

Kurzbericht

Teil I -Kurzbericht über das Teilvorhaben AP III im Projekt 03XP0366
„TightHybrid - Mediendichte Kunststoff-Metall-Hybridverbund“ der
Firma WTL Formenbau GmbH

Hybride Materialsysteme können aufgrund ihrer möglichen Werkstoffkombinationen eine Vielzahl an Vorteilen aufweisen, da spezifische Stärken der jeweiligen Werkstoffkomponenten gezielt in der Bauteilgestaltung genutzt werden können. Während die Eignung von Kunststoff-Metall-Hybridverbunden für strukturelle, lasttragende Anwendungen bereits in Serienanwendungen nachgewiesen werden konnte, lagen bisher keine Lösungen für dauerhaft mediendichte spritzgegossene Kunststoff-Metall-Hybridverbunde vor, die über den Demonstratorstatus hinausgingen. Das übergeordnete Ziel im Projekt „TightHybrid“ war es daher, einen unter gleichzeitiger thermischer und mechanischer Last dauerhaft mediendichten Kunststoff-Metall-Hybridverbund zu entwickeln und das Technologielevel u.a. mittels eines automatisierten Produktionsprozesses von 4 auf 5 zu erhöhen. Das Projekt basiert hierbei auf Erkenntnissen sowie Kompetenzen, die an der Universität Kassel, insbesondere am Fachgebiet Kunststofftechnik am Institut für Werkstofftechnik (IfW), aufgebaut wurden. So wurde im Jahr 2010 am Fachgebiet Kunststofftechnik eine Variante des Hybridspritzgießens entwickelt und diente folglich als Grundlage für Kooperationsprojekte mit diversen Unternehmen sowie für Dissertationen und Publikationen in Fachjournalen. Dadurch konnte gezeigt werden, dass ein direktes Anspritzen von Polymeren auf Metalle vor allem die mechanische Verbindung fördert sowie die Zykluszeiten reduziert. Außerdem wurde untersucht, welche Einflüsse Oberflächeneigenschaften sowie Haftvermittler auf die Verbundfestigkeit haben können. Zusätzlich konnte die Expertise im Bereich der Bewertung und Optimierung der Aufbereitung und Verwertung von Kunststoffabfällen am Fachgebiet Ressourcenmanagement und Abfalltechnik für die Untersuchung von Recyclinglösungen für die Polymer- und Aluminiumkomponente im Projekt genutzt werden.

Im Rahmen des Projektes wurden fünf Arbeitspakete (AP) formuliert, die in Form von Teilvorhaben der einzelnen Projektpartner bearbeitet wurden:

- AP I: Werkstoffentwicklung (Universität Kassel)
- AP II: Simulation und Auslegung (SimpaTec GmbH)
- AP III: Werkzeugbau und Spritzgießen (WTL Formbau GmbH & Universität Kassel)
- AP IV: Mechanische und Medienprüfung (Universität Kassel)
- AP V: Bewertung und Optimierung von Recycling und Verwertung (Universität Kassel)

Abgeleitet vom Ziel des Gesamtvorhabens wird in diesem Teilvorhaben das AP III mit folgenden Zielen verfolgt:

Es sollen werkzeugtechnische Möglichkeiten entwickelt werden, die beim Spritzgießen des Hybridbauteils die thermischen, chemischen und geometrischen Besonderheiten des Hybridbauteils berücksichtigen. Ziel ist es ein Spritzgießwerkzeug zu fertigen, das über den derzeitigen Stand der halbautomatischen Fertigung hinausgeht und folgende Anforderungen erfüllt:

- Erhöhte Standzeit und Werkzeugschutz vor Verschleiß durch den Metalleinleger
- Neues funktionierendes Werkzeug-Dichtkonzept (plastische Deformation des Metalleinlegers, Berücksichtigung von Einlegertoleranzen)
- Bauteilnaher Probekörper herstellbar für die im AP IV genannte mehraxiale Beanspruchung und Medien-/Dichtheitsprüfung unter Druckbeaufschlagung

Neben der Erstellung des Spritzgießwerkzeugs wurden im Laufe des Projektes zusätzlich Maßnahmen notwendig:

- Modifikationen an einem vorhandenen Demonstratorwerkzeug und einem Zugstabwerkzeug (beide Eigentum der Uni Kassel).
- Anfertigung zusätzlicher Vorrichtungs- und Spannelemente für die Bauteilversuche bzw. für die Handlungentnahme des Einlegeteils am Handlingsystem der Spritzmaschine.
- Entwicklung eines Hybridbauteils.

- Entwicklung und Anfertigung einer Druckprüfvorrichtung.
- Anfertigung der Einlegeteile.

Das Zugstab- und das Demonstratorwerkzeug wurden mit den unten genannten Maßnahmen erfolgreich modifiziert. Mit dem für die Haftfestigkeitsprüfungen der Grenzflächen des Hybridbauteils notwendigen Zugstabwerkzeug konnten die Zugstabprobekörper ohne Deformation angefertigt werden. Ohne diese Änderungen am Zugstabwerkzeug sind die Zugproben an der Grenzfläche gebrochen bzw. deformiert. Es sind folgende Maßnahmen umgesetzt worden:

- Vorhandene Auswerfer durch Auswerferleisten ersetzt.
- Entformungskonizität des Anspritzkanals vergrößert.
- Federpaket für die Hubbewegung der Auswerferleisten hinzugefügt.

Durch die Modifikation des Demonstratorwerkzeugs konnten am Anfang des Projektes erste Hybridbauteile in einer horizontalen Spritzmaschine hergestellt werden. Das Demonstratorwerkzeug war zuvor für den Betrieb in einer vertikalen Spritzgießmaschine ausgelegt worden. Dort war ein Halten des Einlegeteils im Werkzeug nicht notwendig. Die wesentliche Änderung am Demonstratorwerkzeug bestand in der Anfertigung neuer Fixierungen, die den Einleger, durch seitliche Rastkugeln, einklemmen.

Die Entwicklung eines neuen vereinfachten Hybridbauteils wurde notwendig, weil das Projektkonsortium kein vorhandenes zwei Komponenten-Bauteil, was bezüglich Geometrie, Komplexität und Materialauswahl geeignet war, finden konnte. Unter Berücksichtigung folgender Punkte sind zwei Varianten (2d-Kontur und 3d-Kontur) des Hybridbauteils entwickelt worden:

- Es sind 3 Anbindungen für die mechanischen Belastungsversuche am Metallbereich vorhanden.
- Es besteht die Möglichkeit, den Metallbereich in Alu- oder Edelstahl auszuführen.
- Die Anbindungskonturen zwischen Metall und Polymer können konstruktiv und fertigungstechnisch recht einfach geändert werden.
- Der Polymerbereich enthält einige Rippen als Störgeometrie.
- Es ist möglich den Verbund durch Anschrauben an einer einfachen Abdrückvorrichtung mit Fluiddruck zu beaufschlagen.
- Der Verbund ist groß genug, um ihn im Shredder-Prozess zu zerkleinern.

Zur Überprüfung der Mediendichtheit des Hybridbauteils wurde eine Abdrückvorrichtung entwickelt und angefertigt. Hiermit kann das Hybridbauteil mit unterschiedlichen flüssigen Medien druckbeaufschlagt werden. Die Druckprüfvorrichtung lässt sich leicht transportieren und die Dimensionen sind für den Aufbau auf den Prüfständen der Uni Kassel abgestimmt. Die angefertigten Hybridbauteile haben im Drucktest einen Druck von maximal 2,5 bar standgehalten.

Wir haben während der Projektlaufzeit mehr als 300 Einlegeteile für die Hybridbauteilfertigung hergestellt.

Mit dem entwickelten und angefertigten Spritzgießwerkzeug sind beide Varianten des Hybridbauteils hergestellt worden. Die Abdichtung mit dem Prägerand des Werkzeuges führte zu einer erfolgreichen Fertigung der Hybridbauteile ohne Deformation des Einlegeteils und ohne Überspritzungen der Polymermasse. Im vollautomatischen Serienbetrieb wurde das Werkzeug, mittels eines Handlingsystems, mit Einlegeteilen bestückt. Somit konnte die geforderte Erhöhung des Technology Readiness Level (TRL) von Level 4 auf Level 5 erfolgreich realisiert werden.

Sachbericht

Teil II, eingehende Darstellung des fachlichen Sachberichts über das Teilvorhaben APIII im Projekt 03XP0366 „TightHybrid - Mediendichte Kunststoff-Metall-Hybridverbund“ der Firma WTL Formenbau GmbH

Autor: Jörg Zinserling, Geschäftsführer WTL Formenbau GmbH

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhalt

1.	Einleitung und Projektbeschreibung	2
2.	Modifizierung des vorhandenen Demonstratorwerkzeugs.....	2
3.	Optimierung und Instandsetzung des vorhandenen Zugstabwerkzeuges	3
4.	Entwicklung eines Metall-Kunststoff-Verbundes.....	4
5.	Entwicklung und Anfertigung einer Abdruckvorrichtung.....	6
6.	Entwicklung und Anfertigung von Spannadapter für mechanische Belastungsversuche	8
7.	Entwicklung und Anfertigung eines Spritzgießwerkzeugs	9
7.1.	Entwicklung und Konstruktion des Spritzgießwerkzeugs	9
7.1.1.	Materialauswahl für die formgebenden Teile	10
7.1.2.	Materialauswahl der anderen Formkomponenten	11
7.1.3.	Auslegung des Prägerands.....	11
7.1.4.	Auswahl des Anspritzsystems.....	12
7.1.5.	Zentrierungen für das Handlingsystem	14
7.1.6.	Saugnäpfe und Positionsstifte.	15
7.1.7.	Vorbereitung für den Einbau eines Druck-Temperatursensors	16
7.2.	Fertigung des Spritzgießwerkzeugs	17
8.	Ergebnisse.....	18
9.	Voraussichtlicher Nutzen in der Zukunft	18

1. Einleitung und Projektbeschreibung

Das Gesamtziel des Forschungsprojektes 03XP0366 war ein unter mechanischer und thermischer Last dauerhaft mediendichten spritzgegossenen Kunststoff-Metall-Hybridverbund zu entwickeln, wobei der Technology Readiness Level (TRL) von 4 auf 5 erhöht werden sollte. Bisher verfolgte Konzepte ohne zusätzliche Dichtelemente sind nicht über den Status eines Demonstrators hinausgekommen. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass sich die Technologie bei Projektstart im TRL 4 befand. Eine prinzipielle Funktionstüchtigkeit wurde anhand von Demonstratoren, die einer ungefähren Zielgeometrie entsprechen, in halbmanuellen Fertigungsverfahren umgesetzt.

Abgeleitet vom Ziel des Gesamtvorhabens wird in diesem Teilvorhaben folgendes Ziel verfolgt:

Es sollen werkzeugtechnische Möglichkeiten entwickelt werden, die beim Spritzgießen des Hybridbauteils die thermischen, chemischen und geometrischen Besonderheiten des Hybridbauteils berücksichtigen. Ziel ist es ein Spritzgießwerkzeug zu fertigen, das über den derzeitigen Stand der halbautomatischen Fertigung hinausgeht und folgende Anforderungen erfüllt:

- Erhöhte Standzeit und Werkzeugschutz vor Verschleiß durch den Metalleinleger
- Neues funktionierendes Werkzeug-Dichtkonzept (plastische Deformation des Metalleinlegers, Berücksichtigung von Einlegertoleranzen)
- Bauteilnaher Probekörper herstellbar für die im AP IV genannte mehraxiale Beanspruchung und Medien-/Dichtheitsprüfung unter Druckbeaufschlagung

Neben der Erstellung des Spritzgießwerkzeugs wurden im Laufe des Projektes zusätzlich Maßnahmen notwendig:

- Modifikationen an einem vorhandenen Demonstratorwerkzeug und einem Zugstabwerkzeug (beide Eigentum der Uni Kassel).
- Anfertigung zusätzlicher Vorrichtungs- und Spannelemente für die Bauteilversuche bzw. für die Handlingentnahme des Einlegeteils am Handlingsystem der Spritzmaschine.
- Entwicklung eines Hybridbauteils.
- Entwicklung und Anfertigung einer Druckprüfvorrichtung.
- Anfertigung der Einlegeteile.

2. Modifizierung des vorhandenen Demonstratorwerkzeugs

Für die ersten Belastungsversuche an einem einfachen Hybridbauteil war es notwendig den vorhandenen Demonstrator zu verwenden. Ein vorhandenes Demonstrator-Spritzgießwerkzeug der Uni Kassel wurde für die Herstellung einfacher Hybridbauteile modifiziert. Dieses Demonstratorwerkzeug war so konzipiert, dass es nur in einer vertikalen Spritzgießmaschine verwendet werden konnte. D.h. das Einlegeteil war nicht fixiert und hätte in einer horizontalen Spritzmaschine nicht eingelegt werden können. Um den Einbau des Werkzeugs in einer horizontalen Spritzgießmaschine zu gewährleisten, war es notwendig eine neue Fixierung (s. Abbildung 1, „grün“ dargestellt) für das Einlegeteil (Umspritzungsteil) zu entwickeln und in das vorhandene Werkzeug zu integrieren.

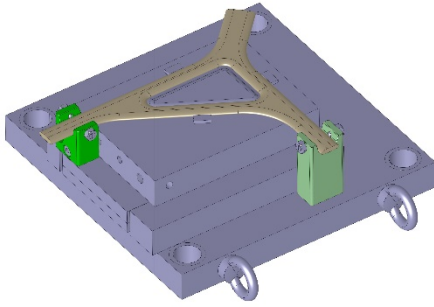


Abbildung 1: CAD 3d-Abbildung Demonstratorwerkzeug (li) und Demonstratorwerkzeug in Spritzmaschine eingebaut (Bild Uni Kassel, re)

3. Optimierung und Instandsetzung des vorhandenen Zugstabwerkzeuges

Für die Haftfestigkeitsprüfungen der Grenzflächen des Hybridbauteils an der Uni Kassel wurden hybride Zugprüfkörper benötigt. Bei der Fertigung der hybriden Zugproben mit dem vorhandene 2-fach Zugstabwerkzeug der Uni Kassel sind die Zugproben an der Grenzfläche zwischen Metall und Polymer durch den Ausstoßprozess gebrochen. Eine Analyse des Zugstabwerkzeugs zeigte, dass der hybride Zugprüfkörper durch eine Biegebeanspruchung beim Entformen deformiert wurde. Damit die Zugproben beim Entformen nicht zerstört werden, wurde am vorhandenen Zugstabwerkzeug das Entformungskonzept vollständig geändert. Die im Werkzeug vorhandenen punktuellen Auswerfer waren ungünstig positioniert und wurden durch flächige Auswerferleisten ersetzt. Diese flächigen Auswerferleisten unterstützen den Grenzflächenbereich (Abb 2), sodass die Proben ohne Deformation entformt werden konnten. Zusätzlich wurde die Entformungskonizität im Angußkanal auf 6° pro Seite vergrößert.

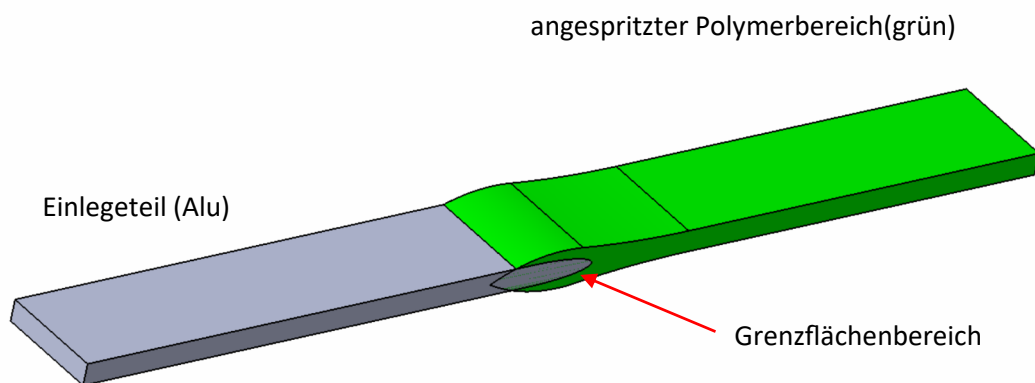


Abbildung 2: hybride Zugstabprobe

Die Herausforderung bei der Modifikation bestand darin, die Auswerferleisten so zu konstruieren, dass diese in die vorhandenen Formleisten des Zugstabwerkzeuges integriert werden können und die Stabilität der Formleisten weiterhin gewährleistet wird. Außerdem soll die im Werkzeug befindliche Kühlung weiterhin genutzt werden. Es wurden drei der bestehenden Auswerfer entfernt und durch die beiden Auswerferleisten ersetzt. Die Hubbewegung der Auswerferleisten erfolgt über drei Auswerferbolzen mit integrierten Federpaketen.

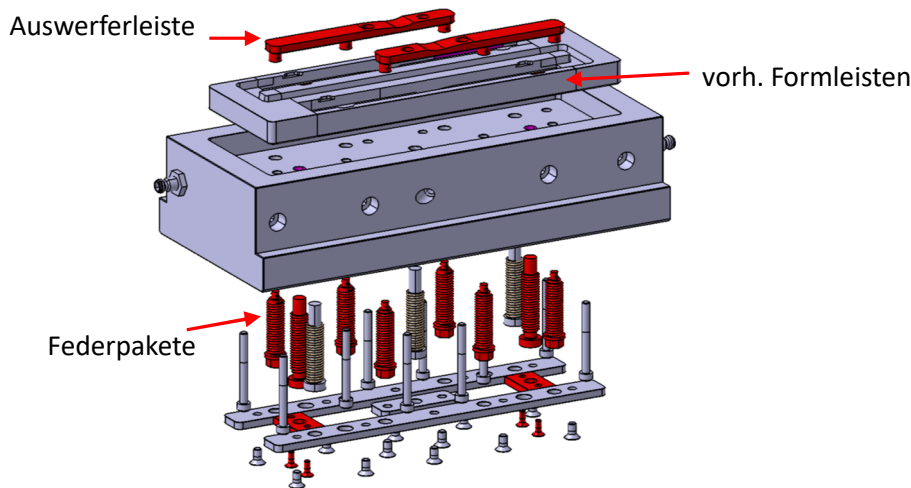


Abbildung 3: Explosionskizze Zugstabwerkzeug

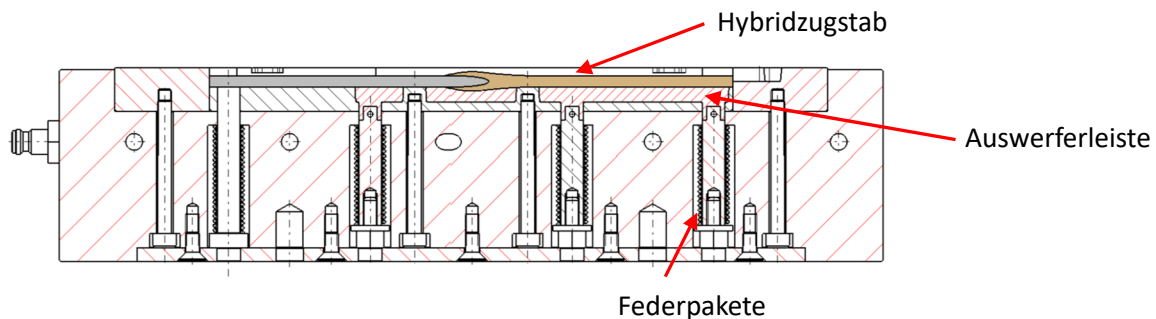


Abbildung 4: Schnitt über das Zugstabwerkzeug

4. Entwicklung eines Metall-Kunststoff-Verbundes

Zu Beginn des Projektes ist das Projektteam (bestehend aus dem Institut für Werkstofftechnik der Uni Kassel, der Firma SimpaTec GmbH und der Firma WTL Formenbau GmbH) davon ausgegangen, gemeinsam mit den assoziierten Projektpartnern einen geeigneten Metall-Kunststoffverbund zu finden. Der Gedanke war, dass gemeinsam mit den assoziierten Projektpartnern ein vorhandenes zwei Komponenten-Bauteil, was zurzeit aus einer Polymer- und einer Metallkomponente montiert wird, zur Verfügung gestellt wird. Aus diesem zwei Komponenten-Montage-Bauteil sollte ein spritzfähiges, mediendichtes Hybridteil entwickelt werden. Im Projektkonsortium wurde kein vorhandenes zwei Komponenten-Bauteil, was bezüglich Geometrie, Komplexität und Materialauswahl geeignet war, gefunden.

Damit die im Projekt angegebene Projektzeit und das Projektbudget für die Entwicklung und Herstellung eines Spritzgießwerkzeugs eingehalten werden konnte, hat die Firma WTL gemeinsam mit den Projektpartnern, ein abstrahiertes mediendichtes Hybridbauteil entwickelt. Folgende Punkte wurden dabei berücksichtigt:

- Es sind 3 Anbindungen für die mechanischen Belastungsversuche am Metallbereich vorhanden.
- Es besteht die Möglichkeit, den Metallbereich in Alu- oder Edelstahl auszuführen.
- Die Anbindungskonturen zwischen Metall und Polymer können konstruktiv und fertigungstechnisch recht einfach geändert werden.
- Der Polymerbereich enthält einige Rippen als Störgeometrie.

- Es ist möglich den Verbund durch Anschrauben an einer einfachen Abdrückvorrichtung mit Fluiddruck zu beaufschlagen.
- Der Verbund ist groß genug, um ihn im Shredder-Prozess zu zerkleinern.

Es wurden zwei Varianten des Hybridbauteils entwickelt. Das Alu-Einlegeteil wurde, entgegen den ersten Entwürfen (Abb. 5), plan-eben ausgelegt. Ein komplexes 3d-Alueinlegeteil hätte, bei der erwarteten Stückzahl > 300, eine sehr aufwendige Herstellung der Einlegeteile bedeutet. Das Einlegeteil (191 x 143,3 x 4 mm) wurde nach den ersten Spritzversuchen nochmal einer Optimierung unterzogen. Bei den ersten Spritzversuchen führten Schwachstellen, in Form von Aufnahmebohrungen für die Prüfvorrichtung, zu einem Bauteilversagen des Einlegeteils (Abb. 6, links). Bei der Optimierung sind die Aufnahmebohrungen entfallen und durch Änderungen an der Prüfvorrichtung können die vorhandenen Zentriernuten als Aufnahmebohrungen verwendet werden (Abb. 6 rechts und Abb. 11). Die Zentriernuten dienen zum einen der Zentrierung des Einlegeteils in dem Spritzgießwerkzeug und zum anderen der Zentrierung in der Abdrückvorrichtung. Die Zentriernuten sind so angelegt, dass z.B. ein wärmebedingtes Ausdehnen des Bauteils keinen Einfluss auf die Positionierung hat.

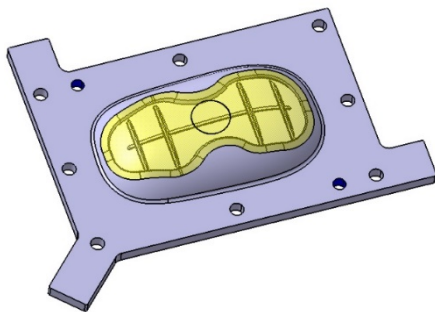
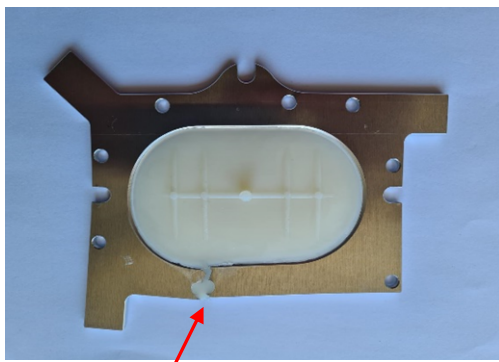
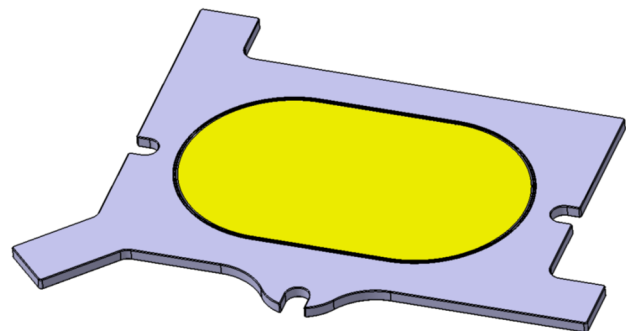


Abbildung 5: erster Entwurf des Hybridbauteils mit 3d-Kontur des Einlegeteils



Störkonturen (Bohrungen) wurden entfernt.
Diese Bohrungen führten zu einem Bauteilversagen bei der ersten Musterung



Optimierten Alu Einlegeteil

Abbildung 6: geborstenes Einlegeteil (links), optimierte Variante (rechts)

Während der Projektzeit wurden ca. 350 Stück Alu Einlegeteile aus 4 mm dickem Plattenmaterial angefertigt.

Der anzuspritzende Polymerbereich wurde in den Varianten „plan-eben (2d)“ und „dreidimensional (3d)“ ausgeführt. Beide Varianten enthalten eine Rippengeometrie als „Störstellen“. Die definierte Grenzflächegeometrie s. Ausschnitt „D“ bzw. „C“ ist bei beiden Varianten identisch.

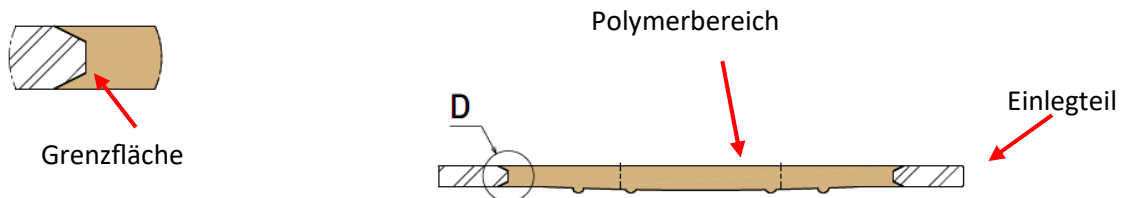


Abbildung 7: Schnitt über die 2d-Variante

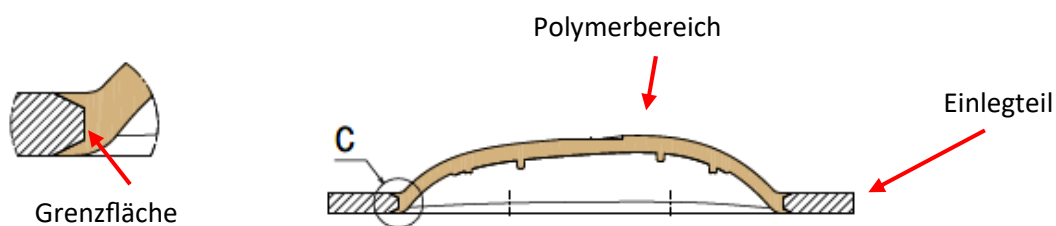


Abbildung 8: Schnitt über die 3d-Variante

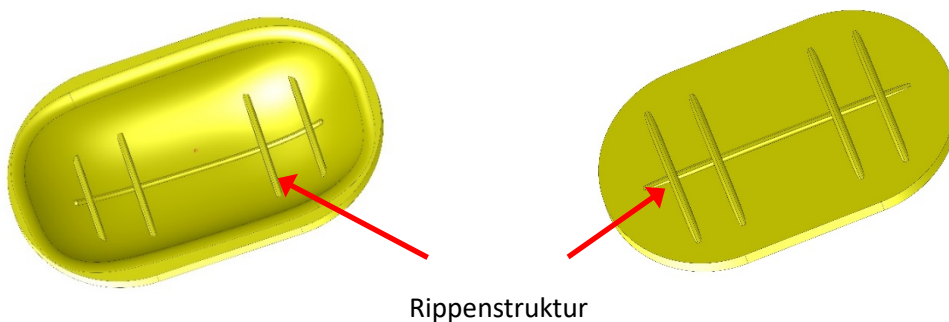


Abbildung 9: Rippenstruktur Polymerbereich 2d/3d Variante

5. Entwicklung und Anfertigung einer Abdrückvorrichtung

Zur Überprüfung der Mediendichtheit des Hybridbauteils wurde eine Abdrückvorrichtung aus Aluminium entwickelt und angefertigt. Mit dieser kann das fertig produzierte Hybridbauteil mit unterschiedlichen flüssigen Medien (z.B. Öle, Wasser u.s.w) und einem definierten Druck beaufschlagt werden. Die Abdrückvorrichtung umschließt das Hybridbauteil so, dass der Polymerbereich mit einem flüssigen Medium unter Druck gesetzt werden kann, um dann die Dichtheit des Grenzflächenbereich zwischen Metall und Polymer zu beurteilen. Eine weitere Vorgabe war, das Hybridbauteil bei mechanischen Belastungsversuchen mit dieser Abdrückvorrichtung zu koppeln. D.h. dass die Abdrückvorrichtung das Hybridbauteil so einspannt, dass trotz einer mehraxialen Zugbelastung auf den Metallbereich des Hybridbauteils, Druck mit einem Medium aufgebracht werden kann und die Freiheitsgrade in der Ebene nicht eingeschränkt werden. Um das Hybridbauteil so wie oben beschrieben einzuspannen, wurden zwei Quadringe der Stärke 3,53 mm

vorgesehen, die mit einer definierten Vorspannung eine Abdichtung gewährleisten. Laut Herstellerangaben ist bei einer einseitigen Vorspannung von 0,5 mm ein Druck bis zu 50 bar realisierbar. Die Quadringe sind jeweils im Ober- bzw. Unterteil verbaut. D.h. das Hybridbauteil wird von beiden Seiten abgedichtet, kann sich aber zwischen den Dichtringen axial bewegen. Die notwendige Vorspannung wurde mittels Druckversuche mit der fertigen Abdrückvorrichtung festgelegt. Hierbei ist, zur Vereinfachung der Druckprüfung, nur das Metalleinlegeteil ohne Polymerbereich, mit einer Vorspannung von 0,3 mm/ Seite, in die Vorrichtung eingespannt und belastet worden. Die Druckerzeugung auf die Vorrichtung ist mittels Handpumpe erfolgt. Die Vorrichtung wurde mit einem konstanten Druck von 20 bar über einen Zeitraum von 1 Stunde belastet ohne einen Druckabfall zu registrieren.

Um bei den Bauteilversuchen einen definierten Druck zu erzeugen, wurde in Ober- und Unterteil je ein Kistler-Druckaufnehmer (4080BT010-FL1) verbaut. Des Weiteren sind Anschlüsse für das Befüllen und das Temperieren der Abdrückvorrichtung vorgesehen. Höhenverstellbare Aufstellfüße garantieren ein flexibles Aufstellen der Vorrichtung und Griffe an der Oberseite erleichtern das Abnehmen des Oberteils bzw. den Transport der gesamten Vorrichtung.

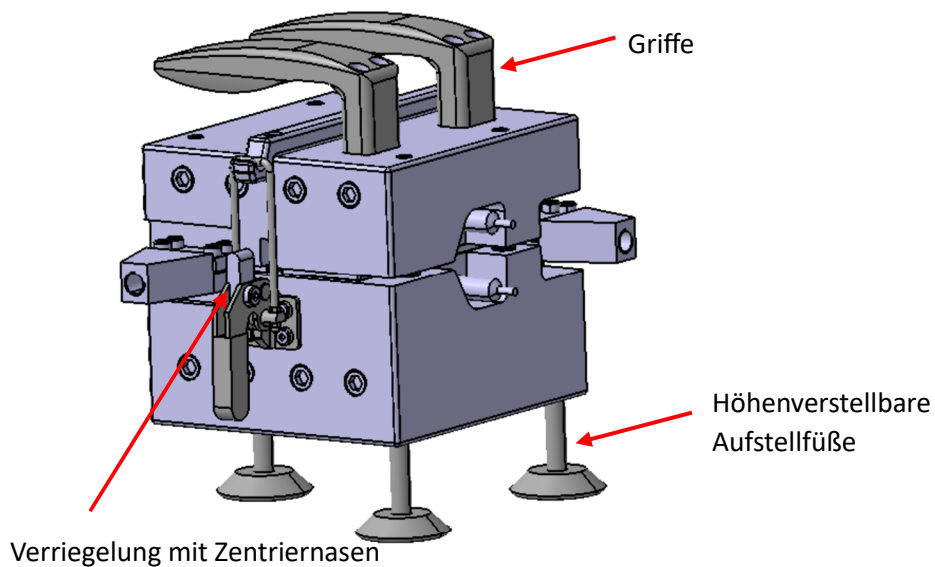


Abbildung 10: CAD 3d-Ansicht, komplette Abdrückvorrichtung

Die Vorzentrierung des Hybridbauteils erfolgt durch Zentriernasen an der Vorrichtung und Zentriernuten am Hybridbauteil. Beim Anziehen der Verriegelung werden die Zentriernasen hinausgedreht und das Hybridbauteil wird nur durch die Vorspannung der Quadringe in der Vorrichtung gehalten. Dadurch ist gewährleistet, dass die ebenen Freiheitsgrade des Hybridbauteils für die mechanischen Belastungsversuche nicht eingeschränkt werden.

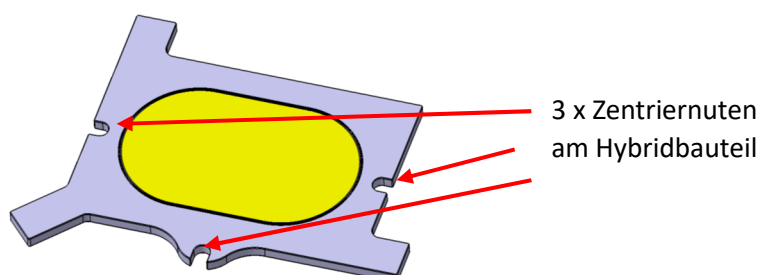


Abbildung 11: Zentriernuten am Hybridbauteil

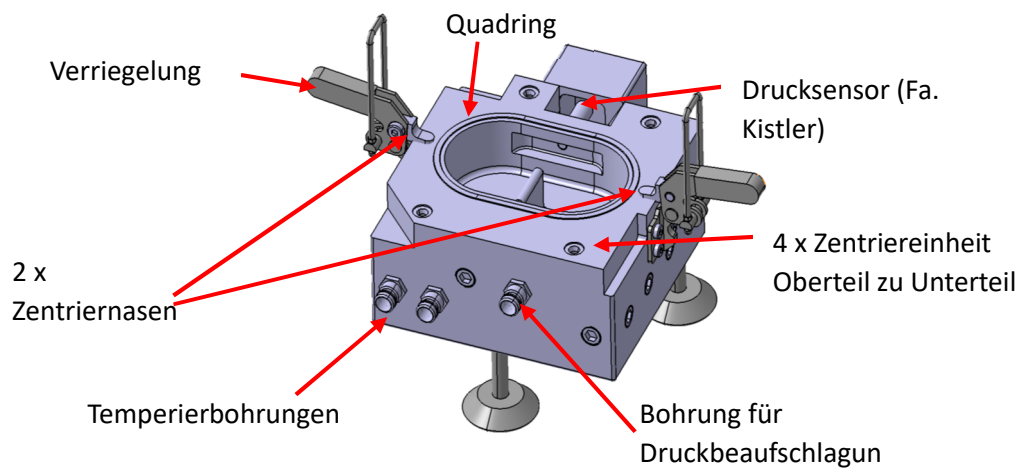


Abbildung 12: CAD 3d-Ansicht Unterteil Abdrückvorrichtung

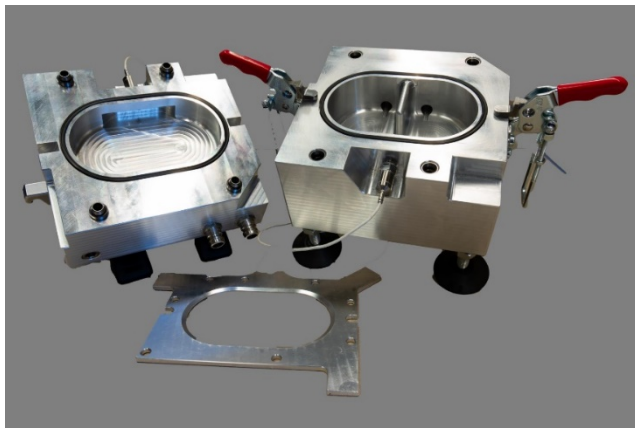


Abbildung 14: fertige Abdrückvorrichtung



Abbildung 13: fertige Abdrückvorrichtung im Labor der Uni Kassel

6. Entwicklung und Anfertigung von Spannadapter für mechanische Belastungsversuche

Für das Einspannen des Hybridbauteils in dem mehraxialen Zugprüfstand der Uni Kassel, mussten drei neue Spannadapter entwickeln und anfertigen.

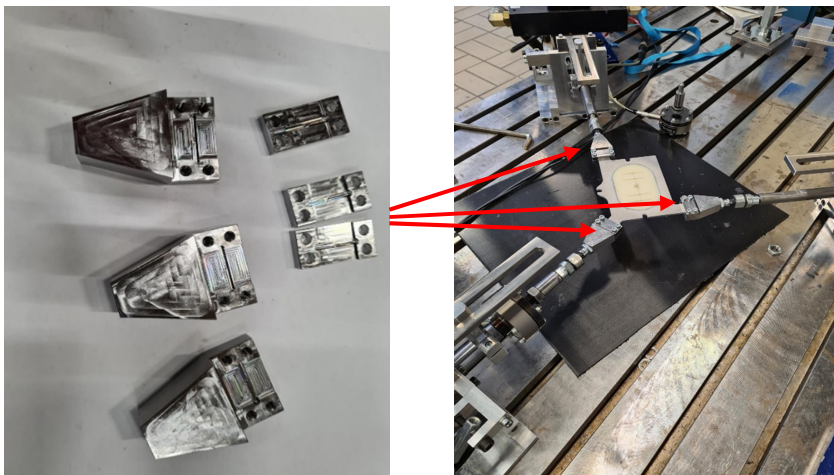


Abbildung 15: Spannadapter einzeln (li) und im eingebauten Zustand auf dem Prüfstand (re)

7. Entwicklung und Anfertigung eines Spritzgießwerkzeugs

Für die vollautomatische Herstellung der beiden Varianten des o.g. Hybridbauteils wurde ein Spritzgießwerkzeug entwickelt, im CAD konstruiert und in unserem Werkzeugbau angefertigt. Das Werkzeug weist folgende Besonderheiten auf:

- Separate Formeinsätze. Dies ermöglicht das Erstellen zusätzlicher Formeinsätze ohne die ganze Peripherie des Werkzeuges neu zu erstellen (z.B. mit unterschiedlicher Artikelgeometrie oder Formeinsätze aus einem anderen Material).
- Es ist eine automatische Bestückung des Werkzeuges mit Einlegeteilen möglich.
- Saugnäpfe für das Halten des Einlegeteils.
- Zentrierungen für ein Handlingsystem (Mehrachsen-Roboter der Fa. KuKa).
- Freistellungen für die Anbindungskonturen des Einlegeteils.
- Abstimmbuchsen, um den Dichtdruck für das Einlegeteil einzustellen.
- Einen definierten Dichtrand (Prägerand).
- Vorbereitung für den Einbau eines Druck-Temperatursensors.
- HK System

In dem Spritzgießwerkzeug sind separate Formeinsätze aus Material 1.2343 ESU verbaut, die auf 52-54 HRC gehärtet wurden. Der Formbereich dieser Formeinsätze wurden in zwei geometrischen Varianten ausgeführt:

- eine 2d-Variante mit einem planaren Polymer- und Metallbereich,
- eine 3d-Variante mit einem gewölbten Polymerbereich.

Im Spritzgießwerkzeug können die Formeinsätze ohne großen Montageaufwand von der 2d-Variante zur 3d-Variante gewechselt werden. Die Formeinsätze haben einen definierten Prägerand, der umlaufend direkt an dem Grenzbereich zwischen Polymer und Einlegeteil liegt und sich auf das Einlegeteil drückt. Das exakte Einstellen des Pressdrucks zum Abdichten erfolgt über Abstimmbuchsen. Um das Einlegeteil im Werkzeug zu halten, ohne es zu beschädigen, wurden Saugnäpfe, die mit Unterdruck arbeiten, eingebaut. Diese benötigen nur relativ kleine planare Flächen, um das Einlegeteil im Werkzeug auf Spritzposition zu halten. Die Zentrierung des Einlegeteils wird durch Zentrierstifte gewährleistet. Das Bestücken des Spritzgießwerkzeugs mit den Einlegeteilen und die Entnahme des Hybridbauteils erfolgt mit Hilfe eines Handlingsystems. Hierzu sind Zentrierbuchsen für das Handlingsystem im Spritzgießwerkzeug integriert.

Der Polymerbereich des Bauteils wird mit einer Heißkanaldüse direkt auf das Bauteil angespritzt.

7.1. Entwicklung und Konstruktion des Spritzgießwerkzeugs

Das 1-fach Spritzgießwerkzeug mit Wechseleinsätzen für die beiden Varianten des Hybridbauteils wurde mit der CAD Software Catia V5 konstruiert. Es handelt sich um ein Auf-Zu Spritzgießwerkzeug ohne Schieber mit einem Auswerfersystem, was die Entnahme des Hybridbauteils unterstützen soll. Alle Komponenten des Werkzeuges sind im CAD als 3d-Modelle aufgebaut worden und die für die Fertigung notwendigen Zeichnungen wurden daraus abgeleitet. Die 3d-Modelle und die Fertigungszeichnungen werden für die NC-Programmierung und für die Qualitätskontrolle benötigt.

Außerdem wurden die 3d-Daten des Spritzgießwerkzeugs dem Projektpartner Fa. SimpaTec GmbH zur Simulation zur Verfügung gestellt.

7.1.1. Materialauswahl für die formgebenden Teile

Die formgebenden Bauteile, also die Formeinsätze für Auswerfer- und Düsenseite (Abb. 16-18 und Abb. 22 Pos. 90 + 92) sind aus einem Warmarbeitsstahl 1.2343 ESU (X37CrMoV5-1) gefertigt worden. Dieser Warmarbeitsstahl ist ein ausgewiesener Formstahl für die Kunststoffverarbeitung. Mit seiner chemischen Zusammensetzung und seiner hohen Zähigkeit ist dieser Stahl sehr gut geeignet, die gängigsten Kunststoffe ohne großen Verschleiß zu verarbeiten (gute Warmverschleißfestigkeit). Die Härte wurde von uns auf 52+2 HRC festgelegt, was sich aus unserer Erfahrung sehr gut eignet, um die angegebenen Kunststoffe zu spritzen und eine gute Bearbeitbarkeit zu erreichen. Dieser Stahl lässt sich im Reparaturfall gut schweißen, ist polierbar, ätzbar, lässt sich gut erodieren und beschichten. Diese Eigenschaften waren für uns von entscheidender Bedeutung, um diesen Stahl auszuwählen. Die Formeinsätze haben eine Größe von 160 x 160 mm und sind je nach Variante zwischen 31,55 und 49,32 mm hoch.

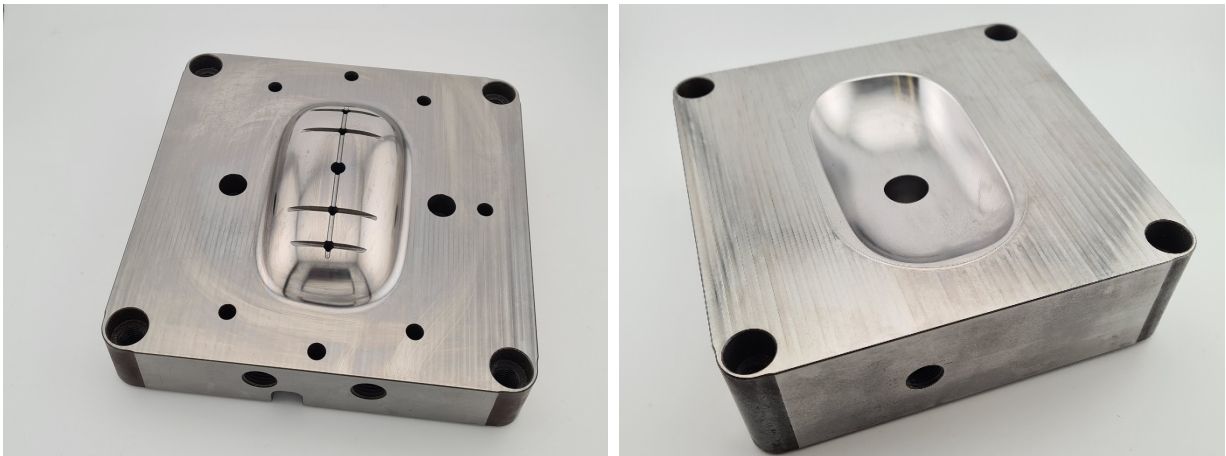


Abbildung 16: Formeinsätze mit 3d-Hybridbauteilgeometrie aus Material 1.2343 ESU gehärtet HRC 52-54

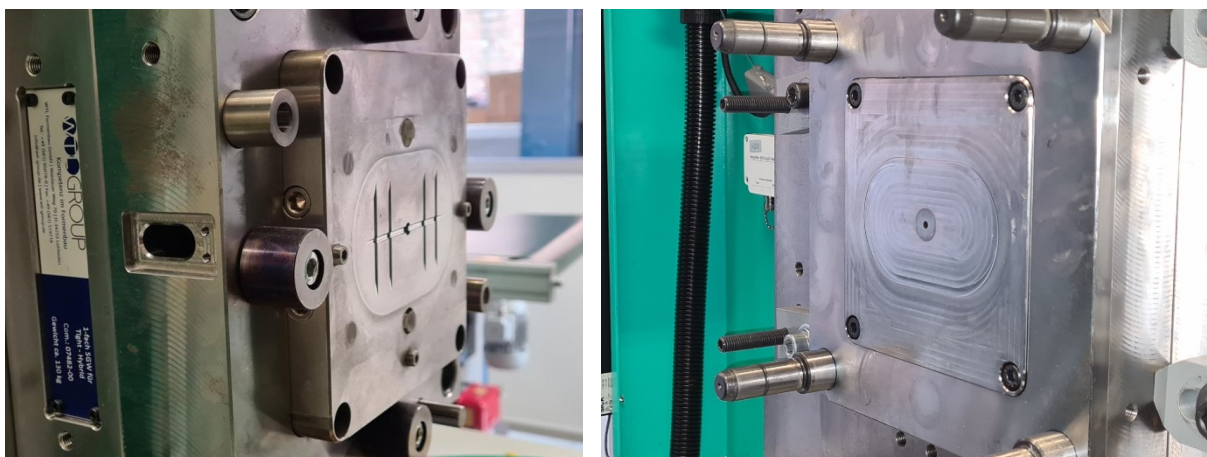


Abbildung 17: Formeinsätze mit 2d-Hybridbauteilgeometrie im eingebauten Zustand auf Spritzmaschine

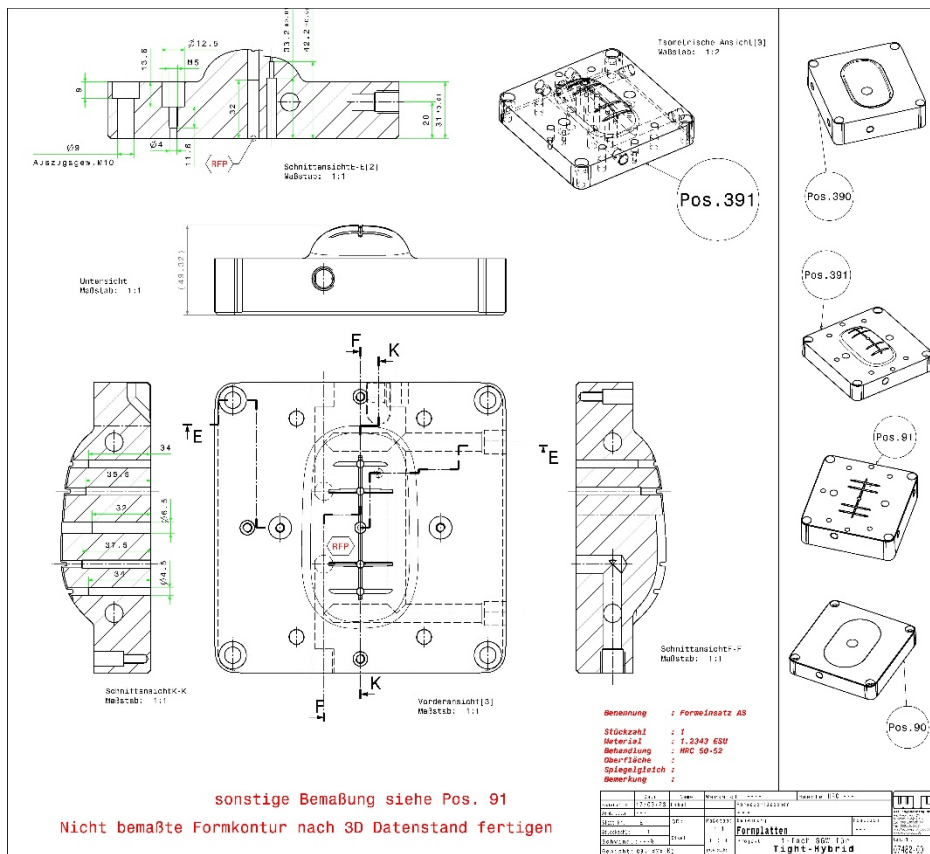


Abbildung 18: Ausschnitt aus einer Fertigungszeichnung der Formeinsätze

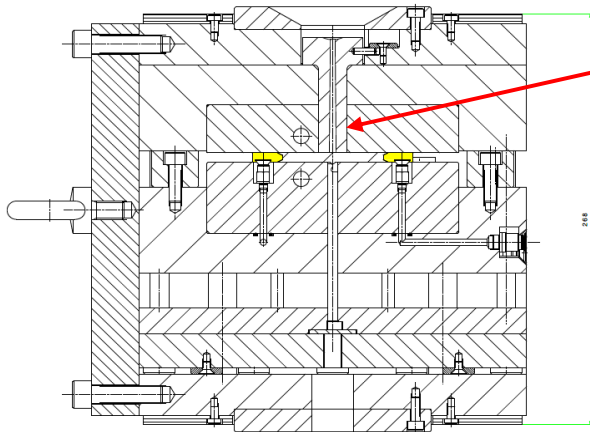
7.1.2. Materialauswahl der anderen Formkomponenten

Die beiden Formhalteplatten (Pos. 6 + 7, Abbildung 22), in die die o.g. Formeinsätze eingebracht werden, wurden aus 1.2312 (40CrMnMoS8-6) gefertigt. Hierbei handelt es sich um einen Vergütungsstahl mit einer hohen Zugfestigkeit. Er wird allgemein in einem hochvergüteten Zustand mit einer Zugfestigkeit von ca. 950-1.100 N/mm² geliefert. Daher ist eine weitere Wärmebehandlung nicht notwendig. Es ist aber möglich diesen Stahl im Nachhinein zu nitrieren, um eine höhere Oberflächenfestigkeit zu erreichen. Die weiteren untergeordneten Werkzeugkomponenten wie z.B. die düsen- und auswerferseitigen Spannplatten (Pos. 2 + 10, Abbildung 22), Auswerferhalte- und Auswerferplatte (Pos. 11 + 12, Abbildung 22) wurden aus einem unlegierten Kaltarbeitsstahl 1.1730 (C45U) gefertigt. Dieser Stahl lässt sich einfach bearbeiten, besitzt eine gute Zähigkeit und wird vorzugsweise für die Formaufbauplatten eingesetzt, wenn keine besonderen Beanspruchungen für den Formaufbau zu erwarten sind.

7.1.3. Auslegung des Prägerands

Aus der Erfahrung von 2- und 3-Komponenten-Spritzgießwerkzeugen ist ein Abdichten im flächigen Bereich nur möglich, wenn die zu umspritzende Komponenten (Einlegeteil) nahe an der Grenzfläche zur anzuspritzenden Komponente gehalten bzw. gepresst wird. Hierbei ist es wichtig, dass der Druck mit einer möglichst kleinen Fläche auf den Rand des Einlegeteils aufgebracht wird. Der Schließdruck der Spritzmaschine muss konzentriert auf den Abdichtbereich des Einlegeteils gebracht werden. Ist dieser Prägerand nicht richtig abgestimmt, kommt es zur Deformation oder zu „Durchbrüchen“ des Einlegeteils. Der Prägerand (Abb. 19 - 20) ist im düsenseitigen Formeinsatz eingebracht. Dieser Rand ist

in einer Anpassungsschleife ein Heißkanalsystem (HK-System) der Fa. Günther-Heißkanaltechnik in die vorhandene Werkzeugkonstruktion eingearbeitet und im Werkzeug eingebaut. Bei diesem HK-System handelt es sich um eine beheizbare Düse mit der die Kunststoffmasse bis zum Bauteil auf Schmelztemperatur gehalten werden kann. Es besteht aus einer 230 V Düse 5SEF60H (Pos. 156, Abbildung 22) mit einer Länge von 60 mm. Für den Umbau auf ein HK-System waren einige Anpassungen am Spritzgießwerkzeug nötig. Der düsenseitige Formeinsatz und die düsenseitige Formplatte wurden geändert. Zusätzlich wurde ein neuer Zentrierring angefertigt und eine Zwischenplatte (Pos. 15, Abbildung 22) eingebaut. Diese Platte wurde benötigt, um den Schließweg der Spritzmaschine an das Spritzgießwerkzeug anzugleichen.



Angußbuchse (Kaltkanal)
mit Angußstange direkt
auf Bauteil

Abbildung 21: Schnitt durch das Spritzgießwerkzeug vor der ersten Modifikation mit Kaltkanalsystem

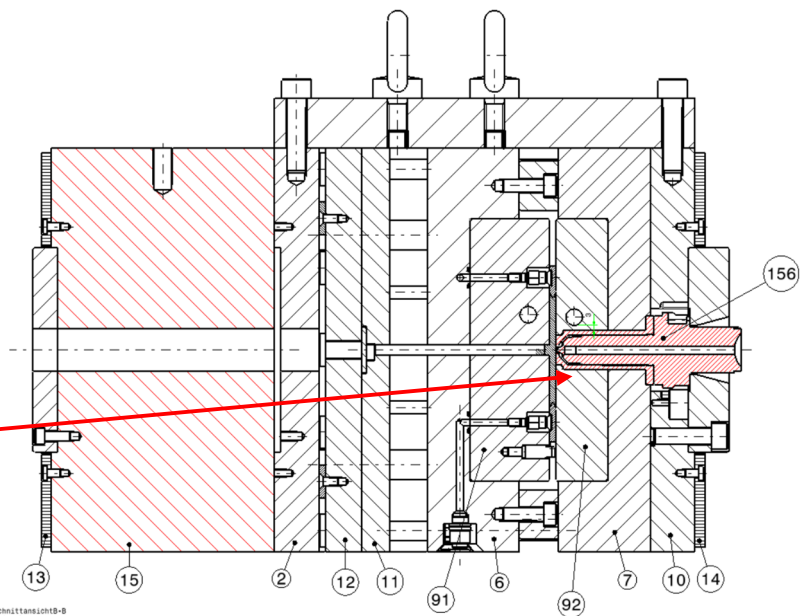
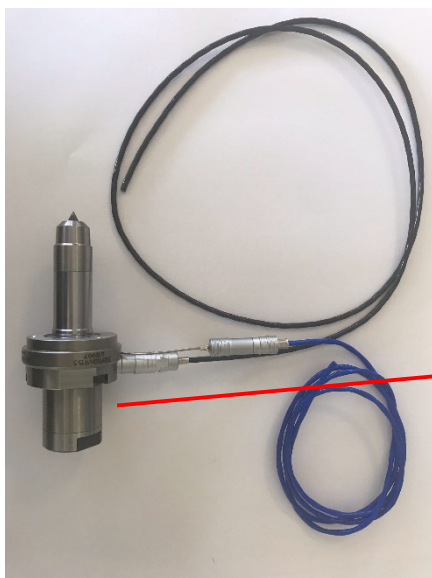


Abbildung 22: HK-Düse (li) Schnitt modifiziertes Spritzgießwerkzeug mit HK-System (re)

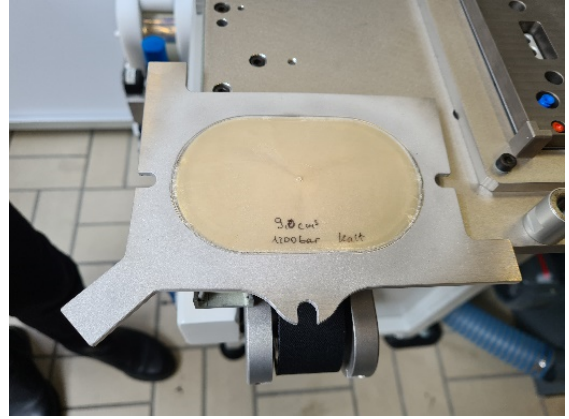
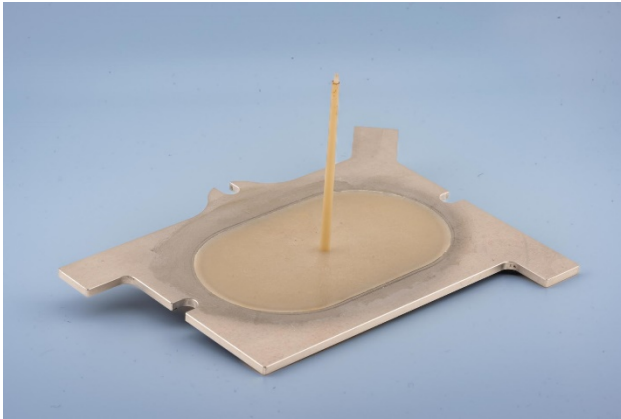


Abbildung 23: Bauteil mit Angußstange (links) und Bauteil mit Anspritzung über HK-System (rechts)



Abbildung 24: Bauteil mit 3d Kunststoffbereich und HK Anspritzung

7.1.5. Zentrierungen für das Handlingsystem

Um den Greiferarm des Handlingsystems korrekt an der Spritzgussmaschine zu positionieren, braucht es spezielle Aufnahmebuchsen am Spritzgießwerkzeug. Diese zwei Buchsen bestehen aus Material 1.2312, sind plasmanitriert und wurden in die auswerferseitigen Formeinsätze eingebracht. Diese sind in ihrer Dimension mit dem Handlingsystem abgestimmt. Durch die genaue Platzierung der Buchsen im Werkzeug wird festgelegt, wo das Einlegeteil vom Greiferarm abgelegt werden kann.

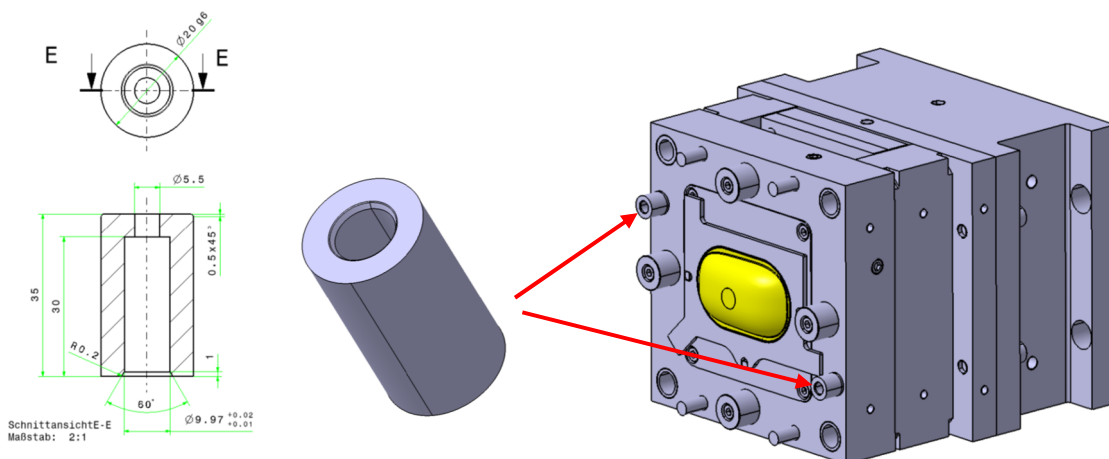


Abbildung 25: Skizze Position der Zentrierbuchsen

7.1.7. Vorbereitung für den Einbau eines Druck-Tempersensors

Das Werkzeug ist für den Einbau eines Druck-Tempersensors vorbereitet. Der Sensor dient zur Aufzeichnung der Verlaufsdaten während des Spritzprozesses. Diese Daten wurden von der Uni Kassel an den Projektpartner Fa. SimpaTec zur Spritzgießsimulation übermittelt. Der Sensor kann in den auswerferseitigen Formeinsatz eingebaut oder die Bohrung kann mit einem Blindeinsatz verschlossen werden. Hierzu ist die nötige Bohrung mit Gewinde in den auswerferseitigen Formeinsatz eingebracht worden. Ein Kabelkanal sowie die Anschraubfläche für die Anschlussbuchsen ist in die Formhalteplatte eingefräst.

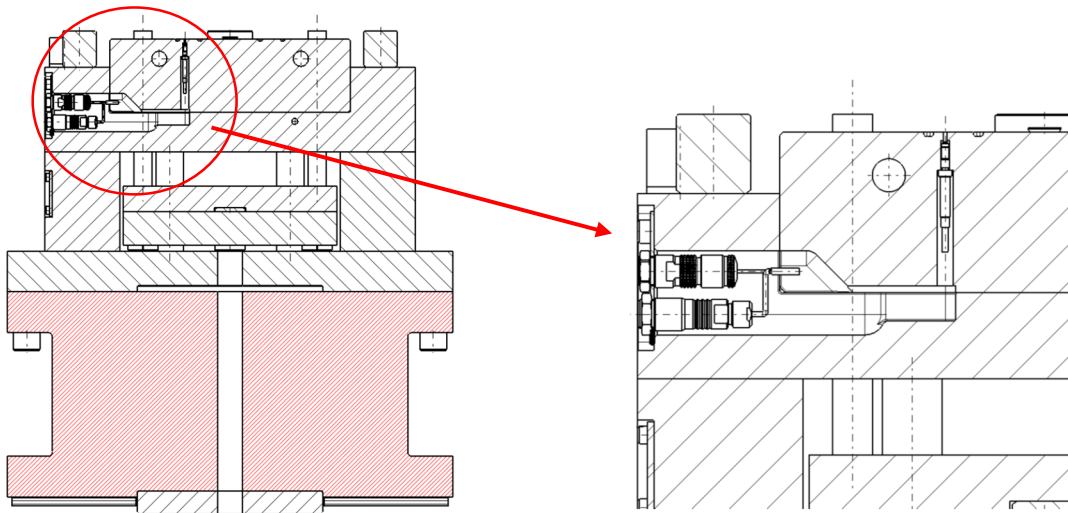


Abbildung 28: Kabelkanal und Bohrung für den Drucksensor im Schnitt

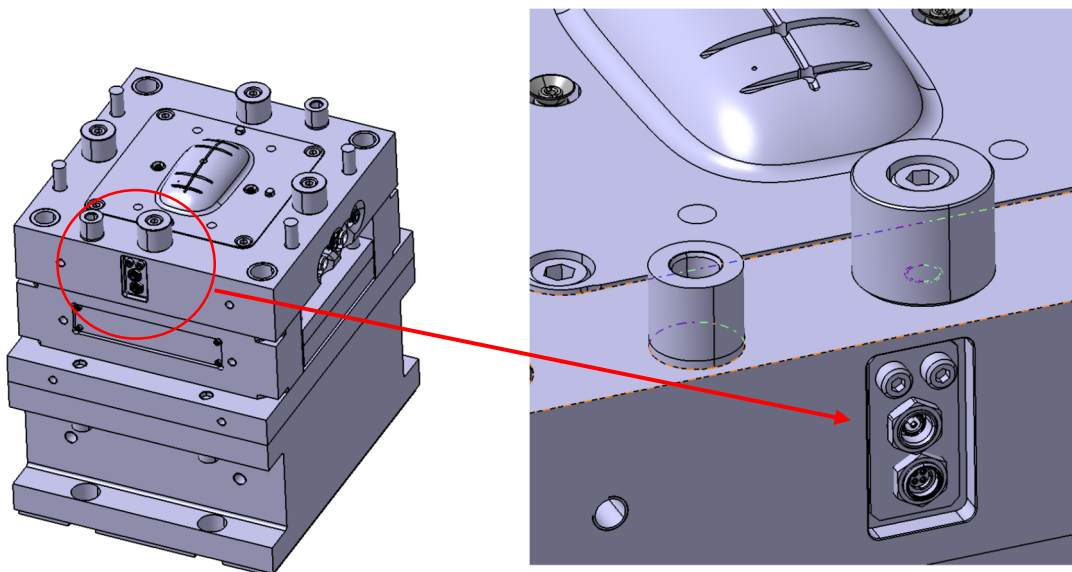


Abbildung 29: Ausfräsung der Anschraubfläche mit Anschlussbuchsen

7.2. Fertigung des Spritzgießwerkzeugs

Die Fertigung des Spritzgießwerkzeugs erfolgte nach CAD-Daten und Zeichnungen. Zur Bearbeitung der Formeinsätze kamen 3- und 5-Achsen Fräsbearbeitungszentren zum Einsatz. Für die Bearbeitung auf den Fräsbearbeitungszentren sind NC-Programme nötig. Diese werden bei WTL mit Hilfe der Software Cimatron erstellt. Die Formeinsätze sind zuerst mit einem abgestimmten Aufmaß zum Härten vorgearbeitet worden. Nach dem externen Härten der Formeinsätze erfolgt die Schlichtbearbeitung. Hierzu müssen die Außenmaße der Formeinsätze geschliffen werden. Danach erfolgt die Schlichtfräsbearbeitung auf hochgenauen Hochgeschwindigkeitsfräsmaschinen. Bei diesen Maschinen können Fräswerkzeuge mit einem $\varnothing < 0,5$ mm verwendet werden, um eine extrem gute Oberflächengüte zu fertigen. Mit diesem kleinen Fräsdurchmesser konnte die Rippenstruktur, entgegen der ersten Fertigungsannahmen, gefräst statt erodiert werden. Zur Qualitätsprüfung wurden die Formeinsätze mit Hilfe einer 3d-Messmaschine vermessen.

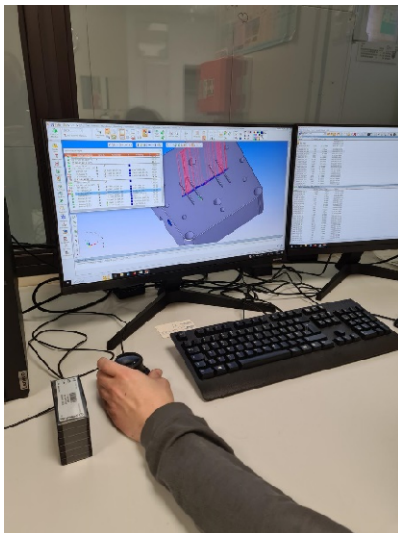


Abbildung 31: CAM Programmierung



Abbildung 30: Fertigung der Rippenstruktur des auswerferseitigen Formeinsatzes auf HSC Fräsmaschine

Die Werkzeugaufbauplatten wurde geschliffen und auf 3-Achs Fräsbearbeitungszentren gefertigt. Bei der Bearbeitung dieser Platte wurden sowohl externe NC-Programme als auch direkt an der Maschine geschriebene Maschinenprogramme verwendet.

Danach folgte der Zusammenbau des Spritzgießwerkzeugs, hierbei wurden die gefertigten Bauteile und die zugekauften Bauteile aufeinander abgestimmt und montiert. Zum Schluss wurde die Kühlung, des fertig montierten Werkzeug, auf Dichtigkeit geprüft und die Abstimmbochsen für den Pressdruck auf das Einlegeteil abgestimmt. In nachfolgenden Anpassungsschleifen erfolgte die o.g. Änderungen (Umbau auf HK-System, Größenanpassung für Schließweg der Spritzmaschine) am Werkzeug und eine erneute Abstimmung des Pressdrucks nach der ersten Musterung.

8. Ergebnisse

Das Zugstab- und das Demonstratorwerkzeug wurden erfolgreich modifiziert. Mit dem Zugstabwerkzeug konnten die Zugstabprobekörper ohne Deformation angefertigt werden. Durch die Modifikation des Demonstratorwerkzeugs konnten am Anfang des Projektes erste Hybridbauteile in einer horizontalen Spritzmaschine hergestellt werden.

Die Entwicklung eines neuen vereinfachten Hybridbauteils hat die geplanten Werkzeugkosten reduziert. Außerdem konnte, durch die Eigenentwicklung des Hybridbauteils, das Projekt, mit einem geringen zeitlichen Verzug, weitergeführt werden. Dank des kompakten Designs des Hybridbauteils konnte WTL eine Druckprüfvorrichtung entwickeln und anfertigen. Mit der Druckprüfvorrichtung sind die fertig gespritzten Hybridbauteile in unterschiedlichen Belastungsstufen (s. Tabelle unten) geprüft worden. Diese Druckprüfvorrichtung lässt sich leicht transportieren und ist in ihren Dimensionen für den Aufbau auf den Prüfständen der Uni Kassel abgestimmt.

Während der Projektlaufzeit wurden bei WTL mehr als 300 Einlegeteile für die Hybridbauteilfertigung hergestellt.

Mit dem entwickelten und angefertigten Spritzgießwerkzeug sind beide Varianten des Hybridbauteils hergestellt worden. Die im Kapitel 7 beschriebenen Besonderheiten des Werkzeuges führten zu einer Fertigung der Hybridbauteile ohne Deformation des Einlegeteils und ohne Überspritzungen der Polymermasse. D.h. die Abdichtung mit dem Prägerand hat erfolgreich funktioniert. Im vollautomatischen Serienbetrieb wurde das Werkzeug, mittels Handlingsystem, mit Einlegeteilen bestückt. Somit konnte die geforderte Erhöhung des Technology Readiness Level (TRL) von Level 4 auf Level 5 erfolgreich realisiert werden. Die angefertigten Hybridbauteile haben im Drucktest einen Druck von maximal 2,5 bar standgehalten (Ergebnisse Uni Kassel s. Tabelle unten, bzw. im Bericht der Uni Kassel).

Tabelle 1: Ergebnisse der Druckversuche von der Uni Kassel

Eintägige Belastung	Fünftägige Belastung	Eintägige Belastung	Fünftägige Belastung
+	+	+	+
Medienexposition mit Öl (100 °C)	Medienexposition mit Öl (100 °C)	Medienexposition mit Wasser (100 °C)	Medienexposition mit Wasser (100 °C)
Mediendicht bis: 2,5 bar	[undicht]	Mediendicht bis: 2,5 bar	[undicht]

9. Voraussichtlicher Nutzen in der Zukunft

Durch die Entwicklung des Hybridbauteils konnte die Fa. WTL ihr Wissen im Bereich der Auslegung von Grenzflächen zwischen Polymer und Metall erweitern. Somit kann in Zukunft den Kunden bei der Gestaltung von Grenzflächen bei Hybridbauteilen, beratend zur Seite gestanden werden.

Die Ergebnisse des Spritzprozesses zeigen, dass mit der gewählten Auslegung des Spritzgießwerkzeugs ein Serienbetrieb möglich ist. Diese Erkenntnisse werden ggf. bei zukünftigen Werkzeugspritzgießkonstruktionen einfließen. Da die Automobilindustrie ihre Spritzgießwerkzeuge zum großen Teil aus Asien bezieht, sehen wir bei WTL, in naher Zukunft keine Perspektiven für den Bau von Spritzgießwerkzeugen für Hybridbauteile für die Automobilindustrie. Die Möglichkeit für den Einsatz von Hybridbauteilen in anderen Bereichen sind durchaus denkbar und werden von WTL mit Interesse verfolgt. Die Umsetzung eines solchen Projektes muss dann mit den potentiellen Kunden diskutiert werden.

Tabelle 2: Verwertungsplan

	Maßnahmen	Zeitlicher Bezug
Wirtschaftliche Erfolgsaussichten	Anbieten von Werkzeugen für den Hybridspritzguss	Nach Laufzeitende.
	Steigerung von Ertrag und Umsatz	z.Z. nicht absehbar
	Verbesserung der Wettbewerbssituation, damit auch Sicherung vorh. Arbeitsplätze	z.Z. nicht absehbar
	Nutzen für unsere Kunden	z.Z. nicht absehbar
Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten	Verbesserte Zusammenarbeit mit den beteiligten Firmen und Forschungsstellen	Während und nach Laufzeit
Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	Folgeprojekte	z.Z. nicht absehbar