse beim Leichtbau sehen 14
- ▼ **Abbildung 4-3:** Anteil der Unternehmen, die Hemmnisse beim Leichtbau sehen, nach Akteursgruppe und Hemmnis. 14
- ▼ **Abbildung 4-4:** Motive für den Leichtbau, nach Unternehmensanteilen der einzelnen Akteursgruppen 15
- ▼ **Abbildung 4-5:** Die vier Akteursgruppen im Kunststoff-Leichtbau entlang der Wertschöpfungsstufen (mit Beispielen baden-württembergischer Unternehmen) 16
- ▼ **Abbildung 4-6:** Wertschöpfungsanteile entlang der Stufen auf Basis eines exemplarischen Bauteils beim RTM-Verfahren 17
- ▼ **Abbildung 4-7:** Prozessschritte beim RTM-Verfahren mit Hemmnissen und Potenzialen 19
- ▼ **Abbildung 4-8:** Wertschöpfungsanteile entlang der Stufen auf Basis eines exemplarischen Bauteils beim SMC-Verfahren 22
- ▼ **Abbildung 4-9:** Prozessschritte beim SMC-Verfahren mit Hemmnissen und Potenzialen 23
- ▼ **Abbildung 4-10:** Die vier Akteursgruppen im Metall-Leichtbau entlang der Wertschöpfungsstufen (mit Beispielen baden-württembergischer Unternehmen) 24
- ▼ **Abbildung 4-11:** Wertschöpfungsanteile entlang der Stufen auf Basis eines exemplarischen Bauteils beim Tiefziehen 25
- ▼ **Abbildung 4-12:** Prozessschritte beim Gussverfahren mit Hemmnissen und Potenzialen 26



▼ Abbildung 4-13: Prozessschritte beim Tiefziehen mit Hemmnissen und Potenzialen	27
▼ Abbildung 5-1: RTM-1: Verteilung der Prozesskosten des exemplarischen Bauteils im RTM-Verfahren	31
▼ Abbildung 5-2: RTM-2: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen	32
▼ Abbildung 5-3: RTM-3: Anteile der Kostenarten bei der Bauteilherstellung	32
▼ Abbildung 5-4: RTM-4: Verteilung der Prozesskosten bei geringeren Produktionsmengen (9.000 Stück)	33
▼ Abbildung 5-5: RTM-5: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen bei geringeren Produktionsmengen (bei 9.000 Stück)	33
▼ Abbildung 5-6: RTM-6: Anteile der Kostenarten bei der Bauteilherstellung bei geringeren Produktionsmengen (bei 9.000 Stück)	33
▼ Abbildung 5-7: RTM-7: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten nach Stückzahlen (a)	34
▼ Abbildung 5-8: RTM-8: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten nach Stückzahlen (b)	35
▼ Abbildung 5-9: RTM-9: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten durch Preisveränderungen	35
▼ Abbildung 5-10: SMC-1: Verteilung der Prozesskosten des exemplarischen Bauteils im SMC-Verfahren	37
▼ Abbildung 5-11: SMC-2: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen	37
▼ Abbildung 5-12: SMC-4: Verteilung der Prozesskosten des exemplarischen Bauteils im SMC-Verfahren bei geringen Produktionsmengen (25.000 Stück)	38
▼ Abbildung 5-13: SMC-5: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen bei geringen Produktionsmengen (25.000 Stück)	38
▼ Abbildung 5-14: SMC-7: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten nach Stückzahlen	39
▼ Abbildung 5-15: SMC-8: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten durch Preisveränderungen	39
▼ Abbildung 5-16: Tiefziehen-1: Verteilung der Prozesskosten des exemplarischen Bauteils beim Tiefziehen	42
▼ Abbildung 5-17: Tiefziehen-2: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen beim Tiefziehen	42
▼ Abbildung 5-18: Tiefziehen-3: Anteile der Kostenarten bei der Bauteilherstellung beim Tiefziehen	43
▼ Abbildung 5-19: Tiefziehen-4: Verteilung der Prozesskosten des exemplarischen Bauteils beim Tiefziehen bei geringen Produktionsmengen (25.000 Stück)	43
▼ Abbildung 5-20: Tiefziehen-5: Verteilung der Kosten nach Wertschöpfungsstufen bei geringen Produktionsmengen (25.000 Stück)	43
▼ Abbildung 5-21: Tiefziehen-6: Anteile der Kostenarten bei der Bauteilherstellung bei geringen Produktionsmengen (25.000 Stück)	43
▼ Abbildung 5-22: Tiefziehen-7: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten nach Stückzahlen	44
▼ Abbildung 5-23: Tiefziehen-8: Sensitivitätsanalyse der Prozesskosten durch Preisveränderungen	44
▼ Abbildung 7-1: RTM-allgemein	48
▼ Abbildung 7-2: RTM-Rohstoffe	48
▼ Abbildung 7-3: RTM-Anlagenkosten	48
▼ Abbildung 7-4: RTM-Pressenzyklus	48
▼ Abbildung 7-5: RTM-Arbeitskosten	49
▼ Abbildung 7-6: RTM-End- und Nachbearbeitung	49
▼ Abbildung 7-7: RTM-Herstellungskosten	49
▼ Abbildung 7-8: RTM-Herstellungskosten bei 9000 Stück	49
▼ Abbildung 7-9: SMC-Rahmenbedingungen	50
▼ Abbildung 7-10: SMC-Materialkosten	50
▼ Abbildung 7-11: SMC-Anlagenkosten	50
▼ Abbildung 7-12: SMC-Pressenzyklus	50
▼ Abbildung 7-13: SMC-Arbeitskosten	51
▼ Abbildung 7-14: SMC-End- und Nachbearbeitung	51
▼ Abbildung 7-15: SMC-Herstellungskosten	51
▼ Abbildung 7-16: SMC-Herstellungskosten bei 25.000 Stück	51
▼ Abbildung 7-17: Tiefziehen-allgemein	52
▼ Abbildung 7-18: Tiefziehen-Materialkosten	52
▼ Abbildung 7-19: Tiefziehen-Anlagenkosten	52
▼ Abbildung 7-20: Tiefziehen-Arbeitskosten	53
▼ Abbildung 7-21: Tiefziehen-Pressenzyklus	53
▼ Abbildung 7-22: Tiefziehen-Herstellungskosten	53
▼ Abbildung 7-23: Tiefziehen-Herstellungskosten bei 25.000 Stück	53



NOTIZEN

A series of horizontal dashed lines for taking notes.



A series of horizontal dashed lines for writing, spanning the width of the page.





IMPRESSUM

HERAUSGEBER

Leichtbau BW GmbH

Landesagentur für Leichtbau Baden-Württemberg
Breitscheidstraße 4 – 70174 Stuttgart
T 0711.128988-40 – E info@leichtbau-bw.de

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologien ICT
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Karlsruhe Institut für Technologie – wbk Institut für Produktionstechnik

REDAKTION

Fraunhofer ISI: Christian Lerch, Dr. Christoph Zanker, Dr. Axel Thielmann, Angela Jäger

Fraunhofer ICT: Christoph Keckl, Dr.-Ing. Jan Kuppinger, Prof. Dr.-Ing. Frank Henning

Fraunhofer IPA: Michael Stroka, Dr.-Ing. Marco Schneider, Dr.-Ing. Christoph Birenbaum

KIT – wbk: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer, Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza, Florian Baumann, Robin Kopf, Alexandra Krämer, Henning Wagner

KOORDINATION STUDIE

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Dr. Axel Thielmann, Christian Lerch

Leichtbau BW GmbH

Dr. Wolfgang Seeliger, Bele Günther

LAYOUT & SATZ

unger+ kreative strategien GmbH

Esperantostraße 12 – 70197 Stuttgart – www.ungerplus.de

FOTOS

© licetastock/fotolia.com (Titelseite, S. 02/03, S. 56/57)

Gradientenschaum Beton © ILEK (S. 05)

AUSLIEFERUNG & VERTRIEB

Leichtbau BW GmbH

Landesagentur für Leichtbau Baden-Württemberg
Breitscheidstraße 4 – 70174 Stuttgart
T 0711.128988-40 – E info@leichtbau-bw.de

ERSCHEINUNGSJAHR 2014

© Copyright liegt bei den Herausgebern.

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Für die Richtigkeit der Herstellerangaben wird keine Gewähr übernommen.



Leichtbau BW GmbH

Breitscheidstraße 4 – 70174 Stuttgart

T 0711.128988-40 – E info@leichtbau-bw.de

www.leichtbau-bw.de