

Abschlussbericht

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

„Entwicklung eines druckbeaufschlagten turbulenzarmen Gießprozesses“

Bezug zu Förderthema 7:

Ressourceneffizienz durch innovative Produktionsprozesse, Werkstoffe und Oberflächentechnologien



ENTE
STRACON



ENTE-STRACON GMBH
Robert-Bosch-Straße 80
73431 Aalen

Ansprechpartner: Herr Ralf Bux
Tel.: +49 7361 88093-90
E-Mail: Ralf.Bux@entec-stracon.com

06/02		1 Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	357980/01	Referat	21/2	Fördersumme	113.485,00€
Antragstitel		Entwicklung eines druckbeaufschlagten turbulenzarmen Gießprozesses			
Stichworte		Druckguss, Räderfertigung, Energieeffizienz			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
12 Moate		02.06.2020		01.06.2021	
				Projektphase(n)	
				I	
Zwischenberichte					
27.10.2020		Vorstellung des aktuellen Entwicklungsforschrittes bei Herrn Dr. Schwake			
Bewilligungsempfänger				Tel +49 7361 88093-90	
ENTEK-STRACON GmbH				Fax +49 7361 88093-91	
Herrn Ralf Bux				Projektleitung	
Robert-Bosch-Str. 80				Herr Ralf Bux	
73431 Aalen				Bearbeiter	
				Herr Ralf Bux	
Kooperationspartner					
Keine direkten Kooperationspartner im Sinne der Förderung					
Projektpartner (Gießaggregat) Fa. Oskar Frech GmbH & Co. KG					
Projektpartner (Infrastruktur) Fa. Moneva GmbH & Co. KG Leichtmetallguss					
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
Entwicklung eines dezentralen Gießverfahrens zur optimalen Herstellung von Leichtmetallgussteilen mit sehr unterschiedlichen Wanddicken. Grundlage ist eine im Vorfeld erforderliche und erarbeitete Basis-machbarkeitsstudie, die nachhaltig weiterentwickelt werden soll. Dieses Verfahren soll langfristig serienreif eingesetzt werden können und sowohl ökonomisch als auch ökologisch im Einklang stehen.					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
Innerhalb des Entwicklungsprojekts muss ENTEK-STRACON in vielen Bereichen neue technische Lösungen erarbeiten. Wesentliche Projektschritte sind:					
1. Erstellen eines Lasten-/Pflichtenheft					
2. Simulationen (Festigkeit, Gießen, Fertigen)					
Mit Hilfe der Simulation (Gießbarkeit und Festigkeit) wurde das Verfahren optimiert, so dass die Qualität und die Serientauglichkeit sichergestellt werden kann					
3. Konstruktive Werkzeugdetailierung					
Die Simulationsergebnisse wurden in der konstruktiven Entwicklung umgesetzt. Das Ergebnis ist ein preiswertes Werkzeug mit breiten Einsatzmöglichkeiten für zum Beispiel auch Leichtmetallrädern mit geringen Gesamtvolumen.					
4. Erarbeiten von Prozessparametern und Herstellungsparameter					
Auf der Werkzeugseite wie auch auf der Anlagenseite wurden diverse Teilprozessschritte dargestellt und beschrieben.					
5. Konstruktion der Zelle					
Alle Teilbereiche des Verfahrens (Einbringen der Schmelze, vorbereiten der Gießform, Gießen, Entnahme, Abschrecken, Abtrennen des Angusseseinheit und der Überläufe) wurden konstruktiv entwickelt.					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Mit dem innerhalb des Projektes entwickelten druckbeaufschlagten turbulenzarmen Gießprozess, konnten erste Produkte erfolgreich hergestellt werden. Die ersten Leichtmetallräder wurden mit dem neuen Verfahren gegossen. Die Reproduzierbarkeit konnte gezeigt werden.

Ein weiterer großer Fokus war die Reduzierung von CO₂ bei der Herstellung von Leichtmetallrädern. Auch hier konnten eine CO₂-Reduktion bei der Herstellung um 50% erreicht werden. Im Vergleich zum herkömmlichen Herstellungsprozess werden weniger die wertvollen Ressourcen von Energie und Aluminiumlegierung benötigt. Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass die geforderte Aerodynamik umsetzbar ist. Aufgrund der dezentralen Produktion entfällt der Transport und weitere 75% CO₂. Insgesamt kann eine CO₂ Einsparung pro Fahrzeug gegenüber dem bisherigen Niederdruckguss um 0,4 Tonnen reduziert werden.

Das Projekt zeigt ein sehr großes Potential durch das Schaffen einer Entwicklungsbasis auf die mittels eines Folgeprojektes mit den gewonnen umfangreichen Erfahrungen aufgebaut werden kann. In dem Folgeprojekt soll die Serienreife erreicht werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Vorstellung bei ersten potenziellen Kunden und Vorstellung im Rahmen der vertrieblichen Tätigkeiten. Erste Reaktionen und Meinungen von OEMs und dem Markt wurden eingeholt. Weitere Präsentationen und Vorstellungen sind geplant.

Fazit

Innerhalb des Projektes „Entwicklung eines druckbeaufschlagten turbulenzarmen Gießprozesses“ konnte ein Prototyp der Zelle sowie die ersten Leichtmetallräder realisiert werden. Dabei wurde aufgezeigt, dass die Aerodynamik und die unterschiedlichen Wanddicken moderner Leichtmetallräder in einer Gießzelle dezentral gegossen werden können.

Der innerhalb des Projektes realisiert Prototyp schafft eine sehr gute Grundlage zur Weiterentwicklung. Durch die gewonnenen Erfahrungen innerhalb des Projektes können die Ziele für eine Weiterentwicklung nun deutlich besser abgeschätzt werden. Insbesondere zeigt sich durch das erreichte Ergebnis, dass das druckbeaufschlagte turbulenzarme Gießen ein großes Potenzial zu weiteren Einsatzgebieten hat. Mit einem Folgeprojektantrag soll die Serienreife sichergestellt werden – DBU 373396

Inhalt

1	Projektkennblatt	2
2	Kurzfassung des Gesamtumfanges.....	5
3	Angaben zum Projektleiter / Antragsteller.....	5
4	Aktuelle Problemstellung und Stand des Wissens und der Technik.....	6
5	Eigene Vorarbeiten und bisherige Aktivitäten auf dem Gebiet	6
6	Schrittweise Umsetzung der Einflussfaktoren beim Gießen.....	6
7	Weiterentwicklung: Zuhaltkraft, Prozesssicherheit und Maßhaltigkeit	13
8	Verbesserung des Gießsystems.....	15
9	Evakuieren der Form für minimale Porosität.....	17
10	Fortführung und Umweltperspektiven	19
11	Fazit.....	21

2 Kurzfassung des Gesamtumfanges

Die ENTEC-STRACON GmbH entwickelt ein druckbeaufschlagtes, turbulenzarmes Giessverfahren, mit dem es erstmals möglich wird schnell und wirtschaftlich komplexere Bauteile zu gießen mit unterschiedlichen Wandstärken. Insbesondere Leichtmetallräder können so nahezu produktnah, d. h. ohne viel Nacharbeit gegossen werden. Neben der Einsparung von Rohstoffen bei der Herstellung können auch Energie, Zeit und CO₂ eingespart werden.

Bisher werden über 90% aller Leichtmetallräder im Niederdruck-Kokillengussverfahren hergestellt, hierbei sorgt die sehr langsame Formfüllung zu einem sehr groben Gefüge. Im Vergleich zu anderen Gießverfahren wird zur Herstellung auch erheblich viel Zeit benötigt und es sind lediglich Wandstärken bis minimal 6mm möglich. Durch dieses langsame Gießen entsteht ein Gefüge mit sehr schlechten Festigkeitseigenschaften. Heutige Aluminiumfelgen haben aber Wandstärken von nur noch 2-3mm um das Gewicht möglichst gering zu halten, bei gleichzeitig höherer Belastung. Um dieses Ziel erreichen zu können muss der Gussrohling beim Niederdruckgießen nach dem Gießen intensiv durch Zerspannung bearbeitet werden. Darüber hinaus noch sehr aufwendig wärmebehandelt werden (T6 - vergüten durch Ausscheidungshärten). Um darüber hinaus Leichtbau realisieren zu können, werden Verfahren wie Flowforming (Warmauswalzen) eingesetzt. Hierbei wird das Gefüge so verdichtet, dass die mechanischen Kennwerte erhöht und dadurch die Restwanddicke optimiert werden kann.

In den Grundlagenforschungen im Vorfeld auf diesem Gebiet konnte gezeigt werden, dass die Technologie grundlegend funktioniert und die mechanischen Kennwerte verbessert werden können. Sodass auf das aufwendige Vergütung und Verdichtung verzichtet werden kann. Im Zeitraum des Förderprojekts war das Ziel, schrittweise aus der Grundlagenforschung das Verfahren so weiterzuentwickeln, das ein Serieneinsatz realisiert werden kann. Hierbei wurde durch stufenweise Weiterentwicklung nach der bereits erfolgreich abgeschlossenen Machbarkeitsstudie konsequent Erweiterungsschritte umgesetzt. Ansatzpunkt M1) war die Entwicklung verbesserten Tools auf Basis von Gießsimulationen um die optimale Werkzeugform und Bauteilfüllung berechnen zu können, gefolgt von M2) Aufbau bzw. Erweiterung eines lokal temperierbaren Gießwerkzeugs. Anschließend folgte in mehreren Gießversuchen die M3) Erarbeitung der möglichen Gießparameter, mit dem Ansatz den M4) Versuchsaufbau in Form einer Demonstrationsanlage so zu verbessern und die Geometrie gerade im Bereich der Werkzeugentlüftung so M5) technisch zu optimieren, dass die Geometrie in allen Bereichen erprobt werden kann.

3 Angaben zum Projektleiter / Antragsteller

Herr Bux hat jahrelange Erfahrung in der Entwicklung und Produktion von Leichtmetallrädern und war 10 Jahre Entwicklungs-Ingenieur bei der Daimler AG im Bereich Räder und Reifen. In dieser Zeit hat er maßgeblich die Hohlspeichentechnologie mit ATS und die Schmiedetechnologie mit Otto Fuchs zur Serienreife gebracht. Bereits vor dieser Tätigkeit im Rahmen seines Studiums entwickelte er als seine Diplomarbeit eine Prüftechnologie für Räder, die mit einem Umweltpreis der Stadt Esslingen gekrönt wurde. Im Jahr 2007 gründete er die Firma ENTEC-STRACON und entwickelt noch heute Leichtmetallräder für div. OEM und Tier1 Unternehmen. Gerade, verschärft durch WLTP und CO₂, ist er als Entwicklungspartner sowohl bei Daimler als auch bei dessen Radhersteller ein anerkannter Berater von Design bis zur Serienfreigabe. Mit mehr als 1000 Radentwicklungen und dem Einblick in die aktuelle Herstellung von Leichtmetallrädern weltweit, besitzt er ein sehr fachkundiges Wissen sowohl beim klassischen Niederdruckgießen als auch beim Schmieden. TURBU-DRUCK-GIESEN ist hierbei ein konsequentes Resultat einer 25-Jährigen Erfahrung in diesem Umfeld.

4 Aktuelle Problemstellung und Stand des Wissens und der Technik

Im Zuge des Klimawandels und der immer schärferen Grenzwerte im PKW Bereich sind die Hersteller angetan die entstehenden Emissionen immer weiter zu reduzieren. Dies kann man aerodynamisch und / oder durch Effizienzsteigerungen der Motoren in Verbindung mit Gewichtsreduktion am gesamten Fahrzeug erreichen. Ein Bauteil, dass sich in den letzten Jahrzehnten kaum verändert hat sind die Aluleichtmetallräder. In der Vergangenheit hat eine herkömmliches 18“ Aluminium-Leichtmetallrad maximal rund 12 kg mit einer Radlast von 690 kg gewogen. Heutige ist es notwendig das gleiche 18“ Alurad aufgrund von immer größeren PKWs sowohl bei den Verbrennungsmotoren als auch bei der schweren Elektromobilität (Batterie + Reichweite) in Verbindung mit den Aerodynamikansprüchen Radlasten von über 800 kg bis 1000 kg auszuhalten. Diese Anforderungen erhöhen bei gleichem Herstellungsverfahren das Radgewicht auf teilweise weit über 14,5 kg. Dabei wird versucht, über beispielsweise Kunststoffeinsätze dieses Mehrgewicht zu kompensieren und dennoch die Aerodynamik zu halten. Eine weitere Kompensationsmöglichkeit dieser Mehrgewichte ist das nachträgliche Auswalzen (Flowforming), dass durch die damit verbundene Festigkeitssteigerung eine Reduzierung der Querschnitte inForm weiterer mechanischer Bearbeitungsschritte ermöglicht. Diese enormen Aufwendungen bei Herstellung oder Bearbeitung stehen in keinem Verhältnis zum Nutzen bei Verbrauch und CO₂-Ausstoß.

Die Grundlage dieses Entwicklungsstilstands liegt im Herstellungsprozess. Aluminiumräder werden im Niederdruckgussverfahren herstellt, da sich kein anderes Verfahren für die komplexen Strukturen mit extrem unterschiedlichen Wandstärken eignet. Die Mindestwandstärke bei diesem Verfahren liegt bei rund 6mm, da bei geringeren Wandstärken die Schmelze frühzeitig erstarren würde und somit kein gleichmäßiges Gießergebnis entsteht. Um aus dem Gussrohling im Niederdruckgussverfahren ein fertiges Aluminiumleichtmetallrad zu bekommen, muss dieses Bauteil sehr aufwendig mechanisch bearbeitet werden. Darüber hinaus ist es notwendig das vorbereitete Rad durch eine T6 Wärmebehandlung zu vergüten, um überhaupt die Festigkeitsanforderungen erfüllen zu können. Diese einzelnen Teilschritte sind enorm zeit-, kosten- und energieintensiv.

5 Eigene Vorarbeiten und bisherige Aktivitäten auf dem Gebiet

Zusammen mit Prof. Dr. Klein, Gießereiexperte mit mehr als 50 Jahren Erfahrung in seinem Gebiet, forschte die ENTEC-STRACON GmbH im Jahr 2017 an einem neuen Turbulenzarmen Gießverfahren. Die erste grundlegende Machbarkeitsstudie der neuen Technologie konnte bereits ein Jahr später belegt werden und wurde daraufhin zum Patent angemeldet. Dieses internationale Patent (Nr. PCT/EP2018/074299) wurde im Jahre 2020 weltweit veröffentlicht.

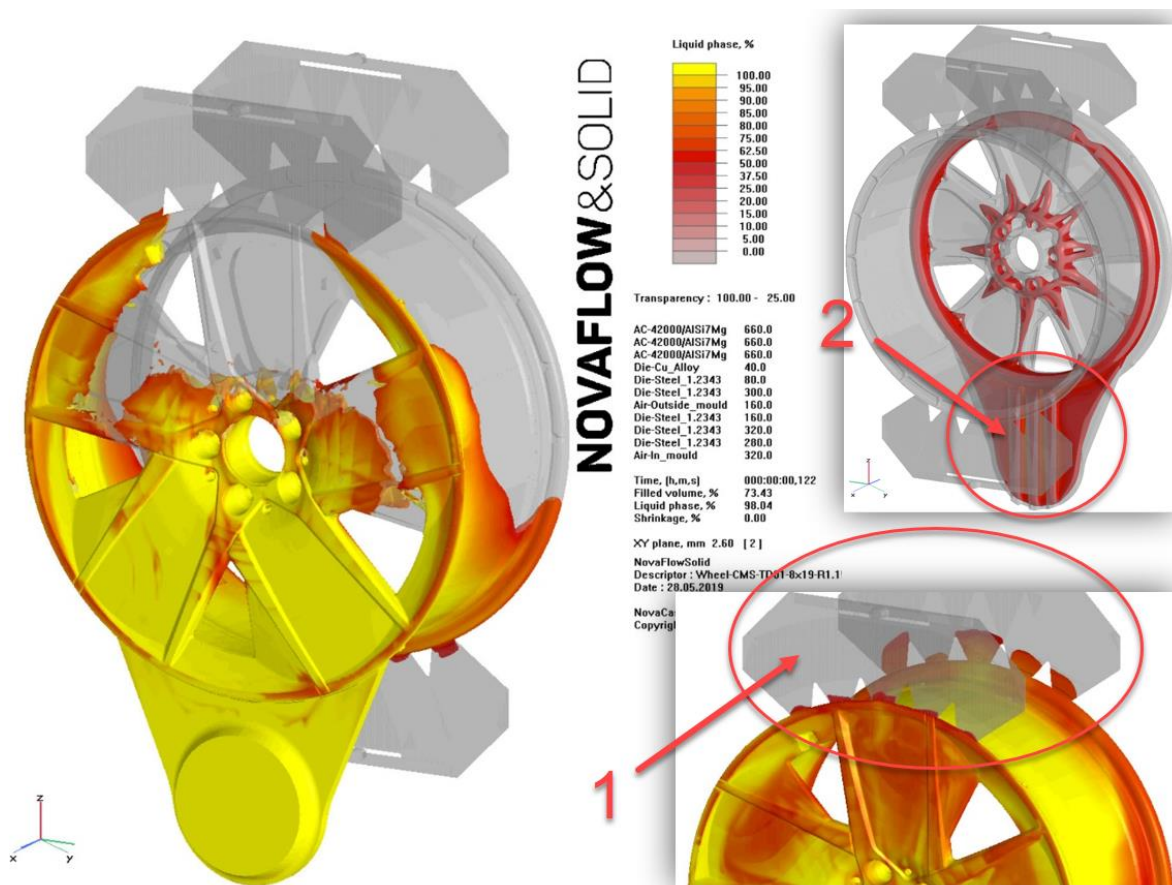
6 Schrittweise Umsetzung der Einflussfaktoren beim Gießen

Ab Beginn der Projektlaufzeit wurden Gespräche zwischen den Experten seitens Fa. Frech (Schorndorf, Gießanlagenhersteller) und diversen Werkzeugmachern (bspw. Fa. Härer, Lorch) geführt und im Team mit Prof. Dr. Klein und den Mitarbeitern der Fa. Aage bewertet. Anschließend wurden die vorliegenden Ergebnisse aus den Vorversuchen bewertet. Hierbei kristallisierten sich 3 Haupteinflussfaktoren heraus, die optimal funktionieren müssen um ein Zielführendes Gießergebnis zu erzielen.

Diese Haupteinflussfaktoren sind:

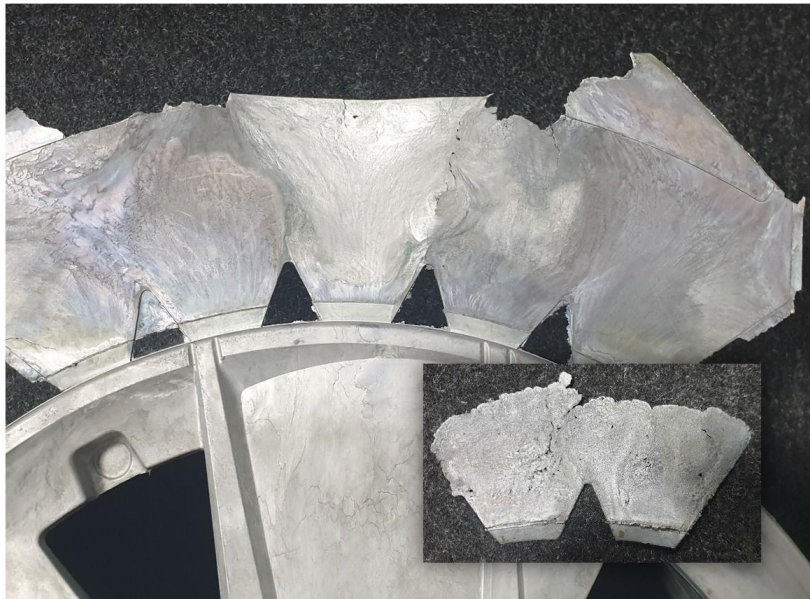
- A) Formfüllung und Erstarrung
- B) Überlauf und Entlüftung
- C) Gießprofil und Wärmemanagement

Bereits in der Simulation aus 2019 sind nach der Gegenüberstellung zur Hardware diese Schwachstellen zu erkennen. So wurde versucht durch gekühlte Entlüftungseinsätze (1) die Schmelzfront zum Erstarren zu bekommen, ohne die Luft mit einzuschließen. Des Weiteren wurde der Ansatz verfolgt, die Formfüllung über das Angussystem gerichtet (2) in den Formholraum einzuleiten.



(Abbildung 1: letzte Gießsimulation aus 05.2019)

Die anschließend durchgeführten Versuche zeigten, dass grundsätzlich die Formfüllung funktioniert, jedoch gerade bei den Überläufen keine Prozesssicherheit in dieser Form erreicht werden kann. Bei den drei Überläufe (1) gab es Gießergebnisse die gar nicht, oder nur teilweise oder sogar ganz befüllt wurden. Diese Gießfronten und deren undefinierten Erstarrungen verursachen Unsicherheit im Prozess, sodass diese Ausführung der Überläufe nicht zielführend war.



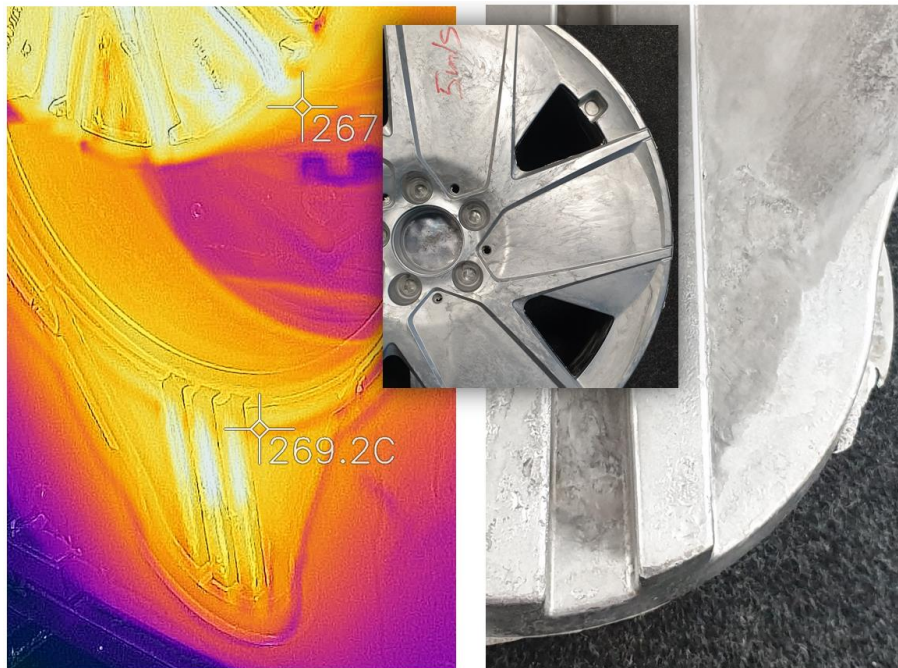
(Abbildung 2: Gießergebnis Entlüftung FS oben aus 01.2020)

Ebenfalls war die strömungsunterstützende Form (2) eher behindernd, da in diesem Bereich die Erstarrung zu früh einsetzte, sodass sowohl Lunker durch zu geringes Nachspeisen entstanden sind.



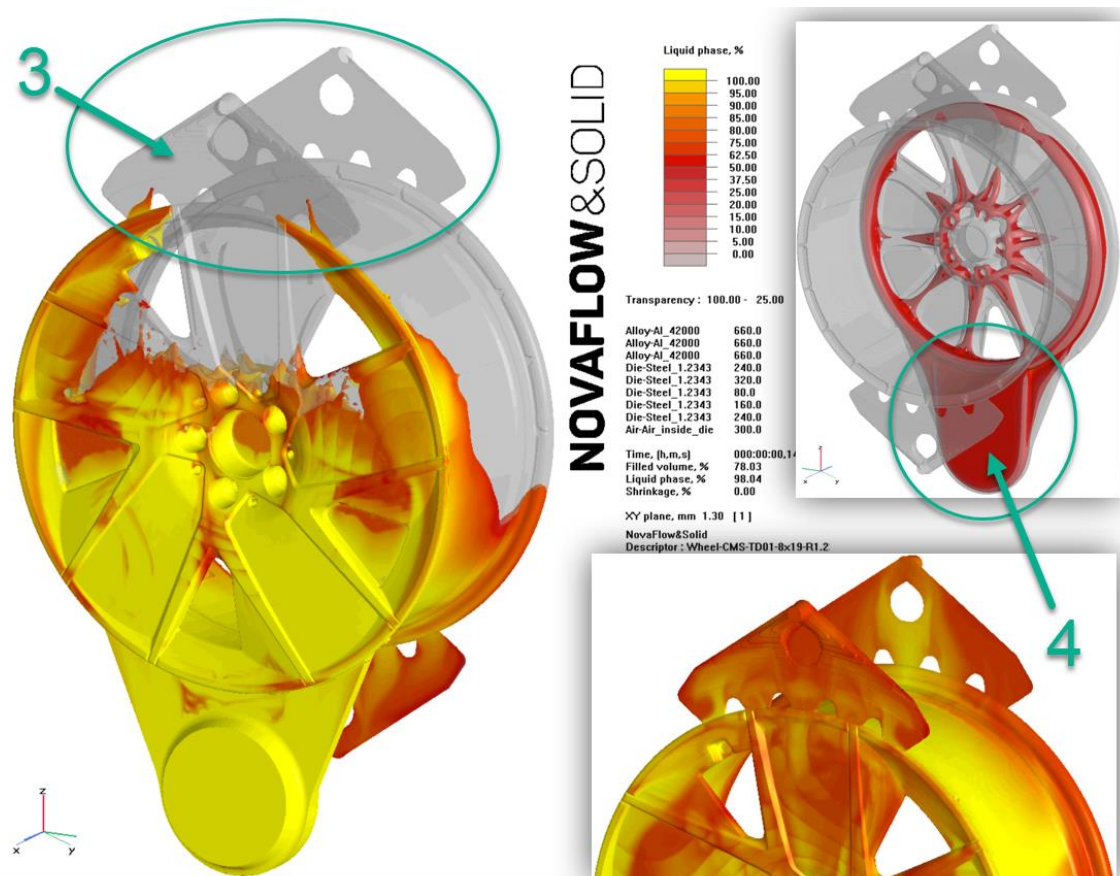
(Abbildung 3: Gießergebnis Schnitt durch Gussteil aus 01.2020)

Diese Untersuchungen bei weiteren Gießversuchen zeigten, dass die Geometrie wärmetechnisch aber auch strömungstechnisch nicht zielführend ist.



(Abbildung 4: Wärmebildauswertung und Kaltfluss im Angussssystem aus 01.2020)

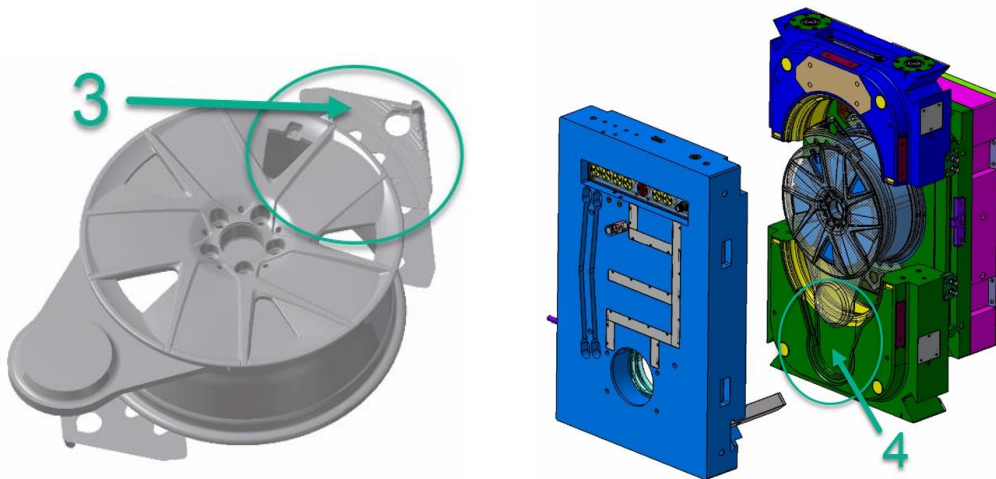
Aus diesen Erkenntnissen wurden Vorberechnungen zum Erstarrungsverhalten und zur geometrischen Auslegung durchgeführt und anschließend in Form von Simulationen verifiziert.



(Abbildung 5: Gießsimulation mit Optimierung aus 06.2020)

Ziel dieser Weiterentwicklung war, das Entlüftungsverhalten im Bereich der Überläufe (3) zu optimieren und keine undefinierten Erstarrungsfronten zu erhalten. Die Überlaufbleche sind der Bereich in denen die Schmelze die Restluft einschließen soll und ebenso irgendwelche Verkrackungsprodukte, die schädlich für das Gussteil sind. Ebenso wurden durch die weiteren Berechnungen und Simulationen bestätigt, dass eine Überarbeitung der Angussgeometrie zielführend ist.

Im Anschluss wurden die Werkzeugteile zuerst konstruktiv überarbeitet und anschließend Hardwareseitig umgesetzt.



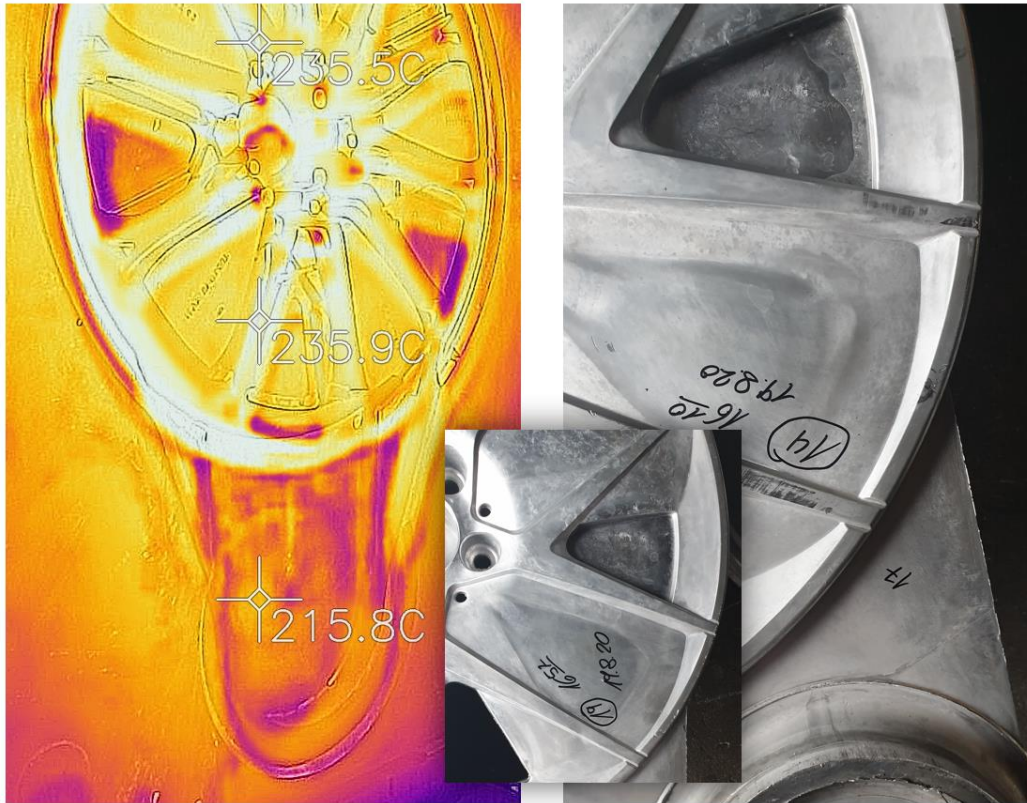
(Abbildung 6: CAD-Modell Gussteil aus 06.2020) (Abbildung 7: Werkzeug mit Optimierung aus 06.2020)

Die anschließend durchgeführten Versuche zeigten, dass diese Weiterentwicklungen funktionieren. Die drei Überläufe (3) sind bei den Gießversuchen gleichmässig gefüllt und übernehmen die Aufgabe Kaltfließfronten und Verkrackungsprodukte aufzunehmen.



(Abbildung 8: Gießergebnis Entlüftung FS oben aus 07.2020)

Auch beim simulierten Angussystem (4) bei dem die Querschnitte modifiziert und die Leitsicken entfernt wurden, war das Temperaturverhalten besser, sodass während der Erstarrung gezielt nachgespeist werden konnte.



(Abbildung 9: Wärmebildauswertung und Gussteil mit Gießhilfe aus 07.2020)

Nach dieser erstmaligen Möglichkeit das Nachspeisen und das damit verbundene Erstarrungsverhalten bewerten zu können wurden in mehreren Gießversuchen die Gießcharakteristik optimiert und verbessert.



(Abbildung 10: Gießergebnis Schnitt durch Gussteil aus 07.2020)



(Abbildung 11: Gießergebnis Schnitt durch Gussteil aus 08.2020)



(Abbildung 12: Gießergebnis Schnitt durch Gussteil aus 09.2020)



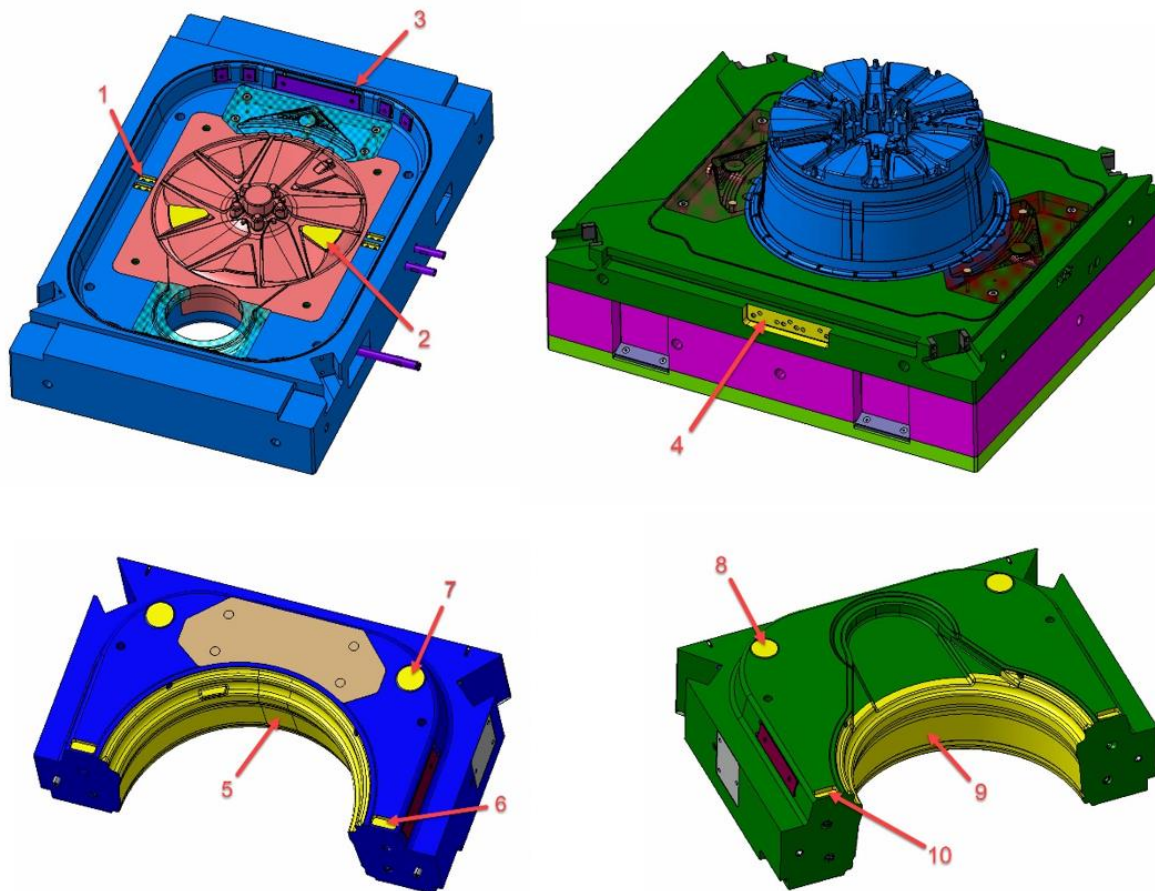
(Abbildung 13: Gießergebnis Schnitt durch Gussteil aus 10.2020)

7 Weiterentwicklung: Zuhaltekraft, Prozesssicherheit und Maßhaltigkeit

Die Gießversuche zeigten, dass wir sowohl auf der Designseite, als auch im Bereich der Porosität erhebliche Fortschritte gemacht haben. Dennoch war die erreichte Qualität noch nicht zu 100% erreicht. Ebenso mussten Maßnahmen ergriffen werden um die Gießform besser zu zuhalten und die Maßhaltigkeit bzw. Form und Lage besser zueinander abstützen zu können.

Aus diesem Grund wurden mehrere Maßnahmen ergriffen:

- A): Abstützung der Formhälfte in Entformungsrichtung horizontal (7) (8)
- B): Abstützung der Schieber in Entformungsrichtung vertikal (3)
- C): Zentrierung der Formhälften in Entformungsrichtung horizontal (1) (6) (10)
- D): Positionierung der Schieber in Entformungsrichtung vertikal (4)
- E): Konturanpassung der Schieber bzgl. Wärmeausdehnung (5) (9)
- F): weitere Strömungsoptimierung bezgl. Kaltfließstellen Designbereich (2)



(Abbildung 14: CAD-Daten Werkzeugteile mit Optimierungserklärungen aus 10.2020)

Mit den Abstützpositionen (7) (8) ist es möglich die horizontale Zuhaltkraft besser zu steuern. Diese Maßnahme macht es möglich das Werkzeug während der Formfüllung dichter zu halten, sodass ein Überspritzen ausgeschlossen werden kann.

Bei den hohen Sprengkräften bedingt durch den großen Oberflächenanteil des Leichtmetallrades ist es unbedingt notwendig die vertikale Abstützung der Schieber optimal umzusetzen. Deshalb wurden hier Möglichkeiten (3) geschaffen trotz unterschiedlicher Wärmeausdehnung der Formhälften den richtigen Zuhaltedruck einstellbar zu machen.

Bei den Gießversuchen wurde festgestellt, dass ein Formversatz zwischen der beweglichen Formhälfte und der festen Formhälfte entsteht. Aus diesem Grund wurden Zentrierungen (1) (6) (10) nahe dem Äquator geschaffen, die es ermöglicht, dass die beiden Formhälften zielgenau zueinander finden.

Über einstellbare Einsätze (4) war es möglich die vertikale Positionierung der Schieber in Entformungsrichtung flexibel einzustellen, sodass hierbei nach einmaligem Einstellen der Schieber im warmen Zustand diese das gewünschte Gießergebnis erzielen.

Ebenfalls wurde festgestellt das die beiden Schieber sich geometrisch bedingt ausdehnen und dadurch eine Unrundheit erzeugen.

Diese konnte jedoch 1:1 nachgebildet werden mit dem Ziel durch Konturanpassung (5) (9) diesen Verzug zu kompensieren.

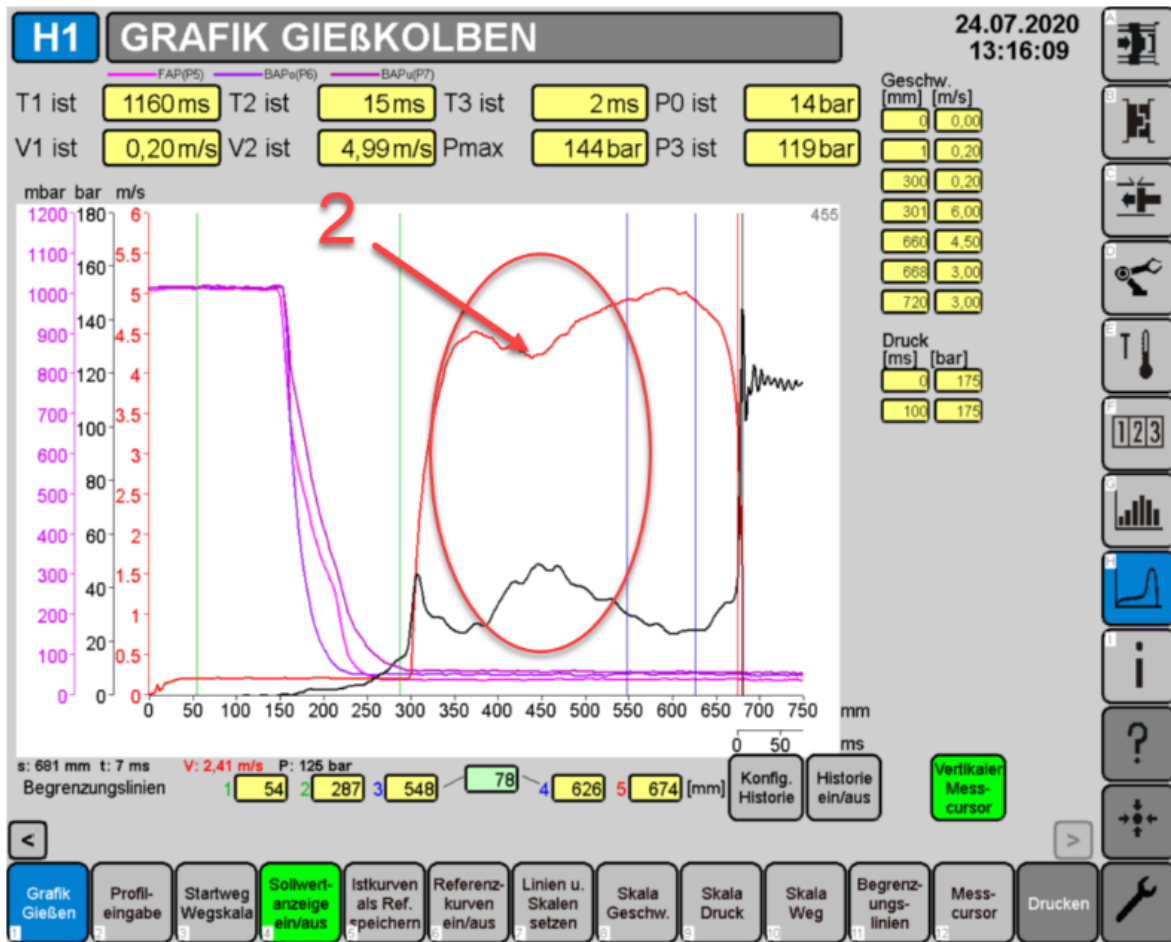


(Abbildung 15: segmentiertes Gussteil nach Optimierung inkl. Wanddickenmessung)

Des Weiteren war es notwendig, die Gießbleche (2) in den beiden Durchbrüchen weiter aufzudicken mit dem Ziel prozesssicher alle Kaltfließstellen auf der Designseite zu eliminieren.

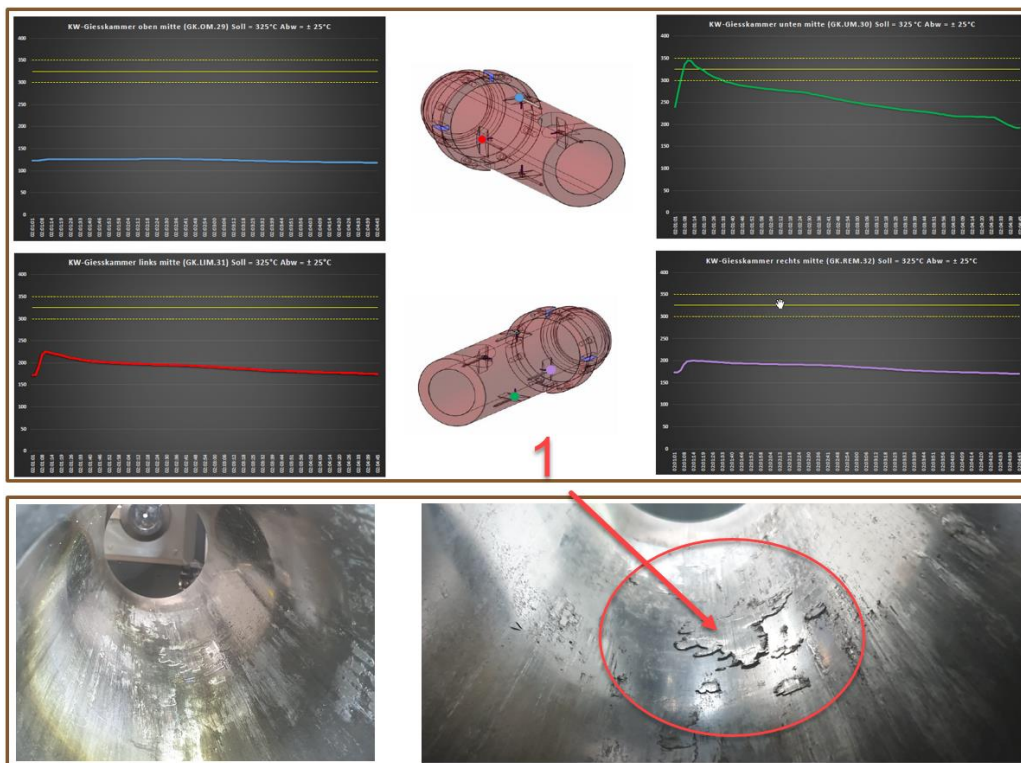
8 Verbesserung des Gießsystems

Im Laufe der Gießversuche wurde festgestellt, dass ein erheblicher Einfluss auf das Gießergebnis das Giessystem darstellt. Gerade bei den sehr untypischen Temperaturen die unser Verfahren mit sich bringt, ebenso bedingt durch die eisenarmen Legierungen die im Radbereich eingesetzt werden.



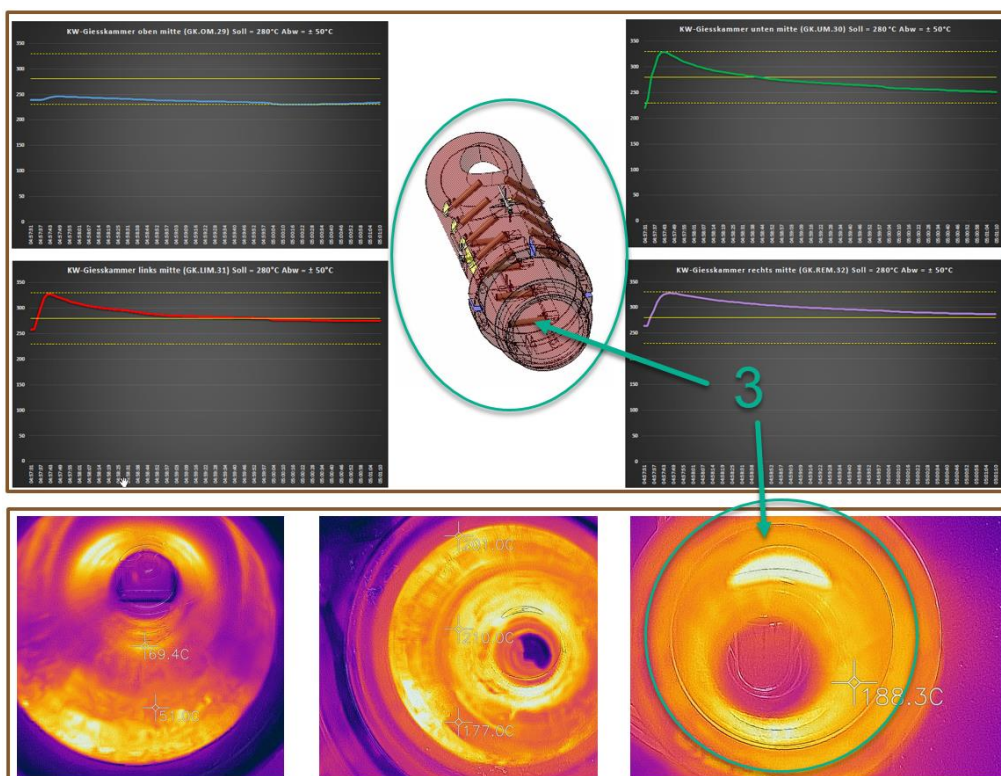
(Abbildung 16: Gießkolbengrafik mit Einfallstelle durch Gießkammerablagerungen zum Gießversuch in 07.2020)

So wurden Unstetigkeiten direkt mit den Ablagerungen (1) im Gießsystem in Verbindung gebracht. Diese Ablagerungen verursachen eine Veränderung des Gießverlaufes (2) und somit der Formfüllung.



(Abbildung 17: Darstellung Kammertemperatur via Thermofühler zum Gießversuch in 07.2020)

Aus diesem Grunde wurde die Gießkammer mit Heizpatronen (3) ausgestattet, sodass hier eine optimale Aufheizung und eine gleichbleibende Form sichergestellt.



(Abbildung 18: Darstellung Kammertemperatur via Thermofühler und Wärmebild zum Gießversuch in 08.2020)

Die beheizte Gießkammer brachte eine weitere Verbesserung der Gießergebnisse gerade bei der Oberfläche und der Lunkerbildung durch zu geringe Nachspeisung.



(Abbildung 19: Darstellung der Gussteile aus einem Gießversuch in 10.2020)

Bei den Gießversuchen im November und Dezember konnte die Prozesssicherheit erheblich gesteigert werden. So war es möglich bis heute über 300 Räder zu gießen.

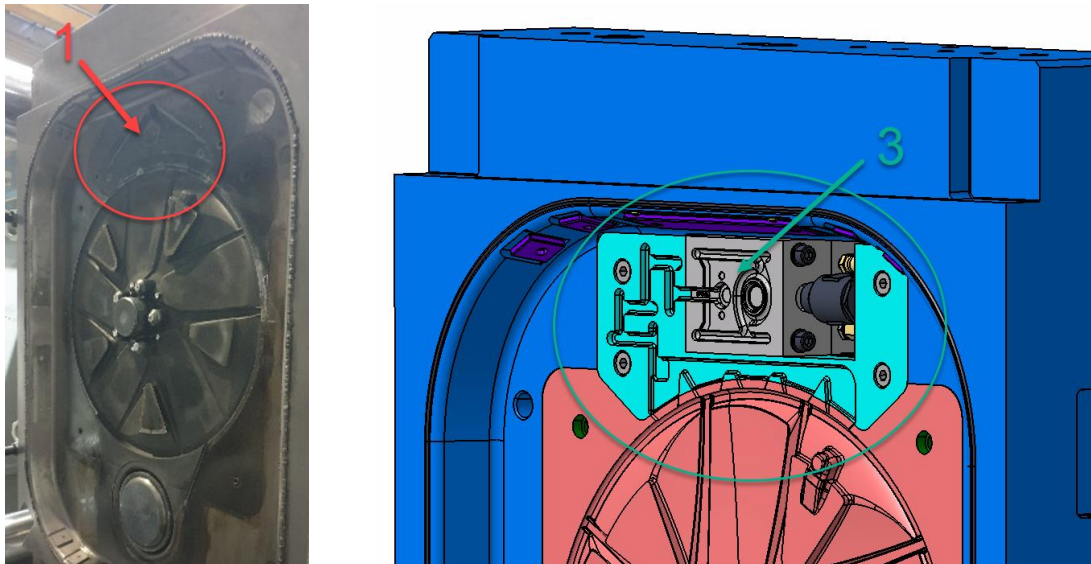
9 Evakuieren der Form für minimale Porosität

Aus den Gießergebnissen wurde Räder fertigbearbeitet um technische Prüfungen durchzuführen. D. h. es wurden nicht nur Zugproben genommen um die Festigkeit abzusichern, sondern auch Räder auf radtypische Prüfstände aufgespannt und Prüfungen durchgeführt.

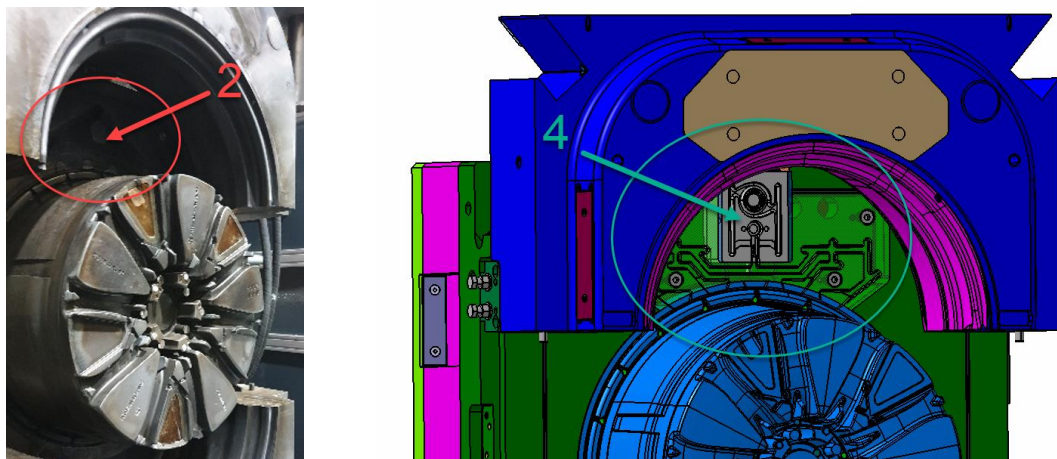
Hierbei wurde festgestellt das die Porosität noch nicht den Anforderungen entspricht. Diese Porosität besteht üblicher Weise aus zwei Bestandteilen. Zum einen aus der eingeschlossenen Luft bzw. den Verkrackungselementen und zum anderen aus den fehlenden Nachspeisung während der Erstarrung (Schrumpfungslunker). Teilweise kann unter dem Mikroskop die Form der Porosität Aufschluss geben um welchen Teil es sich handelt. Die errechneten Nachspeisungsstecken und die Auswertungen zeigen, dass der Haupteinflussfaktor bei unserer Ausführung die eingeschlossene Luft darstellt.

Dies wird verursacht durch die hydraulische Ansteuerung der Ventile. Die Signale sind wegabhängig und werden über die Steuerung ausgelöst. Dieser Reaktionszeit ist es geschuldet, dass hier nur während der ersten „langsamen“ Evakuierungsphase Luft abgesaugt wird und während der zweiten Phase (der Formfüllung) keine Luft abgesaugt wird.

Es ist möglich selbststeuernde Vakuumventile im Druckguss einzusetzen, jedoch waren diese bisher ausgeschlossen, da diese eine maximale Betriebstemperatur von 100°C zulassen. Jedoch prozessbedingt haben wir fast 300°C in verschiedenen Bereichen des Werkzeuges. In Zusammenarbeit mit Fa. VDS einer Tochtergesellschaft von Fa. Frech, haben ein Ansatz gefunden um dieser Umgebung gerecht zu werden, sodass wir im nächsten Schritt versuchen, diese selbststeuernden Ventile einzusetzen.



(Abbildung 20: Darstellung FS-HW (1) aktueller Stand / Darstellung FS-CAD (3) aus 01.2021)



(Abbildung 21: Darstellung BS-HW (2) aktueller Stand / Darstellung BS-CAD (4) aus 01.2021)

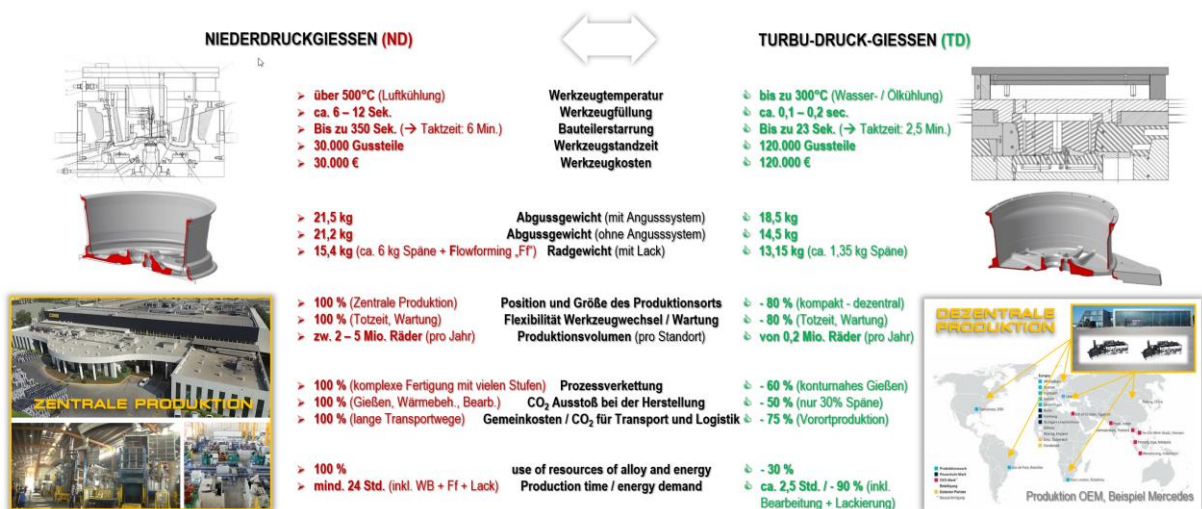
Im Bereich der Überläufe (1) (2) sowohl auf der festen Formhälfte als auch auf der beweglichen Formhälfte werden die Einsätze durch neue ersetzt. Mit einer gezielten Kühlung werden die selbststeuernden Vakuumventile (3) (4) gekühlt, sodass die Grenztemperaturen eingehalten werden. Wie bereits beschrieben ist es mit dieser Einheit möglich während des ganzen Gießprozesses die verdrängte Luft aus der Form zu evakuieren. Damit hoffen wir von der 1 – 2% Restporosität auf 0,5% oder weniger zu kommen, was wiederum für die Bauteilfreigabe zielführend wäre.

Die Konstruktion ist nahezu erledigt und aktuell laufen die Umbauarbeiten mit dem Ziel bis Ende Februar 2021 die Gießversuche abzuschließen und somit hoffentlich den letzten Punkt der Verfahrensentwicklung abschließen zu können.

10 Fortführung und Umweltperspektiven

Nachdem der grundsätzliche Nachweis der Serientauglichkeit des Verfahrens abgeschlossen ist, sollte zeitnah die Umsetzung in eine Serie erfolgen. Hierzu sind eine Vielzahl an Qualitätsabsicherungen notwendig und erforderlich. So können durch das neue turbulenzarme Gießverfahren nun komplexe Bauteilgeometrien in einem schnellen Verfahren produktnah hergestellt werden. Außerdem ergeben sich hierdurch völlig neue Gestaltungsmöglichkeiten in der Bauteilgeometrie, die bisher nicht hergestellt werden konnten.

An diesem konkreten Beispiel ist zu erkennen welche enormen Potentiale ganzheitlich erzielt werden können. Diese gehen weit über die reine Herstellung hinaus, so können durch die kompakte Bauform einer möglichen Giesserei mit dieser vereinfachten / verfahrenstechnischen Fertigungstiefe dezentrale Produktionsstandorte realisiert werden.



(Abbildung 22: ganzheitlicher Verfahrensvergleich ND vs. TD)

OEMs und andere Kunden von ENTEC-STRACON haben das enorme Potential erkannt und sind sehr an einer erfolgreichen Umsetzung dieses Projektes interessiert. Gerade beim Food Print (siehe Abbildung 23) bzgl. ganzheitliche Betrachtung ermöglicht das Verfahren Vorteile und Nutzen in allen Bereichen.

Allein die Einsparung bei der Aluminiumherstellung ist bezgl. CO₂ gewaltig. Da die Aluminiumherstellung zu den energieintensivsten und umweltschädlichsten Herstellungsverfahren überhaupt gehört. Um eine Tonne Primäraluminium herzustellen benötigt man rund 17,7 MWh an Energie, es entstehen ca. 3t giftiger Rotschlamm¹, der in riesigen Seen deponiert wird und zu massiven Umweltproblemen in den Regionen führt. Aluminium lässt sich zwar gut recyceln und benötigt nur rund 1/10 der Energie von Primäraluminium, es senken sich

¹ <https://www.regenwald.org/themen/aluminium#start>

aber durch die nicht mehr sortenreine Trennung der Legierungen die mechanischen Kennwerte. Daher wird für die Produktion von Leichtmetallfelgen ein Mix aus Primär- und Sekundäraluminium benötigt.

Weltweit werden jährlich rund 75 Mio PKWs produziert (25% Europa, 30% China, 27% USA, 18% Andere). Hierdurch werden allein in Europa ca. 1,01 Mio. Tonnen Aluminium (4 Felgen pro PKW und einem durchschnittlichen Gewicht von 13,5 kg pro Felge; Primär und Sekundär) verarbeitet und 9.450.000 Tonnen CO₂ emittiert². So können allein durch die Einsparung an Rohmaterial 3.783.000 Tonnen CO₂ jährlich eingespart werden.

Neben der Produktion kann weiterhin auch Kohlenstoffdioxid während des Produktlebens eingespart werden. Durch die Kombination aus geringerem Gewicht und verbesserter Aerodynamik (neue sparsamere Geometrien möglich) können so 0,5 g CO₂ / km eingespart werden. Bei einer jährlichen Fahrleistung von 630.843 Mio. km³ allein in Deutschland ergeben sich somit Einsparungen von 315.422 Tonnen CO₂. (2.423.700 Tonnen CO₂ in Europa). Insbesondere bei BEVs führt die verbesserte Aerodynamik zu einer Erhöhung der Reichweite von rund bis zu 10km (ca. 3%).⁴



CO₂ Fußabdruck

(EUROPA: Einsparung gegenüber Niederdruck → - 7,45 Mio. Tonnen pro Jahr)
 (WELTWEIT: Einsparung gegenüber Niederdruck → - 29,87 Mio. Tonnen pro Jahr)

- Reduzierung Materialeinsatz (Fertiggießen) - 40 % → - 3,8 [Mio. Tonnen]
- Entfall Veredelungsprozesse (WA – T6) - 100 % → - 0,25 [Mio. Tonnen]
- Entfall Nachverdichtungen (SSM / FF) - 100 % → - 0,05 [Mio. Tonnen]
- Weniger Bearbeitungsabfälle (Späne) - 80% → - 0,15 [Mio. Tonnen]
- Leichtbau + Aerodynamik umsetzbar - 30 % → - 2,4 [Mio. Tonnen]
- Dezentrale Produktion weniger Transport -75% → - 0,8 [Mio. Tonnen]

Grundlage (EU): 75 Mio. PKW p.a. / 13,5 kg p.p. / Laufleistung 4.8*10⁷ Mio km p.a. / Strommix 0,363 kg/KWh

(CO₂ Einsparung pro Fahrzeug gegenüber Niederdruck → - 0,4 Tonnen)

(Abbildung 23: Food Print Einsparung / Umweltpotentiale TD vs. ND)

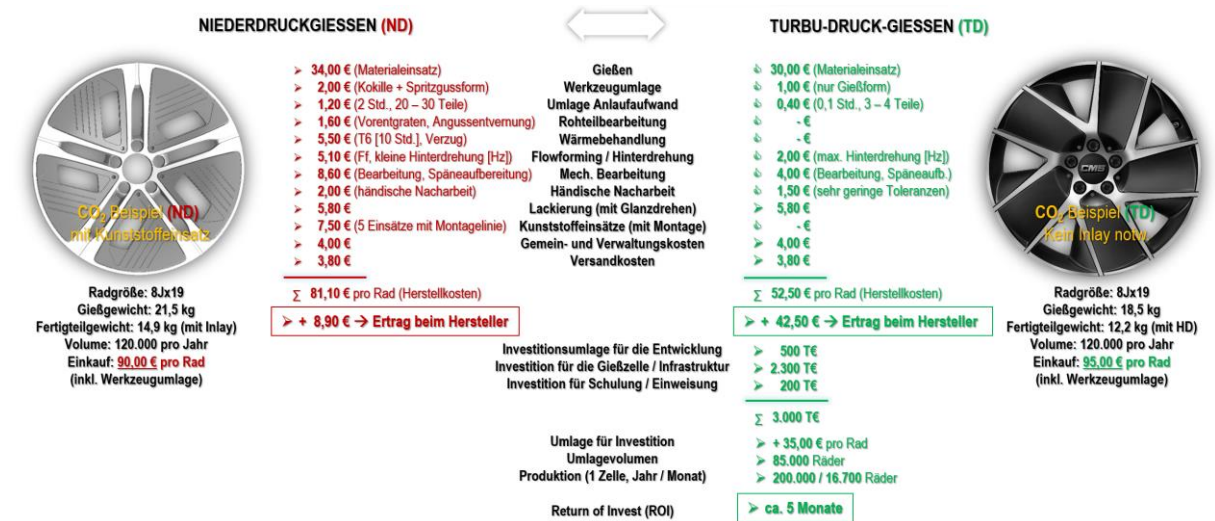
Aktuelle Radentwicklungen bei den OEMs zeigen welche Anstrengungen unternommen werden um die Aerodynamik zu verbessern. Dies gelingt nur bedingt im aktuellen Niederdruckverfahren, da ein geschlossenes Design entweder Gewicht verursacht oder durch Kunststoffeinleger kompensiert werden muss. In Summe treffen und belasten beide Ansätze unsere Umwelt mehr, da die Kunststoffeinsätze auch nicht recyclingfähig sind und somit keine zukunftsweisende Lösung darstellt. Solange das Verfahren noch nicht verfügbar ist, bleibt den Automobilherstellern aktuell keine andere Wahl als diese Kunststoffeinsätze.

² https://www.ffegmbh.de/images/stories/Berichte/924_Dynamis_Steckbriefe/CO2-Verminderung_in_der_Prim%C3%A4raluminium.pdf

³ https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr_in_kilometern_node.html

⁴ <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0305189DE/neuartige-%E2%80%9Eaerodynamik-raeder%E2%80%9C-fuer-den-vollelektrischen-bmw-ix3>

An diesem konkreten Beispiel ist zu erkennen welche enormen Potentiale auch bei der wirtschaftlichen Betrachtung erzielt werden können. D. h. neben den ökologischen Aspekten in Verbindung mit Leichtbau und Verzicht auf Kunststoffeinsätze wird die Herstellung des Produkts auch noch aus Sicht des Ertrags optimiert.



(Abbildung 24: wirtschaftlicher Mehrwert beim Hersteller ND vs. TD)

Im nächsten Schritt ist es für das Gelingen des Serienumsetzung notwendig eine hierfür passende systembedingte Gießzelle zur Marktreife auf Basis der Verfahrensentwicklung auszulagern, welche dann durch den Förderantrag 373396 der DBU möglich werden kann.

11 Fazit

Das Verfahren und die passende Umsetzung für die Gießzelle birgt ganzheitliche Lösungen sowohl ökonomisch (wirtschaftlich) als auch ökologisch (Umweltseitig). So kann bereits beim Einsatz von Aluminium durch dessen ausgeglichenem Einsatz die Kreislaufwirtschaft (circular economy) mit ressourcen-schonendem Einsatz ohne zusätzlich große Aufwendungen und Abfallproduktion emissionsarm und energieschonend produziert werden.

Im Ausblick ist durch diesen Ansatz dies auch auf andere Bauteile wie Gehäuse von Elektromotoren oder Achsbauanteilen umsetzbar. Ebenso können durch das Verfahren auch andere Werkstoffe erstmals einen Einsatz finden die bislang in diesen Bauteilen einfach nicht umgesetzt werden konnten.

Weitere Quellennachweise / Literaturverzeichnisse:

- Siehe Direktverweise in der Fußzeile
- Alle anderen Daten, Abbildungen 1-21 und Fotografien sind selbst erzeugt und unterliegen keine weiteren veröffentlichten Quelle Dritter.
- Abbildung 22 Produktionsfotos: <https://www.cms.com.tr/en/news/cms-opened-the-second-factory-in-cigli>