



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Felix Ballhausen

Konzeption einer agilen Entwicklung von modularen Umformwerkzeugen

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

Felix Ballhausen

**Konzeption einer agilen Entwicklung von
modularen Umformwerkzeugen**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Produktionstechnik und -management
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer/in: Prof. Dr.-Ing. Enno Stöver

Zweitprüfer/in: Prof. Dr.-Ing. Peter Chr. Hornberger

Abgabedatum: 12.04.2018

Zusammenfassung

Felix Ballhausen

Thema der Bachelorthesis

Konzeption einer agilen Entwicklung von modularen Umformwerkzeugen

Stichworte

Modularer Werkzeugbau; agiler Werkzeugbau; agile Projektmethoden; Scrum; Design Thinking; Losgröße „1“; Paradigmenwechsel im Werkzeugbau

Kurzzusammenfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sollte eine agile Methode zur Entwicklung von modularen Werkzeugen als Grundlage eines möglichen Paradigmenwechsels hin zu Losgröße „1“ von Umformprodukten erstellt werden. Dies wurde in zwei Lösungsansätzen durch die Kombination der agilen Projektmethode Scrum und der VDI 2221, respektive die Kombination von Scrum mit einer von W. Boos erstellten Methode umgesetzt. Die Akzeptanz der erstellten Verfahren und der Losgröße „1“ wurde dabei durch eine Online-Umfrage und Interviews mit Industrievertretern evaluiert. Es wurde Interesse an agilen Projektmethoden festgestellt, jedoch wurde die Umsetzbarkeit der Losgröße „1“ mit Skepsis gesehen.

Felix Ballhausen

Title of the thesis

Conception of an agile development of modular forming tools

Keywords

Modular tool manufacturing; agile tool manufacturing; agile project approaches; Scrum; Design Thinking; batch size "1"; paradigm shift of tool manufacturing

Abstract

In the context of this bachelor thesis, an agile method for the development of modular tools as a basis for a possible paradigm shift towards batch size "1" of forming products was to be developed. This was implemented in two approaches by combining the agile project method Scrum and the VDI 2221, respectively the combination of Scrum with a method created by W. Boos. The acceptance of the procedures created and the batch size "1" was evaluated by means of an online survey and interviews with industry representatives. Interest in agile project methods was noted, but the feasibility of batch size "1" was viewed with skepticism.

Meiner Familie

Ich möchte mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Enno Stöver, Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Chr. Hornberger und Dipl.-Ing. Benjamin Remmers für die gute Betreuung dieser Bachelorarbeit bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	III
1 Zielsetzung der Bachelorarbeit.....	1
2 Grundlagen.....	2
2.1 Fertigungsverfahren.....	2
2.1.1 Urformen.....	2
2.1.2 Umformen.....	2
2.1.3 Trennen.....	3
2.1.4 Generative Fertigungsverfahren.....	3
2.2 Hydraulikpressen.....	5
2.3 Der Werkzeugbau.....	6
2.4 Klassische Projektmethoden.....	9
2.5 Agile Projektmethoden.....	12
2.5.1 Scrum.....	13
2.5.1.1 Scrum Team.....	15
2.5.1.2 Ereignisse.....	17
2.5.1.3 Artefakte.....	18
2.5.2 Design Thinking.....	19
2.6 Sensorik im Werkzeugbau.....	24
2.6.1 Integrierte Sensorik.....	25
2.6.2 Kraft- und Dehnungsmessung.....	26
2.6.3 Temperaturmessung.....	29
3 Paradigmenwechsel im Werkzeugbau.....	31
3.1 Modularer Werkzeugbau.....	35
3.1.1 Voraussetzungen.....	36
3.1.2 Beschreibung von Modulen und der Modularität.....	36

3.1.3	Übersicht der von Wolfgang Boos entwickelten Methodik zur Entwicklung modularer Werkzeuge	38
3.1.3.1	Initiierungsphase	39
3.1.3.2	Anwendungsphase	40
3.1.3.2.1	Generischer Konstruktionsprozess	40
3.1.3.2.2	Variant Mode and Effects Analysis (VMEA)	42
3.1.3.2.3	Synthese des generischen Konstruktionsprozesses und der VMEA zur vollständigen Anwendungsphase	44
3.1.3.3	Eingliederung des vollständigen Entwicklungsprozesses des modularen Werkzeugbaus	47
3.2	Der agile Werkzeugbau	48
3.2.1	Grundlegender Ordnungsrahmen	50
3.2.2	Ablauf des agilen Entwicklungsprozesses	51
3.2.3	Losgröße „1“ im agilen Werkzeugbau	57
4	Feedback der Wirtschaft	58
4.1	Online-Umfrage	58
4.2	Interview	60
5	Werkzeuggrundgerüst für modularen Werkzeugbau	63
6	Fazit und Ausblick	69
7	Literatur	70
8	Anhang	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schwerpunkte der Aufgabenstellung	1
Tabelle 2: Prioritäten der agilen Softwareentwicklung	13
Tabelle 3: Prozessschritte des Design Thinking Prozesses.....	22
Tabelle 4: Für den Paradigmenwechsel umzusetzende Parameter	34
Tabelle 5: Maschinenkennwerte der HYMAG Hydraulikpresse der HAW Hamburg.....	64

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580	2
Abbildung 2: „Werkzeuggeschwindigkeit, Umformgeschwindigkeit und Druckberührzeit verschiedener Maschinen zum Gesenkschmieden“ [7]	5
Abbildung 3: Phasenmodell der Produktentstehung nach VDI 2221	7
Abbildung 4: Konventionelles, sequenzielles Prozessverständnis der Produktentstehung	7
Abbildung 5: Stage-Gate-Prozess nach R. G. Cooper mit fünf Stages und Gates	10
Abbildung 6: Variierter Stage-Gate-Prozess nach Eversheim-et al. mit drei Stages und fünf Gates.....	10
Abbildung 7: Deterministischer Verlauf der klassischen Projektmethoden und der empirische Verlauf der agilen Projektmethoden nach W. Boos et al.	12
Abbildung 8: Iterativer Entwicklungsprozess im Scrum-Ablauf	14
Abbildung 9: Scrum Board und Burn-Down-Chart, angepasst nach W. Boos et al.	17
Abbildung 10: Venn-Diagramm der zur Gestaltung innovativer Ideen benötigten Überschneidungen nach dem Hasso-Plattner-Institut (HPI)	20
Abbildung 11: Design Thinking Prozess der moising retail design GmbH mit einzelnen Prozessschritten und durch Pfeile angedeutete Iterationsschritten.....	22
Abbildung 12: (A) Ziehring eines vom Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) entwickelten Tiefziehwerkzeuges. (B) Schematischer Aufbau des vom IST entwickelten multifunktionalen Schichtsystems	26
Abbildung 13: Beispielhafter Aufbau eines Dehnungsmessstreifens nach der Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH	27

Abbildung 14: Rosetten-DMS (A) und DMS-Messbrücke (B) nach der Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH	28
Abbildung 15: Umfrageergebnisse der von der KPMG AG und der IHF Köln GmbH durchgeführten repräsentativen Umfrage zum Thema Produktindividualisierung.....	32
Abbildung 16: Statistische Erhebung der Staufen.AG in der deutschen Industrie mit der Frage: "Ist das Thema Losgröße „1“ für Ihr Unternehmen bzw. in Ihrer Branche bereits ein wichtiges strategisches Thema?"	33
Abbildung 17: Von G. Pahl und W. Beitz erstelltes Produktentwicklungs- und Konstruktionsverfahren	38
Abbildung 18: Generischer Konstruktionsprozess von Werkzeugen nach Boos	41
Abbildung 19: Methodik der Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) nach Caesar....	43
Abbildung 20: Kombination des generischen Konstruktionsprozesses und der VMEA nach Boos zur Anwendungsphase des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses für modulare Werkzeuge.....	45
Abbildung 21: Darstellung des Gesamtkonzeptes der von Boos erstellten Entwicklungs- und Konstruktionsmethodik für modulare Werkzeuge	46
Abbildung 22: Exemplarische Eingliederung des von W. Boos erstellten Gesamtkonzeptes zur Entwicklung und Konstruktion modularer Werkzeuge in den von G. Pahl und W. Beitz entwickelten Stage-Gate-Prozess	47
Abbildung 23: Produktlebenszyklus nach G. Pahl und W. Beitz	48
Abbildung 24: „Kostenfestlegung und Kostenentstehung in unterschiedlichen Unternehmensbereichen“ [50]	49
Abbildung 25: Sprintalternative 1: Integration der VDI 2221 in ein agiles Scrum-Grundgerüst.....	52
Abbildung 26: Sprintalternative 2: Integration der von W. Boos erstellten Entwicklungsmethodik in ein agiles Scrum-Grundgerüst.....	53
Abbildung 27: Aneinanderreihung von Sprintphasen, Werkzeugbauphasen und Produktionsphasen anhand der Sprintalternative 1	54
Abbildung 29: Exemplarische RASCI Verantwortungsverteilung über verschiedene Mitarbeiter, Sprintphasen und Sprintzeiten der Sprintalternative 2	55
Abbildung 28: Exemplarische RASCI Verantwortungsverteilung über verschiedene Mitarbeiter, Sprintphasen und Sprintzeiten der Sprintalternative 1	55

Abbildung 30: Exemplarische Zeiteinteilung eines Arbeitstages verschiedener Mitarbeiter während eines Sprintvorgangs.....	56
Abbildung 31: Ergebnisse der Frage zwei und vier der Online-Umfrage.....	59
Abbildung 32: Ergebnisse der Frage sieben und acht der Online-Umfrage	60
Abbildung 33: Oberer Stößel und Grundplatte der Hymag Hydraulikpresse an der HAW Hamburg	63
Abbildung 34: Konzept eines personalisierten Handyhalters. Angelehnt an die Entwicklung der Lernprojektgruppe des Wintersemesters 2017	65
Abbildung 35: Vereinfachte Darstellung eines modularen Stanz- und Prägewerkzeuges	66
Abbildung 36: Vereinfachte Darstellung eines modularen Kantwerkzeuges zur Fertigung des Handyhalters in zwei Fertigungsschritten	67
Abbildung 37: Vereinfachte Darstellung eines modularen Gesenkwerkzeuges für den Biegevorgang des Handyhalters in einem Fertigungsschritt	68

1 Zielsetzung der Bachelorarbeit

Thema: Konzeption einer agilen Entwicklung von modularen Umformwerkzeugen

Die Entwicklung von Umformwerkzeugen beruht heute auf der Simulation der Umformprozesse und der daraus abgeleiteten Beanspruchungen der Werkzeuge sowie aufwändiger Trial & Error-Phasen mit sukzessiver Anpassung der Werkzeuge. Ausgehend hiervon ist die Wirtschaftlichkeit von umformend hergestellten Bauteilen erst durch eine große Stückzahl gekennzeichnet, um die hohen Investitionskosten für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge zu amortisieren. In dieser Bachelorthesis gilt es zu untersuchen, wie ein Paradigmenwechsel hin zu modularen Werkzeugen, flexiblen Umformverfahren und der Realisierung von Losgröße „1“ zu bewerkstelligen sind. Dabei gilt es auch, den Entwicklungsprozess durch für den Maschinenbau neue Methoden (z.B. agiles Projektmanagement, Design Thinking) zu optimieren und den veränderten Randbedingungen Rechnung zu tragen. Die Konzeption soll in Interviews mit Industrievertretern (Anwendung und Werkzeugbau) validiert werden, daraus resultierende Impulse werden integriert.

Abschließend wird für die im Institut vorhandene Hydraulikpresse im Austausch mit Vertretern des Werkzeugbaus ein erstes Grundgerüst für ein modulares Werkzeug definiert. Damit werden die Randbedingungen für einen ersten Pilotanwendungsfall festgelegt (Umformverfahren, geometrische und technologische Restriktionen, Integration von Sensorik), der in Fortsetzung der Bachelorarbeit am Institut umgesetzt werden kann.

Schwerpunkte:

Tabelle 1: Schwerpunkte der Aufgabenstellung

Recherche von Entwicklungsprozessen für Umformwerkzeuge und damit verbundener Randbedingungen und Beschreibung der daraus folgenden Restriktionen für die industrielle Anwendung

Beschreibung des Paradigmenwechsels und daraus resultierender Veränderung der Randbedingungen für den Werkzeugbau

Entwurf eines agilen Entwicklungsprozesses für Umformwerkzeuge

Evaluierung mit Industrievertretern (Interviews, Online-Fragebogen) und Einarbeitung der Rückmeldungen

Definition eines Werkzeug-Grundgerüsts für die Hydraulikpresse im IPT und entsprechender Randbedingungen für einen ersten Pilotanwendungsfall

2 Grundlagen

2.1 Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren werden, wie in Abbildung 1 dargestellt, nach DIN 8580 in die Hauptgruppen Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaften ändern unterteilt [1]. Jede Hauptgruppe wird dabei weiter in Gruppen und Untergruppen aufgegliedert. Diese Bachelorarbeit bezieht sich auf die Konzepterstellung von modularen Werkzeugen für die Verwendung in Pressen, sodass im weiteren Verlauf ausschließlich Bezug auf Fertigungsverfahren genommen wird, die mit deren Funktionalität vereinbar sind. Die mit dieser Restriktion ausgewählten Hauptgruppen der Fertigungsverfahren lauten Urformen, Umformen und Trennen.

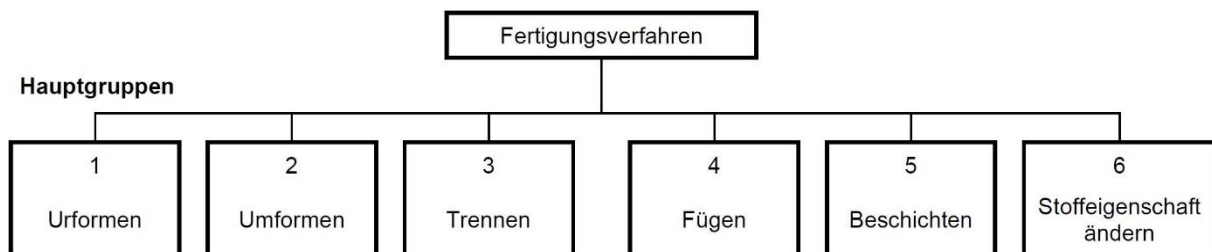


Abbildung 1: Aufteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 [1]

2.1.1 Urformen

Die Hauptgruppe Urformen der Fertigungsverfahren wird in der DIN 8580 definiert als „Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff durch Schaffen des Zusammenhaltes; hierbei treten die Stoffeigenschaften des Werkstückes bestimmbar in Erscheinung“ [1]. Die für den Einsatz einer Hydraulikpresse relevante Gruppe dieser Hauptgruppe ist Gruppe 1.4 *Urformen aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand* mit dem Unterpunkt 1.4.1 *Pressen*. Unter 1.4.1 *Pressen* fällt unter anderem die Herstellung von Grünlingen, die im darauf folgenden Fertigungsschritt gesintert werden können.

2.1.2 Umformen

Umformen wird nach DIN 8580 als „Fertigen durch bildsames (plastisches) Ändern der Form eines festen Körpers“ definiert, wobei „sowohl die Masse als auch der Zusammen-

halt beibehalten“ werden [1]. Weitergehend wird in DIN 8582 das Umformen in die Gruppen Druckumformen, Zugdruckumformen, Zugumformen, Biegeumformen und Schubumformen (DIN 8583 bis DIN 8587) unterteilt [2]. Aus dieser Hauptgruppe sind alle Verfahren auf einer Presse realisierbar, die ausschließlich eine axiale Bewegung erfordern. Damit sind Verfahren wie das Drücken oder Weiten ausgeschlossen. Typische Verfahren sind unter anderem das Tiefziehen, Durchdrücken und Längen.

2.1.3 Trennen

Nach DIN 8580 wird Trennen definiert als „Fertigen durch Aufheben des Zusammenhaltens von Körpern [...], wobei der Zusammenhalt teilweise oder im Ganzen vermindert wird“ [1]. Die in 2.1 genannte Restriktion, dass nur Verfahren angewendet werden können, die auf Pressen realisierbar sind, führt in dieser Hauptgruppe zu Einschränkungen bei der Verfahrensauswahl. Verfahren wie beispielsweise *3.1.1.3 Kontinuierliches Scherschneiden* und *3.1.2.2 Mehrhubig fortschreitendes Messerschneiden* können in dieser Form nicht angewendet werden, da neben einer axialen Werkzeugbewegung noch mindestens eine weitere Bewegungsrichtung durchzuführen ist. Ein typisches Verfahren für Pressen aus dieser Hauptgruppe stellt das Verfahren *3.1.1.1 Einhubiges Scherschneiden* dar [3].

2.1.4 Generative Fertigungsverfahren

Generative Fertigungsverfahren sind vergleichsweise neue Verfahren der Fertigungstechnik und können nicht eindeutig in eine der sechs Hauptgruppen der Fertigungstechnik eingeordnet werden [4]. In „Additive Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion“ von Dr.-Ing. Andreas Gebhardt werden die generativen Fertigungsverfahren der Hauptgruppe 1, Urformen der DIN 8580 zugeordnet, wobei jedoch der Hinweis gegeben wird, dass aufgrund des aufbauenden Vorgangs des Fertigungsverfahrens dies auch der Hauptgruppe 5, dem Beschichten, zugeordnet werden kann [5]. Für die Einteilung in die Hauptgruppe des Urformens spricht bspw. die Generierung der Stoffeigenschaften während des Fertigungsverfahrens. Eine Ausnahme stellen die *Layer Laminate Manufacturing (LLM)* Verfahren dar, bei denen Schichten aus Papier, Kunststoff, Keramik oder Aluminium miteinander verklebt und anschließend spantechnisch oder per Laser konturiert werden.

Während der Begriff *Rapid Prototyping* sich als allgemeine Bezeichnung für generative Fertigungsverfahren etabliert hat, war damit zum Entstehungszeitpunkt aus technologischen Gründen lediglich die Fertigung von Prototypen gemeint. Für die Fertigung von Prototypen aus entsprechendem Material ist dieser auch heute noch gültig. Da durch technologische Fortschritte nun mehr nicht nur Prototypen, sondern auch fertige Bauteile in Serienqualität und -werkstoff fertigbar sind, wurden namensgebend die Begriffe *Rapid Tooling* und *Rapid Manufacturing* eingeführt. Rapid Tooling bezieht sich dabei in der Regel auf die Fertigung von kleinen Losgrößen, Rapid Manufacturing auf die generative Serienfertigung von Produkten [4].

Die Fertigung von Bauteilen mit Hilfe generativer Fertigungsverfahren erfolgt durch das Aneinanderfügen von Schichten gleicher Dicke. Die dafür benötigten Informationen basieren auf digitalen 3D-Geometriedaten, die beispielsweise als 3D-CAD-Datensatz vorliegen können. Diese Daten müssen für die generativen Fertigungsmaschinen durch die Informationsübertragung in eine, als Industriestandard geltende, *STL*-Datei (Standard Transformation Language) lesbar gestaltet werden.

Durch die Informationen des 3D-Datensatzes wird die Oberfläche des Bauteils und somit dessen Volumen vollständig beschrieben. Die Oberfläche wird hierbei der Größe, der Krümmung oder der zulässigen Abweichung entsprechend mit unterschiedlich großen, ebenen Dreiecken überzogen, wodurch eine beliebig genaue Beschreibung der Oberfläche möglich ist. Dieser Vorgang nennt sich Triangulation oder Tessellation. Die Oberfläche kann auf diese Weise durch die Koordinaten der Eckpunkte der Dreiecke und ihrer Flächennormalen eindeutig bestimmt werden. Diese Daten werden dann in Form einer, für generativen Fertigungsmaschinen lesbaren, *STL*-Datei gespeichert.

Generative Fertigungsverfahren werden basierend auf ihrer Generierungsart in drei Gruppen unterteilt: Generierung aus der festen Phase, Generierung aus der flüssigen Phase und Generierung aus der gasförmigen Phase.

Die Generierung aus der flüssigen Phase basiert derzeit ausschließlich auf der Verwendung von Kunststoffen wie bspw. Acrylaten, Epoxidharzen und Venylesterharzen, weshalb eine Verwendung für Umformwerkzeuge nur bedingt möglich ist. Dies gilt auch für die Generierung aus der Gasphase, die eine vielfältige Werkstoffauswahl ermöglicht (von Metallen über Kunststoffen bis hin zu organischen Stoffen). Aufgrund ihrer geringen Auf-

baurate nur für die Herstellung von Mikrostrukturen verwendet werden kann. Beim Generieren aus der festen Phase wird in den meisten Verfahren das feste Ausgangsmaterial aufgeschmolzen und mit der Arbeitsebene verbunden. Das Ausgangsmaterial kann dabei in verschiedenen festen Formen wie bspw. Metallpulver bei dem *Selektiven Laser Sinter* (SLS) Verfahren oder dem *Selektiven Laser Schmelz* (SLM) Verfahren oder als Kunststoffstrang bei dem *Fused Deposition Modeling* (FDM) Verfahren vorliegen. Die Stabilität des so gefertigten Bauteils ist abhängig von der konstruktiven Stabilität des Bauteils, dem verwendeten Material und der Einbrenntiefe. Eine höhere Einbrenntiefe führt hierbei zu einer geringeren Schichthöhe und einem festeren Verbund des Bauteils.

2.2 Hydraulikpressen

Als zukünftige Versuchspresse für Werkzeuge, die mit dem in dieser Arbeit entwickelten Verfahren zukünftig konstruiert und gefertigt werden, dient die in Abschnitt 5 vorgestellte Hydraulikpresse des Instituts für Produktionstechnik (IPT) an der Hochschule für Angewandte Wissenschaft (HAW) Hamburg.

Hydraulikpressen gehören zu der Gruppe der kraftgebundenen Pressen. Kraftgebundene Pressen zeichnen sich nach G. Spur und D. Schmoeckel dadurch aus, dass „unabhängig von der Werkzeugstellung eine Kraft zur Verfügung gestellt wird, deren Größtwert, die Nennkraft F_N , durch die konstruktive Auslegung der Maschine (Gestell, Antrieb, Verbraucher)

		Hammer	Spindelpresse	Exzenterpresse	hydr. Presse
Auftreffgeschwindigkeit	[m/s]	5–6	0,5–0,9	ca. 0,7 (20 mm v.u.U.)	bis 0,25
Umformgeschwindigkeit (homogenes Stauchen)	[1/s]	50–300	5–45	7–35	bis 8
Druckberührzeit (mittlerer Wert)	[ms]	10	70	80	ca. 600
max. Hubzahl	[1/min]	60–120	2–40	70–90	bis 30
max. Nennkraft	[kN]		315.000	160.000	650.000
max. Arbeitsvermögen	[kNm]	630			

Abbildung 2: „Werkzeuggeschwindigkeit, Umformgeschwindigkeit und Druckberührzeit verschiedener Maschinen zum Gesenkschmieden“ [7]

gegeben ist“ [6]. Die Stempelposition lässt sich dabei zu jeder Zeit halten, wodurch umzuformende Werkstücke mit konstanter Kraft belastet werden können. Dieser Vorgang nennt sich „Rast unter Last“. Da kraftgebundene Pressen ihre Nennkraft nicht überschreiten können, ist dieser Pressentyp überlastsicher. Wie in Abbildung 2 von E. Doege und B.-A. Behrens [7] zu erkennen, weisen Hydraulikpressen im Vergleich zu weggebundenen Pressen, wie bspw. der Kurbelpresse, oder energiegebundenen Pressen, wie bspw. der Spindelpresse, eine niedrige Hubzahl auf. Die Hubzahl stellt einen wirtschaftlichen Einflussfaktor dar, der bei der Auswahl der Pressenart berücksichtigt werden muss.

Die angegebenen Hubzahlen sind dabei nicht die nach dem Stand der Technik möglichen Hubzahlen, sondern gelten nur als Anhaltspunkt des Geschwindigkeitsverhältnisses der Pressen untereinander im speziellen Bezug auf das Gesenkschmieden. Allgemein gilt in Bezug auf die maximal mögliche Hubzahl bei Pressen:

Weggebundene Pressen > Energiegebundene Pressen > Kraftgebundene Pressen

2.3 Der Werkzeugbau

Die konventionelle Methodik zur Herstellung von Produkten ist nach VDI 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ durch eine iterative Herangehensweise geprägt [8]. Dabei werden die Phasen Entwicklung und Konstruktion, Fertigung und Montage sowie Versuch und Erprobung der Reihe nach durchlaufen (Abbildung 3). Diese Phasen führen letztendlich entweder zu einem fertigen Produkt oder zu einem Funktionsmuster beziehungsweise Prototypen. Die Entwicklungs- und Produktionsphase ist dabei nach VDI 2221 in sieben Aufgaben unterteilt, die in sich wiederum in die vier Phasen *Aufgabe Klären*, *Konzipieren*, *Entwerfen* und *Ausarbeiten* aufteilen.

Die sequenzielle Vorgehensweise des konventionellen Produktentstehungsprozesses setzt, wie in Abbildung 4 dargestellt, für die Werkzeugkonstruktion den Abschluss der Entwicklungsphase des zu fertigenden Produktes voraus, sodass werkzeugrelevante Parameter als Anforderungen im Werkzeugpflichtenheft festgehalten werden können. Dies

bedeutet, dass nachträgliche Änderungen am Produkt nach dem „Design Freeze“ nicht möglich sind [9].

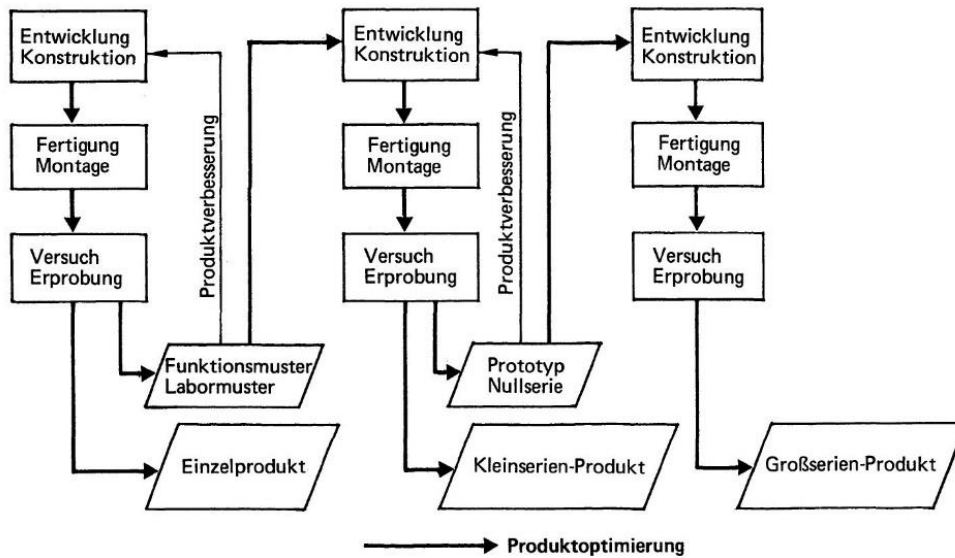


Abbildung 3: Phasenmodell der Produktentstehung nach VDI 2221 [8]. Zu beachten sind die Iterationsschleifen der Produktverbesserung, die einen vollständigen Durchlauf aller Produktentstehungsphasen andeuten.

Wenn CAD-Daten des zu fertigenden Produktes vorhanden sind können diese verwendet werden, um die für das Werkzeug, das das Produkt-Negativ darstellt, benötigten Fertigungsstufen und Geometrien abzuleiten. Sollten keine CAD-Daten vorhanden sein, so können diese mit Hilfe von *Reverse-Engineering* Methoden generiert werden. Sind die für die Formgebung relevanten Werkzeugbereiche als CAD-Modell generiert und ist zusätzlich

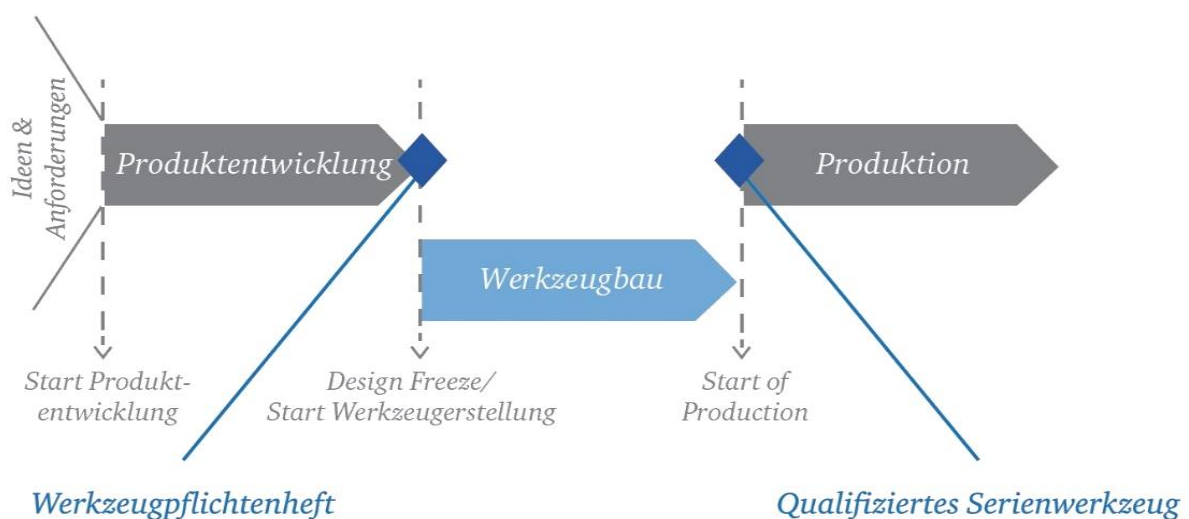


Abbildung 4: Konventionelles, sequenzielles Prozessverständnis der Produktentstehung [9]

der Werkstoff des Produktes bekannt, kann die Formgebung des Produktes simuliert werden und in Abhängigkeit der Ergebnisse das Werkzeug in einer Iterationsschleife digital angepasst werden.

Werden in der Simulation die im Pflichtenheft festgelegten Anforderungen erreicht, kann ein Technischer-Prototyp des Werkzeuges erstellt und erste Produkte testweise gefertigt werden. In Bezug auf die mit diesem Prototyp erstellte Produktqualität muss das Werkzeug ggf. erneut angepasst werden. Dabei sind wiederum die Schritte der Konstruktion, Simulation und Fertigung eines Prototypen oder entsprechende Schritte zur Änderungen am vorhandenen Prototypen und dessen Erprobung zu durchlaufen. Hierbei muss die Simulation als übliche Praxis dem Phasenmodell der Produktentstehung der VDI 2221 (Abbildung 3) hinzugefügt werden.

Erst nachdem den Anforderungen entsprechende Produkte mit dem Technischen-Prototyp-Werkzeug erstellt wurden oder sichergestellt werden kann, dass letzte Änderungen bei der Fertigung des Werkzeuges zu der Anforderungserfüllung führen, kann im Falle eines Serienwerkzeuges die Fertigung beginnen. Andernfalls ist der Technische-Prototyp mit dem fertigen Werkzeug gleichzusetzen.

Werkzeuge sind unter anderem durch Druck, hohen Temperaturen bei hoher Hubzahl oder speziell bei der Warmumformung in Kombination mit langen Werkzeugkontaktzeiten sowie Reibung hohen Beanspruchungen ausgesetzt. Gleichzeitig müssen sie eine hohe Formstabilität und Wirtschaftlichkeit aufweisen. Um diesen Forderungen gerecht zu werden ist die Wahl der richtigen Werkstoffe für das Werkzeug unerlässlich. Bei der Auswahl von Werkzeugwerkstoffen müssen neben der Härte, die in der Regel bei Werkzeugen in der Härteskala nach Rockwell angegeben wird, und der damit einhergehenden Sprödigkeit des Materials auch die chemischen Reaktionen zwischen Werkzeugwerkstoff, Werkstückwerkstoff, Schmiermittel und Atmosphäre beachtet werden. Die benötigte Werkzeughärte ist dabei anwendungsabhängig. In „Fertigungsverfahren -Umformen“ von Klocke [10] werden die Verschleißarten von Werkzeugen wie Abrasion, Adhäsion, Oberflächenzerrüttung und Tribochemischer Verschleißangriff und gängige Werkzeugwerkstoffe sowie empfohlene Einsatzgebiete beschrieben.

Bei Verwendung eines Werkzeuges in Pressen bei Dauerhub ist zusätzlich auf die thermische Ausdehnung des Werkzeuges und der Presse selbst zu achten. Damit die Maßhaltigkeit von Werkzeugen auch in diesem Fall gewährleistet werden kann, muss entweder ein

Kühlsystem vorgesehen werden oder das Werkzeug nach Simulationsergebnissen unterdimensioniert konstruiert werden.

2.4 Klassische Projektmethoden

Die klassischen Projektmethoden sind im Vergleich zu den agilen Projektmethoden nach Aufgabenfestlegung unflexibel. Nach der Aufgabenfestlegung wird ausschließlich auf das spezifisch geforderte Produkt hingearbeitet und dabei jede Projektphase nach erstmaligem Abschluss nicht erneut betreten. Sollten sich während der Entwicklung andere Produktanforderungen ergeben, so können diese nur mit großem Aufwand eingepflegt werden. Dieses Vorgehen ist auch als „Wasserfall Methode“ bekannt, die häufig durch ein sogenanntes *Gantt-Chart* visualisiert wird. Bekannte Projektmanagementmethoden wie das in Deutschland verbreitete *V-Modell* und das in Großbritannien und den Niederlanden verbreitete *PRINCE2* sind als klassische Projektmethoden gestartet und haben in den aktuellen Versionen *V-Modell XT Version 2.1* und *PRINCE2 Agile* agile Aspekte in ihre Projektmethoden mit eingebunden [11, 12]. Diese vermehrte Einbindung agiler Aspekte in Projektmethoden lässt sich mit einer zunehmenden Häufigkeit in den letzten Jahren beobachten und dementsprechend als genereller Trend deuten.

Eine im Maschinenbau verbreitete Projektmethode zur Produktentwicklung und Innovationsgestaltung stellt der von Robert G. Cooper entwickelte *Stage-Gate-Prozess* dar [13]. Im Stage-Gate-Prozess werden, wie in Abbildung 5 dargestellt, verschiedene Produkt-Entwicklungsphasen durchlaufen (Stages) und der Fortschritt an Kontrollpunkten (Gates) überprüft. Die ursprüngliche Version dieses Verfahrens basiert auf fünf Entwicklungsphasen und fünf Kontrollpunkten. Genügt das Produkt an einem Kontrollpunkt nicht den festgelegten Ansprüchen, so wird die ursprüngliche Produkt-Idee verworfen und der Prozess erneut gestartet. Der so aufgestellte Entwicklungsprozess bietet somit die Möglichkeit an definierten Punkten das Projekt, wenn nötig, frühzeitig zu stoppen.

A five-stage, five-gate framework for significant new product projects

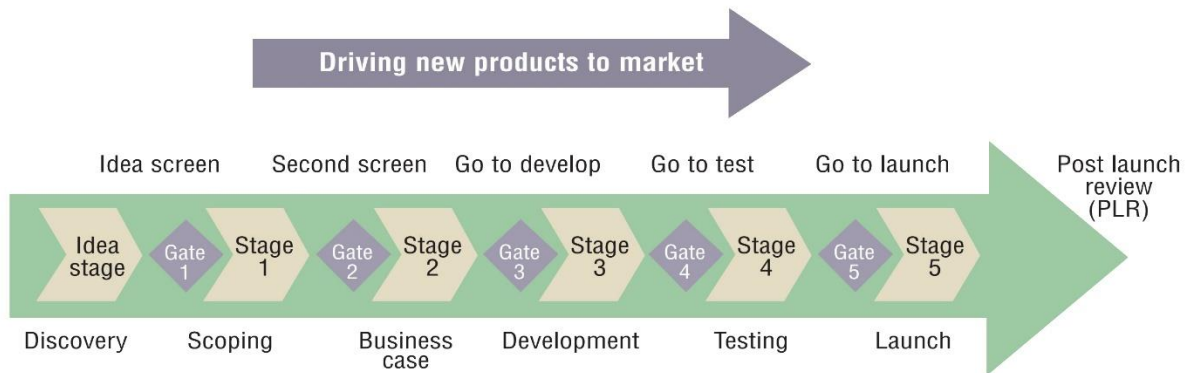


Abbildung 5: Stage-Gate-Prozess nach R. G. Cooper mit fünf Stages und Gates [13]

Ursprünglich als Produkt-Innovationsprozess erstellt, wurde diese Methode aufgegriffen und den Bedürfnissen des Maschinenbaus zur allgemeinen Produktentwicklungsmethode angepasst. Eine daraus resultierende Variante wurde von Walter Eversheim *et al.* in „Simultaneous Engineering. Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie“ entwickelt und ist in Abbildung 6 dargestellt [14]. In dieser Variante werden die drei Phasen (Stages) *Vorphase*, *Konzeptphase* und *Durchführungsphase* durchlaufen und die gewünschte Produktentwicklung durch die fünf Meilensteine *Projektfreigabe*, *Konzeptfreigabe*, *Funktionsfreigabe*, *Maschinen- und Anlagenfreigabe* sowie die *Fertigungsfreigabe* kontrolliert. Zusätzlich werden neben der Möglichkeit zu konzeptionellen Änderungen und des Konkretisierungsgrades auch Ansatzpunkte für relevante Entwicklungsparameter dargestellt.

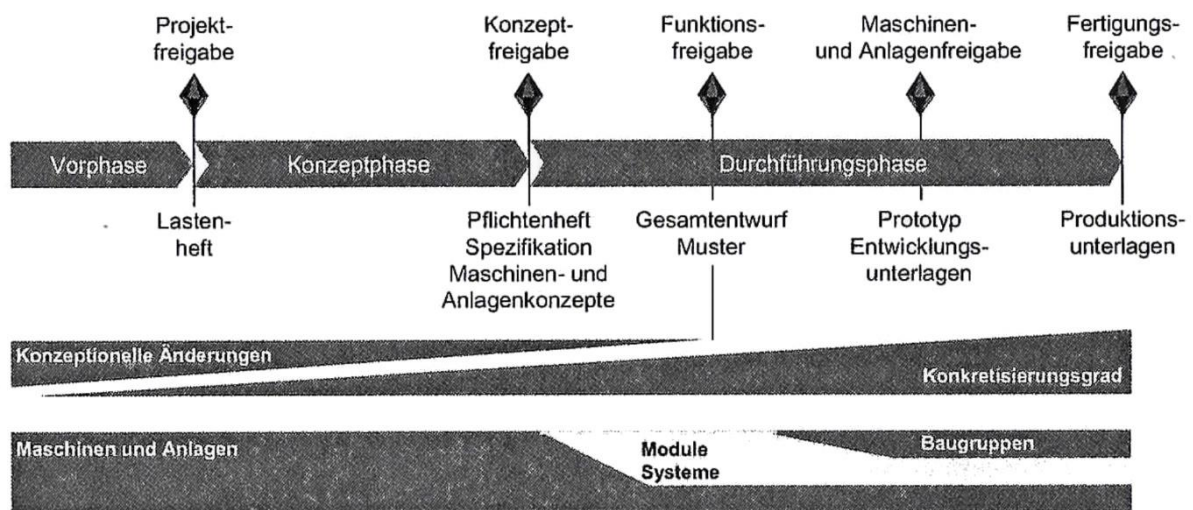


Abbildung 6: Variierter Stage-Gate-Prozess nach Eversheim-et al. mit drei Stages und fünf Gates [14]

Ein in der Wirtschaft typisches und auch in dieser Methode aufgenommenes Konzept ist die Verwendung von *Lasten- und Pflichtenheft* in denen strikte Anforderungen vertraglich festgehalten werden.

Lasten- und Pflichtenheft werden nach DIN 69901-5 wie folgt definiert:

„Lastenheft (en: user specification)

<Projektmanagement> vom Auftraggeber festgelegte Gesamtheit der Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers innerhalb eines (Projekt-)Auftrags [15]“

„Pflichtenheft (en: functional specification)

vom Auftragnehmer erarbeitete Realisierungsvorgaben auf der Basis des vom Auftraggeber vorgegebenen Lastenheftes [15]“

Der VDI bemängelt in der VDI Norm 2519 die knappe Beschreibung vom Pflichtenheft in der DIN 69901 und die zu dem Zeitpunkt (2001) fehlende Definition des Lastenheftes, die die aktuelle Version der DIN 69901 in Teil 5 (2009) jedoch berücksichtigt hat [13]. Ferner definiert der VDI in der Norm 2519 das Lastenheft und Pflichtenheft selbst als „Zusammenstellung aller Anforderungen des Auftraggebers hinsichtlich Liefer- und Leistungsumfang“ [15, 16]. Zudem seien laut VDI im Lastenheft die prüfbar und quantifizierbaren Anforderungen inklusive aller Randbedingungen aus Anwendersicht zu beschreiben [16].

Das Pflichtenheft beschreibt laut VDI 2519 die „Realisierung aller Anforderungen des Lastenheftes“. Das Pflichtenheft enthalte das Lastenheft, jedoch werden dabei zusätzlich „die Anwendervorgaben detailliert und die Realisierungsforderungen beschrieben“. Es werde das „Wie und Womit“ beschrieben, mit denen die Anforderungen des Lastenheftes erfüllt werden. Das Pflichtenheft wird vom Auftragnehmer erstellt und mit dem Lastenheft abgeglichen. Nach Fertigstellung des Pflichtenheftes wird das Pflichtenheft vom Auftraggeber geprüft und ggf. genehmigt. Danach gilt es als verbindliche Vertragsgrundlage [16].

Ist das Pflichtenheft von Auftraggeber und -nehmer akzeptiert und vertraglich abgeschlossen, sind keine weiteren Änderungen mehr darin vorgesehen.

2.5 Agile Projektmethoden

Agile Projektmethoden wurden ursprünglich in der IT-Branche entwickelt, weshalb viele Methoden sich auf die Programmierung von Software beziehen und für die Verwendung im Werkzeugbau angepasst werden müssen. Ziel war es, durch eine flexible Arbeitsweise und eine frühzeitige Erstellung von Prototypen die Effizienz von Projekten zu steigern und den Kunden die Möglichkeit zu geben, direkt und kurzfristig Einfluss auf die Programmentwicklung zu nehmen. Dabei wird bei vielen agilen Projektmethoden die *Time-to-Market* durch die effizientere und iterative Arbeitsweise gesenkt. Während die klassischen Projektmethoden, wie in Abbildung 7 dargestellt, in der Regel einem deterministischen Ablauf folgen, verlaufen agile Projektmethoden nach W. Boos *et al.* empirisch [9]. Dies impliziert die Iteration während des Entwicklungsprozesses.

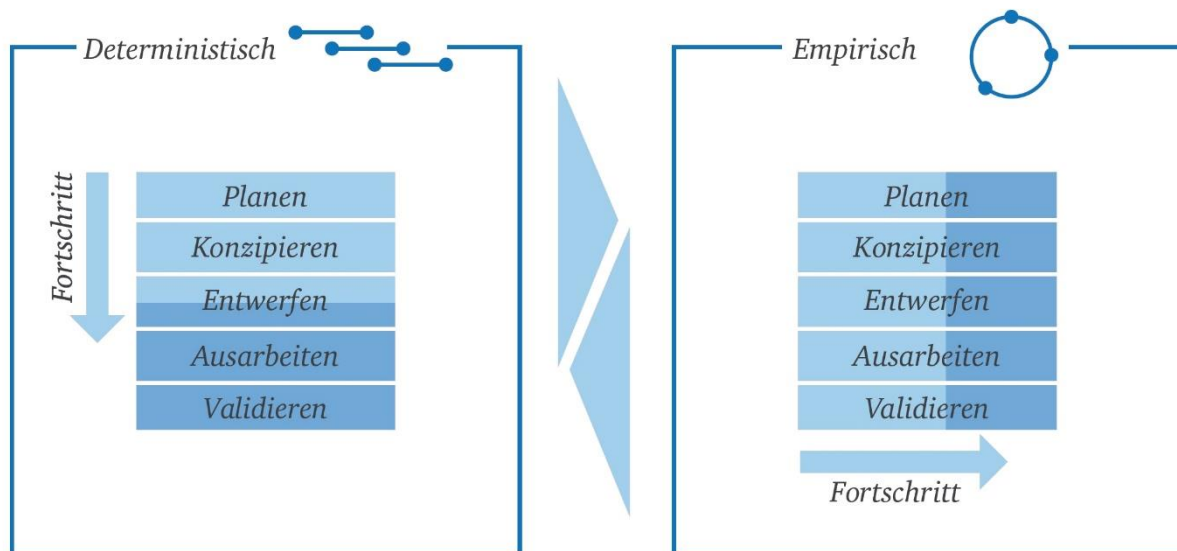


Abbildung 7: Deterministischer Verlauf der klassischen Projektmethoden und der empirische Verlauf der agilen Projektmethoden nach W. Boos *et al.* [9]

Der Bedarf von agilen Projektmethoden wird dabei zum Beispiel von R. Höhn und S. Höppner in „Das V-Modell XT“ dadurch begründet, dass „Anforderungen an die Industrie bei Projektbeginn nicht immer klar“ seien [11]. In agilen Projektmethoden kann auf dieses Problem kurzfristig reagiert werden, wohingegen bei klassischen Projektmethoden Projektänderungen im besten Fall zu Nachverhandlungen führen würden.

Im „Manifesto for Agile Software Development“ aus dem Jahr 2001 von Beck et al. [17] wurden die in Tabelle 2 dargestellten Prioritäten der agilen Software-Entwicklung festgelegt:

Tabelle 2: Prioritäten der agilen Softwareentwicklung [17]

Individuals and interactions	over processes and tools
Working software	over comprehensive documentation
Customer collaboration	over contract negotiation
Responding to change	over following a plan
That is, while there is value in the items on the right, we value the items on the left more	

Nach R. Pichler stellt das Manifest den Menschen in den Mittelpunkt der Softwareentwicklung, da Software letztendlich durch die Zusammenarbeit von Menschen entstehe. Des Weiteren formuliere das Manifest die Optimierung von Kundenzufriedenheit und Wertschöpfung als Ziel der Softwareentwicklung [18].

2.5.1 Scrum

Scrum ist eine agile Projektmanagementmethode, die in den frühen 90er Jahren entwickelt wurde. Im *Scrum Guide* von Jeff Sutherland und Ken Schwaber (2017) wird Scrum beschrieben als „Rahmenwerk, innerhalb dessen Menschen komplexe adaptive Aufgabenstellungen angehen können, und durch das sie in die Lage versetzt werden, produktiv und kreativ Produkte mit höchstmöglichem Wert auszuliefern“ [19]. Sutherland und Schwaber bezeichnen Scrum als „Leichtgewicht“ im Bereich der Projektmanagementmethoden und schreiben, dass es einerseits leicht zu erlernen, jedoch schwer zu meistern sei. Scrum besteht im Wesentlichen aus einem Team von Experten, das *Scrum Team* genannt wird, und der Abfolge von *Ereignissen*, die auf Basis von *Artefakten* stattfinden oder diese erschaffen. Der grundlegende Ablauf von Scrum ist in Abbildung 8 nach der Beratungsfirma mm1 dargestellt und soll im Folgenden kurz anhand des Bildes beschrieben werden [20]. Dabei werden Begriffe und Aufgaben von beteiligten Mitarbeitern angesprochen, auf die in den nachfolgenden Kapiteln genauer eingegangen wird.

Der Scrum Ablauf beginnt mit der Übertragung der Produktverantwortung des Auftraggebers an den *Product Owner*. Der Product Owner hat umfangreiche Kenntnis über das gewünschte Produkt und schreibt diese in Form von *User Stories* in das *Product Backlog*. Aus diesem Product Backlog werden von den *Product Developern* (Devs) so viele User Stories in das Sprint Backlog übertragen, wie in der definierten *Sprint-Zeit* von den Devs zu schaffen ist. Pro Sprint werden somit häufig nur in sich abgeschlossene Teile beziehungsweise *Inkrement*e eines Produktes entwickelt. Während des Sprints werden tägliche, kurze Treffen in Form von *Daily Scrum Meetings* durchgeführt, bei denen der Fortschritt der derzeitigen Aufgaben besprochen wird und ggf. Hilfe beigesteuert wird. Nach Abschluss des Sprints werden in einem *Sprint Review* die Ergebnisse des Sprints besprochen und ggf. das fertiggestellte Inkrement abgenommen. Sollte die Qualität des Inkrements nicht ausreichen wird dieses erneut in das Product Backlog aufgenommen und steht für den nächsten Sprint zur Verfügung. Nach Abschluss eines Sprints wird unabhängig von

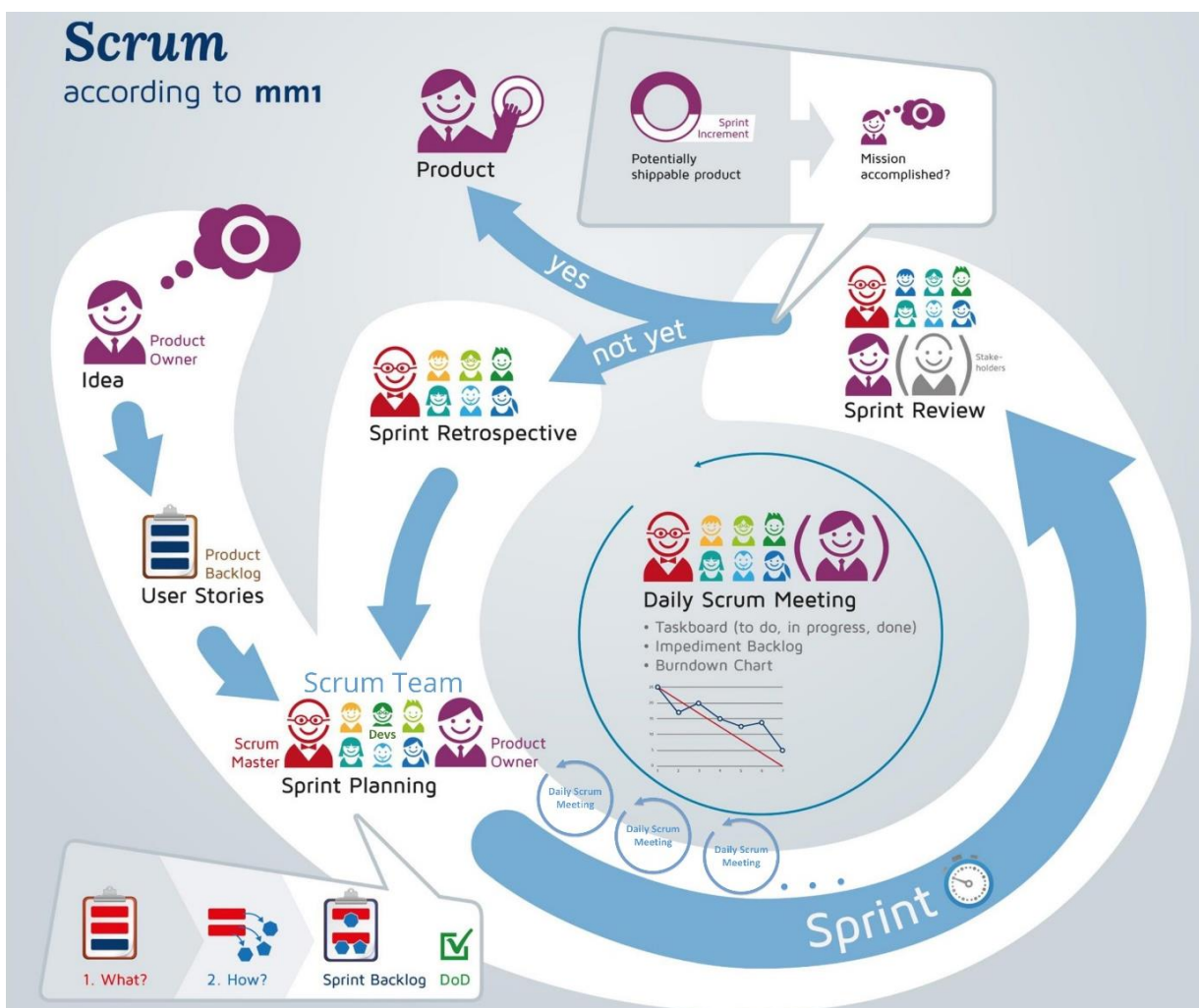


Abbildung 8: Iterativer Entwicklungsprozess im Scrum-Ablauf. Modifiziert nach der Beratungsfirma mm1 [20]

dessen Ergebnis ein *Sprint Retrospective* durchgeführt, in dem besprochen wird, was gut im Sprint lief und was beim nächsten Sprint verbessert werden kann.

Im Folgenden werden, basierend auf dem Scrum Guide [19], die einzelnen Elemente und der Ablauf von Scrum beschrieben.

2.5.1.1 Scrum Team

Das *Scrum Team* besteht aus dem *Product Owner*, dem *Development Team* und dem *Scrum Master*. Jedes Mitglied besitzt spezifische und ihm allein aufgetragene Aufgaben, die im Scrum Guide von J. Sutherland und K. Schwaber detailliert beschrieben sind. Scrum Teams sind dem Scrum Guide entsprechend idealerweise interdisziplinär und entscheiden über die Lösungsansätze zur Aufgabenerfüllung eigenständig. Ziel dieser Team-Zusammensetzung ist es, die Flexibilität, Kreativität und Produktivität zu maximieren.

Der **Product Owner** ist derjenige im Team, der die Interessen des Auftraggebers vertritt. Er hat umfangreiche Kenntnisse über das gewünschte Produkt und ist gegenüber der Firma allein dafür verantwortlich, dass das fertige Produkt den Vorstellungen der Firma entspricht. Als Versinnbildlichung der alleinigen Verantwortung des Product Owners wird dieser auch als „(The) Single Wringable Neck“ des Scrum Teams bezeichnet [21]. Für die korrekte Funktion dieses Teammitgliedes muss ihm die vollständige Entscheidungsfreiheit bezüglich des Produktes obliegen. Wird ihm diese nicht zugesprochen, so kann die Funktion des Product Owners nicht vollständig erfüllt werden. Der Product Owner ist für die Erstellung des Product Backlogs verantwortlich, in dem die zu erfüllenden Forderungen in priorisierter Reihenfolge aufgelistet sind. Da das Product Backlog kein starres Element wie es bspw. das Lastenheft ist, ist es für die Effizienz des Scrum Teams wichtig, dass der Product Owner die Vollmacht über die Entscheidungen bezüglich des Produktes besitzt. Er ist auch dafür verantwortlich, dass die anderen Scrum Teammitglieder die einzelnen Einträge des Product Backlogs vollständig verstehen, die Transparenz des Product Backlogs gewährleistet ist und die Wertschöpfung aus der Priorisierung maximiert wird.

Das **Development Team** ist für die Umsetzung der im Product Backlog festgehaltenen Forderungen verantwortlich. Es besteht aus interdisziplinärem Fachpersonal, das die Organisation der Aufgabenerfüllung eigenständig übernimmt und Inkremente aus dem Product Backlog definiert, die es zusammenhängend bearbeiten kann (vgl. Abs. 2.5.1.3). Den

Umfang eines Inkrementes entscheidet das Development Team eigenständig. Trotz möglicherweise spezialisierter Fähigkeiten innerhalb des Teams ist das Team dennoch als Ganzes für die Inkrementeerfüllung während des Sprints verantwortlich und wird als Ganzes auch in die Rechenschaftspflicht genommen. Das Development Team sollte für ausreichende konstruktive Interaktion mehr als drei Mitglieder umfassen, wobei die optimale Gruppeneffizienz und -agilität beachtet werden muss.

Die Funktion des **Scrum Masters** wird im Scrum Guide von K. Schwaber und J. Sutherland wie folgt beschrieben: „Der Scrum Master ist dafür verantwortlich, Scrum entsprechend des Scrum Guides zu fördern und zu unterstützen. Scrum Master tun dies, indem sie allen Beteiligten helfen, die Scrum-Theorie, Praktiken, Regeln und Werte zu verstehen.“ Der Scrum Master ist Teil des Scrum Teams und kann nach dem Scrum Guide als „Servant Leader“ bezeichnet werden, da er sich darum kümmert, dass das gesamte Team arbeitsfähig bleibt. Er vermittelt den Teammitgliedern das richtige Verständnis von Agilität und wie diese im Rahmen von Scrum am besten aufrecht zu erhalten und zu nutzen ist. Des Weiteren schirmt er das Scrum Team soweit von außen ab, dass keine unerwünschten Einmischungen in die Arbeitszyklen stattfinden. Der Scrum Master selbst ist, wie auch der Product Owner, nicht in den kreativen Entwicklungsprozess mit einbezogen. Allerdings kann er bei Bedarf Meetings mit dem Development Team festlegen, um Feinabstimmungen während des Entwicklungsprozesses zu forcieren.

In den klassischen Projektmethoden übernimmt der Projektleiter die Verantwortung über die Qualität der methodischen Anwendung eines Entwicklungsprozesses der Qualität des Produktes und trägt zusätzlich die Kostenverantwortung. Durch die ungeteilte Verantwortung in diesen drei Aspekten ist eine unvoreingenommene Unterstützung des Entwicklungsteams nicht möglich, wodurch Defizite in mindestens einem dieser Aspekte auftreten. Zusätzlich kann die Verantwortungskonzentration dazu führen, dass der Projektleiter das Entwicklungsteam in der eigenständigen Arbeit einschränkt. Dies kann wiederum zu einer Demotivation des Teams und zu einer schlechten Produktqualität führen. Aus diesem Grund ist im Scrum die Trennung von Produkt- und Methodenverantwortung auf zwei Personen aufgeteilt, dem Product Owner und dem Scrum Master.

2.5.1.2 Ereignisse

Beim **Sprint Planning** wird der nächste Sprint vom Development Team vorbereitet. Dazu gehört neben der Auswahl der vom Product Owner fertig aufbereiteten Einträgen aus dem Product Backlog auch die *Definition of Done*, die in Absprache mit dem Product Owner festgelegt werden muss.

Im **Sprint** werden die vorher geplanten Entwicklungsschritte innerhalb eines definierten Zeitraumes (maximal ein Monat) vom Development Team umgesetzt. Nach einem Sprintzyklus wird ein fertiges Inkrement des Produktes übergeben.

Das **Sprint Review** führt das gesamte Scrum Team durch. Es wird überprüft, ob das fertige Inkrement den vorher festgelegten Qualitätsansprüchen genügt, also der Definition of Done entspricht. Sollte dies nicht der Fall sein, so werden die unfertigen Teile des Inkrements wieder im Product Backlog aufgenommen und für den nächsten Sprint vorbereitet.

Das **Sprint Retrospective** findet im Anschluss eines abgeschlossenen Sprint-Reviews statt. Ziel des Sprint Retrospectives ist es, den Ablauf des Sprintzyklus kritisch zu betrachten und mögliche Verbesserungen für den nächsten Sprintzyklus festzulegen. Wie im Sprint Review wird das Sprint Retrospective auch mit dem gesamten Scrum Team durchgeführt.

Im **Daily Scrum** trifft sich das gesamte Scrum Team, überprüft den bisherigen Sprint-Fortschritt und plant die nächsten 24 Stunden des Sprints. Der Fortschritt wird, wie in Abbildung 9 dargestellt, in Form eines Burn-Down-Diagramms und/oder auf einem

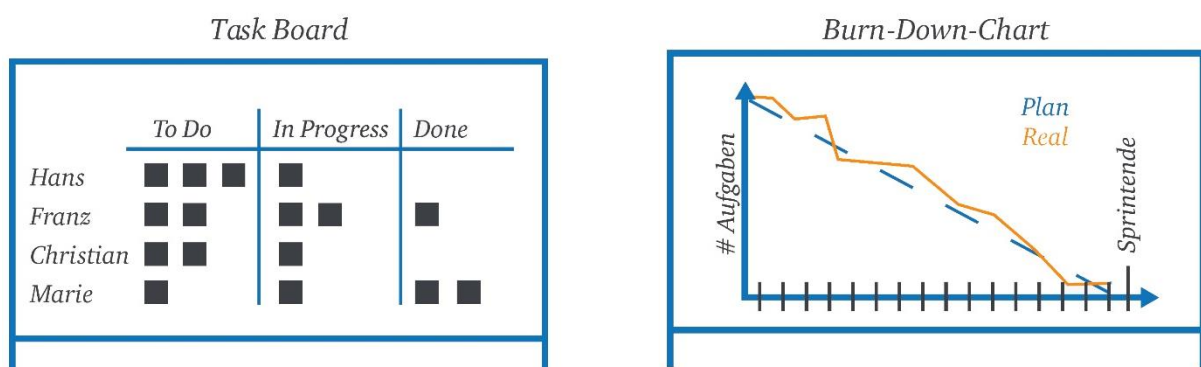


Abbildung 9: Scrum Board und Burn-Down-Chart, angepasst nach W. Boos et al. [9]

Scrum- bzw. Task Board dargestellt. Das Burn-Down-Diagramm visualisiert dabei den zeitlichen Soll/Ist Vergleich des Sprintvortschritts und das Scrum Board die Aufgabenteilung, die aktuell in Arbeit befindlichen- und die bereits abgeschlossenen Aufgaben. Dieses Treffen ist auch dafür geeignet, bestehende Hürden des Sprints anzusprechen, die ggf. vom Scrum Master beseitigt werden können.

2.5.1.3 Artefakte

Artefakte sind vom Scrum Team erstellte und idealerweise vollständig transparente „Wissens-Pakete“, die meistens eine Basis für Ereignisse darstellen oder aus diesen hervorgehen. Die in Scrum vorgesehenen „Basis“-Ereignisse lauten User Story, Product Backlog, Sprint Backlog und Inkrement. Da Scrum sich allerdings als „intentionally incomplete framework“ versteht, können weitere Artefakte hinzugefügt werden. Es sollte jedoch beachtet werden, dass jedes weitere Artefakt das Scrum Team bremst und somit Rücksicht auf das Kosten/Nutzen-Verhältnis der Artefakte genommen werden muss [22].

Die **User Story** ist die Beschreibung von Anforderungen des Auftraggebers an das Scrum Team anhand einer Anwendererzählung. Diese beinhaltet allein die Problemstellung, jedoch ohne Lösungsansätze zu implizieren. Durch diese Form der Anforderungsbeschreibung soll die Entwicklung des Produktes durch das Scrum Team ohne die unter Umständen einschränkende Beeinflussung von Außenstehenden ermöglicht werden.

Die User Story wird kurz und prägnant gehalten und umfasst in der Regel nicht mehr als zwei Sätze. Sie dient dem Zweck, den Anwendertyp (Wer stellt die Anforderung?), den Grund der Anfrage (Was wird benötigt?) und den Nutzen des zu entwickelnden Produktes (wofür wird es benötigt?) zu ermitteln. Der übliche Aufbau der User Story wurde unter anderem von Scott W. Amber in „User Stories: An Agile Introduction“ beschrieben, wobei als allgemeine Struktur folgendes Beispiel herangezogen wird: „As a (role) I want (something) so that (benefit)“ (Deutsch: Als (Anwenderrolle) möchte ich (etwas), um (Nutzen)...) [23]. Als übertragenes Beispiel kann eine User Story folgendermaßen lauten: „Als Institut für Produktionstechnik (wer?) möchten wir ein modulares Werkzeug (was?) haben, um einen individualisierbaren Handyhalter als Giveaway fertigen zu können (Nutzen/Ergebnis?).“

Das **Product Backlog** wird vom Product Owner erstellt und kann als agiles Lastenheft verstanden werden. In ihm werden alle Anforderungen an das Produkt gesammelt, die es für die Fertigstellung des Produktes zu entwickeln/konstruieren gibt. Diese Anforderungen werden vom Product Owner hinsichtlich ihrer Wertschöpfung am Produkt priorisiert angeordnet. Während des Lebenszyklus des Produktes werden die Punkte des Product Backlogs fortlaufend durch bspw. Testergebnisse, Userfeedback oder Ideen während der Entwicklung ergänzt und präzisiert. Sind genügend Details für einen Eintrag im Product Backlog bekannt, wird dessen Status als „Ready“ gekennzeichnet und steht zur Auswahl für das Sprint Backlog bereit.

Das **Sprint Backlog** wird vom Development Team aus Einträgen des Product Backlogs erstellt. Im Sprint Backlog werden dabei die Produkthanforderungen gesammelt, die während eines Sprintzyklus vom Development Team bearbeitet werden müssen. Aus diesem Grund obliegt es allein dem Development Team die Anzahl der in das Sprint Backlog zu übertragenden Einträgen zu bestimmen.

Ein **Inkrement** ist die Summe aller Einträge, die aus dem Product Backlog je Sprint Planning in das Sprint Backlog übertragen wurden. Nach jedem Sprint wird ein Inkrement abgeliefert, das in sich eine volle Funktionsfähigkeit aufweist.

Während Scrum sich ggf. als geeignete Struktur zur Entwicklung und Konstruktion von Produkten darstellt, eignet sich die agile und kreative Methode *Design Thinking* zur Ideenfindung für Produkte. Da im Design Thinking wie auch im Scrum User Storys erstellt werden, können diese unter Umständen direkt für das Product Backlog im Scrum verwendet werden

2.5.2 Design Thinking

Design Thinking ist ein innovationsfördernder Ansatz mit systematischer Herangehensweise an komplexe Problemstellungen. Es wurde von David Kelley, Gründer der im Silicon Valley ansässigen Design-Agentur IDEO, entwickelt und laut dem Hasso-Plattner-Institut (HPI) maßgeblich von den Professoren Terry Winograd und Larry Leifer der d.school (Design Schule) der Stanford University geprägt [24]. Tom Brown, derzeitiger CEO von IDEO, beschrieb in einem Harvard Business Review 2008 Design Thinking wie folgt und diskutierte diese Beschreibung weitergehend auf der IDEO-Website:

“Design Thinking can be described as a discipline that uses the designer’s sensibility and methods to match people’s needs with what is technologically feasible and what a viable business strategy can convert into customer value and market opportunity [25].”

(Deutsch: Design Thinking kann als ein Ansatz beschrieben werden, der die Arbeitsweise, die Sensibilität (das Feingefühl) und die Methoden von Designern nutzt, um bestimmte Bedürfnisse der Menschen mit dem technologisch Machbaren in Einklang zu bringen. Dabei wird der Kundennutzen sowie die Entwicklung einer (wirtschaftlich) tragfähigen Geschäftsstrategie mit Marktchancen in den Fokus gestellt.)

Ähnlich wie bei der Methode *Human-Centered Design* geht es beim Design Thinking darum, den Menschen in den Fokus der Problemlösung zu stellen und somit das vom Kunden benötigte Produkt zu erstellen. Dabei wird beim Human-Centered Design jedoch hauptsächlich Wert auf die gute Nutzbarkeit und die gute Nutzererfahrung gelegt, wobei der Design Thinking Ansatz noch einen Schritt weitergeht und neben den Aspekten des Human-Centered Designs auch die Innovation der Lösung als Ziel trägt [26].

Das HPI sieht, wie in Abbildung 10 zu erkennen, in der Überschneidung der im Zitat von Tom Brown angesprochenen Komponenten *technologische Machbarkeit*, *wirtschaftliche Tragfähigkeit* und *Kundennutzen (Faktor Mensch)* die anzustrebende Kombination aus Innovation und Problemlösung. Der Erfolg des Design Thinking Ansatzes wird laut dem HPI durch das Schaffen einer gleichgerichteten Arbeits- und Denkkultur des Teams erhöht

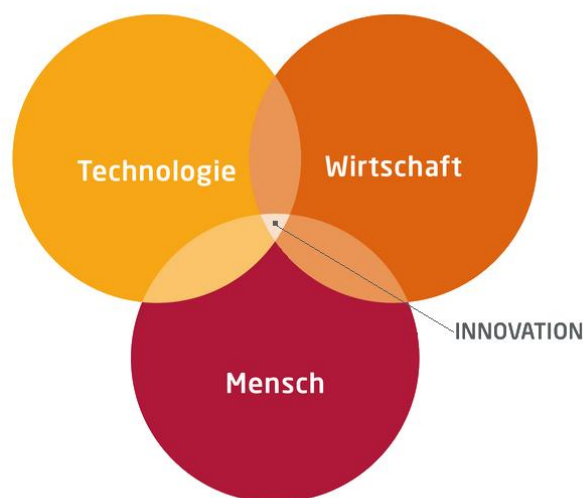


Abbildung 10: Venn-Diagramm der zur Gestaltung innovativer Ideen benötigten Überschneidungen nach dem Hasso-Plattner-Institut (HPI) [26].

und wird damit abhängig von der Erfüllung von den Faktoren *Multidisziplinäre Teams*, *Variabler Raum* und *Design Thinking Prozess* gemacht [24].

Die **Multidisziplinären Teams**, die an einer Aufgabenstellung arbeiten, sollten möglichst aus kleinen Gruppen von fünf bis sechs Menschen bestehen, die bezogen auf Fachgebiete, hierarchische Position und Abteilungen heterogen zusammengesetzt sind, wobei jedes Teammitglied ein *T-Profil* aufweisen können sollte. Bei der Versinnbildlichung des T-Profiles stellt der vertikale Balken des T's die fachliche Tiefe des Mitarbeiters dar und der horizontale Balken repräsentiert das breite Interesse an interdisziplinären Tätigkeiten sowie die Offenheit und Neugier Neuem gegenüber [27]. Ziel des Teams ist es, regelmäßig greifbare Ergebnisse wie zum Beispiel durch die Erstellung von RP-Bauteilen, Post-it-Ideenverdeutlichung, Bilder, Skizzen usw. zu erzeugen, die den anderen Teams vorgestellt werden, sodass letztendlich ein gemeinsames Lernen aus den geschaffenen Ergebnissen stattfinden kann.

Der **Variable Raum** bezieht sich auf die Arbeitsumgebung des Design Thinking Teams und wird laut HPI für die bestmögliche Entwicklung des Kreativprozesses benötigt. Dazu sollten möglichst flexible Möbel sowie viel Platz und Materialien für den Bau von Prototypen oder Präsentationen zur Verfügung gestellt werden [24].

Der **Design Thinking Prozess** stellt das systematische Vorgehen für die Problemlösung dar. Es geht darum, ein innovatives Produkt durch die Schnittmenge der Interessen von Technologie, Wirtschaft und Mensch zu schaffen. Dafür bilden die Faktoren Multidisziplinäre Teams und Variable Räume die Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Gestaltung. Der Design Thinking Prozess ist wiederum der operative Teil des gleichnamigen Ansatzes.

Der Design Thinking Prozess basiert, wie in Abbildung 11 (Bildquelle: moising retail design GmbH [28]) zu sehen ist, auf den Prozessschritten:



Abbildung 11: Design Thinking Prozess der moising retail design GmbH mit einzelnen Prozessschritten und durch Pfeile angedeutete Iterationsschritten [28]

Die Prozessschritte sind in der in Tabelle 3 genannten Reihenfolge durchzuführen, allerdings wird in jedem Prozessschritt auch auf die vorherigen Schritte geachtet, deren Ergebnisse hinterfragt und die folgenden Schritte ggf. angepasst. Es erfolgen also schon während des Prozessfortschritts Iterationen, durch die sowohl vorherige, als auch nachfolgende Prozessschritte möglicherweise neue Ausrichtungen erhalten und somit letztendlich zu dem von dem Kunden benötigten Produkt führen. Diese Arbeitsweise ist laut HPI an die intuitive Arbeitsweise von Designern angelehnt [24]. Im Marketing Review St. Gallen schrieben A. Grots und M. Pratschke in „Design Thinking – Kreativität als Methode“, dass mit „Design doch allzu oft allein Stichworte wie Intuition, Inspiration oder Kreativität

Tabelle 3: Prozessschritte des Design Thinking Prozesses [28]

Verstehen
Beobachten
Sichtweisen definieren (Synthese)
Ideen finden
Prototypen entwickeln
Testen und Präsentieren

verbunden werden“, ohne dabei zu berücksichtigen, dass in „Designprozessen Probleme gelöst und durch kreative Techniken zielgerichtet Innovationen entwickelt werden“ [29].

Im Prozessschritt **Verstehen** erarbeitet sich das Design Thinking Team die zum umfänglichen Verständnis des Problems benötigten Informationen und versucht diesbezüglich auf einen einheitlichen Experten-Kennnisstand zu gelangen. Nach A. Grots und M. Pratschke (2009) ist der Rechercheaufwand, der auch im nachfolgenden Schritt Beobachten fortgeführt wird, meistens so groß, dass diese Tätigkeit die meiste Zeit des Design Thinking Prozesses benötigt. Es komme zudem häufig vor, dass während der Recherche die eigentliche Problemstellung hinterfragt wird und ggf. „eine tiefer liegende Frage zu adressieren ist“ [29]. Letztendlich muss mit Abschluss dieser Phase eine konkrete Herausforderung erarbeitet worden sein, an der die folgenden Phasen abgearbeitet werden können.

Im Prozessschritt **Beobachten** wird eine Kombination aus dem namensgebenden Beobachten inklusive darauf aufbauenden Dialogen und Interaktionen mit betroffenen Menschen durchgeführt. Dies dient der Empathiegewinnung und führt zu einem besseren Verständnis der Bedürfnisse der Menschen. Auch hier besteht wie im vorherigen Absatz schon beschrieben die Notwendigkeit der Recherche und des Sammelns von Informationen.

Der Prozessschritt **Sichtweise Definieren** ist der letzte Schritt der Übergruppe „Problem Verstehen“ und dient dem Sammeln und Sortieren der Informationen aller Teammitglieder sowie der Präsentation dieser Informationen für das eigene Team. Die Erkenntnisse werden den Teammitgliedern in der Form des „Storytelling“ vermittelt wodurch infolge aufkommende Fragen und Dialoge ein Gesamtbild der Situation für das Team geschaffen werden kann. Ergebnisse aus diesen Dialogen werden dafür zusätzlich visualisiert und somit für das gesamte Team kommunizierbar gemacht [27]. Zu diesem Zweck werden laut S. Poguntke, Autor des Stichpunktes Design Thinking im Gabler Wirtschaftslexikon [30], sogenannte Personas erschaffen, die als fiktive Menschen bestimmte Anwendergruppen repräsentieren.

Aufbauend auf den gesammelten Erkenntnissen werden in dem Prozessschritt **Ideen Generieren** mit Hilfe einer beliebigen Kreativmethoden wie bspw. Brainstorming, Lösungsansätze generiert, wobei zunächst auf die Quantität und nicht die Qualität der Ideen ge-

achtet wird. Ist die Ideenfindung abgeschlossen, werden die daraus entstandenen Lösungsansätze sortiert und ggf. zusammengefasst, sodass letztendlich die Ideen weiter genutzt werden, die am besten zu der laut des HPI innovationsversprechenden Überschneidung der Komponenten technologische Machbarkeit, wirtschaftliche Tragfähigkeit und Kundennutzen führen.

Im Kapitel „Die Innovationsmethode Design Thinking“ des Buches „Dynamisches IT-Management: So steigern Sie die Agilität, Flexibilität und Innovationskraft Ihrer IT“ (2012) beschreiben C. Vetterli *et al.* den Nutzen des Prozessschritts **Prototypen**. Dieser sei darin gelegen, dass das Erstellen von Prototypen „die Anfassbarkeit bzw. emotionale Erlebbarkeit der generierten Ideen als Basis für weitere Diskussion, Denkprozesse und das Testen mit Kunden in der nachfolgenden Phase“ ermöglicht und Menschen physische Prototypen besser beurteilen können [31]. Dabei sei der Detailgrad nur soweit auszuprägen, dass „eine testende Person die neu entwickelte Funktionalität begreifen und testen kann“ [31]. Die Prototypen sollten des Weiteren zum besseren Verständnis und einer besseren Haptik mit jedem Iterationsschritt detaillierter werden. Die dementsprechenden Modelltypen lauten nach dem Detaillierungsgrade geordnet:

Konzeptmodell → Geometriemodell → Funktionsmodell

Im abschließenden Prozessschritt **Testen und Präsentieren** werden die zuvor erstellten Prototypen dem Kunden präsentiert. Auf Basis des vom Kunden erteilten Feedbacks können weitere Ideen generiert werden, sodass das Produkt iterationsweise weiter optimiert werden kann.

2.6 Sensorik im Werkzeugbau

In Werkzeugen verbauten Sensoren ist mit dem Wandel in Richtung Industrie 4.0 eine wachsende Rolle zuzuschreiben. Im Rahmen der Automatisierung und Prozessoptimierung werden immer mehr Sensoren verwendet, um Prozesse besser zu kontrollieren, Abweichungen zu erkennen und entsprechende Maßnahmen schnell zu ergreifen. Das Fraunhofer-Institut schreibt in diesem Zusammenhang, dass für das Gelingen der vierten industriellen Revolution die Weiterentwicklung der Sensorik nötig sei. Zusätzlich habe

sich in den letzten Jahren in der Industrie der Wunsch nach Sensoren verstärkt, die in direktem Kontakt zur Bauteiloberfläche stehen und somit lokale Messwerte für Druck- und Temperaturverteilung liefern [32]. Der Einsatz von Sensoren im Werkzeug stellt je nach Werkzeug- und Sensorart dabei eine große Herausforderung dar, da relevante Messpunkte wie bspw. Kraft und Temperatur häufig in der Wirkrichtung des Werkzeuges liegen und somit auch der Sensor der Belastung des bearbeiteten Werkstücks ausgesetzt wäre. Auch optische Sensoren können häufig keine sinnvolle Alternative bieten, da unter Umständen relevante Stellen des Bauteils während des Werkzeugeingriffs durch das Werkzeug selbst verdeckt werden. Die lokale Bestimmung der Messwerte wird auch deshalb immer wichtiger, da im Rahmen der Prozess- und Kostenoptimierung die Grenzen der verwendeten Werkstoffe immer weiter ausgereizt werden. Einflussfaktoren wie bspw. die Umformgeschwindigkeit, die bei robusten Prozessen weniger wichtig war, werden dadurch für den Fertigungsprozess immer entscheidender.

2.6.1 Integrierte Sensorik

Im Rahmen der Industrie 4.0 Revolution werden die digitale Datenerfassung und das Sammeln von *Big Data* für bspw. dezentrale Anlagensteuerungen und Predictive Maintenance immer bedeutender. Um Anlagen ganzheitlich digital überwachen zu können müssen auch Daten wie Druck und Temperatur im Kraftfluss des Werkzeuges aufgenommen werden, wodurch direkt Rückschlüsse auf den Zustand des Werkzeuges und indirekt Rückschlüsse auf die Produktqualität gezogen werden können. Die so gewonnenen Daten können zusätzlich zur Optimierung von Simulationsprozessen eingesetzt werden, wodurch die effektive Konstruktionszeit und deren Kosten durch eine Reduktion von Iterationsstufen gesenkt werden können. Das Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) hat in diesem Rahmen das in Abbildung 12 (A) dargestellte Tiefziehwerkzeug vorgestellt, bei dem Druck- und Thermosensoren entlang der Ziehringoberfläche als verschleißbeständiges Mehrschichtsystem (Abbildung 12 B) aufgebracht wurden [32]. Diese ermöglichen neben der Ermittlung von Werkzeugdaten zusätzlich Temperatur- und Druckverteilungen des Werkstücks, da die Sensoren durch eine 3 μm dünne Schicht von der Werkstückoberfläche getrennt sind.

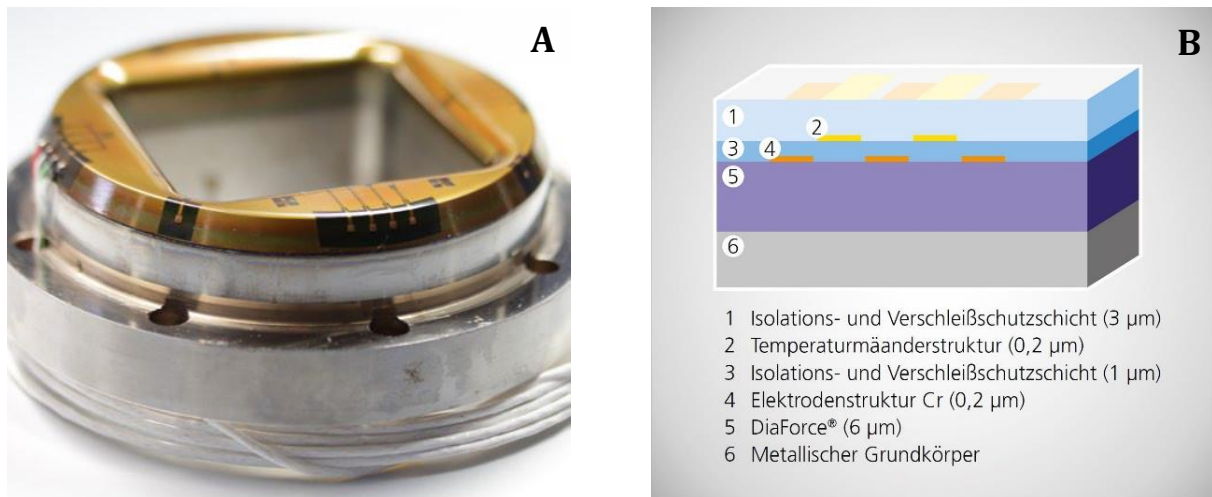


Abbildung 12: (A) Ziehring eines vom Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) entwickelten Tiefziehwerkzeuges. (B) Schematischer Aufbau des vom IST entwickelten multifunktionalen Schichtsystems [32]

2.6.2 Kraft- und Dehnungsmessung

An Umformmaschinen werden heutzutage Kräfte direkt mit Kraftaufnehmern oder indirekt mit Hilfe von Dehnungsmessungen am Werkzeug oder Gestell ermittelt. In der direkten Kraftmessung werden dabei nach E. Hering und G. Schönfelder Kraftaufnehmer verwendet, die auf dem Prinzip des Piezoelektrischen Effekt basieren [33]. Je nach Positionierung der Kraftaufnehmer wird hier zwischen direkter und indirekter Kraftmessung unterschieden. Dabei ist in diesem Fall nicht die Umrechnung von physikalischen Effekten wie bspw. Widerstand in Kraft, sondern die Positionierung und Faktorisierung der messbaren Eingangsgröße gemeint. Bei der direkten Kraftmessung wird der Sensor in das für diesen Zweck aufgetrennte umzuformenden Bauteil eingesetzt. Dabei darf das Bauteil in Bezug auf seine mechanischen Eigenschaften nicht beeinflusst werden. Die auf diese Art gemessene Kraft ist die Absolutkraft. Kann das Bauteil nicht aufgetrennt werden oder sind die Umformkräfte für den Sensor zu groß kann die indirekte Kraftmessung angewendet werden. In diesem Fall wird ein Kraftaufnehmer so im Kraftfluss des Werkzeuges eingesetzt, dass nur ein Teil der Umformkräfte vom Sensor erfasst werden. Um trotzdem die auf dem Bauteil wirkenden Kräfte zu ermitteln, muss der Kraftaufnehmer vorweg für diese Anwendung kalibriert werden. Ein Vorteil der piezoelektrischen Sensoren ist der breite Messbereich, der sich auf neun Zehnerpotenzen bezieht. Zusätzlich zeichnet diese Sensorart eine hohe Robustheit gegenüber Temperaturschwankungen aus, die einen Temperaturbereich von -270 °C bis $+400\text{ °C}$ umfasst [33].

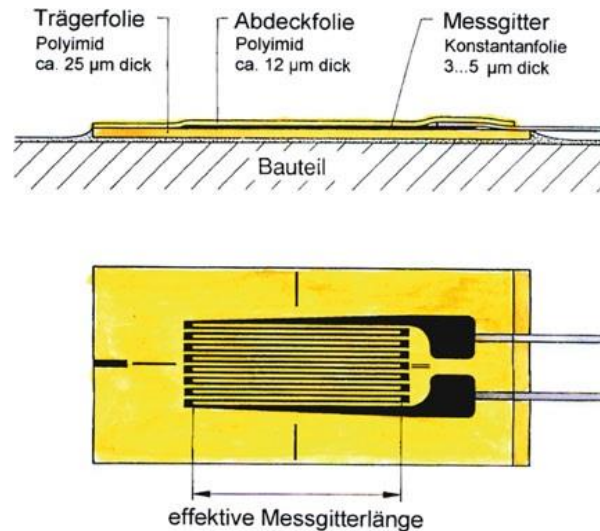


Abbildung 13: Beispielhafter Aufbau eines Dehnungsmessstreifens nach der Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH [35]

Dehnungsmessstreifen (DMS) sind passive Sensoren mit denen die Dehnung von Bauteilen ermittelt wird. Sie bestehen, wie in Abbildung 13 dargestellt, aus einer dünnen Kunststoffschicht, in der Metalldrähte mäanderförmig eingelassen sind. Zur Dehnungsermittlung werden DMS auf das zu messende Bauteil geklebt, sodass die Dehnung des zu messenden Bauteils direkt auf den DMS übertragen wird. Durch die Dehnung des Bauteils wird in den DMS eine Leiterlängen- und Querschnittsänderung hervorgerufen, wodurch sich der innere Widerstand der DMS proportional zur Dehnung ändert. Als passiver Sensor wird dieser mit einer externen Gleichspannung betrieben und das durch die Widerstandsänderung sich proportional variierende Ausgangssignal gemessen [33].

Der Widerstand eines unbelasteten DMS wird dabei wie folgt berechnet:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} = \rho \cdot \frac{4 \cdot l}{D^2 \cdot \pi} \quad (1)$$

- R: DMS Widerstand
- ρ : spezifischer Widerstand
- l : Drahtlänge
- A : Querschnittslänge
- D : Durchmesser des Drahtes

Zur Umrechnung zwischen Widerstandsänderung und Dehnung des DMS wird der materialabhängige *K-Faktor* (Proportionalitätsfaktor; Dehnungsempfindlichkeit) eingeführt, der für typische DMS-Materialien wie bspw. Konstantan tabellarisch unter Anderem in „Sensoren in Wissenschaft und Technik“ von E. Hering und G. Schönfelder festgehalten wurden [33].

Die Berechnung des K-Faktors und die daraus resultierende Gleichung für die Dehnungsberechnung lautet nach H.-R. Tränkler und L. Reindl [34] wie folgt:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta l}{l} = k \cdot \varepsilon \quad (2)$$

mit

$$k = \frac{\Delta \rho}{\rho \cdot \varepsilon} + 1 + 2 \cdot \mu \quad (3)$$

k : Proportionalitätsfaktor

ε : Dehnung

μ : Querkontraktionszahl

Da eine Richtungsabhängigkeit zwischen Kraftangriff und messbarer Dehnung bei DMS besteht, werden bei komplexen Dehnungssituationen DMS zu Rosetten-DMS (Abbildung 14 A) oder Messbrücken (Abbildung 14 B) zusammengesetzt. Durch die Messwerte

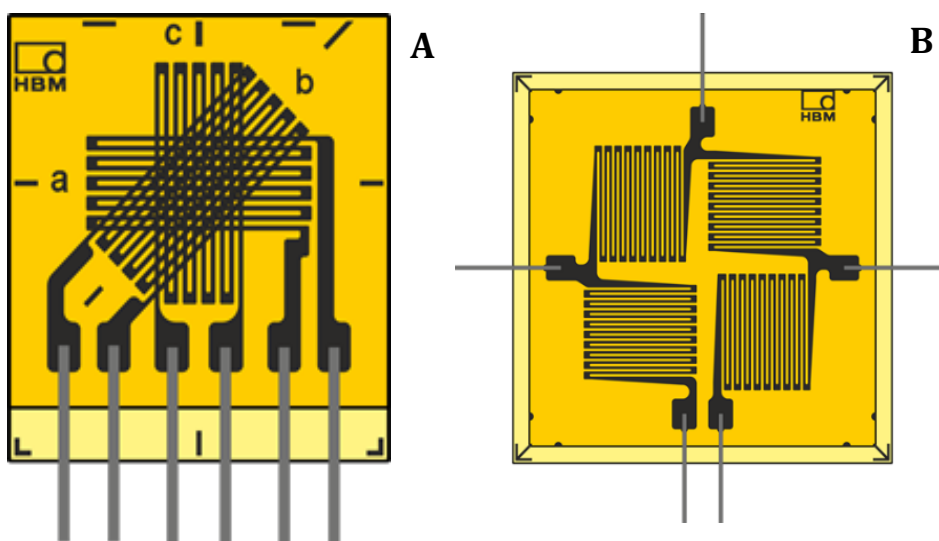


Abbildung 14: Rosetten-DMS (A) und DMS-Messbrücke (B) nach der Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH [35]

der einzelnen DMS und deren Lage zueinander können die Dehnungen des zu messenden Bauteils vollständig bestimmt und auf die DMS wirkende Temperatureinflüsse kompensiert werden.

Bei zusätzlich bekanntem Werkstoffkennwerten des Bauteils und dessen Kraftangriffsfläche lässt sich auf diese Weise auch die Kraft oder die Temperatur des Bauteils bestimmen. Diese indirekte Art der Messung wird häufig verwendet, da DMS dezentral angebracht werden können und eine geringe Bauhöhe vorweisen [34].

Die **optische Dehnungsmessung** ist im Vergleich zur Messung mittels DMS ein neues Verfahren, bei dem Lichtimpulse in einer kunststoffumhüllten Glasfaser durch eingesezte Faser-Bragg-Gitter strahlen und von diesen reflektiert werden. Wird ein Gitter belastet (gedehnt), so ändert sich auch der Gitterabstand (die Gitterkonstante). Die so reflektierten Lichtwellen erzeugen ein sich vom Ausgangszustand unterscheidendes Interferenzmuster, wodurch Rückschlüsse auf die Dehnung genommen werden können. Die Glasfaser kann dabei „mehrere Kilometer lang sein“ und „viele über ihre Länge verteilte Messstellen besitzen“ [35]. Dieses Verfahren eignet sich dadurch, dass keine gesonderte Spannungsversorgung am Messobjekt benötigt wird, besonders für den Einsatz in Bereichen mit erhöhten elektromagnetischen Störeinflüssen.

2.6.3 Temperaturmessung

Die Temperaturmessung an Umformmaschinen kann heutzutage entweder taktile oder optisch erfolgen.

Bei taktilen Temperaturmessungen werden nach E. Hering und G. Schönfelder in der Regel Ausdehnungen von bekannten Stoffen oder elektrische Widerstände gemessen und so Rückschlüsse auf die Temperatur gezogen, wie es bspw. bei der Verwendung von Dehnungsmesstreifen der Fall ist (siehe 2.6.2). Eine Ausnahme stellt die Messung der sogenannten Thermospannung durch Ausnutzung des Seebeck-Effekts dar. Werden zwei unterschiedliche Metalle durch Löten oder Schweißen miteinander verbunden und werden die Verbindungsstellen auf unterschiedliche Temperaturen gebracht, so kann zwischen den Verbindungspunkten eine (elektrische) Thermospannung gemessen werden. Über diese Spannung kann wiederum ein Rückschluss auf die vorherrschende Temperatur gezogen werden. In der Industrie werden überwiegend Platin- oder Nickel-Dünnschichtwiderstände eingesetzt, wie der Pt1000- und Ni100-Widerstand [33].

Optische Temperaturmessungen werden üblicherweise mit einem Pyrometer durchgeführt. Das Pyrometer misst dabei die Leistung der vom zu messenden Körper ausgehende Wärmestrahlung deren Intensität abhängig von der Temperatur des zu prüfenden Körpers ist. Der vom pyrometrischen Sensor erfassbare Messbereich umfasst Temperaturen von - 50 °C bis hin zu + 4000 °C [33]. Auf diese Weise ist es zum Beispiel möglich, die Temperaturen von flüssigem Metall oder Bauteilen in einer Presslinie verschleißfrei festzustellen. Allerdings werden auch die von Bauteilen reflektierte Wärmestrahlungen vom Pyrometer miterfasst, sodass eine Verfälschung des eigentlichen Messergebnisses möglich ist. So kann es unter Umständen bei geringen Temperaturen des Prüfkörpers und ungünstiger Positionierung des Pyrometers dazu kommen, dass die eigene Körpertemperatur vom zu prüfenden Körper reflektiert wird und das Messergebnis verfälscht.

3 Paradigmenwechsel im Werkzeugbau

Die Produktlebenszyklen von Werkzeugen werden laut der Werkzeugbau Akademie Aachen (WBA) und dem Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen zunehmend kürzer [9]. Der dadurch resultierende Zeitdruck und der Preiskampf gegenüber Niedriglohnländern stellt indes eine große Herausforderung im Werkzeugbau dar. In einem Interview mit der Zeitschrift „Produktion“ sagte Prof. Wolfgang Boos, Geschäftsführer der WBA, anlässlich der Eröffnung der Akademie im Oktober 2011, dass der zu dem Zeitpunkt bevorstehende Paradigmenwechsel des Werkzeugbaus der Wandel von einem handwerklich geprägten Werkzeugbau zum industriellen Werkzeugbau sei [36]. Die Industrialisierung des Werkzeugbaus sei dabei durch eine „klare strategische Positionierung“ und die Fokussierung auf Kernkompetenzen zu realisieren, wobei durch die Senkung der Prozessvarianz eine Synchronisierung der Herstellungsprozesse ermöglicht werden solle. Eine Fokussierung auf die Kernkompetenzen führe in dem Fall dazu, dass die eigene Produktionstiefe abnimmt und eine „standardmäßige Integration externer Wertschöpfungspartner in die eigenen Auftragsabwicklungsprozesse“ notwendig werde. Dies gehöre allerdings schon „zu den Kernkompetenzen vieler erfolgreicher Werkzeugbaubetriebe“ [37]. Ein industrialisierter Werkzeugbau ermöglicht dabei auch den Sprung in Richtung Industrie 4.0, die im selben Jahr (2011) wie auch der von Dr. W. Boos angekündigte Paradigmenwechsel, der auf der Hannover Messe von Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas und Wolfgang Wahlster erstmalig einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt wurde [38].

Der Paradigmenwechsel des Werkzeugbaus und der Wandel hin zu Industrierung 4.0 eröffnen zusammen die Möglichkeit im Bereich der Umformtechnik, dem Trend der Produktindividualisierung zu folgen. Laut Mark Sievers, Head of Consumer Markets des Wirtschaftsprüfungsunternehmens KPMG AG, „macht Industrie 4.0 es technologisch möglich, eine Losgröße Eins zu realisieren und somit die Kundenansprüche vollständig(er) zu erfüllen“. Für die Produktion bereite die Ausrichtung auf individuelle Kundenwünsche eine große Herausforderung, allerdings fänden „mehr als die Hälfte der Kunden individuelle Produkte interessanter als gleichwertige Massenprodukte“ [39]. Dr. Kai Hudetz, Geschäftsführer des Marktforschungsinstituts IHF Köln GmbH, sagt zu diesem Thema, dass es einen Trend zur Individualisierung gebe und Konsumenten bereit seien „mehr zu bezahlen, um ein maßgeschneidertes Produkt zu erhalten“. Dies sei zudem eine Chance für Unternehmen in diesen Markt einzusteigen, auch wenn dies nicht „von heute auf morgen

und ohne Investitionen auf (Mass) Customization umgestellt werden“ könne. Allerdings könne das Potenzial getestet werden, indem einem bereits vorhandenen Produkt eine „individualisierbare Ergänzung“ wie bspw. Aufkleber hinzugefügt werden würde [39]. Die KPMG AG und IHF Köln GmbH haben im Rahmen ihrer vierteljährlichen, repräsentativen „Consumer Barometer“ Umfrage etwa 500 Menschen via Online-Umfrage und vier Branchenvertreter in 30-minütigen Interviews zum Thema Produktindividualisierung befragt. Wie in Abbildung 15 dargestellt, haben bereits fast ein Drittel aller Befragten personalisierte Produkte gekauft, wovon über die Hälfte jünger als 40 Jahre waren. Zusätzlich finden laut der Umfrage mehr als die Hälfte aller Befragten individualisierbare Produkte interessanter als gleichwertige Produkte und mehr als jeder Dritte würde für individuell gestaltete Produkte mehr zahlen.



Abbildung 15: Umfrageergebnisse der von der KPMG AG und der IHF Köln GmbH durchgeführten repräsentativen Umfrage zum Thema Produktindividualisierung [39]

Die Kombination dieser Umfrageergebnisse deutet auf eine relativ große und anhaltende Nachfrage an individualisierbaren Produkten hin, die ggf. durch die Angebotserweiterung in diesem Bereich noch erweitert werden könnte. Die Individualisierung von Produkten nach Kundenwunsch bedeutet laut Sievers für die Produktionsunternehmen eine große Herausforderung [39]. Dies liegt an der aufwändigen Fertigung von individualisierten Produkten in Losgröße „1“, was aufgrund der Individualisierung des Produktes im ungünstigsten Fall jedoch auch die Fertigung in Stückzahl „1“ bedeuten kann. Dies ist insbesondere für Umformprodukte schwierig, da Umformwerkzeuge neben hohen Investitionskosten auch eine lange Entwicklungs- und Konstruktionszeit aufweisen und zusätzlich, als abbildendes Werkzeug, unflexibel sind.

Die Stufen.AG führt seit 2014 statistische Erhebungen in der deutschen Industrie durch, bei der im Jahr 2017 insgesamt 394 Unternehmen teilgenommen haben [40]. Die Teilnehmer stammen dabei zu 70 % (276 Unternehmen) aus dem Maschinen- und Anlagenbau, der Automobilindustrie und der Elektroindustrie. Im Industrie Index 2017 wurden die Firmen u. A. gefragt, ob das Thema Losgröße „1“ für ihr Unternehmen beziehungsweise in ihrer Branche bereits ein wichtiges strategisches Thema ist. Das Ergebnis dieser Umfrage ist in Abbildung 16 dargestellt, bei dem mehr als drei Viertel der befragten Maschinen- und Anlagenbauer angaben, dass Losgröße „1“ ein wichtiges strategisches Thema für das eigene Unternehmen sei, und über zwei Drittel gaben an, dass dieses Thema branchenweit von strategischer Wichtigkeit sei. Ähnlich der in Abbildung 15 dargestellten Umfrage der KPMG AG und der IHF Köln GmbH lässt sich auch hier eine Tendenz zugunsten Produktindividualisierung beziehungsweise Losgröße „1“ feststellen. Im Bereich der Automobilindustrie wird das Thema Losgröße „1“ verhaltener gesehen. So gaben knapp mehr als ein Drittel der befragten Unternehmen der Automobilindustrie an, dass sie Losgröße „1“ als ein für sich wichtiges Themengebiet sehen. Ungefähr die Hälfte der Automobilbau-Unternehmen sehen für ihre Branche im Thema Losgröße „1“ Potenzial.

Ist das Thema Losgröße 1 für Ihr Unternehmen bzw. in Ihrer Branche bereits ein wichtiges strategisches Thema?

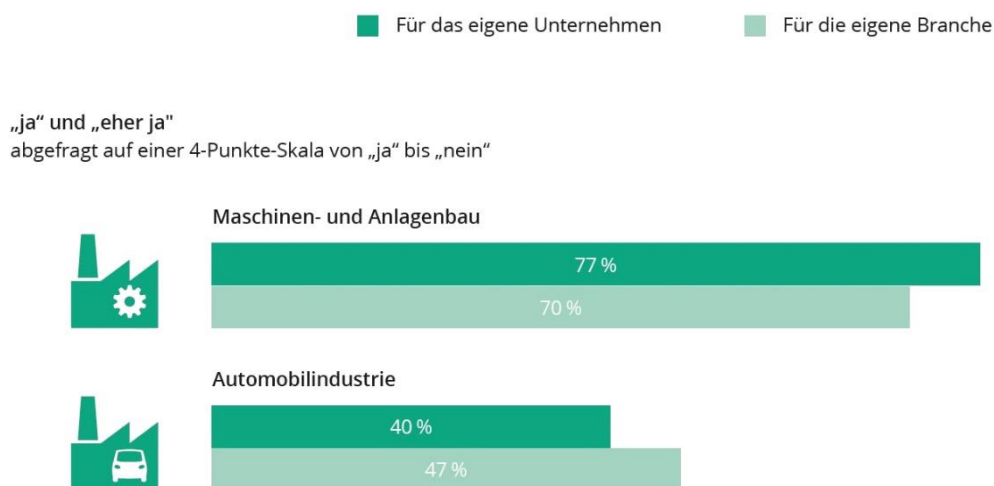


Abbildung 16: Statistische Erhebung der Stufen.AG in der deutschen Industrie mit der Frage: „Ist das Thema Losgröße „1“ für Ihr Unternehmen bzw. in Ihrer Branche bereits ein wichtiges strategisches Thema?“ Modifiziert nach [40]

Trotz vielfältiger Auswahlmöglichkeiten bei der Konfiguration von Autos werden in dieser Branche viele Einzelteile in einer hohen Losgröße produziert und sukzessive über einen längeren Zeitraum verbraucht, während bereits neue Einzelteile produziert werden. Zusätzlich ist die vollständige Individualisierung bei Automobilen schwierig, da die Produktidentifikation im Bezug zum Hersteller nicht verloren gehen sollte. Dennoch besteht nach der Umfrage der KPMG AG und der IHF Köln GmbH (Abbildung 15) eine hohe Nachfrage nach individualisierten Produkten bei den Kunden. Jedoch könnte eine Umstellung auf eine Losgröße "1" positive Effekte haben und den Turnus der Automodell-Facelifts flexibler gestalten. Somit könnte trotz der hohen Produkt-Sättigungsrate eine stetige Nachfrage erzeugt werden.

In Anbetracht der tendenziell kürzer werdenden Produktlebenszyklen und der hohen Nachfrage an individualisierbaren Produkten in vielen Branchen ist es relevant sich den wandelnden Gegebenheiten anzupassen. Es gilt somit in einem neuen Paradigmenwechsel den Werkzeugbau so umzugestalten, dass Umformwerkzeuge zukünftig auch für die Losgröße „1“ flexibel einsetzbar werden und die Werkzeug-Entwicklungszeit den Produktlebenszyklen angepasst werden.

Um dies zu erreichen müssen neben dem Abschluss des letzten Paradigmenwechsels verschiedene Parameter angegangen werden, die in Tabelle 4 zusammengefasst sind:

Tabelle 4: Für den Paradigmenwechsel umzusetzende Parameter

Werkzeug-Entwicklungszeit einsparen	→ frühere und häufigere Produktveröffentlichung, den schneller werdenden Produktlebenszyklen angepasst
Werkzeug-Finanzierungsstruktur anpassen	→ frühere Amortisation und parallele Finanzierung der Werkzeugentwicklung
Werkzeug modular gestalten	→ schnelles Umrüsten, flexible Verwendung, Losgröße „1“
Von Kundenfokussierung zu Kundenzentrierung	→ Entwicklung des von Kunden benötigten Werkzeuges, nicht lediglich des angefragten Werkzeuges

Um diese vier Parameter zu optimieren sind sowohl konstruktive Änderungen an Werkzeugen allgemein als auch Änderungen in den Entwicklungsstrukturen von Werkzeugen nötig. Die modulare Gestaltung von Werkzeugen ermöglicht sowohl ihre flexible Verwendung als auch in vielen Fällen kürzere Rüstvorgänge. Für die frühzeitige Refinanzierung des Werkzeuges und alternative Entwicklungsansätze bieten sich agile Projektmethoden an, wie bspw. große Werkzeugmaschinenbau-Unternehmen wie Trumpf sie bereits erfolgreich einsetzen [41].

3.1 Modularer Werkzeugbau

Ziel bei der Verwendung von modularen Werkzeugen ist die Reduzierung von Kosten und Rüstzeiten bei gleichzeitig steigender Flexibilität. Damit diese Ziele erreicht werden können, müssen grundlegende Voraussetzungen bei der Entwicklung des Werkzeuges geschaffen werden, die in den folgenden Abschnitten genauer beschrieben werden. Ist die vollständige Modularisierung des Bauteils abgeschlossen, können individualisierte Umform-Bauteile schnell produziert werden. Die Individualität der Bauteile kann dabei bspw. von personalisierten Prägungen, die durch eingesetzte und mittels RP-Verfahren hergestellte Prägeplatten erzeugt werden, bis hin zu geometrischen Bauteiländerungen reichen.

Mit seiner Dissertation „Methodik zur Gestaltung und Bewertung von modularen Werkzeugen“ [42] trägt Dr. Wolfgang Boos 2008 eine umfassende Aufschlüsselung zur Modularisierungsentscheidung und der Modularisierung von Werkzeugen bei. Er vergleicht dabei verschiedene Verständnisse des Begriffs *Modularität* und schafft eine Übersicht über vorhandene Modularisierungsmethoden. Als Kernelement erstellt Boos in seiner Arbeit eine eigene Methodik zur *Modularisierungsentscheidung bei- und Modularisierung von Werkzeugen*, die anschließend anhand von Fallbeispielen bewertet wird.

Zusammen mit dem vorangegangenen Paradigmenwechsel, der Industrialisierung des Werkzeugbaus, und der 4. Industriellen Revolution kann diese Dissertation als ein Teil eines möglicherweise neuen Paradigmenwechsels angesehen werden: Der Fertigung von umgeformten Bauteilen in der Losgröße „1“.

3.1.1 Voraussetzungen

Die Voraussetzungen für einen effizienten Einsatz von modularen Werkzeugen ist die gleichbleibende Produktqualität bei gleichzeitiger Reduktion von Rüstzeiten. Dies kann durch die Verwendung von präzise gefertigten Gleichteilen bei Werkzeugmodulen und deren Schnittstellen erreicht werden, wobei die einzelnen Werkzeugmodule über eine hohe Positioniergenauigkeit und Stabilität verfügen müssen. Für die Reduzierung der Rüstzeiten sollte zudem ein Schnellverschluss beziehungsweise eine Schnellspannvorrichtung für die Werkzeugmodule und das Säulengestell in Betracht gezogen werden. Um dem Stand der Technik zu entsprechen und weitere Mehrwerte und Erkenntnisse, sowie ggf. fundierte Messwerte und Einflussfaktoren für Fehleranalysen aus den durchgeführten Produktionen zu erhalten, ist die ausgiebige Verwendung von Sensoren an den einzelnen Modulen zu empfehlen. Dies können bspw. bei Tiefziehwerkzeugmodulen, wie in Abschnitt 2.6.1 zu sehen, Kraft- und Temperaturlaufnehmer sein, die in besonders prozessrelevanten Bereichen des Werkzeuges angebracht werden. Die Sensoren können idealerweise auf einen Normstecker zusammengeführt werden und durch einfaches Umstecken einer Steckerkupplung an den Messaufnehmer angeschlossen werden.

3.1.2 Beschreibung von Modulen und der Modularität

Die Definition von **Modulen** ist abhängig von der Sichtweise, aus der dieses Thema betrachtet wird. Module können nach Dieter Krause und Nicolas Gebhardt [43] aus Sicht der Kopplung, Entkopplung und Schnittstellen, aus der technischen-, der funktionalen-, der Prozess- und Organisationssicht sowie der produktstrategischen Sicht betrachtet werden.

Die in der Wissenschaft am häufigsten verwendete Sichtweise ist nach D. Krause und N. Gebhardt die der Kopplung, Entkopplung und Schnittstellen. Das Modul wird dabei als eine einzelne, aus Komponenten bestehende, Baugruppe gesehen, deren Kopplung untereinander stärker ist, als die zum restlichen System. Die Entkopplung von Modulen stellt unterdessen eine wesentliche Eigenschaft der Modularität dar, denn „erst durch die Konzentration von Kopplungen innerhalb eines Moduls (intramodular) und dessen Entkopplung vom Rest der Produktstruktur“ kann ein Modul entstehen. Der letzte namensgebende Punkt dieser Sichtweise ist die Schnittstelle, die nach D. Krause und N. Gebhardt einen

„Bereich der Interaktion zwischen zwei (Teil-) Systemen oder zum Beispiel zwischen Modulen eines Produktes“ darstellt, wobei die Interaktion „eine Positionierung, ein Kraftfluss oder der Austausch von Energie, Stoff oder Information“ sein kann [43].

Eine weitere verbreitete Sichtweise ist die nach Funktionen aufgeteilte Modularisierung [43]. Diese Sichtweise ist im Vergleich zu der Sichtweise der Kopplung, Entkopplung und Schnittstellen fokussierter aufgestellt. Die für die Kopplung und Entkopplung geltenden Regeln sind prinzipiell auch hier gültig, jedoch werden die Module hierbei ausschließlich nach ihrer Funktion separiert. Ein nach dieser Sichtweise geltendes Modul wäre beispielsweise ein in eine Presse eingebautes Stanzwerkzeug, da dieses Modul ausschließlich die Funktion des Trennens von Material übernimmt und zusätzlich nach Innen eine stärkere Kopplung aufweist als zum äußeren System. Ein Gegenbeispiel dazu wäre ein Werkzeug, das in einem Arbeitshub sowohl stanzt, als auch tiefzieht. Dieses Werkzeug wäre aus der Sichtweise der Kopplung, Entkopplung und Schnittstelle immer noch ein abgeschlossenes Modul, erfüllt jedoch nicht die Beschreibung der funktionalen Sichtweise.

In der Dissertation „Methodik zur Gestaltung und Bewertung von modularen Werkzeugen“ von Wolfgang Boos [42] wird der Begriff Modul folgendermaßen definiert:

„Unter einem Modul wird ein Anbauteil eines Produktes verstanden, das aus einer oder mehreren Komponenten besteht, die mit einheitlichen Schnittstellen eine oder mehrere Funktionen beinhalten. Durch die definierten und gleichzeitig standardisierten Schnittstellen ist eine vielfältige Kombinierbarkeit möglich, so dass Varianten erzeugt werden können.“ [42]

Ergänzend zu dieser Definition der Module definiert Boos den Modularisierungsvorgang als eine Methode zur Produktstrukturierung, „mit der die Modularität der Produkte durch eine Reduktion der Abhängigkeit zwischen den Elementen und Generierungen von standardisierten Schnittstellen erhöht wird“ [42]. Die Definition von W. Boos stimmt damit größtenteils mit der Beschreibung der Sichtweise der Kopplung, Entkopplung und Schnittstellen von D. Krause und N. Gebhardt überein, wobei Boos diese Sichtweise um eine standardisierte Schnittstellenverwendung und deren Kombinierbarkeit ergänzt.

3.1.3 Übersicht der von Wolfgang Boos entwickelten Methodik zur Entwicklung modularer Werkzeuge

In Abschnitt 2.4 wurden einige klassische Projektmethoden vorgestellt, die grundsätzlich auch für den Werkzeugbau praktikierbar sind. In seiner Dissertation weist Wolfgang Boos auf der Suche nach einem geeigneten Ordnungsrahmen für seine Methode darauf hin, dass die in Abschnitt 2.4 beschriebene Stage-Gate-Methode einerseits eine im deutschen Maschinenbau verbreitete Methode zur Strukturierung von Entwicklungsprozessen ist, andererseits aber für den Werkzeugbau keinen ausreichend großen Fokus auf das Themengebiet Entwicklung und Konstruktion legt. Nach einer Gegenüberstellung der Produktentwicklungs- und Konstruktionsverfahren von Gerhard Pahl und Wolfgang Beitz, der VDI Richtlinie 2221 und dem Verfahren von Roth, durchgeführt von Jürgen Gausemeier *et al.* in „Produktinnovation: Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen“ entschied sich Boos für die Verwendung des in Abbildung 17 dargestellten Verfahrens von G. Pahl und W. Beitz als Ordnungsrahmen für seine Methode [44, 45]. Boos begründet dabei seine Entscheidung dadurch, dass dieses Verfahren in der Wissenschaft häufig als klassischer Produktkonstruktions- und Entwicklungsprozess angesehen werde. Der in Abbildung 17 hervorgehobene generische Entwicklung und Konstruktionsvorgang wird von Boos für das strategische Konstruieren und Entwickeln von modularen Werkzeugen

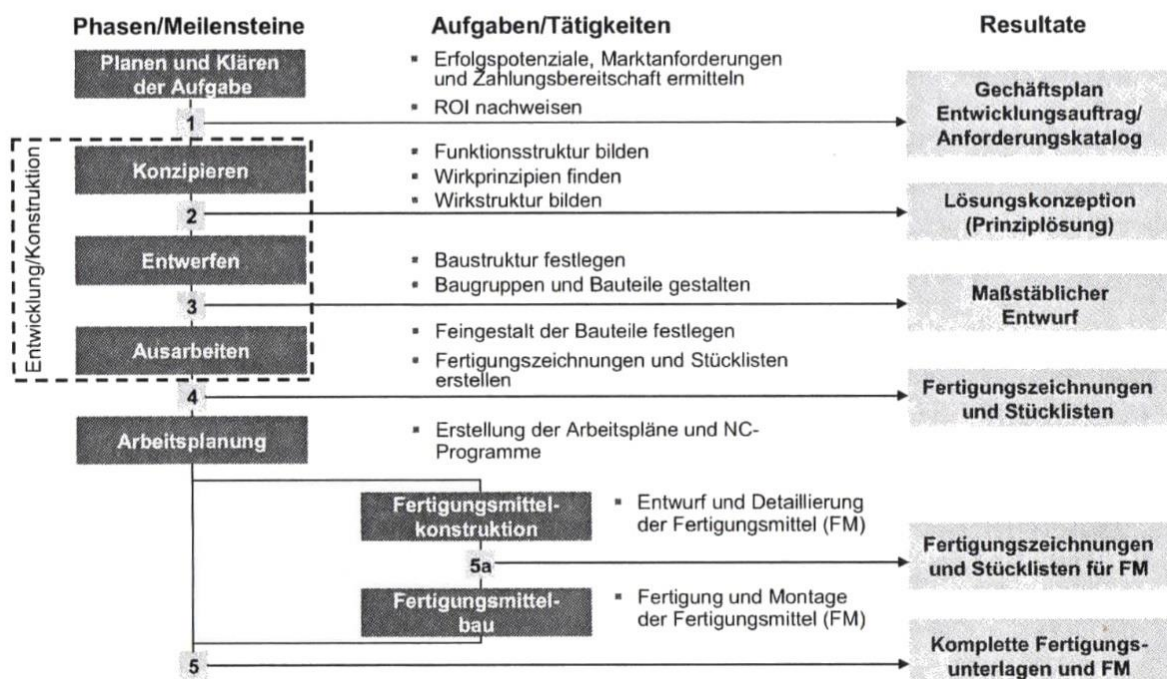


Abbildung 17: Von G. Pahl und W. Beitz erstelltes Produktentwicklungs- und Konstruktionsverfahren [42]

in eine *Initiierungsphase* und *Anwendungsphase* aufgegliedert, die in den folgenden Abschnitten übersichtsvermittelnd beschrieben werden.

3.1.3.1 Initiierungsphase

In der von Boos angedachten Initiierungsphase wird zur „Sicherstellung einer praxisorientierten Ausgangsbasis für die Methodik“ eine Unternehmensanalyse in drei Phasen durchgeführt. Die Unterpunkte der Initiierungsphase lauten dabei *Identifikation der unternehmensspezifischen Randbedingung*, *Typisierung des Werkzeugspektrums* und *Analyse des Konstruktionsprozesses*.

Bei der **Identifikation der unternehmensspezifischen Randbedingungen** wird das Verhältnis zwischen Werkzeugbauer und Kunden analysiert, um herauszufinden, ob es sich um einen internen oder externen Werkzeugbau handelt, welches Geschäftsmodell der Werkzeugbauer verfolgt und welche Aufbauorganisation beim Werkzeugbauer vorliegt. Das Ergebnis soll dabei Auskunft über die herzustellende Produktvielfalt geben. Boos schreibt dazu, dass ein interner Werkzeugbau, der nur für den eigenen Mutterbetrieb Werkzeuge herstellt, eine deutlich kleinere Produktvarianz zu beachten habe, als ein externer Werkzeugbauer, der eine Vielfalt an Kunden zu beliefern hat.

Als nächsten Schritt sieht Boos die **Typisierung des Werkzeugspektrums** vor. Dazu werden alle vom Werkzeugbauer hergestellten Werkzeuge anhand ihres Typs (Tiefziehwerkzeug, Stanzwerkzeug, Prägwerkzeug, ...) kategorisiert, die einzelnen Bauteile der jeweiligen Werkzeugtypen analysiert und ähnliche Werkzeugtypen ggf. zusammengefasst. Dieser Vorgang ist laut Boos sehr aufwendig. Allerdings bildet dieser Schritt die Grundlage für die spätere Zusammenführung der einzelnen Werkzeugkomponenten zu Modulen. Um Modularisierungspotentiale im Konstruktionsspektrum des Werkzeugbauunternehmens festzustellen, werden die bisher hergestellten Werkzeuge innerhalb eines Werkzeugtyps in einer Matrix anhand festgelegter Kriterien bewertet. Auf diese Weise lassen sich „potentielle Module für die verschiedenen Werkzeuge in einem Werkzeugtyp definieren“. Sind die einzelnen Module und Gleichteile in den Werkzeugtypen identifiziert, wird auf die gleiche Weise geprüft, ob diese Module auch Werkzeugtyp übergreifend einsetzbar sind.

Als letzter Schritt der Initiierungsphase wird der vorhandene **Konstruktionsprozess analysiert**. Dazu wird eine betriebswirtschaftliche Analyse der Konstruktionsabteilung durchgeführt, in der die Anzahl an Mitarbeitern der Abteilung, die Anzahl an Konstruktionsaufträgen in unterschiedlichen Aufgabenfeldern wie zum Beispiel die Entwicklung von Neuwerkzeugen, Änderungsaufträge, Wiederholaufträge und Reparaturaufträge und eine Werkzeugeinteilung anhand einer ABC-Analyse durchgeführt wird. Sind die Kennzahlen analysiert worden, kann das Verhältnis von verwendeten Normteilen zum Gesamtumfang der Werkzeuge ermittelt werden. Danach erfolgt abschließend die Analyse des IST-Konstruktionsprozesses, in dem neben der eigentlichen Konstruktionsarbeit auch die Informationsschnittstellen und verwendeten Programme mit aufgenommen werden.

Ist die Initiierungsphase abgeschlossen, sind die Grundvoraussetzungen für die Anwendungsphase geschaffen.

3.1.3.2 Anwendungsphase

Für die Erstellung einer Methode zur Konstruktion und Entwicklung modularer Werkzeuge ist nach Boos ein vorausschauender Gestaltungs- und Bewertungsprozess nötig. Dieser Gestaltungsprozess soll in der Anwendungsphase durch eine Kombination aus dem von Boos definierten generischen Konstruktionsprozess und der von Christoph Caesar erstellten *Variant Mode and Effects Analysis* (VMEA) [46] geschaffen werden, wobei der generische Konstruktionsprozess nach Boos den Ordnungsrahmen und die VMEA den vorausschauenden und bewertenden Aspekt der Methode darstellt. Nach Boos muss neben der abgeschlossenen Initiierungsphase zum Beginn der Anwendungsphase das Lastenheft für das Werkzeug des Kunden vollständig vorhanden sein, da die Anforderungen an das Werkzeug dort detailliert beschrieben wurden.

Im Folgenden wird sowohl der generische Konstruktionsprozess als auch die VMEA kurz vorgestellt.

3.1.3.2.1 Generischer Konstruktionsprozess

Der von Boos definierte und in Abbildung 18 dargestellte generische Konstruktionsprozess basiert auf dem in Abschnitt 2.4 beschriebenen Stage-Gate-Prozess, wobei fünf Schritte und Tore während der Konstruktionsphase durchlaufen werden.

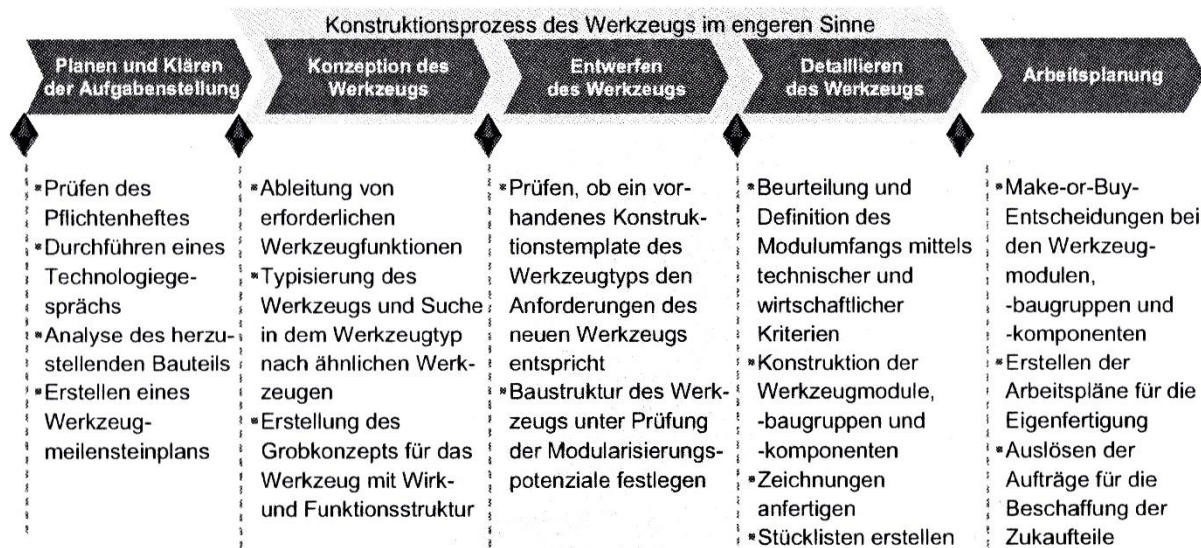


Abbildung 18: Generischer Konstruktionsprozess von Werkzeugen nach Boos [42]. Das Prinzip basiert auf dem von Robert G. Cooper entwickelten Stage-Gate-Prozess [13] und stellt eine verbreitete Entwicklungsmethode im Maschinenbau dar

Im ersten Schritt **Planen und Klären der Aufgabenstellung** wird eine Überprüfung des Pflichtenheftes auf Vollständigkeit durchgeführt, sodass sichergestellt werden kann, dass alle für die Konstruktion des Werkzeuges nötigen Informationen vorliegen. Sind alle Informationen vorhanden, wird ein „Technologiegespräch“ mit Experten aus verschiedenen, im Werkzeugbauprozess eingebundenen Abteilungen wie der Konstruktionsabteilung, der Arbeitsvorbereitung und der Produktionsabteilung durchgeführt, um nach einer Analyse des zu fertigenden Bauteils ein Werkzeugkonzept erstellen zu können. Vom Werkzeugkonzept kann dann der übergreifende Werkzeugtyp definiert werden. Letztendlich wird auf Basis der besprochenen Themen ein Meilensteinplan für den Bau des Werkzeuges erstellt, in dem nach Boos sowohl der zeitliche Ablauf, als auch die Kosten des Projektes mit eingetragen werden sollen. Nach Abschluss dieser Aufgaben kann im nächsten Schritt die eigentliche Konstruktionstätigkeit beginnen.

Der zweite Schritt sieht die **Konzeption des Werkzeugs** vor. Dafür wird das im ersten Schritt aus dem Technologiegespräch entworfene Werkzeugkonzept verwendet und anhand der benötigten Funktionen des Werkzeuges weiter spezifiziert. Anhand des festgelegten Werkzeugtyps kann nach ähnlichen hergestellten Werkzeugen gesucht werden, um im dritten Schritt Konstruktionsarbeit einzusparen. Sind keine ähnlichen Werkzeuge gebaut worden, muss eine Wirk- und Funktionsstruktur erstellt werden, anhand derer die Funktionsweise des Werkzeuges festgelegt werden kann.

Der dritte Schritt umfasst das **Entwerfen des Werkzeuges**. Dafür wird, aufbauend auf dem zweiten Schritt, nach vorhandenen Konstruktionsvorlagen von ähnlichen, skalierbaren Werkzeugen (Modulen, Baugruppen, Komponenten, ...) gesucht, auf denen die Konstruktion aufgebaut werden kann. Sind diese skalierbaren „Templates“ nicht vorhanden, muss eine Neukonstruktion der einzelnen Komponenten (und die Erstellung von Templates für spätere Projekte) vorgenommen werden.

Im vorletzten Schritt wird die **Detaillierung des Werkzeuges** vorgenommen. Dafür werden nach Boos anhand „technischer und wirtschaftlicher Kriterien“ Komponenten, Baugruppen und Module ausgewählt, aus denen das Werkzeug letztendlich konstruiert wird. Ist die Konstruktion abgeschlossen, können technische Zeichnungen und Stücklisten erstellt werden. Der Konstruktionsvorgang ist nach diesem Schritt abgeschlossen.

Zum Abschluss des generischen Konstruktionsprozesses bezieht Boos noch den Prozessschritt der **Arbeitsplanung** mit ein. In diesem Schritt wird über die interne Fertigung oder den externen Kauf von Komponenten oder Modulen entschieden und ggf. die für die eigene Produktion benötigten Arbeitspläne erstellt.

3.1.3.2.2 Variant Mode and Effects Analysis (VMEA)

Die von C. Caesar [46] erstellte Methode *Variant Mode and Effects Analysis* (VMEA) ist ein iterativer Prozess und wird nach Günther Schuh als „eine systematische Vorgehensweise, die sowohl die technische als auch die kostenmäßige Beherrschung der Variantenvielfalt sicherstellt“ beschrieben [47]. Sie wurde in Anlehnung an die frühe Fehlererkennung und -vermeidung der FMEA Analyse erstellt und dient nach Schuh selbst der frühen Variantenerkennung und -vermeidung. Der hauptsächliche Nutzen bei der Verwendung der VMEA liegt darin, dass durch „die systematische Aufbereitung der Vielfaltsinformationen und die grafische Darstellung der Variantenentwicklung die notwendige Kommunikation zwischen den VMEA beteiligten Bereichen (Marketing und Vertrieb, Entwicklung und Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Produktion sowie Kostenplanung und Controlling) unterstützt“ wird [47]. Es können also durch die Variantenerkennung und -vermeidung die Varianten herausgefunden werden, die letztendlich von Kunden nicht unterschieden werden können und sich somit lediglich als Komplexitätskostentreiber herausstellen.

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Anforderungen an das zu gestaltende Produkt vollständig bekannt sind.

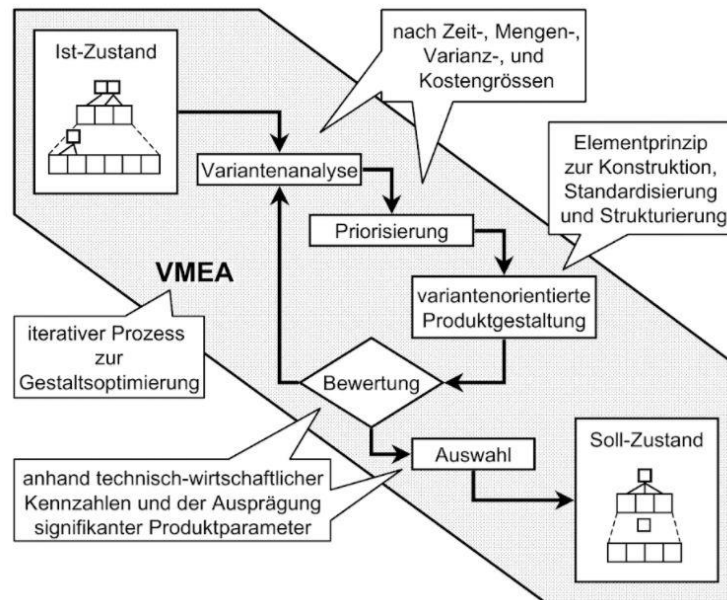


Abbildung 19: Methodik der Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) nach Caesar [46]. Bildquelle: [48]

Die VMEA ist in der von T. Rapp erstellten Abbildung 19 [48] dargestellt und nach Caesar beschrieben, neben dem Ist- und Soll-Zustand in fünf Schritte gegliedert.

Im ersten Schritt wird übersichtshalber eine ausführliche **Variantenanalyse** und Dokumentation der Konstruktionsvarianten in dem von G. Schuh entwickelten Variantenbaum (vgl. [47]) dargestellt.

Im zweiten Schritt wird eine **Priorisierung** der einzelnen, für einen variantenreichen Konstruktionsprozess, relevanten Baugruppen, Module und Einzelteile anhand der festgelegten Produkthanforderungen erstellt. Dafür werden die Bauteile (Baugruppen, Module, ...) in Funktionsgruppen eingeteilt, die den einzelnen Teilfunktionen des Produktes entsprechen. In den ersten beiden Schritten wird nach G. Schuh die Zusammenarbeit mit der Marketing- und der Vertriebsabteilung durchgeführt. Ziel ist es dabei nicht mehr, festzustellen, was ein Produkt kosten wird, sondern was es letztendlich kosten darf [47].

Nach Boos wird im dritten Schritt anhand eines Kataloges mit Gestaltungsalternativen „die **variantengerechte Produktgestaltung** durchgeführt, die eine Differenzierung des Produktes in „Basismodule“ und „Restumfänge“ berücksichtigt“ [42].

Die **Bewertung** der einzelnen Varianten findet im vierten Schritt der VMEA statt. Dafür werden die erstellten Varianten „anhand technisch-wirtschaftlicher Kennzahlen und der Ausprägung signifikanter Produktparameter“ begutachtet. Sollte keine Variante den Anforderungen genügen wird ein erneuter Iterationsschritt gestartet.

Im letzten Schritt wird anhand der Bewertungskriterien und einer an die VMEA gekoppelte Kostenbewertungsmethode die „optimale Gestalt und kostengünstigste Alternative des Produktes“ eine **Auswahl** getroffen. Mit diesem Schritt ist die VMEA abgeschlossen.

3.1.3.2.3 **Synthese des generischen Konstruktionsprozesses und der VMEA zur vollständigen Anwendungsphase**

In seiner Dissertation kombiniert Boos den generischen Konstruktionsprozess und die Variant Mode and Effects Analysis, um dem Konstruktionsprozess einen vorausschauenden und bewertenden Aspekt zu verschaffen. Dies ist notwendig, da mit der Entscheidung modulare und variantenreiche Produkte zu produzieren ein vermeidbar hoher Anteil an Flexibilitätskosten entsteht. Flexibilitätskosten sind dabei Kosten, die bei der Entwicklung, Konstruktion und Fertigung entstehen, wenn der Felexibilitätsbedarf des Produktes dabei über- oder unterschritten wird. Eine Übersicht der damit abgeschlossenen Anwendungsphase ist in Abbildung 20 und Abbildung 21 dargestellt.

Die Synthese dieser beiden Methoden erzeugt nach Boos einen sechsstufigen Konstruktionsvorgang für modulare Werkzeuge, der im Folgenden kurz beschrieben wird.

Ziel des ersten Schrittes ist die **Ableitung der Werkzeuganforderungen**. Dazu wird prinzipiell der erste Schritt des von Boos beschriebenen generischen Konstruktionsprozesses durchgeführt. Als Grundvoraussetzung sieht auch diese Methode das vollständig vorliegende Lastenheft vor, von dem ausgehend die Prüfung und Planung der Aufgabenstellung durchgeführt werden kann. Ist die Planung und Prüfung abgeschlossen wird auch hier ein Technologiegespräch durchgeführt, bei dem das zu fertigende Bauteil (anhand eines RP-Musters oder Zeichnungen) genauer betrachtet wird und ein Meilenstein für die Werkzeugfertigung erstellt wird. Die in diesem Rahmen eingebundenen Abteilungen sind

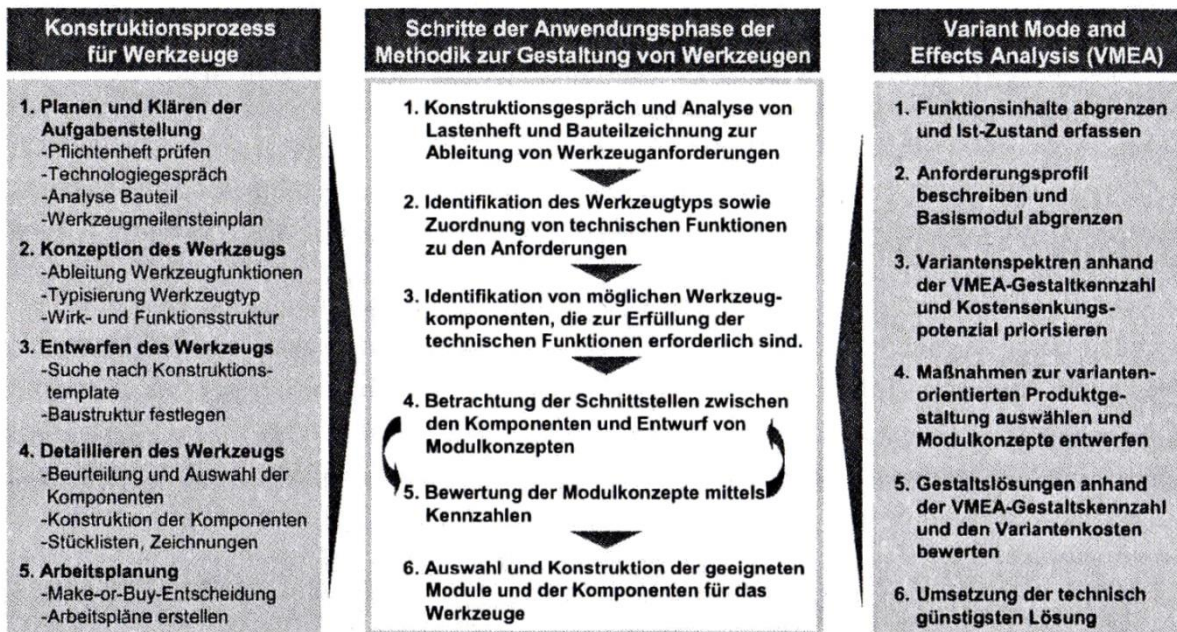


Abbildung 20: Kombination des generischen Konstruktionsprozesses und der VMEA nach Boos zur Anwendungsphase des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses für modulare Werkzeuge [42]

nach Boos die Konstruktionsabteilung, die Arbeitsvorbereitung und die Kalkulationsabteilung.

Im zweiten Schritt wird die technische Funktion des Werkzeuges in der sogenannten **Funktionsidentifikation** festgestellt. Dazu wird der Werkzeugtyp des zu produzierenden Werkzeuges definiert und im vorhandenen Werkzeugkatalog nach ähnlichen Werkzeugen und deren verwendeten Modulen, Baugruppen und deren Funktionsweisen gesucht. Die in Frage kommenden Module werden dann den jeweils benötigten Funktionen in Matrixform gegenübergestellt. Sind keine ähnlichen Werkzeuge vorhanden, muss eine Neukonstruktion der benötigten Module entsprechend der benötigten Funktionen durchgeführt werden.

Der dritte Schritt ist die **Komponentenzuordnung**, in der die vorhandenen Werkzeugkomponenten dahingehend analysiert werden, wie gut sie den Funktionsanforderungen des Werkzeuges gerecht werden. Zudem wird überprüft, ob sich vorhandene Werkzeugkomponenten durch effizientere Komponenten ersetzen lassen.

Im vierten Schritt wird nach Boos „die **Gestaltung** der Schnittstellen zwischen den Komponenten betrachtet und hinsichtlich des Modularisierungspotentials überprüft“. Ziel dieses Schrittes ist es, zu überprüfen, ob eine sinnvolle Modularisierung der Komponenten

durch eine Verwendung von gleichen Schnittstellen durchgeführt werden kann. Ist dies der Fall, muss ein Modulkonzept erstellt werden.

Der vorletzte Schritt ist die **Bewertung** der bislang erstellten Module anhand wirtschaftlicher und technischer Aspekte. Dafür soll eine Kennzahl eingeführt werden, anhand derer eine quantitative Bewertung der Module ermöglicht wird. Entsprechen alle bisher erstellten Module nicht der eigens aufgestellten unteren Bewertungsgrenze, muss ein neuer Iterationsschritt ab Schritt vier durchgeführt werden.

Letztendlich wird als abschließender Schritt der Synthese des generischen Konstruktionsprozesses und der VMEA die **Auswahl der Modulkonzepte** und die **Konstruktion** des Werkzeuges durchgeführt.

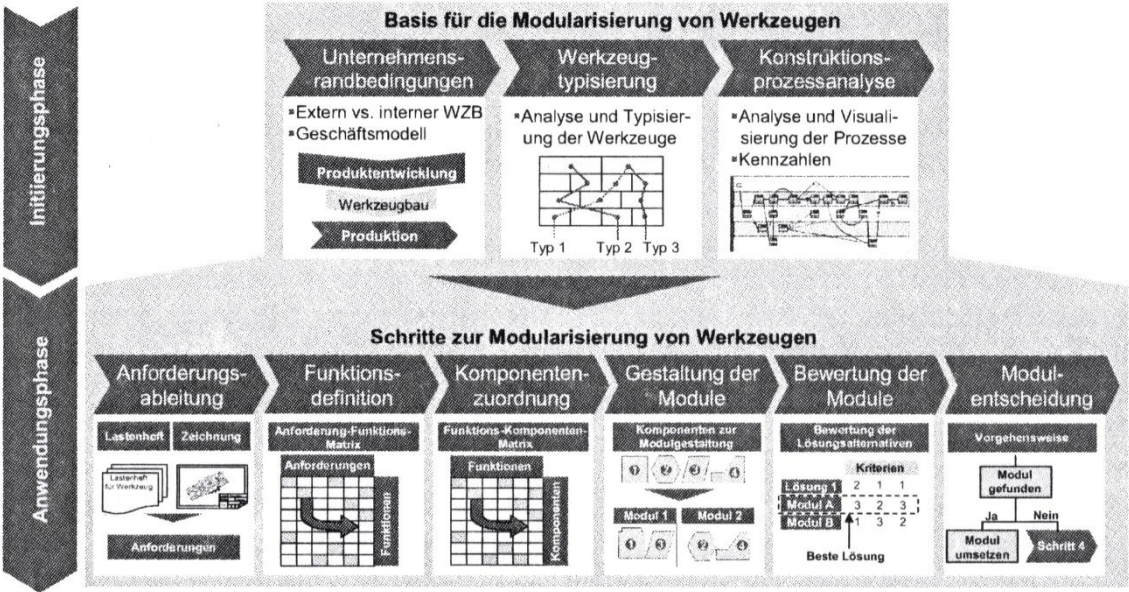


Abbildung 21: Darstellung des Gesamtkonzeptes der von Boos erstellten Entwicklung- und Konstruktionsmethodik für modulare Werkzeuge [42].

3.1.3.3 Eingliederung des vollständigen Entwicklungsprozesses des modularen Werkzeugbaus

In den vorherigen Abschnitten 3.1.3.1 und 3.1.3.2 wurde der von Boos ausgewählte Ordnungsrahmen für die Entwicklung und Konstruktion von Werkzeugen nach G. Pahl und W. Beitz, sowie die Änderungen am Entwicklungsprozess vorgestellt, die benötigt werden, um der Entwicklung und Konstruktion von modularen Werkzeugen gerecht zu werden. In Abbildung 21 ist die von Boos angestrebte Aufteilung der Entwicklungs- und Konstruktionsphase in eine Initiierungsphase und eine Anwendungsphase dargestellt. Die Initiierungsphase dient der Analyse der Geschäftsprozesse des Werkzeugbau-Unternehmens. Die Anwendungsphase stellt den eigentlichen Entwicklungs- und Konstruktionsprozess dar, der gleichzeitig auch die Bewertung der Gestaltungsalternativen übernimmt.

In Abbildung 22 ist die Integration des von Boos angestrebten Entwicklungsprozesses dargestellt. Das erstellte Gesamtkonzept ersetzt die von G. Pahl W. Beitz angedachten Schritte *Konzipieren*, *Entwerfen* und *Ausarbeiten* und übernimmt durch die Initiierungsphase auch einen Teil des Schrittes *Planen und Klären der Aufgabe*. Dabei ist zu beachten, dass keine klare Abgrenzung zum ersten Schritt des Organisationsrahmens gezogen werden kann.

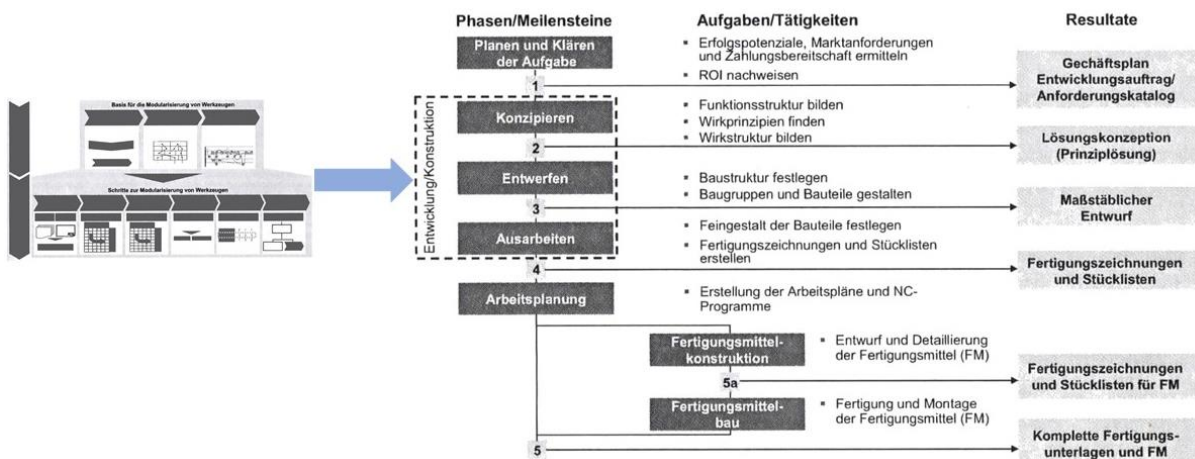


Abbildung 22: Exemplarische Eingliederung des von W. Boos erstellten Gesamtkonzeptes zur Entwicklung und Konstruktion modularer Werkzeuge in den von G. Pahl und W. Beitz entwickelten Stage-Gate-Prozess (vgl. [42])

3.2 Der agile Werkzeugbau

Der klassische Werkzeugbau ist geprägt durch eine extensive Entwicklungs- und Konstruktionszeit sowie langwierige Iterationsphasen zum Testen des Werkzeuges. In Bezug auf den Werkzeugbau allgemein ist das Werkzeug das herzustellende Produkt, das sich aufgrund der formgebenden Gestaltung die Produktlebensdauer mit dem auf dem Werkzeug produzierten Endprodukt teilt.

Jedes Produkt durchläuft eine Reihe von Phasen, die zusammenhängend als Produktlebenszyklus bezeichnet werden (Abbildung 23; [49]). Die Produktlebensdauer beschreibt dabei die Zeitspanne zwischen der Produkteinführung und dem Ausscheiden vom Markt. Durch eine tendenziell abnehmende Produktlebensdauer müssen sich Produkte in einer kürzeren Zeit amortisieren, um letztendlich genügend Gewinn vor der Verfallphase zu generieren. Die Entwicklungs- und Konstruktionsdauer bleibt dabei jedoch von der abnehmenden Produktlebensdauer unberührt. Sie ist im Verhältnis zur Produktlebensdauer sogar länger als zuvor und erzeugt dieselben Kosten wie bei einer längeren Produktlebensdauer.

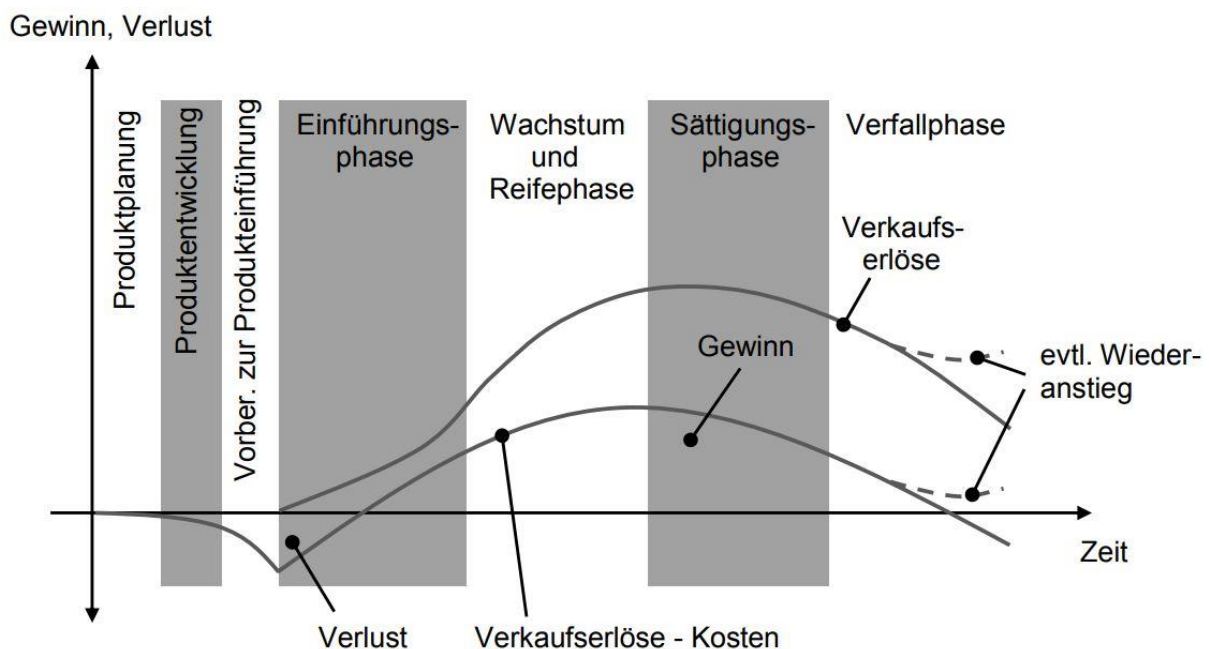


Abbildung 23: Produktlebenszyklus nach G. Pahl und W. Beitz [49]

Durch den agilen Werkzeugbau soll die Entwicklungs- und Konstruktionszeit von Werkzeugen reduziert werden, um letztendlich erneut ein günstiges Verhältnis zwischen der Kosten- und der Umsatzphase zu erzeugen. Durch eine erhöhte, unmittelbare Kundeneinbindung in den Entwicklungsprozess sollen Fehlentwicklungen dabei frühzeitig erkannt und gestoppt werden können. In Bezug auf den in Abbildung 24 dargestellten und von Klaus Ehrlenspiel *et al.* entwickelten Kostenfestlegungs- und Kostenentstehungsverlauf kann dies zu einem kosteneffizienteren und finanziell gesehen robusteren Werkzeugbau führen [50]. Parallel sollen frühzeitigere Produktveröffentlichungen zu einer Optimierung der Produktfinanzierung und einem gemeinsamen Lerneffekt für Kunden, Entwickler und Konstrukteure führen. Dies wird auch durch die *Rule of Ten* verdeutlicht, die besagt, dass die Behebungskosten eines unentdeckten Fehlers je Wertschöpfungsschritt um den Faktor 10 steigen [50].

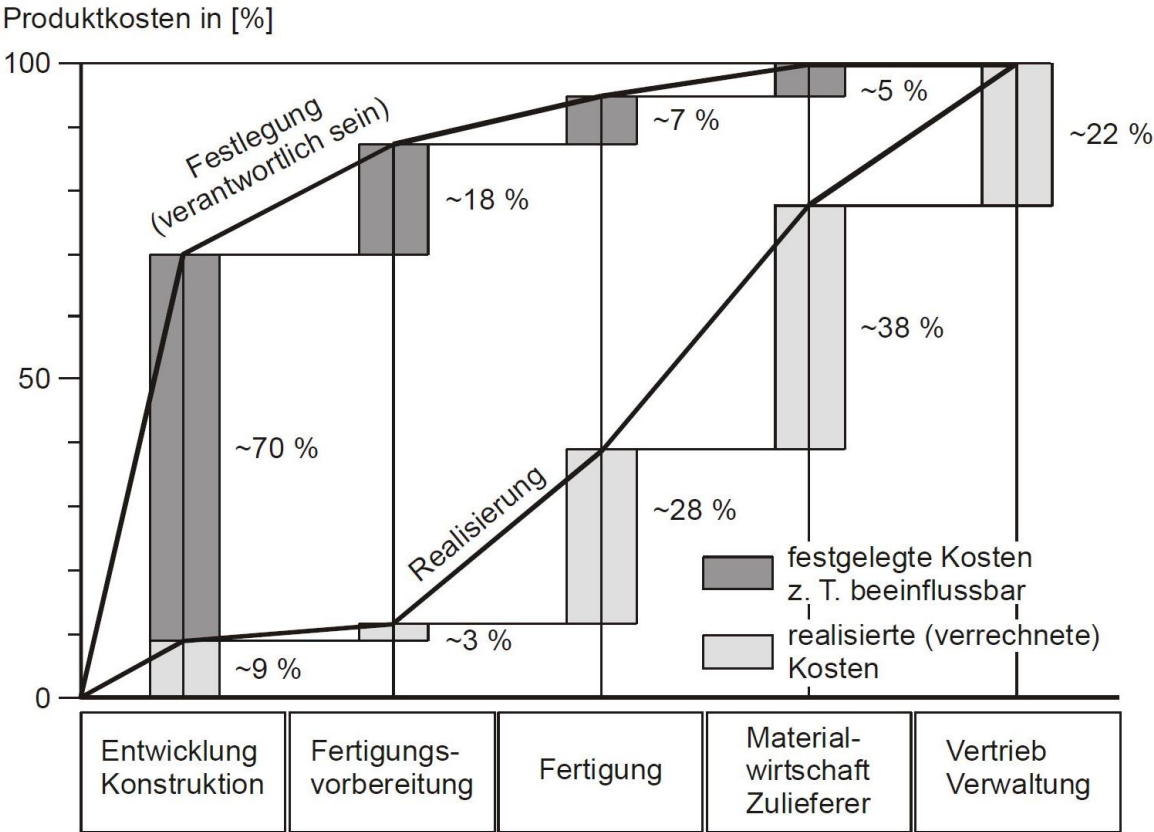


Abbildung 24: „Kostenfestlegung und Kostenentstehung in unterschiedlichen Unternehmensbereichen“ [50]

Durch die Anwendung von agilen Projektmethoden können somit bereits drei der vier in Abschnitt 3 genannten Voraussetzungen für einen erneuten Paradigmenwechsel abgeschlossen werden (Angepasste Finanzierungsstruktur, Einsparung der Entwicklungszeit und Kundenzentrierung).

3.2.1 Grundlegender Ordnungsrahmen

Als grundlegender Ordnungsrahmen für die agile Entwicklung von Werkzeugen wird im Folgenden die in Abschnitt 2.5 beschriebene agile Projektmethode Scrum verwendet. Scrum ist in der IT-Branche weit verbreitet und bietet den Vorteil, dass komplexe Produkte in einzelne Teilprodukte aufgeteilt und abgearbeitet werden können was unter dem Sprichwort „Cut the elephant into pieces“ [9] bekannt ist. Ziel ist es dabei, in jedem sogenannten Sprint ein funktionsfähiges Inkrement des zu erstellenden Produktes fertigzustellen. Durch die Aufteilung des Gesamtproduktes ist es möglich, dass wesentliche Bestandteile dieses Produktes in einer kürzeren Entwicklungszeit fertiggestellt werden und ggf. erste Umsätze durch eine frühzeitige Markteinführung erzielt werden können. Dies stellt eine Möglichkeit dar, Kosten in den frühen Phasen des Produktlebenszyklus zu kompensieren und Kunden mit dem Produkt vertraut zu machen. Die WBA hat 2017 in Kooperation mit dem Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen eine Studie zum Thema „Agile Tool Development“ veröffentlicht, in der in einem Pilotprojekt durch die agile Projektmethode Scrum die Werkzeugentwicklungs- und Konstruktionszeit für Stanzformen und Thermoformwerkzeuge einer Firma um 75 % reduziert werden konnten [9].

Wie schon beschrieben ist in Bezug auf den Werkzeugbau das herzustellende Produkt in erster Linie das Werkzeug selbst. Allerdings besteht eine unmittelbare Verbindung zwischen Werkzeug und Endprodukt, sodass Änderungen des Einen sich zwangsweise auf das jeweils Andere auswirken. Soll ein Werkzeug mit der agilen Methode Scrum hergestellt werden, so ist zu bedenken, dass das in einem Sprint hergestellte Teilwerkzeug funktionstüchtig sein muss. Es muss also eine Formgebung mit diesem Werkzeug möglich sein. Zusätzlich ist zu bedenken, dass das Endprodukt nach der Umformung durch das Teilwerkzeug u. U. manuell oder durch weitere, einzelne, formgebende Verfahren in seine endgültige Form gebracht werden muss. Es besteht somit also nicht nur die Herausforde-

rung des Aufteilens eines Werkzeuges, sondern auch eine möglichst effiziente Wahl bezüglich der Reihenfolge der Entwicklung der einzelnen Teilwerkzeuge zu treffen, um ein funktionsfähiges Produkt abzuliefern.

3.2.2 Ablauf des agilen Entwicklungsprozesses

Für die Entwicklung und Konstruktion von Werkzeugen mit der agilen Methode Scrum werden, wie in Abschnitt 2.5.1 beschrieben, der Product Owner, der Scrum Master und das Development Team benötigt. Das Development Team sollte als interdisziplinäre Gruppe Mitarbeiter aus allen beteiligten Abteilungen und ggf. Lieferanten umfassen. Für die Konstruktion von Werkzeugen kann dies bedeuten, dass das Team aus einem Werkzeugkonstrukteur, einem Produktentwickler, einem Fertigungstechnologen, einem Simulationsspezialisten, einem Mitarbeiter der Kostenabteilung, dem Werkzeugbauer, einem Einrichter und einem Blue Collar besteht. Diese acht Mitarbeiter besitzen genug Knowhow, um die vollständige Entwicklung und Konstruktion von Werkzeugen durchzuführen. Sollten für Entwicklungsphasen externe Mitarbeiter benötigt werden, können auch diese Mitarbeiter ein Teil des Development Teams werden. Es muss allerdings während des Projektes Rücksicht auf die Mitarbeitergruppe der Einrichter und der Blue Collar genommen werden, da die operative Produktivität dieser Mitarbeiter während des Projektes nicht gegeben ist und u. U. die Akzeptanz innerhalb der Mitarbeitergruppe gestört werden könnte. Aus diesem Grund ist es ratsam, diese Mitarbeiter während des Projektes nur zu bestimmten Phasen hinzu zu ziehen und diese ggf. durchzutauschen. Für die Effektivitätssteigerung bietet es sich zusätzlich an, innerhalb des Development Teams kleine fachspezifische Gruppen (Tandems) zu bilden, um die Zusammenarbeit noch weiter zu fokussieren. Diese Tandems können bspw. aus dem Werkzeugbauer und dem Werkzeugkonstrukteur, dem Fertigungstechnologen und dem Simulationsspezialisten und nach Bedarf zeitweise zwischen dem Werkzeugkonstrukteur und dem Einrichter beziehungsweise Blue Collar bestehen.

Die Entwicklung von Produkten mit der agilen Methode Scrum verläuft dabei wie in Abschnitt 2.5.1 beschrieben, wobei der ursprüngliche Sprintzeitraum über die vorgeschlagene Maximaldauer von vier Wochen hinausgeht. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass aus jedem Sprint ein funktionsfähiges Werkzeug entstehen muss, das anders als in der IT-Branche üblich ein physisches Produkt darstellt.

In Abbildung 25 und Abbildung 26 ist der grobe Ablauf des Prozesses dargestellt, der die Aufgabe der Entwicklung von mehreren monofunktionalen Werkzeugen in Alternative 1 respektive eines multifunktionalen Werkzeuges in Alternative 2 mit Hilfe von Scrum vorsieht. Dabei ist bei der Präsentation des Product Backlogs zu entscheiden, welche Art an Werkzeugen entwickelt werden soll.

Bei der Entwicklung von monofunktionalen, formatvariablen Werkzeugen wird nach der Auswahl der Aufgaben aus dem Product Backlog der Sprint über einen bestimmten Zeitraum gestartet in dem die in Abbildung 25 dargestellten Phasen durchgeführt werden. Für die übergeordnete Phase der Entwicklung und Konstruktion bietet sich dabei die Methode der VDI 2221 als übersichtliche und verbreitete Methode an. Nach Abschluss ist ein fertiges Werkzeug vorhanden, das eine Teilaufgabe der Gesamtanforderung übernimmt.

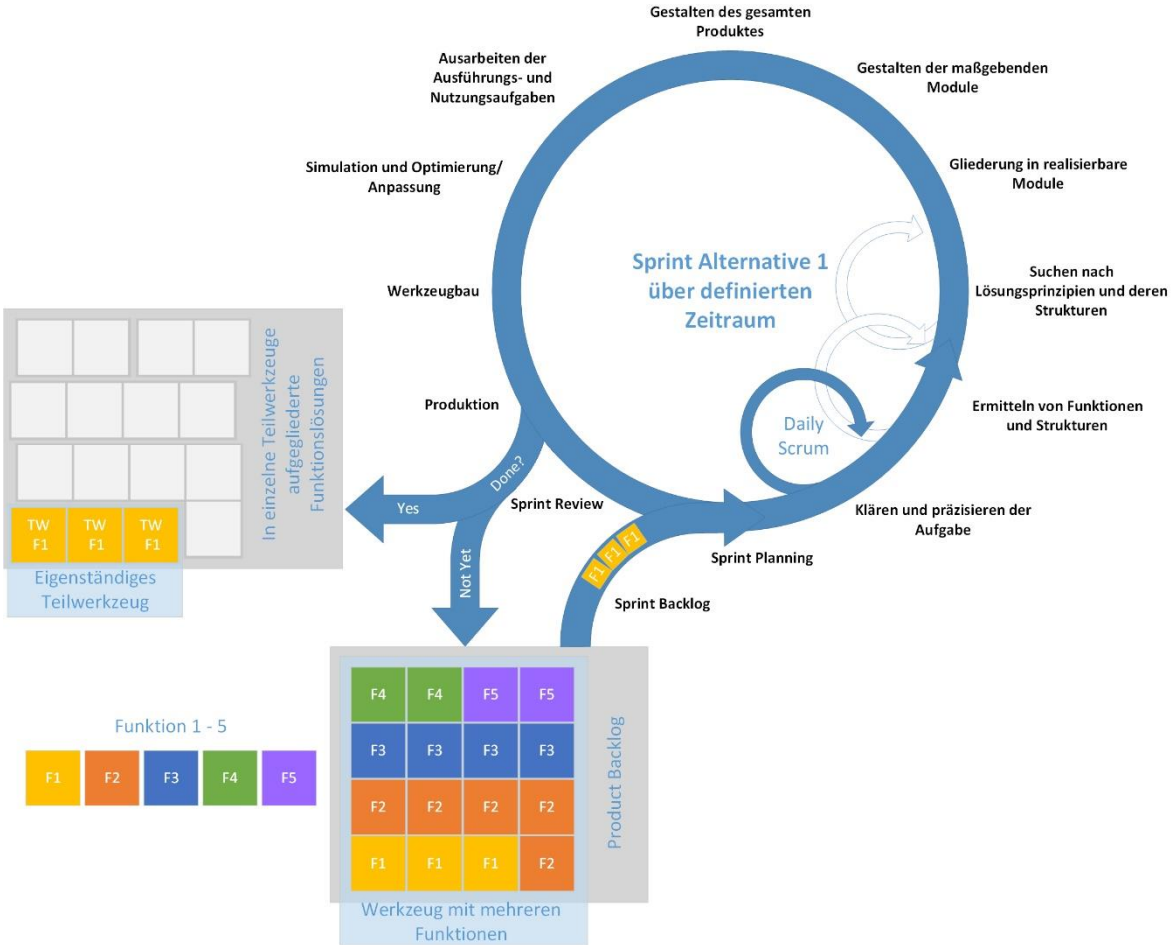


Abbildung 25: Sprintalternative 1: Integration der VDI 2221 in ein agiles Scrum-Grundgerüst

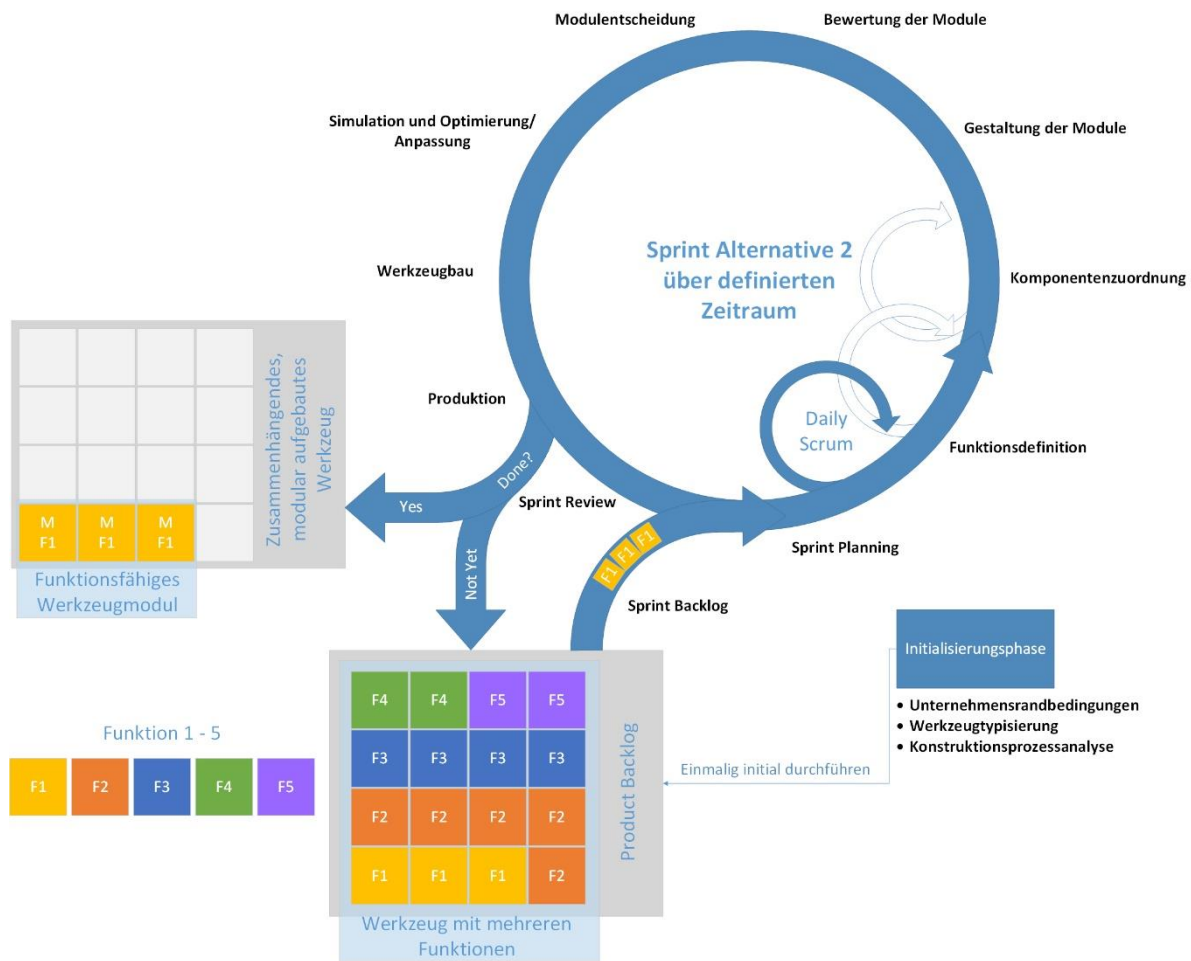


Abbildung 26: Sprintalternative 2: Integration der von W. Boos erstellten Entwicklungsmethodik in ein agiles Scrum-Grundgerüst

Bei der agilen Entwicklung von multifunktionalen, modularen Werkzeugen ist das von W. Boos konzipierte Verfahren zur Entwicklung modularer Werkzeuge [42], wie es in Abschnitt 3.1 beschrieben wurde, in Kombination mit Scrum (Abbildung 26) eine geeignete Alternative zur Kombination der VDI 2221 mit Scrum (Abbildung 25). Die mit dieser Methode einhergehende Bewertung der einzelnen Module führt dabei zu einer fundierten Modulauswahl. Die in der Initialisierungsphase wird nur einmalig bei der ersten Anwendung der Methode durchgeführt, wobei die erhaltenen Ergebnisse als Grundlage für die folgende Anwendungsphase dienen. Danach wählt das Development Team die erste zu realisierende Funktion aus und verschiebt sie in das Sprint Backlog, auf Basis dessen das Sprint Planning startet. Sind die Planungen abgeschlossen startet die verkürzte Anwendungsphase, bei der der Schritt „Anforderungsableitung“ im Vergleich zu der von Boos beschriebenen Anwendungsphase wegfällt. Die Anforderungsableitung muss bei der Entwicklung von Produkten in Scrum vor der Erstellung des Product Backlogs stattfinden, da

das Product Backlog auf diesen Informationen aufbaut. Tieferegehende Funktionsausarbeitungen und Anpassungen der Anforderungen können während des Sprints oder in einer erneuten Iteration durchgeführt werden. Nach Abschluss des Sprints, in dem neben der verkürzten Anwendungsphase auch die Simulation, Fertigung und Erprobung durchlaufen wird, steht ein funktionsfähiges Werkzeugmodul bereit. Nach einem Sprint Review, in dem die Ergebnisse und der Ablauf des vorangegangenen Sprints reflektiert werden, kann ein neuer Sprint vorbereitet und durchgeführt werden, bis letztendlich alle Werkzeugmodule konstruiert und gefertigt wurden.

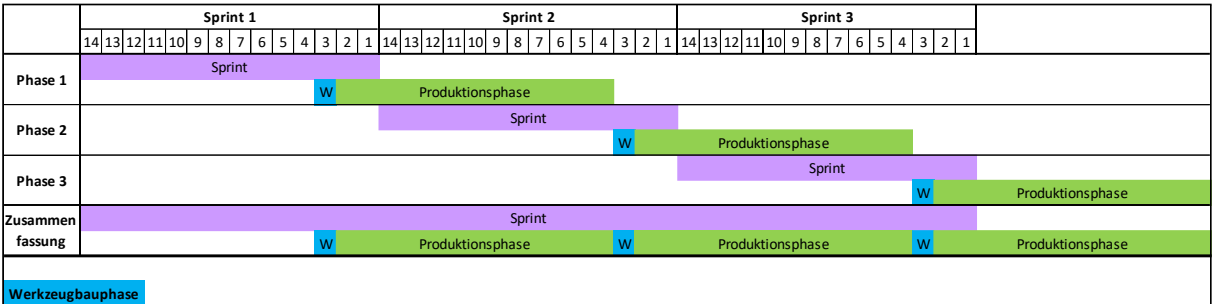


Abbildung 27: Aneinanderreihung von Sprintphasen, Werkzeugbauphasen und Produktionsphasen anhand der Sprintalternative 1

Die in Abbildung 25 und Abbildung 26 dargestellten Sprintzyklen führen durch die Iteration der Werkzeugentwicklung und dem regelmäßigen Werkzeugbau, wie in Abbildung 27 dargestellt, zu einer nahezu kontinuierlichen Produktionsphase nach Abschluss des ersten Sprints. Die Produktionsphasen werden dabei lediglich durch die Werkzeugbauphasen von jeweils einer Woche unterbrochen. Durch die frühzeitige Produktion von Endprodukten ist es möglich, Produkte früh auf dem Markt zu platzieren, eine erste Kundenbindung zu schaffen und in geregelten Zyklen Verbesserungen anzubieten.

Die Umsetzung entspricht in etwa den „Facelifts“ der einzelnen Fahrzeugvarianten in der Automobilbranche bei einer deutlich schnelleren Taktung oder den zahlreichen Versionsgestaltungen bei Bildschirmen oder Fernsehern. Dadurch, dass je Projekt das Scrum Team unverändert bleibt, ist die Bindung an das gestaltete Werkzeug (Produkt, aber auch Endprodukt) sehr hoch. Sowohl Probleme, die im vorangegangenen Sprint aufgetreten sind, als auch das frühe Userfeedback werden vom Team transparent besprochen und können für den nächsten Sprint berücksichtigt werden. Im Folgenden wird in Abbildung 28 und Abbildung 29 ein zeitlicher Ablauf der durchzuführenden Sprints der Sprintalternative 1 und Sprintalternative 2. Die dargestellten Zeiten sind rein exemplarisch und können je

nach Aufgabenstellung stark variieren. Zusätzlich ist die Verantwortung der einzelnen Team Mitgliedern während der einzelnen Entwicklungsschritte mit Hilfe der *RASCI-Methode* dargestellt. Die RASCI-Methode schafft dabei eine visuelle Zuordnung von Personen, Aufgaben und Verantwortung und leitet sich aus den englischen Begriffen Responsible (verantwortlich für die Durchführung der Teilaufgabe), Accountable (verantwortlich für das Gesamtprojekt), Supportive (unterstützende Tätigkeit in der Durchführung der Teilaufgabe), Consulted (beratende Funktion in der Durchführung der Teilaufgabe) und Informed (erhält lediglich Informationen über die durchgeführten Schritte der Teilaufgabe) ab. Im jeweils letztem Schritt der beiden Verfahren findet die Produktion parallel zum Sprint Review und dem Sprint Planning statt. Dabei sind nur wenige Teammitglieder noch aktiv in die Produktion eingebunden und stehen hauptsächlich beratend zur Verfügung. Im parallel stattfindenden Sprint Review und Sprint Planning sind jedoch alle Teammitglieder vorgesehen. Bei der von Boos erstellte Methodik ist eine einmalig durchzuführende Initialisierungsphase, sowie eine Anforderungsableitung vorgesehen. Beide Phasen gehören, wie auch in Abbildung 26 dargestellt, nicht zum Sprint, da die Anforderungsableitung bspw. bereits vor der Product Backlog Erstellung abgeschlossen sein

RASCI Verantwortungsverteilung für die Entwicklungsmethodik der Sprintalternative 1																																																																																																																						
Verb. Wochen	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1																																																																																																								
Product Owner	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																																																																																																								
Scrum Master	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	I	S																																																																																																								
Werkzeug-Konstrukteur	R	I	S	R	R	R	R	R	S	R	C	C	C	R																																																																																																								
Werkzeugbau- Ingenieur	R	I	C	S	S	S	S	S	C	S	C	R	C	R																																																																																																								
Fertigungstechnologe	R	I	C	I	S	S	I	I	C	C	S	C	S	R																																																																																																								
Simulations Ingenieur	R	I	C	C	C	C	I	I	I	I	R	C	C	R																																																																																																								
Finanzspezialist	R	S	I	I	I	I	I	I	I	I	I	C	I	R																																																																																																								
Produktentwickler	R	R	R	I	I	I	C	C	R	S	I	I	I	R																																																																																																								
Einrichter		I	I	C	C	C	S	S	I	S	C	C	I																																																																																																									
"Blue Collar"		I	I	I	I	I	C	C	C	C	I	I																																																																																																										
<table border="0"> <tr> <td>RASCI Legende</td> <td>Sprint-Planning</td> <td>Klären und präzisieren der Aufgabe</td> <td>Ermitteln von Funktionen und Strukturen</td> <td>Suchen nach Lösungsspriziblen und deren Strukturen</td> <td>Gliederung in realisierbare Module</td> <td>Gestalten der maßgebenden Module</td> <td>Gestalten der mäßigebenden Module</td> <td>Gestalten des gesamten Produktes</td> <td>Ausarbeiten der Ausfürungs- und Nutzungsaufgaben</td> <td>Simulation und Optimierung/Anpassung</td> <td>Werkzeugbau</td> <td>Produktion</td> <td>Sprint-Review</td> <td>Sprint-Planning</td> </tr> <tr> <td>R Responsible</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A Accountable</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S Supportive</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C Consulted</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I Informed</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>T Team</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>														RASCI Legende	Sprint-Planning	Klären und präzisieren der Aufgabe	Ermitteln von Funktionen und Strukturen	Suchen nach Lösungsspriziblen und deren Strukturen	Gliederung in realisierbare Module	Gestalten der maßgebenden Module	Gestalten der mäßigebenden Module	Gestalten des gesamten Produktes	Ausarbeiten der Ausfürungs- und Nutzungsaufgaben	Simulation und Optimierung/Anpassung	Werkzeugbau	Produktion	Sprint-Review	Sprint-Planning	R Responsible															A Accountable															S Supportive															C Consulted															I Informed															T Team														
RASCI Legende	Sprint-Planning	Klären und präzisieren der Aufgabe	Ermitteln von Funktionen und Strukturen	Suchen nach Lösungsspriziblen und deren Strukturen	Gliederung in realisierbare Module	Gestalten der maßgebenden Module	Gestalten der mäßigebenden Module	Gestalten des gesamten Produktes	Ausarbeiten der Ausfürungs- und Nutzungsaufgaben	Simulation und Optimierung/Anpassung	Werkzeugbau	Produktion	Sprint-Review	Sprint-Planning																																																																																																								
R Responsible																																																																																																																						
A Accountable																																																																																																																						
S Supportive																																																																																																																						
C Consulted																																																																																																																						
I Informed																																																																																																																						
T Team																																																																																																																						

Abbildung 29: Exemplarische RASCI Verantwortungsverteilung über verschiedene Mitarbeiter, Sprintphasen und Sprintzeiten der Sprintalternative 1

RASCI Verantwortungsverteilung für die Entwicklungsmethodik der Sprintalternative 2																																																																																																															
Verb. Wochen	/	/	/	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1																																																																																																	
Product Owner	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																																																																																																	
Scrum Master	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	I	S																																																																																																	
Werkzeug-Konstrukteur	R	R	I	R	R	R	R	R	R	R	C	C	C	R																																																																																																	
Werkzeugbau- Ingenieur	R	R	I	R	S	S	S	S	S	S	C	R	C	R																																																																																																	
Fertigungstechnologe	I	I	I	R	C	C	S	S	S	C	S	S	C	R																																																																																																	
Simulations Ingenieur	I	I	I	R	C	I	C	C	S	C	R	C	C	R																																																																																																	
Finanzspezialist	R	R	S	R	I	I	I	I	S	C	I	C	I	R																																																																																																	
Produktentwickler	R	R	R	R	I	I	I	I	S	C	I	I	I	R																																																																																																	
Einrichter				I		I	C	C	C	S	C	C	C	I																																																																																																	
"Blue Collar"				I		I	I	I	I	S	C	C	I	I																																																																																																	
<table border="0"> <tr> <td>RASCI Legende</td> <td>Initialisierungsphase</td> <td>Anforderungsableitung</td> <td>Sprint-Planning</td> <td>Funktionsdefinition</td> <td>Komponentenzuordnung</td> <td>Gestaltung der Module</td> <td>Bewertung der Module</td> <td>Modultrennung</td> <td>Simulation und Optimierung/Anpassung</td> <td>Werkzeugbau</td> <td>Produktion</td> <td>Sprint-Review</td> <td>Sprint-Planning</td> </tr> <tr> <td>R Responsible</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A Accountable</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S Supportive</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C Consulted</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I Informed</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>T Team</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>														RASCI Legende	Initialisierungsphase	Anforderungsableitung	Sprint-Planning	Funktionsdefinition	Komponentenzuordnung	Gestaltung der Module	Bewertung der Module	Modultrennung	Simulation und Optimierung/Anpassung	Werkzeugbau	Produktion	Sprint-Review	Sprint-Planning	R Responsible														A Accountable														S Supportive														C Consulted														I Informed														T Team													
RASCI Legende	Initialisierungsphase	Anforderungsableitung	Sprint-Planning	Funktionsdefinition	Komponentenzuordnung	Gestaltung der Module	Bewertung der Module	Modultrennung	Simulation und Optimierung/Anpassung	Werkzeugbau	Produktion	Sprint-Review	Sprint-Planning																																																																																																		
R Responsible																																																																																																															
A Accountable																																																																																																															
S Supportive																																																																																																															
C Consulted																																																																																																															
I Informed																																																																																																															
T Team																																																																																																															

Abbildung 28: Exemplarische RASCI Verantwortungsverteilung über verschiedene Mitarbeiter, Sprintphasen und Sprintzeiten der Sprintalternative 2

sollte In beiden dargestellten Verantwortungsverteilungen sieht die vorletzte Woche die Produktion von Umformprodukten vor, auf Basis derer eine genauere Analyse der weiter anstehenden Aufgaben durchgeführt werden kann. Die Produktion mit dem fertiggestellten Werkzeug läuft auch während des nächsten Sprints weiter.

Der in Abbildung 30 dargestellte Tagesablauf beruht auf einer Kernzeit, in der das Team für andere Mitglieder erreichbar sein muss und das Daily Scrum Meeting durchgeführt wird, und Nebenzeiten, in denen im besten Fall Aufgaben erledigt werden, bei denen die anderen Teammitglieder nicht zwangsweise eingebunden werden müssen. Die Kernzeit ist dabei von Nöten, da, wie in Abbildung 30 dargestellt, die Arbeitszeiten der einzelnen Teammitglieder variieren können. Die Theorie der Scrum Methode sieht vor, dass während eines Sprints keine weiteren Aufgaben von Teammitgliedern zu erfüllen sind. Allerdings sind die angesetzten Zeiträume des Sprints im Werkzeugbau deutlich größer und wie in Abbildung 28 und Abbildung 29 dargestellt sind nicht immer alle Teammitglieder in Aufgaben eingebunden. Daher ist es Sinnvoll eine Kernzeit zu definieren, in der bei Bedarf ausschließlich für den Sprint gearbeitet wird. Die entstehende Nebenzeit sollte dabei je nach Verantwortung bezüglich der aktuellen Aufgabe themenbedingt ausgerichtet werden.

	Zeit	Product Owner	Scrum Master	Werkzeug-Konstrukteur	Werkzeugbau-Ingenieur	Fertigungstechnologe	Simulationsingenieur	Finanzspezialist	Produktentwickler	Einrichter	"Blue Collar"	
Nebenzeit	6:00 - 6:30					S						
	6:30 - 7:00					S	C					
	7:00 - 7:30					S	C					
	7:30 - 8:00			R		S	C					
	8:00 - 8:30	A		R	S	S	C			C	I	
8:30 - 9:00	A	S	R	S	S	C		I	C	I		
Kernzeit	9:00 - 9:30	A	S	R	S	S	C	I	I	C	I	
	9:30 - 10:00	A	S	R	S	S	C	I	I	C	I	
	10:00 - 10:30	A	S	R	S	S	C	I	I	C	I	
	10:30 - 11:00	A	S	R	S	S	C	I	I	C	I	
	11:00 - 11:30	A	S	R	S	S	C	I	I	C	I	
	11:30 - 12:00	Mittagspause										
	12:00 - 12:30	A	S	R	S	S	C	I	I	C	I	
	12:30 - 13:00	A	S	R	S	S	C	I	I	C	I	
	13:00 - 13:30	Daily Scrum										
	13:30 - 14:00	A	S	R	S	S	C	I	I	C	I	
	14:00 - 14:30	A	S	R	S	S	C	I	I	C	I	
14:30 - 15:00	A	S	R	S	S	C	I	I	C	I		
15:00 - 15:30	A	S	R	S	S	C	I	I				
Nebenzeit	15:30 - 16:00	A	S	R	S			I	I			
	16:00 - 16:30	A	S	R	S			I	I			
	16:30 - 17:00	A	S		S			I	I			
	17:00 - 17:30		S					I	I			
	17:30 - 18:00							I				

RASCI Legende R Responsible A Accountable S Supportive C Consulted I Informed

Abbildung 30: Exemplarische Zeiteinteilung eines Arbeitstages verschiedener Mitarbeiter während eines Sprintvorgangs

3.2.3 Losgröße „1“ im agilen Werkzeugbau

Die Produktion von kleinen Losgrößen von Umformprodukten stellt für Unternehmen eine große wirtschaftliche Herausforderung dar. Da Umformwerkzeuge lediglich ihre eigene Form auf das Produkt übertragen können ist bei einem Produktwechsel zwangsweise ein Werkzeugwechsel nötig. Dieser Werkzeugwechsel ist im Vergleich zum Werkzeugwechsel in Zerspanungszentren deutlich zeitaufwändiger und stellt somit einen erheblichen Kostenpunkt dar. Am Beispiel der Kurbelpresse, die sich unter anderem durch sehr hohe Drehzahlen und somit einer schnellen Arbeitsweise auszeichnet, lässt sich gut erkennen, dass ein häufiges Rüsten eine Stärke dieser Pressenart aushebelt und die durch die Nebenzeit entstehenden Kosten nicht wieder eingefahren werden können. Aus diesem Grund ist die Losgröße „1“ bei dieser Pressenart auch bei kleinen Modulvarianzen wirtschaftlich gesehen nicht umsetzbar. Bei einer im Vergleich langsamen Hydraulikpresse nimmt der Werkzeugwechsel im Verhältnis zur Verfahrszeit des Stößels deutlich weniger Zeit ein. Der limitierende Zeitraumen stellt dabei die Summe der Verfahrszeiten und die Verweilzeit im oberen Totpunkt während des Auswerfens und dem Einlegen des Rohteils dar. In dieser Zeit müssen Teile des Werkzeuges manuell oder automatisiert gewechselt oder angepasst werden können. Dieser Prozess muss robust gestaltet werden, da bei einer Fehlpositionierung ggf. Schäden am restlichen Werkzeug entstehen können. Damit dies sinnvoll umsetzbar ist muss diese Randbedingung bei der Entwicklung des Produktes und der Konstruktion des Werkzeuges mit bedacht werden.

Ist neben der Losgröße „1“ auch eine weitere Individualisierung der zu fertigenden Produkte, wie bspw. das Prägen eines Symbols oder einer Unterschrift, gefordert, kann dies im ungünstigsten Fall bedeuten, dass das für die Individualisierung zuständige Werkzeugmodul lediglich ein einziges Mal verwendet wird. Das bedeutet, dass die Werkzeugkosten vollständig auf das damit gefertigte Produkt umgelegt werden müssen. Auch diesen Aspekt gilt es bei der Produktentwicklung und Werkzeugkonstruktion zu beachten.

4 Feedback der Wirtschaft

Um ein Feedback bezüglich der Umsetzung des ausgearbeiteten Teilkonzeptes zu erhalten, wurden Vertreter aus der Wirtschaft mittels Online-Umfrage und Interviews befragt.

4.1 Online-Umfrage

In der erstellten Online-Umfrage galt es die Verbreitung von agilen Projektmethoden im Maschinen- bzw. Werkzeugbau und das Wissen über diese Methode zu erfassen. Zusätzlich wurde in der Umfrage die Meinung über die Idee der Losgröße „1“ in der Umformtechnik erfragt. Die Umfrage wurde erstmals auf dem Forum der NORTEC-Messe am 25.01.2018 vorgestellt und später direkt per E-Mail und über E-Mail-Verteiler verbreitet. Abschluss der Umfrage war am 31.03.2018 mit fünf auswertbaren Umfrageteilnahmen.

Es ist zu beachten, dass mit dieser Umfrage nur eine sehr kleine Anzahl an Teilnehmern erreicht wurde. Die Ergebnisse sind somit nicht repräsentativ, sondern können lediglich eine Tendenz aufzeigen.

Im Anschluss werden essentielle Abschnitte der Umfrage präsentiert. Die vollständigen Ergebnisse der Umfrage befinden sich in Anhang 8.2.

Die Umfrage zeigt in Bezug auf die agilen Projektmethoden, dass ein Grundwissen über diese Methoden häufig bereits vorhanden ist. Wie in Abbildung 31 (A) zu sehen, haben bereits mindestens drei der fünf Teilnehmer mit agilen Projektmethoden gearbeitet, wobei Scrum und Kanban die am häufigsten genannten Methoden waren. Die Teilnehmer hatten die Möglichkeit weitere Methoden unter dem Punkt „Andere“ anzuführen. In diesem Fall wurde Design Thinking in dieser Kategorie eingetragen.

Auf die Frage ob es agile Projektmethoden gibt, die die Teilnehmer gerne einmal ausprobieren würden, wurden Scrum dreimal, Kanban zweimal und Adaptive Software Development einmal von den Teilnehmer genannt (Abbildung 31 B). Jeder Teilnehmer nannte mindestens eine agile Projektmethode, die er gerne ausprobieren würde, was eine generelle Offenheit und positive Einstellung gegenüber agilem Projektmanagement andeutet. Zwei der Teilnehmer, die Scrum als zukünftig interessante Methode angaben, haben bereits zuvor Erfahrungen mit Scrum gemacht.

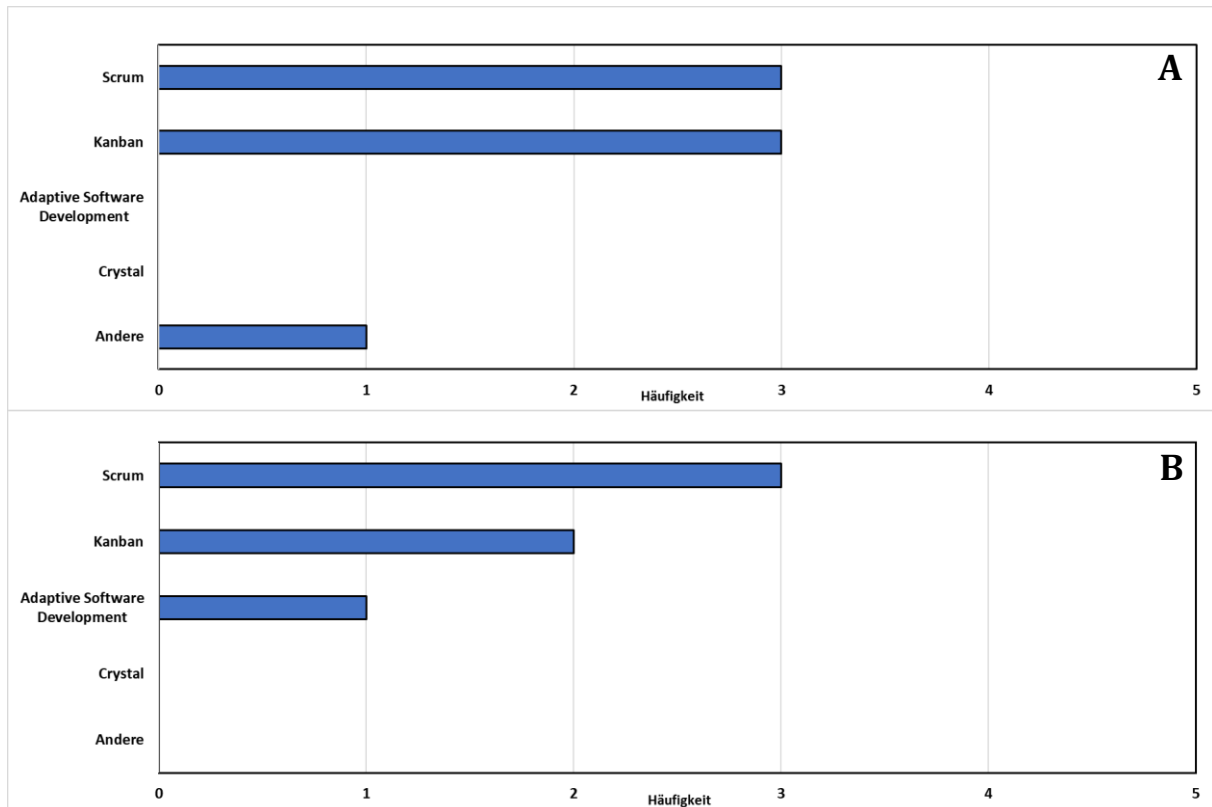


Abbildung 31: Ergebnisse der Frage zwei und vier der Online-Umfrage. Von fünf Umfrageteilnehmern beantwortet.

(A): 2. Sollten Sie bereits mit agilen Projektmethoden gearbeitet haben, welche waren es? (Mehrfachauswahl möglich)

(B): 4. Gibt es agile Projektmethoden, die Sie gerne ausprobieren würden? (Mehrfachauswahl möglich)

Die Teilnehmer schätzen die Chancen, dass Losgröße „1“ in der Umformtechnik zukünftig eine Rolle spielen wird, als eher gering ein. Drei der fünf Teilnehmer antworteten auf diese Frage mit „eher gering“, und lediglich ein Teilnehmer sah eher hohe Chancen in diesem Bereich (Abbildung 32 A).

Im Gegensatz zu der Losgröße „1“ ist die Einschätzung der Teilnehmer in Bezug auf die Chancen des modularen Werkzeugbaus zukünftig in der Umformtechnik eine Rolle zu spielen, neutral (ein Teilnehmer) bis positiv (vier Teilnehmer). Keiner der Teilnehmer schätzte die Chancen als gering ein (Abbildung 32 B).

Einfluss nehmend auf die Beantwortung dieser Frage waren sicherlich auch die Erfahrungen der verschiedenen Personen mit unterschiedlichen Pressentypen im Bereich der Umformtechnik.

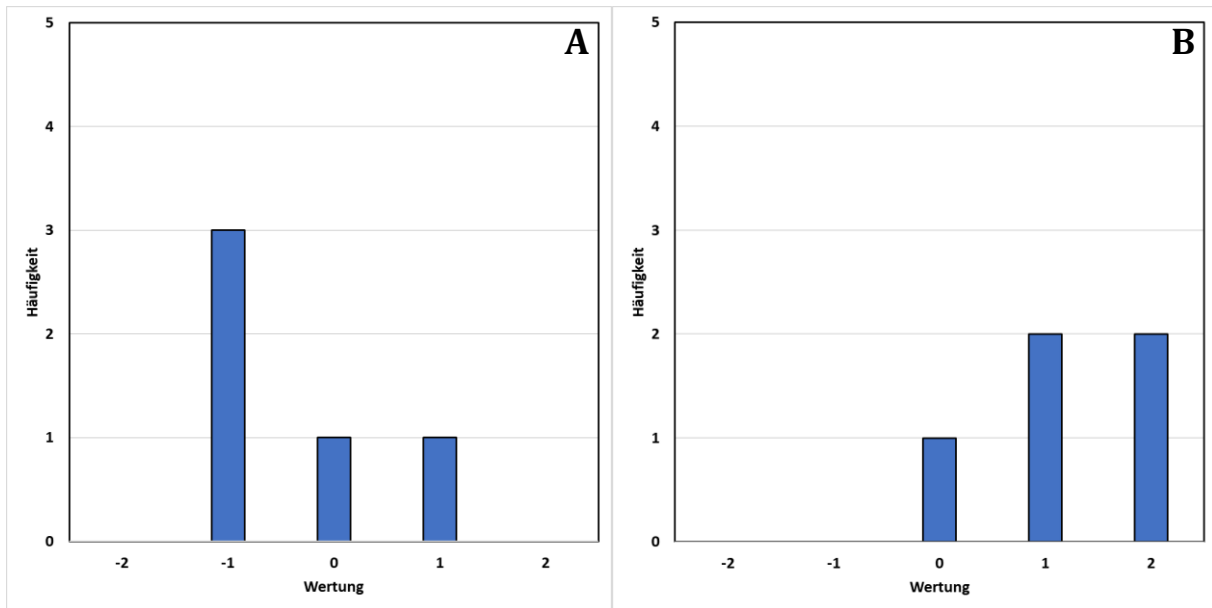


Abbildung 32: Ergebnisse der Frage sieben und acht der Online-Umfrage. Einteilung: Gering (-2) – (2) Hoch

(A): 7. Wie hoch sehen Sie die Chancen, dass Losgröße "1" in der Umformtechnik zukünftig eine Rolle spielen wird?

(B): 8. Wie hoch sehen Sie die Chancen, dass der modulare Werkzeugbau in der Umformtechnik zukünftig eine Rolle spielen wird?

Aus der Umfrage lässt sich abschließend folgern, dass agile Projektmethoden von Mitarbeitern aus der Wirtschaft als durchaus positiv betrachtet werden. Ebenso wird modularer Werkzeugbau als zukünftig interessant bewertet, wobei die Losgröße „1“ als weniger zukunftssträftig für die Umformtechnik eingeschätzt wird.

4.2 Interview

Während eines Interviews wurden vier Vertreter aus der Wirtschaft zum Thema agile Projektmethoden, der Produktion von Umformbauteilen in Losgröße „1“ und dem damit zusammenhängenden modularen Werkzeugbau befragt. Dabei wurde das im Rahmen dieser Bachelorarbeit erstellte Konzept vorgestellt und diskutiert.

Alle Interviewteilnehmer haben bereits Werkzeuge entweder vollständig neu- oder weiterentwickelt. Die Spanne an (weiter-)entwickelten Werkzeugen beinhaltete im Verbund eingesetzte multifunktionale Monoformatwerkzeuge mit den Funktionen Stanzen, Tiefziehen, Prägen, Bördeln, sowie komplexe Folgeverbundwerkzeuge im Automobilbereich.

Laut der Interviewteilnehmer wurden dabei keine speziellen Entwicklungsmethoden wie bspw. die VDI 2221 angewendet, sondern auf Erfahrungswerte und Intuition zurückgegriffen. Keiner der Teilnehmer hat bis dato agile Projektmethoden im Werkzeugbau genutzt, aber teilweise von Scrum gehört beziehungsweise im IT-Bereich Scrum bereits angewandt.

Der Anwendung von agilen Projektmethoden im Werkzeugbau standen die Interviewteilnehmer skeptisch gegenüber. Einerseits sei es ein sehr interessantes Konzept, das viele Möglichkeiten bereithalte, andererseits bestanden Zweifel an der Anwendbarkeit der Methoden bei physischen Bauteilen. Gerade die Entwicklung von funktionalen Teilwerkzeugen beziehungsweise Zwischenstufen erscheint im Werkzeugbau eine Problematik darzustellen. Es wurde angemerkt, dass die Anwendung von Scrum beispielsweise im Stadium der Simulation eines Werkzeuges förderlich sein könnte, da an diesem Punkt das Werkzeug lediglich in digitaler Form besteht und somit keine funktionalen physischen Zwischenschritte produziert werden müssen. Gerade in sicherheitsrelevanten Bereichen ist es essentiell, dass das ausgelieferte Werkzeug alle erforderlichen Kriterien perfekt erfüllt, wodurch die Produktion mit in Iterationsschritten befindlichen Werkzeugen nicht möglich ist.

Die Interviewteilnehmer beurteilten agile Projektmethoden als vielversprechend im Hinblick auf die Verwendbarkeit innerhalb einer Firma. Ein interdisziplinäres, speziell zusammengestelltes Team mit Fokus auf diese Aufgabe kann die Entwicklung des Werkzeuges vermutlich schnell und effizient betreiben. Sollte allerdings eine geringe Fertigungstiefe vorliegen, könnte es dazu kommen, dass durch die iterative Arbeitsweise zusätzliche Kosten bei Zulieferern entstehen. Dadurch würde die Akzeptanz der Methode geschwächt, beziehungsweise die Umsetzung von vornherein verhindert werden. Bei der Arbeit zwischen zwei Firmen muss außerdem das Risiko abgeschätzt werden, dass durch die fehlenden Lasten- und Pflichtenhefte Punkte wie Kosten und Anforderungen nicht endgültig definiert sind und es zu Streitigkeiten kommen kann.

Die Produktindividualisierung bis hin zu Losgröße „1“ wurde von den Interviewteilnehmern ebenfalls skeptisch betrachtet. Die Idee sei interessant und in gewissen Bereichen auch durchaus denkbar, zum Beispiel in Bereichen mit wenig Durchsatz, damit Zeit zum Wechseln des individualisierten Werkzeuges besteht. Allerdings müssten auch Rahmenbedingungen wie Zeit, Produktionskosten und „Man-power“ berücksichtigt werden, um

eine rentable Produktion zu ermöglichen. Zusätzlich ist bei individualisierten (personalisierten) Werkzeugen zu beachten, dass eine erhöhte Umweltbelastung auftreten kann, da die Gefahr besteht, dass diese Werkzeuge oder Werkzeugteile nur wenige Male eingesetzt werden. Sollte die Verfestigung des Bauteils durch Anwendung von Umformtechnik nicht notwendig sein, wäre es außerdem möglich, dass für personalisierte Produkte andere Fertigungsmethoden effizienter wären.

5 Werkzeuggrundgerüst für modularen Werkzeugbau

Als potentielle Versuchspresse steht die Hydraulikpresse HDP 7.1 der Firma Hymag am Institut für Produktionstechnik (IPT) der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) zur Verfügung. Diese Hydraulikpresse wurde im Jahr 1973 gebaut und erhielt im Frühjahr 2017 eine umfassende Rundumerneuerung, bei der u. A. die Maschinensteuerung und die Hydraulik vollständig erneuert wurden.

Die Stößelposition ist stufenlos einstellbar, wobei sowohl der obere als auch der untere Totpunkt manuell festlegbar sind. Durch eine interne Druckmessung ist es zusätzlich möglich die Stempelkraft (den Druck) der Presse zu limitieren.

Die Hydraulikpresse kann in einer doppelwirkenden Arbeitsweise eingesetzt werden, da neben dem oberen Hydraulikstempel zusätzlich ein Ziehkissen vorhanden ist. Der Arbeitsraum der Hydraulikpresse beträgt wie in Abbildung 33 zu sehen 800x800x500 mm (B/T/H). In Grundplatte und der oberen Aufspannplatte befinden sich vier T-Nuten mit einem Öffnungsmaß von 22 mm und einem Abstand von 150 mm zueinander. In der Grundplatte befinden sich zudem 35 Bohrungen mit einem Durchmesser von 43 mm, die bspw. für die Auswerferfunktion von Werkzeugen mittels Ziehkissen verwendet werden können. Die Kombination aus T-Nuten und Bohrungen stellt neben den Bauraum-Abmaßen einen limitierenden Aspekt für die Werkzeugkonstruktion und -Positionierung dar.

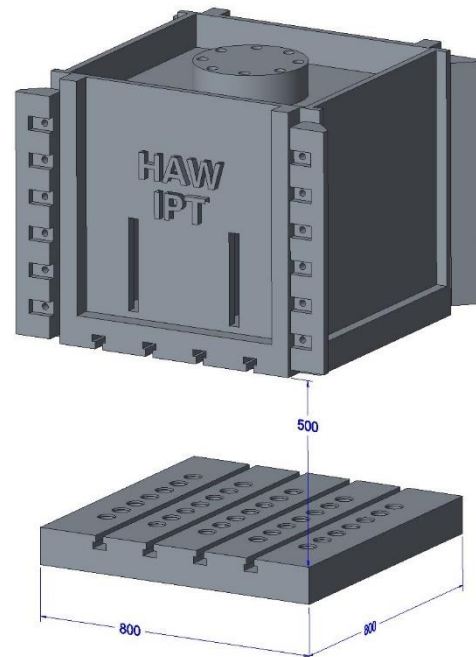


Abbildung 33: Oberer Stößel und Grundplatte der Hymag Hydraulikpresse an der HAW Hamburg. Der Arbeitsraum beträgt 800x800x500 mm bei einem maximalen Hub von 400 mm. Nennkraft der Presse beträgt 1000 kN.

Im Folgenden werden in Tabelle 5 die Maschinenkennwerte der Hymag Hydraulikpresse des IPTs dargestellt:

Tabelle 5: Maschinenkennwerte der HYMAG Hydraulikpresse der HAW Hamburg

Maschinentyp/ Baunummer	
Maschinentyp:	Hydraulische Presse
Hersteller/ Umrüster:	Hymag/ Wiechern Engineering
Baujahr/ Umrüstjahr:	1973/ 2017
Baunummer/ Inv. Nr.:	564-11
Maschinen- Leistungsdaten	
Antriebsleistung Hydraulik:	37,5 kW
Presskraft:	1000 kN
Hub:	400 mm
Maschinendokumentation	
Elektrische Steuerung:	E HDP 7.1 2017
Hydraulische Steuerung:	HS – S04 – E303
Sicherheitssystem – Sicherheitskategorie	
Eingreifschutz:	Lichtvorhang Kat. 4
Sicherheits-SPS:	Sicherheitskategorie 4 (DIN EN 954)
Elektrische Leistungsdaten	
Absicherung:	100 A
Betriebsspannung:	400 V
Netzfrequenz:	50 Hz

In einem an der HAW Hamburg durchgeführten Lernprojekt wurde im Wintersemester 2017 die Idee zur Fertigung eines Handyhalters als Giveaway entwickelt und ein erstes CAD Modell erstellt. Der in Abbildung 34 dargestellte Handyhalter ist eine auf dem ursprünglichen Konzept erstellte Weiterentwicklung. Die großen Oberflächen und die simple Fertigung des Handyhalters sowie die hohe Variantenvielfalt von Smartphones ermöglichen ein anschauliches Beispiel der Individualisierung von Produkten und der zu-

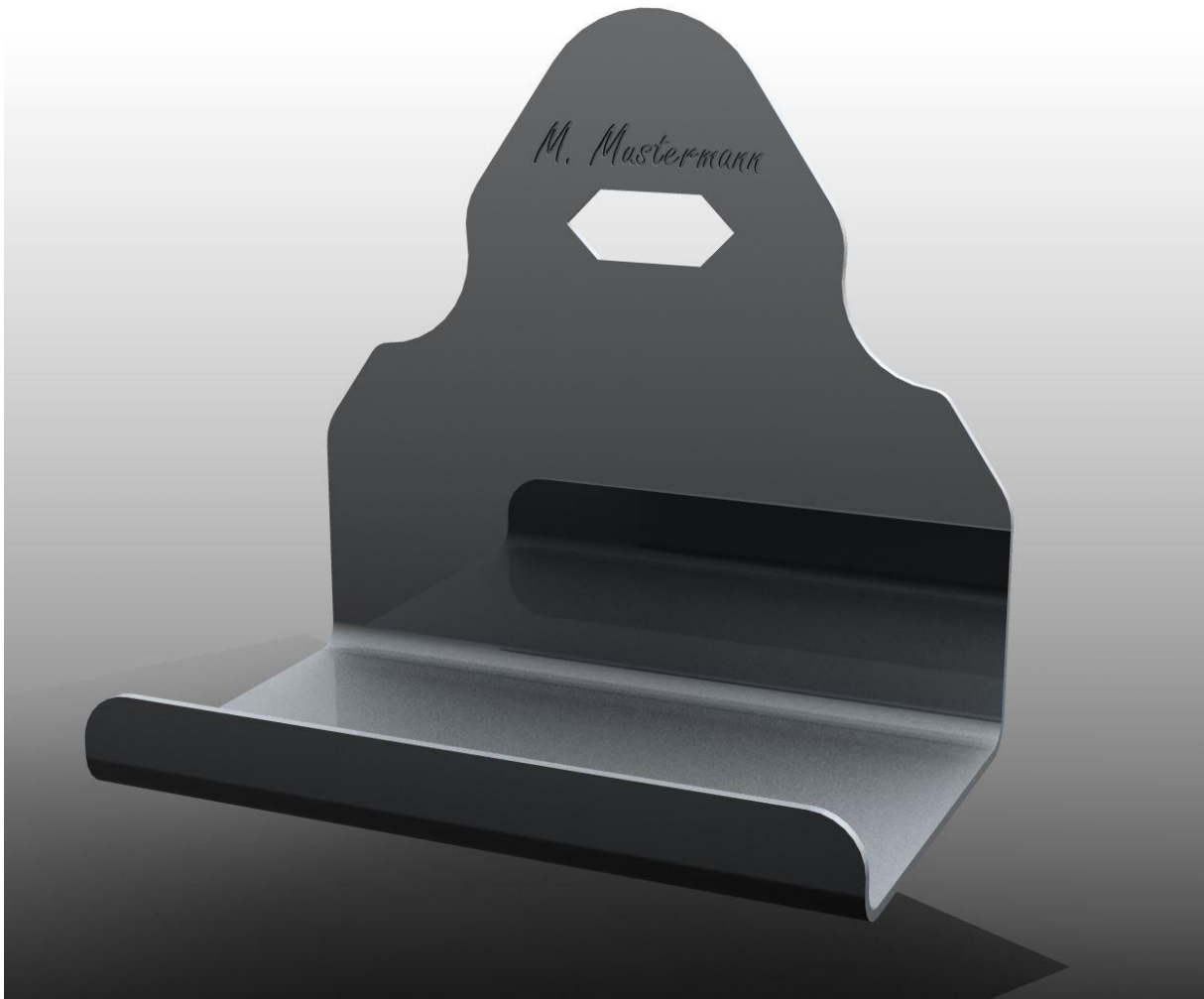


Abbildung 34: Konzept eines personalisierten Handyhalters. Angelehnt an die Entwicklung der Lernprojektgruppe des Wintersemesters 2017

gehörigen Modularisierung von Werkzeugen. Durch eine Variation der Maße der Ablagefläche und der Personalisierung der Prägung soll eine personalisierte Version des Handyhalters erzeugt werden.

Der Handyhalter ermöglicht die Ablage des Smartphones auf der Ablagefläche während des Ladevorgangs an der Steckdose. Der Stecker des Ladegeräts wird dabei durch die dargestellte Öffnung hindurch in die Steckdose gesteckt. Derzeit ist die Öffnung nach Maßen des genormten Eurosteckers (CEE 7/16) vorgesehen. Die Last des Smartphones wird dabei über den Formschluss des Steckers und die Klemmkraft zwischen Ladegerät und Steckdose aufgenommen. Um ein herunterhängen des Ladekabels zu verhindern, kann das Ladekabel um die eingebrachten Nuten gewickelt werden.

Vor der Umsetzung dieses Produktes sind Überprüfungen der elektrischen Unbedenklichkeit bei der Nutzung durchzuführen und ggf. Änderungen an dem Handyhalter vorzunehmen.

Im Folgenden werden grundlegende, vereinfachte Werkzeugkonzepte zur Herstellung des Handyhalters vorgestellt, wobei besonders die Möglichkeit der individuellen Gestaltung des Produktes berücksichtigt wird. Die Gestaltung der Werkzeuge ist dabei unvollständig, da unter Umständen benötigte Niederhalter, Säulengestelle, Werkzeugaufnahmen und Auswerfer nicht mit dargestellt werden. Als Ausgangsmaterial für den Handyhalter wird von einem Blech einer gut umformbaren Aluminiumlegierung wie bspw. AlMg3 H22 ausgegangen.

Der erste Fertigungsschritt ist das Ausstanzen des Handyhalter-Rohlings, bei dem gleichzeitig eine individualisierte beziehungsweise personalisierte Prägung geformt wird. Dies geschieht in diesem Beispiel nur im oberen Teil des Werkzeuges, kann jedoch auch für weitere Bereiche angedacht werden. Das Konzept des Stanzwerkzeuges ist in Abbildung 35 dargestellt und besteht dabei aus einem Ober- und Unterwerkzeug, das in diesem Fall keine Variation der Breite des Handyhalters zulässt. Ist eine Variation der Breite gewünscht, so muss über die standardisierten Schnittstellen zur Werkzeugaufnahme ein neues Werkzeug mit einer anderen breite eingesetzt werden. Eine Alternative Lösung dieses Problems wäre möglicherweise der Aufbau des Werkzeuges als einzelne Baugruppe mit einem Satz an einzelnen, kombinierbaren Formteilen. Eine weitere, zu überprüfende Option wäre die Fertigung des Werkzeuges durch das Selektive Laser Schmelzen (SLM).

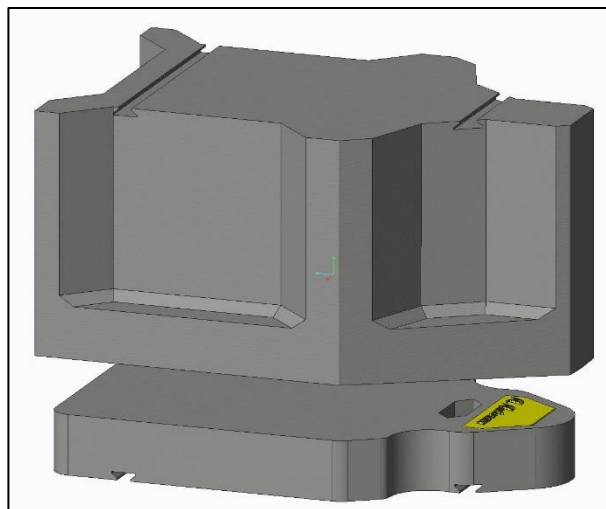


Abbildung 35: Vereinfachte Darstellung eines modularen Stanz- und Prägewerkzeuges

Da die Aufbaurate des RP-Verfahrens stark von der Pulverzusammensetzung ist und die Fertigungskosten dieser Methode vergleichsweise hoch sind, wäre es notwendig die Form des Stanzwerkzeuges volumentechnisch zu optimieren. Die Prägematrize ist bei diesem Werkzeug als eingelegte, schnell wechselbare Metallplatte vorgesehen, bei der die positive Prägung durch ein geeignetes RP-Verfahren auf die Platte aufgebracht wird. Die Platte selbst kann dabei je nach gewähltem RP-Verfahren ggf. wiederverwendet werden, indem die Prägung entweder durch mechanische oder chemische Vorgänge entfernt wird.

Der zweite Schritt stellt die Umformung der Stirn- und Rückseite des Handyhalters dar. Dies kann beispielsweise, wie in Abbildung 36 dargestellt, in einzelnen Kantvorgängen oder, wie in Abbildung 37 dargestellt, im Gesenk hergestellt werden. Beide Werkzeugarten besitzen zur Positionierung des gestanzten Halbzeugs einen Anschlag, der je nach Positionierungswunsch variiert werden kann. Die dargestellte Variante sieht eine einfache Steckvorrichtung vor, kann jedoch auch zum Beispiel durch einen Spindeltrieb automatisiert werden. Die automatisierte Version bietet u. A. die Vorteile, dass weniger Formatteile vorhanden sind und der Abstand zum Werkzeug stufenlos einstellbar wäre. Dies würde bei der Fertigungsalternative des Kantens zu einer frei wählbaren Tiefe und Positionierung der Ablagefläche des Handyhalters führen. Bei der Fertigungsvariante des Umformens im Gesenk führt die Veränderung des Anschlags lediglich zu einer Variation in

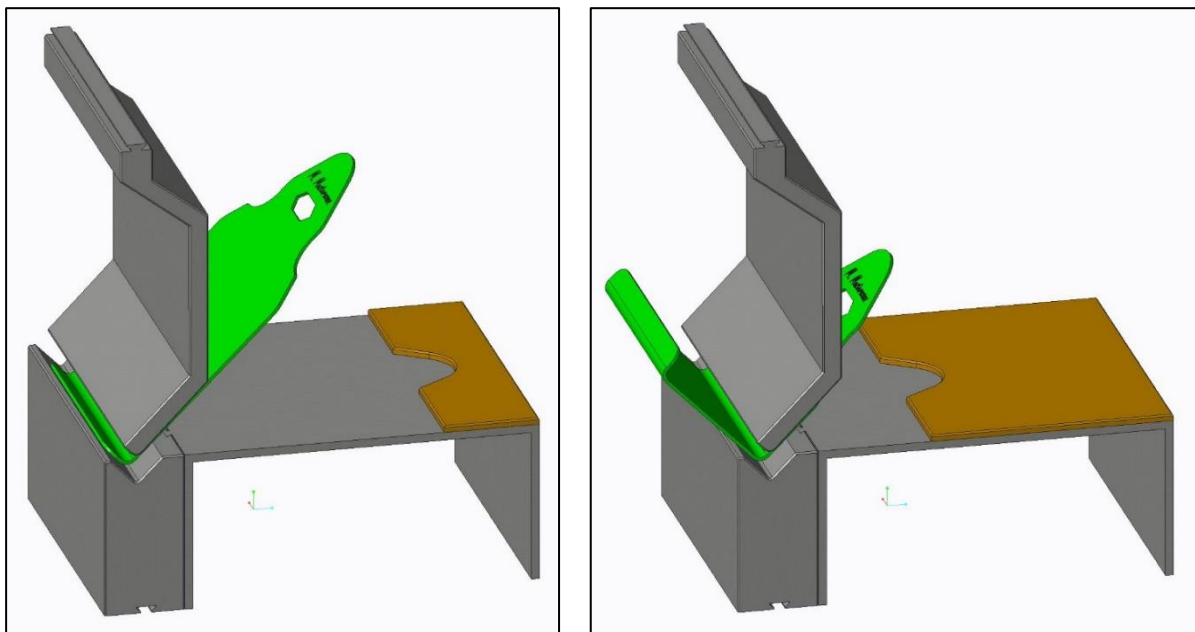


Abbildung 36: Vereinfachte Darstellung eines modularen Kantwerkzeuges zur Fertigung des Handyhalters in zwei Fertigungsschritten (Schritt 1, links; Schritt 2, rechts)

der Positionierung einer immer gleich tiefen Ablagefläche. Um auch bei dieser Fertigungsvariante die Tiefe der Ablagefläche variabel zu gestalten wäre es möglich das Gesenk quer zur Halbzeugausrichtung aufzuteilen und variabel verstellbar zu gestalten. Zusätzlich zum Gesenk muss die Breite des Stempels entsprechend der des Gesenks einstellbar gestaltet werden.

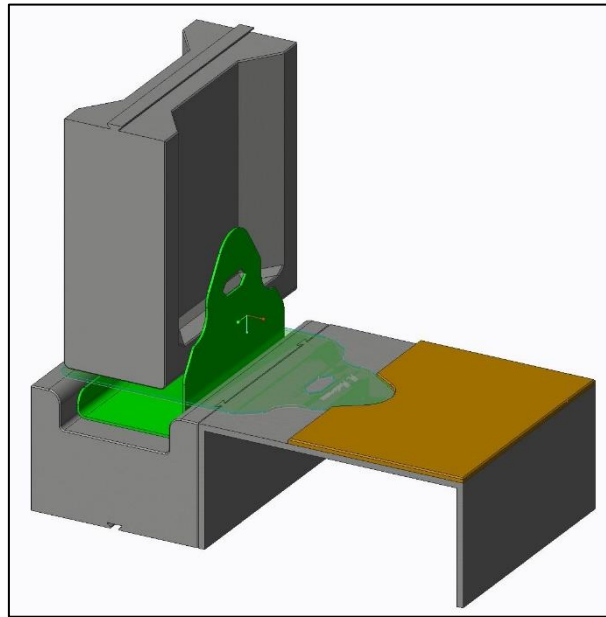


Abbildung 37: Vereinfachte Darstellung eines modularen Gesenkwerkzeuges für den Biegevorgang des Handyhalters in einem Fertigungsschritt

6 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden die Themenbereiche agile Projektmethoden, Modularität im Werkzeugbau und Produktindividualisierung behandelt.

Agile Projektmethoden bieten die vielversprechende Möglichkeit, mehr Freiheiten in einem strukturierten Arbeitsprozess zu integrieren. Die Ziele des Arbeitsprozesses sind definiert, erlauben aber eine kreative Gestaltung des Lösungsweges. Besonders vorteilhaft sind die kurzen Informations- und Entscheidungswege sowie kurz getaktete Iterationsvorgänge, welche effizientes Arbeiten ermöglichen. Dabei scheint vor allem die Kombination aus Design Thinking als Kreativmethode und Scrum als agile Umsetzungsmethode erfolgverheißend zu sein.

Während der Recherche, als Ergebnis einer Onlineumfrage sowie durch Interviews mit Vertretern aus der Wirtschaft konnte festgestellt werden, dass verschiedene Ansichten zum Thema Modularität im Werkzeugbau vertreten sind. Grundsätzlich findet Modularität im Werkzeugbau bereits in der freien Wirtschaft ihren Einsatz, jedoch aufgrund unterschiedlicher Faktoren nicht mit der Ausrichtung auf Losgröße „1“.

Die Produktindividualisierung bis hin zu Losgröße „1“ ist laut Recherchen ein gefragtes Thema, dessen Umsetzung jedoch nicht in allen Branchenbereichen vollständig realisierbar ist.

Die VDI 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ und die von Wolfgang Boos erstellte "Methodik zur Gestaltung und Bewertung von modularen Werkzeugen" stellen beide für den modularen Werkzeugbau anwendbare Methoden dar. Im Gegensatz zur VDI 2221 führt W. Boos zusätzlich zur Entwicklung modularer Werkzeuge auch eine wirtschaftliche Analyse des Unternehmens in Bezug auf den Werkzeugbau und abschließend eine Bewertung der erarbeiteten Module durch, wodurch diese Methodik erfolgsversprechender erscheint.

Sowohl die VDI 2221 als auch die von W. Boos erstellte Methodik wurden in dieser Bachelorarbeit in ein agiles Grundgerüst überführt. Die auf diese Weise aufgestellten Entwicklungsmethoden für einen agilen Werkzeugbau basieren bislang ausschließlich auf theoretischen Konzepten. Mit Abschluss dieser Bachelorarbeit werden diese Konzepte in Bachelorprojekten und Studienarbeiten an der HAW Hamburg und in Kooperation mit Unternehmen der freien Wirtschaft umgesetzt und erprobt.

7 Literatur

- [1] DIN Deutsches Institut Für Normung e.V.: Fertigungsverfahren - Begriffe, Einleitung 01.040.25; 25.020 DIN 8580.
- [2] DIN Deutsches Institut Für Normung e.V.: Fertigungsverfahren Umformen - Einordnung, Unterteilung, Begriffe, Alphabetische Übersicht 01.040.25; 25.020; 25.120.01 DIN 8582.
- [3] DIN Deutsches Institut Für Normung e.V.: Fertigungsverfahren Zerteilen - Einordnung, Unterteilung, Begriffe 01.040.25; 25.020; 25.120.99 DIN 8588.
- [4] Berger, U.; Hartmann, A.; Schmid, D.: Additive Fertigungsverfahren. Rapid prototyping, rapid tooling, rapid manufacturing, 1. Aufl. Haan-Gruiten 2013.
- [5] Gebhardt, A.: Additive Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping - Tooling - Produktion, 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage 2016.
- [6] Spur, G.; Schmoeckel, D.; Stöferle, T.: Umformen. Band 2/1. München 1983.
- [7] Doege, E.; Behrens, B.-A.: Handbuch Umformtechnik. Grundlagen, Technologien, Maschinen, 2. Aufl. s.l. 2010.
- [8] VDI Verein Deutscher Ingenieure: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte VDI 2221.
- [9] Boos, W.; Salmen, M.; Kelzenberg, C.; Lange, J. de; Stracke, F.: Corporate Tooling. Agile Tool Development (2017). Aachen.
- [10] Klocke, F.; König, W.: Fertigungsverfahren 4. Umformen, 5., neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg 2006.
- [11] Höhn, R.; Höppner, S.; Rausch, A.: Das V-Modell XT. Anwendungen, Werkzeuge, Standards. Berlin, Heidelberg 2008.
- [12] APMG International: PRINCE2 Agile®: Das Beste aus beiden Welten? In: Projekt Magazin (2016).
- [13] Cooper, R. G.: The seven principles of the latest Stage-Gate® method add up to a streamlined, new-product idea-to-launch process. URL: <https://www.stage-gate.com/>. Abrufdatum 18.02.2018.
- [14] Eversheim, W.; Bochtler, W.; Laufenberg, L.: Simultaneous Engineering. Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie. Berlin, Heidelberg 1995.
- [15] DIN Deutsches Institut Für Normung e.V.: Projektmanagement - Projektmanagementsysteme - Teil 5: Begriffe 03.100.40 DIN 69901-5.

-
- [16] VDI Verein Deutscher Ingenieure: Vorgehensweise bei der Erstellung von Lasten-/Pflichtenheften 03.120.10; 25.040.00; 55.220 (2001) VDI 2519.
- [17] Beck et al.: Manifesto for Agile Software Development. URL: <http://agilemanifesto.org/>. Abrufdatum 12.01.2018.
- [18] Pichler, R.: Scrum. Agiles Projektmanagement erfolgreich einsetzen, 1. Aufl. Heidelberg 2013.
- [19] Schwaber, K.; Sutherland, J.: Der Scrum Guide. Der gültige Leitfaden für Scrum: Die Spielregeln, Deutsche Ausgabe.
- [20] mm1 Consulting & Management PartG: Scrum. according to mm1. URL: <https://mm1.de/download-seite-scrum-und-scrumban/>. Abrufdatum 11.02.2018.
- [21] Wiechmann, R.: Single Wringable Neck. URL: <http://scrum-in-der-praxis.de/glossary/single-wringable-neck/>. Abrufdatum 30.01.2018.
- [22] Schliep, A.; Beck, P.: Scrum Guide und Skalierung: Teil 4 - Scrum Artefakte. URL: <https://www.dasscrumteam.com/blog/?mode=showNewsItem&id=139>. Abrufdatum 07.02.2018.
- [23] Scott W. Amber: User Stories: An Agile Introduction. URL: <http://www.agilemodeling.com/artifacts/userStory.htm#InitialFormal>. Abrufdatum 03.04.2018.
- [24] Hasso-Plattner-Institut (HPI): Was ist Design Thinking? URL: <https://hpi-academy.de/design-thinking/was-ist-design-thinking.html>. Abrufdatum 31.01.2018.
- [25] Brown, T.: Definition of design thinking. URL: <https://designthinking.ideo.com/?p=49>. Abrufdatum 31.01.2018.
- [26] Burmeister, M.: Design Thinking. die neue alte Kreativität. URL: <https://www.uid.com/de/aktuelles/hcd-design-thinking>. Abrufdatum 01.02.2018.
- [27] Kreativitätstechnik.info: Design Thinking. URL: <https://xn--kreativittstechniken-jzb.info/kreativitaetsframeworks/design-thinking/>. Abrufdatum 07.04.2018.
- [28] moysig retail design gmbh: Design Thinking Phasen 11. URL: <https://www.moysig.de>.
- [29] Grots, A.; Pratschke, M.: Design Thinking. Kreativität als Methode. In: Marketing Review St. Gallen (2009), S. 18–23.
- [30] Poguntke, S.: Design Thinking. URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/-2046631401/design-thinking-v4.html>. Abrufdatum 01.02.2018.

-
- [31] Lang, M. (Hrsg.): Dynamisches IT-Management. So steigern Sie die Agilität, Flexibilität und Innovationskraft Ihrer IT. Düsseldorf 2012.
- [32] Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST: Dünnschichtsensormesssystem für den Tiefziehprozess 2017 (2017).
- [33] Hering, E.; Schönfelder, G.: Sensoren in Wissenschaft und Technik. Funktionsweise und Einsatzgebiete, 2. Aufl. 2018 2018.
- [34] Tränkler, H.-R.; Reindl, L. M. (Hrsg.): Sensortechnik. Handbuch für Praxis und Wissenschaft. Berlin 2014.
- [35] HBM: Optische Dehnungsmessstreifen: Alles was Sie wissen müssen.
URL: www.hbm.com. Abrufdatum 01.02.2018.
- [36] produktion.de: Werkzeugbau der Zukunft trifft sich in Aachen - Interview mit Dr. Wolfgang Boos. URL: [http://www.wzlforum.rwth-aachen.de/_C12571ED003C17E6.nsf/html/016de56a0c5a3474c1257948004ad26f.html/\\$FILE/Werkzeugbau+der+Zukunft+trifft+sich+in+Aachen+_+Produktion+%96+Technik+und+Wirtschaft+f%FCr+die+deutsche+Industrie.pdf](http://www.wzlforum.rwth-aachen.de/_C12571ED003C17E6.nsf/html/016de56a0c5a3474c1257948004ad26f.html/$FILE/Werkzeugbau+der+Zukunft+trifft+sich+in+Aachen+_+Produktion+%96+Technik+und+Wirtschaft+f%FCr+die+deutsche+Industrie.pdf). Abrufdatum 04.02.2018.
- [37] Aachener Werkzeugbau Akademie: excellence in production. URL: http://institut-wv.de/wp-content/uploads/2017/07/076-048_excellence_14_wba.pdf. Abrufdatum 04.02.2018.
- [38] Kagermann, H.; Lukas, W.-D.: Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. URL: <https://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution>. Abrufdatum 05.02.2018.
- [39] KPMG AG; IFH Köln GmbH: Trends und Treiber im Sektor Consumer Markets. Thema: Produktindividualisierung (2017).
- [40] STAUFEN.AG: Industrie 4.0. Deutscher Industrie 4.0 Index 2017. URL: www.staufen.ag. Abrufdatum 06.02.2018.
- [41] Catharina Daum: Agile Maschinenentwicklung geht nicht? Geht doch!
URL: file:///D:/Dropbox/Uni%20Unterlagen/Semester%207/Bachelor%20Abschlussarbeit/Infos%20und%20Quellen/TRUMPF-Agile-Maschinenentwicklung-geht-nicht_-Geht-doch!.pdf. Abrufdatum 07.04.2018.
- [42] Boos, W.: Methodik zur Gestaltung und Bewertung von modularen Werkzeugen, Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2008. Aachen 2008.

- [43] Krause, D.; Gebhardt, N.: Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien. Hohe Produktvielfalt beherrschbar entwickeln. Berlin, Heidelberg 2018.
- [44] Gausemeier, J.; Ebbesmeyer, P.; Kallmeyer, F.: Produktinnovation. Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. München 2001.
- [45] Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung ; Methoden und Anwendung, 7. Aufl. Berlin, Heidelberg 2007.
- [46] Caesar, C.: Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte. Variant mode and effects analysis (VMEA), Zugl.: Aachen, Techn. Hochschule, Diss, Als Ms. gedr. Düsseldorf 1991.
- [47] Schuh, G.: Produktkomplexität managen. Strategien - Methoden - Tools, 2., überarb. und erw. Aufl. München, Wien 2005.
- [48] Rapp, T.: Produktstrukturierung. Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen, Zugl.: St. Gallen, Univ., Diss., 1999, 2. Aufl. Nordstedt 2010.
- [49] Schuh, G.: Innovationsmanagement. Handbuch Produktion und Management 3, 2., vollst. neu bearb. und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg 2012.
- [50] Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.; Mörtl, M.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung, 7. Aufl. Berlin 2014.

8 Anhang

- 8.1 Umfrage
- 8.2 Umfrageergebnisse
- 8.3 Interviewprotokolle
- 8.4 Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

8.1 Umfrage



Modularer Werkzeugbau und agile Projektmethoden

Seite 1

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich möchte mich sehr bei Ihnen für das Interesse an dieser Umfrage bedanken!

Mein Name ist Felix Ballhausen und ich studiere Maschinenbau mit der Vertiefung Produktionstechnik an der HAW Hamburg. Derzeit schreibe ich meine Bachelorarbeit zum Thema "Konzeption einer agilen Entwicklung von modularen Umformwerkzeugen". In diesem Rahmen möchte ich Sie gerne fragen, wie Ihre Erfahrungen mit modularem Werkzeugbau und/oder agilem Projektmanagement sind? Halten Sie die Themen für zukunftsträchtig oder verlaufen wir uns gerade? Welche Alternativen sehen Sie für die Zukunft der Umformtechnik?

Die Dauer der Umfrage beträgt ca. 10 Minuten.

Selbstverständlich werden alle Angaben vertraulich behandelt und nur für interne Zwecke verwendet. Es erfolgt keine Weitergabe an Dritte.

Gern siehe ich Ihnen für Feedback, Fragen und Anregungen unter felix.ballhausen@haw-hamburg.de zur Verfügung und bedanke mich für Ihre Teilnahme!

Beste Grüße

Felix Ballhausen

Seite 2

Auf dieser Seite möchte ich Sie gerne bezüglich Ihrer Erfahrungen mit agilem Projektmanagement befragen.
Auf der nächsten Seite folgt dann der modulare/flexible Werkzeugbau.

- Scrum
- Kanban
- Adaptive Product Development
- Crystal
- _____

Seite 3

Sind Sie im (Umform-) Werkzeugbau tätig?

- ja
- nein

Sind Sie bereits mit dem Thema "modularer Werkzeugbau" und/oder "Losgröße 1 in der Umformtechnik" in Berührung gekommen?

- Ja, mit dem modularen Werkzeugbau
- Ja, mit der Losgröße "1" in der Umformtechnik
- Ja, sowohl mit dem modularen Werkzeugbau als auch der Losgröße "1" in der Umformtechnik
- Nein, weder noch

Haben Sie bereits Erfahrung mit agilem Projektmanagement gemacht? 

- ja
- nein

Sollten Sie bereits mit agilen Projektmethoden gearbeitet haben, welche waren es?
(Mehrfachauswahl möglich. Methode auch ankreuzen, wenn leichte Abwandlungen angewandt wurden)

- Scrum
- Kanban
- Adaptive Software Development
- Crystal

Schildern Sie bitte kurz Ihre Erfahrungen mit agilem Projektmanagement.

Wie sind die agilen Projektmethoden bei Ihnen/Ihren Mitarbeitern/Ihren Vorgesetzten angekommen?
Waren die Projekte, die mit den agilen Projektmethoden durchgeführt wurden, erfolgreich?

Gibt es agile Projektmethoden, die Sie gerne ausprobieren würden?
(Mehrfachauswahl möglich. Der Ursprung der agile Projektmethoden stammen aus der IT-Branche, weshalb die Methoden ggf. Ihrer Branche angepasst werden

müssten.)**Scrum:**

Der Ansatz von Scrum ist empirisch, inkrementell und iterativ. Er beruht auf der Erfahrung, dass viele Entwicklungsprojekte zu komplex sind, um in einen vollumfänglichen Plan gefasst werden zu können. Ein wesentlicher Teil der Anforderungen und der Lösungsansätze ist zu Beginn unklar. Diese Unklarheit lässt sich beseitigen, indem Zwischenergebnisse geschaffen werden. Anhand dieser Zwischenergebnisse lassen sich die fehlenden Anforderungen und Lösungstechniken effizienter finden als durch eine abstrakte Klärungsphase. In Scrum wird neben dem Produkt auch die Planung iterativ und inkrementell entwickelt. Der langfristige Plan (das Product Backlog) wird kontinuierlich verfeinert und verbessert. Der Detailplan (das Sprint Backlog) wird nur für den jeweils nächsten Zyklus (den Sprint) erstellt. Damit wird die Projektplanung auf das Wesentliche fokussiert.

Adaptive Software Development:

Adaptive Software Development ist ein Softwareentwicklungsprozess, der auf das Rapid Application Development zurückgeht. ASD ist eine Umsetzung des Prinzips der kontinuierlichen Anpassung an immer neue Anforderungen (eher der Normalzustand) und ersetzt damit das verbreitete Wasserfallmodell. Dabei wird alle vier Wochen geprüft, ob eine neu erstellte Programmversion einen Fortschritt zur Vorgängerversion darstellt. Dies geschieht gemeinsam mit dem Kunden. Zwischen jedem der Treffen werden die Phasen 'Spekulieren', 'Zusammenarbeiten' und 'Lernen' durchlaufen

Kanban:

- Visualisiere den Arbeitsfluss.
- Fang eine neue Aufgabe nicht an, bevor eine andere erledigt ist. Begrenze die Anzahl an Aufgaben in Bearbeitung!
- Messe die durchschnittliche Zeit zwischen Beginn und Fertigstellung einer Aufgabe. Finde Wege, diese Zeit zu verringern und möglichst konstant zu machen.

Crystal Prinzipien:**Passiver Wissenstransfer**

Durch räumliche Nähe und Freiräume für Gespräche wird informeller, "passiver" Wissenstransfer gefördert.

Persönliche Sicherheit

Kritik und Befürchtungen können ohne Repressalien geäußert werden.

Laufende Kritik und Verbesserung

Es werden laufend Verbesserungsvorschläge gesucht, gesammelt und die Wichtigkeit ihrer Umsetzung bewertet.

Fokussiertes Arbeiten

Die Mitarbeiter wissen genau, was ihr Ziel ist, und werden nicht abgelenkt oder für andere Projekte abgezogen.

Häufige Releases

Durch häufige Herausgabe von Zwischenversionen an den Kunden oder andere Projektbeteiligte wird vermieden, dass Erwartungen angestaut werden und größerer Erklärungsbedarf entsteht. Gleichzeitig kann eine höhere Sicherheit für das Team durch Zwischenabnahmen entstehen.

Zugang zu kundigen Benutzern

Dadurch, dass ständig ein erfahrener Benutzer des künftigen Produktes erreichbar ist, können Detailfragen schnell und formlos geklärt werden. Dies vermeidet unter anderem, dass Missverständnisse zu Problemen auswachsen.

Automatisiertes Testen

Durch Unit Testing wird für dauerhaft stabilen Programmcode gesorgt, was auch das Vertrauen des Teams in die eigene Arbeit stärkt.

Häufige Integration

Nicht nur der Programmcode wird getestet, es wird auch regelmäßig (z. B. täglich und automatisiert) eine lauffähige Testversion erstellt.

Konfigurationsmanagement

Verwendung von Konfigurationsmanagement, oder zumindest einer Versionsverwaltung.

Wie hoch sehen Sie die Chancen, dass Losgröße "1" in der Umformtechnik zukünftig eine Rolle spielen wird?

Die Losgröße beschreibt die Anzahl an Produkten, die hintereinander ohne Umrüsten der Maschine gefertigt werden. Dieser Parameter ist zugleich der zu fertigenden Gesamtstückzahl dieses Produktes.

gering -2 -1 0 1 2 groß

Wie hoch sehen Sie die Chancen, dass der modulare Werkzeugbau in der Umformtechnik zukünftig eine Rolle spielen wird?

Der modulare Werkzeugbau bezieht sich auf die Möglichkeit mit minimalem Rüstaufwand Werkzeuge oder Teile von Werkzeugen zu Tauschen, um eine höchstmögliche Flexibilität und Individualität zu gewährleisten. Ziel ist dabei die effiziente Fertigung von umgeformten Bauteilen mit der Losgröße „1“. Zu diesem Zweck wird die Verwendung von Gleichteilen, sowie Schnellwechsellvorrichtungen angestrebt.

gering -2 -1 0 1 2 hoch

Seite 4

Das war's auch schon fast!

Für die folgende Frage möchte ich darauf hinweisen, dass keinerlei Verbindungen zwischen Ihren Antworten und Ihren persönlichen Angaben hergestellt werden!
Angegebene Daten werden vertraulich behandelt!

Darf ich Sie für weitere Fragen oder ggf. ein Interview kontaktieren? *

* Pflichtangabe

ja

nein

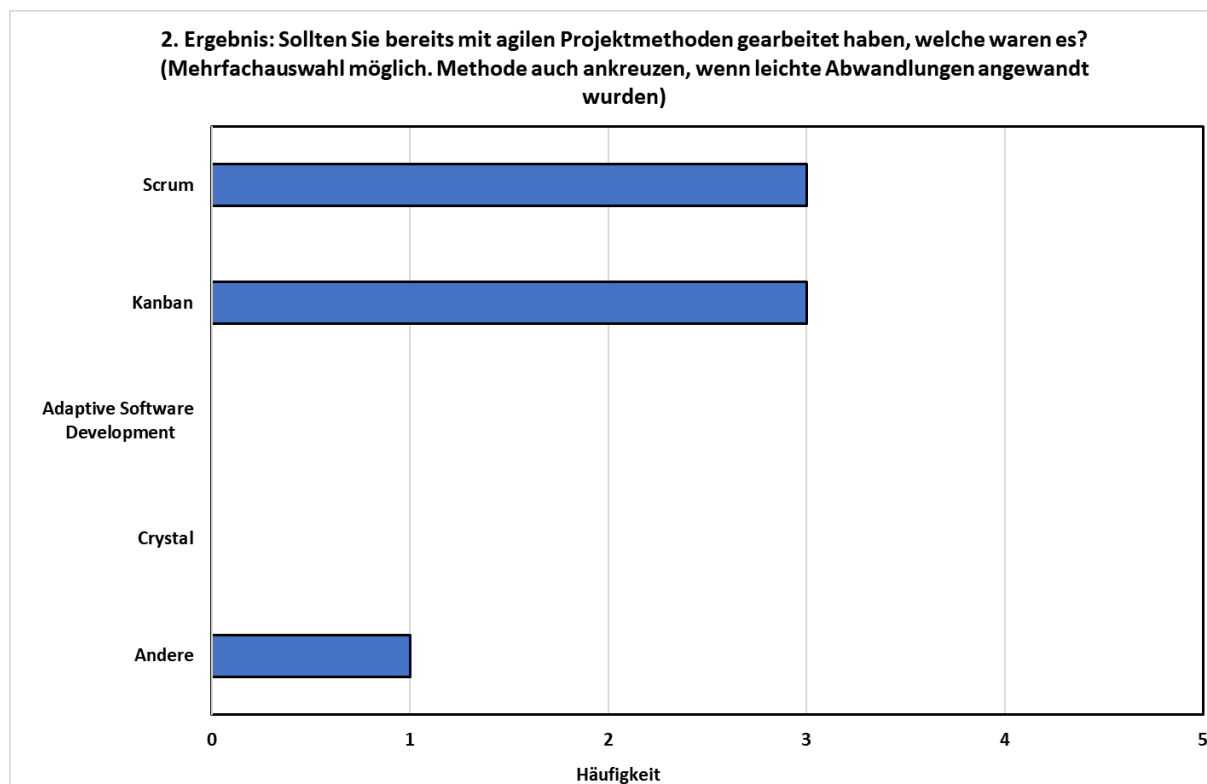
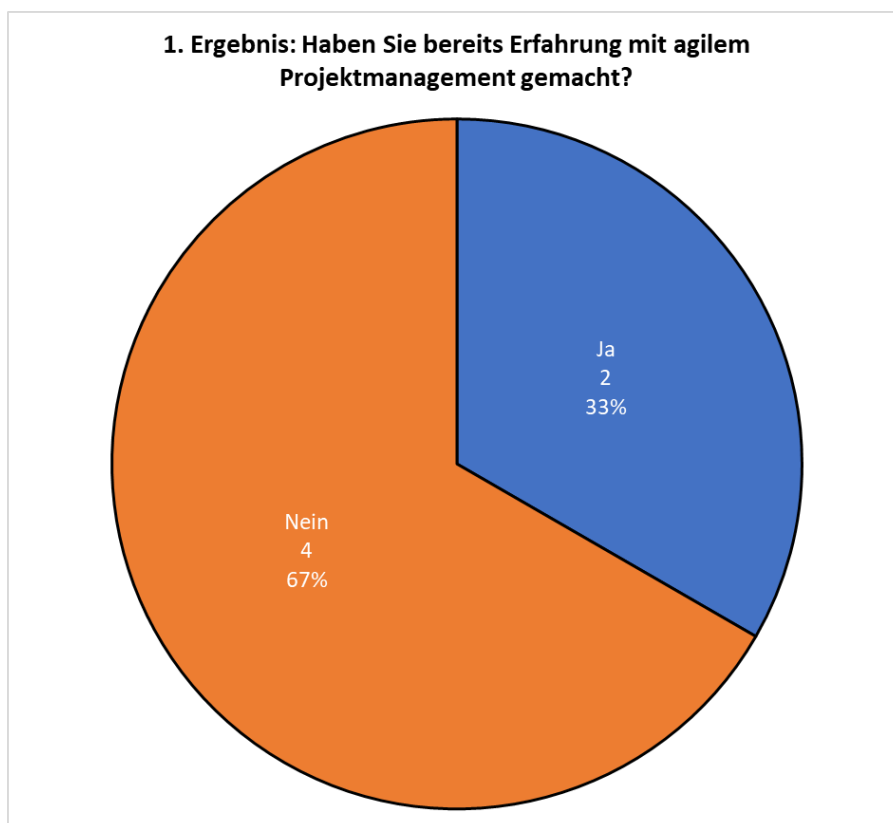
Sollten Sie obige Frage mit "Ja" beantwortet haben bitte ich Sie folgende Angaben zu machen.

Vor- und Nachname	<input type="text"/>
Firma	<input type="text"/>
Straße und Hausnummer	<input type="text"/>
Postleitzahl und Ort	<input type="text"/>
E-Mail Adresse	<input type="text"/>
(geschäftliche) Telefonnummer	<input type="text"/>

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

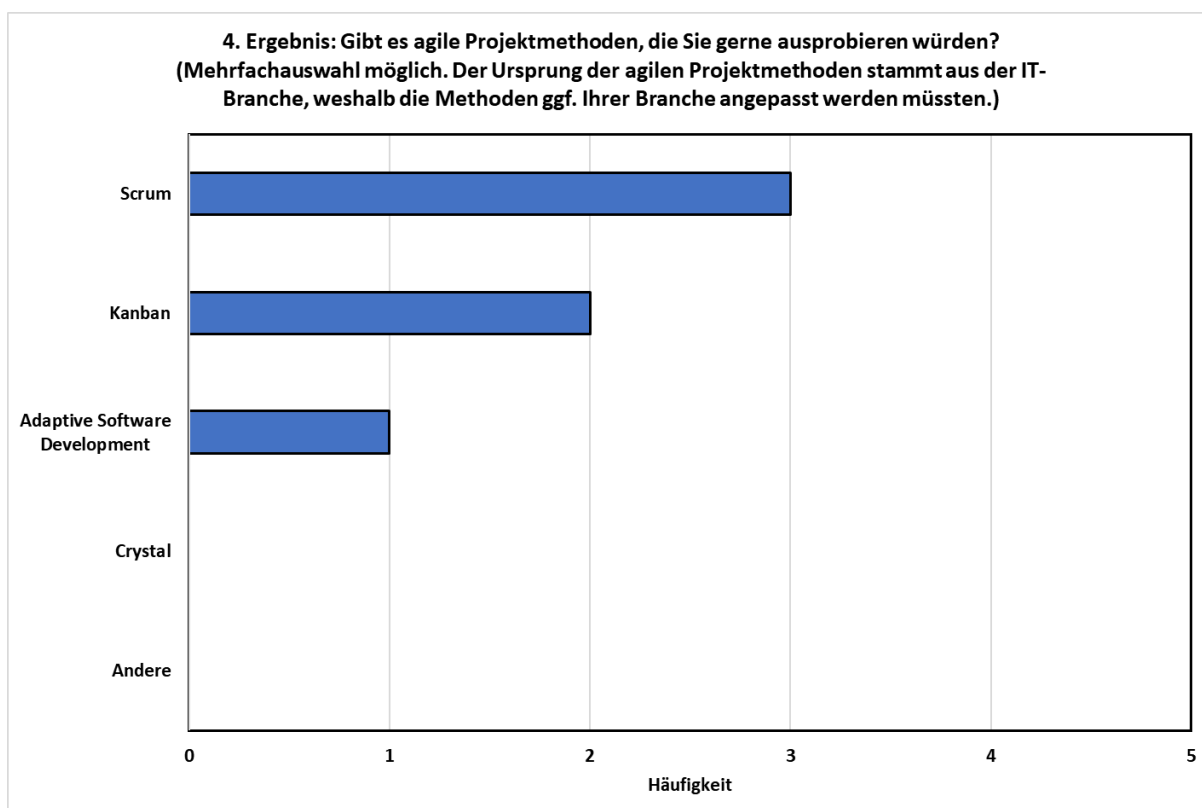
» [Umleitung auf Schlussseite von Umfrage Online](#) (ändern)

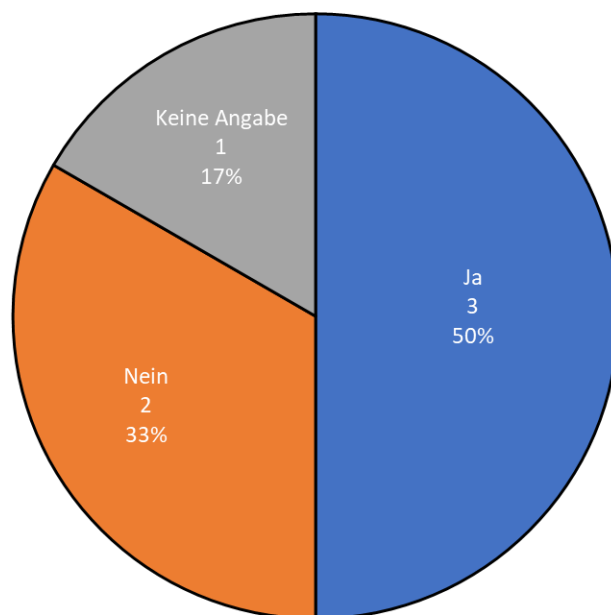
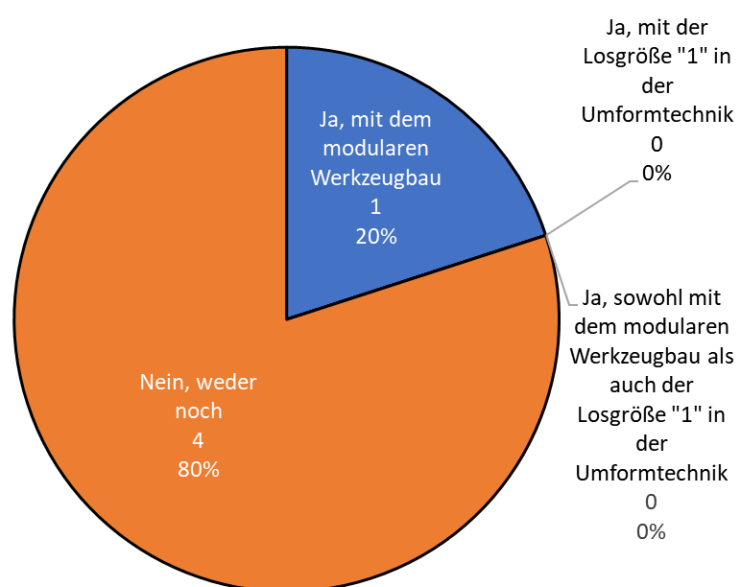
8.2 Umfrageergebnisse

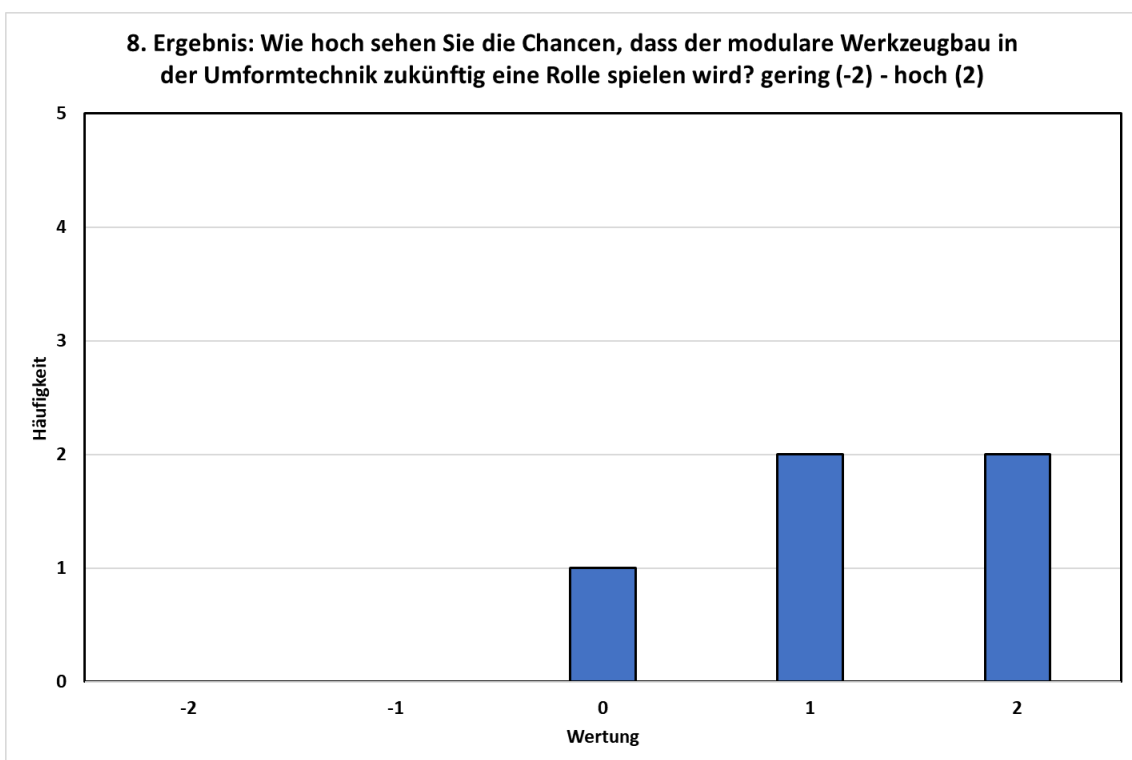
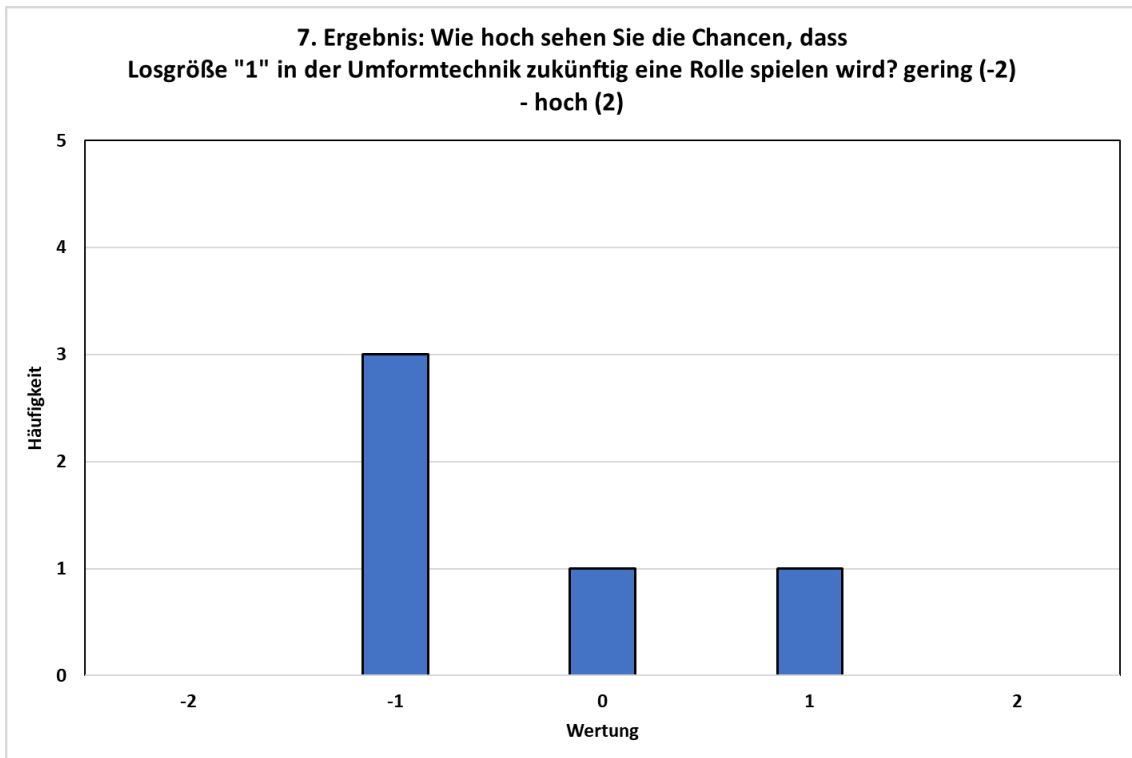


3. Ergebnis: Schildern Sie bitte kurz Ihre Erfahrungen mit agilem Projektmanagement. Wie sind die agilen Projektmethoden bei Ihnen/Ihren Mitarbeitern/Ihren Vorgesetzten angekommen? Waren die Projekte, die mit den agilen Projektmethoden durchgeführt wurden, erfolgreich?

- Motivation durch „neue“ Methode
-
- Bisher konnte ich nur an workshops teilnehmen. Tatsache ist aber, dass ich mit neuen Methoden Startschwierigkeiten habe, da ich den letzten 20 Jahren stets im Standard-Projektmanagement unterwegs war. Das Umdenken macht mir persönlich etwas Schwierigkeiten, was sicherlich mit der vorhandenen Erfahrung aus Projekten (erfolgreich oder nicht) zusammenhängt.; Ich glaube aber fest daran, dass neue Methoden effektiv und effizient sind, wenn dann alle Projektmitglieder "Neuerungen" akzeptieren.
-
- Der Start nach Einführung der Kanban-Tafel war etwas steinig, da die Mitarbeiter die Vorteile nicht erkannt haben / erkennen wollten. ; Generell hat es sich bezahlt gemacht.
-



5. Ergebnis: Sind Sie im (Umform-) Werkzeugbau tätig?**6. Ergebnis: Sind Sie bereits mit dem Thema "modularer Werkzeugbau" und/oder "Losgröße 1 in der Umformtechnik" in Berührung gekommen?**



8.3 Interviewprotokolle

- **Name:** Bogdan Iankov
- **Funktion:** Konstrukteur
- **Firma:** Beiersdorf
- **Branche:** Konsumgüterproduktion
- **Erfahrung im Werkzeugbau?**
4 Jahre bei Beiersdorf bestehende Werkzeuge weiterentwickelt und optimiert
- **Weitere Erfahrung**
Vorrichtungsbau; Weiterentwicklung und Automatenbau für Lebensmittel-, Automobil- und Industriebranche
- **Welche Art von Werkzeugen wurden entwickelt?**
Multifunktionale Monoformatwerkzeuge (Stanzen, Tiefziehen, Prägen, Bördeln), die im Verbund eingesetzt werden (besondere Herausforderung, da Komponenten immer leicht voneinander abweichen)
- **Wie wurden bisherige Werkzeuge entwickelt/konstruiert?**
Intuition und Erfahrung

(aus Kosten und Weiterentwicklungsründen) keine Anwendung von morphologischer Kasten o.Ä. und FMEA
- **Bereits von agilen Projektmethoden gehört? Ggf. angewendet?**
Gehört von Scrum

Keine angewendet

(ggf. kurze Erklärung agiler Projektmethoden -herkunft IT)

- **Was halten Sie von der Idee die Produktentwicklung agil zu gestalten?**
Idee ist sehr gut, allerdings ist der Anwendungsbereich eingeschränkt. Für bestimmte Bereiche und Teilkonzepte gut vorstellbar.

- **Wo sehen Sie Probleme?**

Bei Werkzeugkomponenten mit hohen Ansprüchen auf Festigkeit, Genauigkeit und Oberflächeneigenschaften (in Bezug auf RP-Produktion)

- **Produktindividualisierung bis hin zu Losgröße „1“ ein Thema?**

Ja, zukünftig für bestimmte Bereiche durchaus denkbar (Individualisierung von Produkten); allerdings müssen die Rahmenbedingungen (Zeit, Produktionskosten, Men-power, ...) berücksichtigt werden

- **Name:** Richard Hug
- **Funktion:** Konstrukteur
- **Firma:** Beiersdorf
- **Branche:** Konsumgüterproduktion
- **Erfahrung im Werkzeugbau?**
1 Jahr Arbeit in Werkzeugkonstruktion; Eigenständige Werkzeugkonstruktion
- **Welche Art von Werkzeugen wurden entwickelt?**
Multifunktionales Monoformatwerkzeug
- **Wie wurden bisherige Werkzeuge entwickelt/konstruiert?**
Nach einem bestehenden Werkzeug als Vorlage und gegebenen Funktionen. Zielsetzung pneumatische Steuerung und an neue Presse angepasst. Neues Oberwerkzeug passend zum Unterwerkzeug entwickelt.

Analyse Altwerkzeuge → verbleibende Komponente als Ausgang gewählt → welche Geometrieformen sind zu verwenden → Welche Aufgaben sind zu erfüllen

Stage-Gate-Prozess (Wasserfall) („Ohne Gate“) in Kombination mit Iterationen, die von außen verursacht wurden
- **Bereits von agilen Projektmethoden gehört? Ggf. angewendet?**
Nein

(ggf. kurze Erklärung agiler Projektmethoden -herkunft IT)

- **Was halten Sie von der Idee die Produktentwicklung agil zu gestalten?**
Produkt- und Kundenabhängigkeit. Anwendung bei Massenproduktion für Privatkunden (bspw. Auto) wird für nicht umsetzbar gehalten, da durch Iteration des Werkzeuges in zwischenzeitlicher Produktion ein Risiko für die Firma besteht

Ohne Lastenheft keine gedeckelten Forderungen und keine festen Anforderungspunkte → Bei der Arbeit zwischen zwei Firmen muss das Risiko abgeschätzt werden

Streitigkeiten wegen Kosten (bei mehreren Firmen) können das Team von außen auseinandertreiben

Probleme bei komplexen, zeitintensiven Aufgaben?

Gute Verwendbarkeit innerhalb einer Firma, da abgeschottetes Team mit Fokus auf Konstruktionsaufgabe, interdisziplinäre Zusammensetzung, Testphasen und Prototypen von vornherein vorgesehen („klingt nach einer idealen Form des Konstruktionsteams“)

Isolierte Teams sind idealisiertes Bild, da persönlicher Druck trotzdem von außen aufgebracht werden kann.

Kündigung, wenn Projekt gescheitert, da nur für ein Projekt eingebunden?

- **Produktindividualisierung bis hin zu Losgröße „1“ ein Thema?**

Ja → Wenn Kundennachfrage besteht, der Aufwand die Fertigung des Produktes erlaubt

Nein → Wenn gesellschaftlicher Trend zu energieeffizienten Produktion mit nachhaltiger Fertigung und hin zu wenig (Konsum- und) Wegwerfprodukten wandelt

- **Name:** Anonymisiert
- **Funktion:** Anonymisiert
- **Firma:** Anonymisiert
- **Branche:** Automobilzulieferer
- **Erfahrung im Werkzeugbau?**
Ja, selbst Werkzeuge entwickelt und simuliert
- **Welche Art von Werkzeugen wurden entwickelt?**
Folgeverbundwerkzeuge für Automobilbereich
- **Wie wurden bisherige Werkzeuge entwickelt/konstruiert?**
Intuition und Erfahrung
- **Bereits von agilen Projektmethoden gehört? Ggf. angewendet?**
Scrum in IT angewendet aber nicht im Werkzeugbau

(ggf. kurze Erklärung agiler Projektmethoden -herkunft IT)

- **Was halten Sie von der Idee die Produktentwicklung agil zu gestalten?**
Gut, bedingt interessant für eigenes Unternehmen. Allerdings nur interessant, wenn Produktentwicklung ausschl. virtuell stattfindet (bisher nur sinnvoll bei Simulation der Werkzeuge)
- **Wo sehen Sie Probleme?**
Kosten bei Zulieferern, die wiederum die Werkzeuge neugestalten müssten
- **Produktindividualisierung bis hin zu Losgröße „1“ ein Thema?**
Ja → Nachfrage besteht, aber voraussichtlich ausweichen auf andere Fertigungsmethoden.

Nein → realistisch nicht einsetzbar, da Versuche bei Werkzeugen i.d.R. zu riskant

8.4 Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Ballhausen

Vorname: Felix

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Konzeption einer agilen Entwicklung von modularen Umformwerkzeugen

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Hamburg

Ort

12.04.2018

Datum

Unterschrift im Original