

# Daten-getriebene Unterstützung von Produktsimulationsprozessen und Werkzeugentwicklung

Hutter David, Josef Ressel Zentrum für Robuste Entscheidungen, Fachhochschule Vorarlberg

Salcher Felix, Josef Ressel Zentrum für Robuste Entscheidungen, Fachhochschule Vorarlberg

Finck Steffen, Josef Ressel Zentrum für Robuste Entscheidungen, Fachhochschule Vorarlberg

Hellwig Michael, Josef Ressel Zentrum für Robuste Entscheidungen, Fachhochschule Vorarlberg

**Abstract.** Im vorliegenden Paper wird ein Vergleich zwischen Produktions- und Simulationsdaten präsentiert welches im Rahmen einer größeren Initiative zur Verwendung von Shopfloor Daten bei einem Projektpartner in der Automobilindustrie umgesetzt wurde. In diesem Projekt wurden die Daten die während der Füllbildsimulation entstehen mit den Daten aus der finalen Werkzeugabnahme verglichen um zu analysieren, wie genau diese miteinander übereinstimmen. Je besser die Simulation ist, desto schneller kann der gesamte Werkzeugentwicklungsprozess abgewickelt werden, welcher als Kernprozess massives Einsparungspotenzial und damit Wettbewerbsvorteil mit sich bringt.

**Keywords:** Füllbildsimulation, Automobilindustrie, Industrie 4.0K

## 1 EINLEITUNG

Shopfloor Daten werden in großen Mengen und allen möglichen Variationen gesammelt. Aus diesen Daten dann einen Mehrwert zu generieren, fällt vielen Unternehmen noch merklich schwer [1]. Der fehlende, sichtbare Mehrwert ist ein massives Problem für Initiativen im Bereich der Digitalisierung. Wenn kurzfristig kein Mehrwert geschaffen werden kann, bekommen Initiativen in diesem Bereich schnell einen „Kostenstellen“ Stempel aufgedrückt, der dazu führt, dass bei Budgetkürzungen gerne in der Digitalisierung gespart wird und Langzeitanalysen nie erstellt werden können, weil die Projekte zu früh eingestampft werden. In dem vorliegenden Projekt wurde eine relativ kleine, interne Datenquelle eines Automobilzulieferers dazu genutzt, um abzugleichen wie gut die Simulation von Spritzgussteilen mit der Realität übereinstimmt.

Die restliche Arbeit ist wie folgt eingeteilt. Im zweiten Kapitel werden die wichtigsten Grundlagen erläutert die notwendig sind, um zu verstehen, wieso ein Vergleich zwischen Füllbildsimulation und Werkzeugabnahme sinnvoll ist. Im dritten Teil wird dann auf die verwendete Methodik zur Datenaquise und -analyse eingegangen. Kapitel vier beschreibt die Ergebnisse der Analyse, welche in Kapitel fünf diskutiert wird. Das letzte Kapitel bietet eine Zusammenfassung der gesamten Arbeit inklusive eines Ausblickes in zukünftige Forschungsmöglichkeiten in diesem Bereich.

## 2 PROBLEMBESCHREIBUNG

Jedes Mal, wenn ein neues Produkt von einem Kunden angefordert wird, erstellt das Produktentwicklungsteam einen ersten Entwurf. Dieser Entwurf wird für die Preisberechnungen im Rahmen des Kundenangebotes verwendet. Sobald der Kunde das Angebot angenommen hat, verfeinert das Produktentwicklungsteam den Produktentwurf. Wenn der Kunde mit dem verfeinerten Entwurf zufrieden ist, wird er an das Simulationsteam weitergeleitet. Das Simulationsteam muss jedes neue Produktdesign absegnen. Über die Simulation kann festgestellt werden, ob das Produkt alle physischen Voraussetzungen erfüllt, um mithilfe einer Spritzgussmaschine hergestellt zu werden. Nur wenn die Simulation grünes Licht gibt, darf der endgültige Entwurf an das Werkzeugentwicklungsteam übergeben werden. In der Werkzeugentwicklung wird dann mithilfe der Empfehlungen aus der Simulation ein Spritzgusswerkzeug konstruiert. Der Zwischenschritt mit der Simulation wurde eingeführt, weil Experimente und Anpassungen im Rahmen der physischen Werkzeugentwicklung sehr zeit- und kostenintensiv sind. Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Schritte des Produktentwicklungsprozess in zeitlicher Reihenfolge auf.

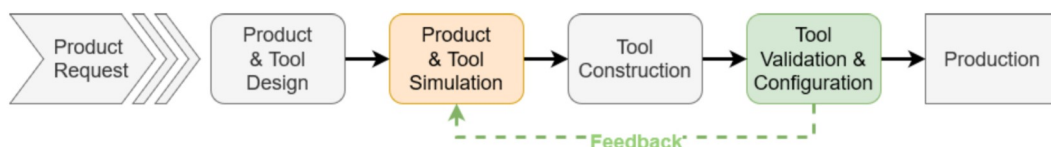


Abbildung 1: Schematische Abbildung des Produktentwicklungsprozesses

Füllbildsimulationen werden mithilfe spezieller Software wie beispielsweise Solidworks erstellt. Im Rahmen der Simulation kann neben der Herstellbarkeit auch die

Wahrscheinlichkeit für die problematischsten Fehlerbilder im Spritzguss simuliert werden [2], [3]. Im Rahmen des Spritzgussprozesses kann es zu einer Vielzahl an potentiellen Fehlerbildern kommen. Die zwei häufigsten Fehlerbilder sind Verzug (Warpage) und Schwindung (Shrinkage). Beim Verzug entspricht die Form des finalen Plastikteils nicht der Form im Spritzgusswerkzeug. Je nach Schweregrad des Verzugs kann es sein, dass das Teil nicht mehr seinen Zweck erfüllen kann. Dies kann schon bei wenigen Millimetern Verzug der Fall sein die für das menschliche Auge nur sehr schwer zu erkennen sind. Die Auslöser für dieses Fehlerbild sind vielfältig, meistens liegt es jedoch daran, dass das Plastikgranulat nicht die gewünschte Hitze erreicht hatte, bevor es in das Werkzeug gepresst wurde [4]. Bei der Schwindung verliert das fertige Produkt zu viel Größe während der Abkühlphase. Der Hauptgrund für Schwindungen ist, wenn der Nachdruck im Werkzeug während der Kühlphase zu niedrig ist und das Plastikgranulat nicht fest genug in die Kavität gedrückt wird. Im Vergleich zum Verzug ist der Schwund allerdings leicht zu erkennen, indem man das Gewicht der einzelnen Teile misst. Sind die Teile zu leicht, dann ist das ein Indikator für Schwindungen [5].

### **3 METHODEN**

In diesem Kapitel wird beschrieben wie die Daten, welche im Rahmen dieses Projektes ausgewertet wurden, gesammelt und aufbereitet wurden, um eine bestmögliche Ausgangslage für die spätere Analyse zu bieten. Außerdem wird auf die Methodik der Analyse eingegangen.

#### **3.1 DATENERHEBUNG**

Der Projektpartner aus der Automobilindustrie hatte in 2020 mit der Digitalisierung seines Werkzeugfreigabeverfahrens begonnen. Zu diesem Zweck wurde unternehmensintern eine Softwarelösung zur Dokumentation aller relevanten Prozessschritte entwickelt. Dieses Tool dient als „Single Source of Truth“ für alle Stammdaten zu einem Werkzeug und trägt den Namen „Injection Molding Board“ (IMB). Im IMB werden sowohl die Ergebnisse der Produktsimulation als auch der Werkzeugfreigabe eingetragen. Die Werte aus der Werkzeugfreigabe werden nur in aggregierter Form abgelegt, auf die Limitierungen, die sich dadurch ergeben wird in Kapitel ??? genauer eingegangen. Die Daten aus der Simulation und Validierung werden in unabhängigen Tabellen in einer MSSQL Datenbank gespeichert. Um eine gemeinsame Datenquelle für die Analyse zu erstellen, wurde ein SQL Abfrage erstellt in der die beiden Tabellen mithilfe der Projekt ID, welche in beiden Tabellen vorhanden ist, zu einer Tabelle zusammengeführt. In derselben Abfrage wurden die Feldnamen der einzelnen Tabellen harmonisiert und die Maßeinheiten der einzelnen Messwerte vereinheitlicht. Das Ergebnis dieser Datenextraktion ist eine CSV-Datei mit 306 Observations mit jeweils 23 Datenspalten.

#### **3.2 DATENANALYSE**

Gemeinsam mit dem Projektpartner wurde entschieden, dass die Datenanalyse aus zwei Teilbereichen bestehen soll. Die erste Analyse soll auf hoher Flugebene analysieren, wie gut die Simulationsdaten über alle Observations mit den Validierungsdaten übereinstimmen. Das Ziel dieser Analyse ist es, festzustellen, ob die Daten überhaupt vergleichbar sind oder ob es gewisse Datenpunkte gibt, die aus der genaueren Analyse ausgenommen werden müssen. Die zweite Analyse fokussiert sich auf einzelne Rohmaterialien bzw. Produkte und soll dazu dienen Produkte bzw. Materialien zu

identifizieren die sich überproportional zwischen Simulation und Validierung unterscheiden.

Beide Analysen wurden mithilfe von Jupyter Notebooks umgesetzt und dem Projektpartner im Anschluss zur Verfügung gestellt. Am Ende des Projektes wurde ein ausführlicher Bericht mit Interpretation der Ergebnisse zur Dokumentation des Projektes erstellt. Im nächsten Kapitel werden die Ergebnisse der einzelnen Analysen genauer erläutert.

## 4 PROJEKTERGEBNISSE

### 4.1 HIGH-LEVEL ANALYSE

Ziel der allgemeinen Analyse war es, einen schnellen Überblick über die Ergebnisse aller Vergleiche zwischen Simulations- und Validierungsdaten zu gewinnen. Mit diesem Überblick kann entschieden werden, ob eine detaillierte Analyse sinnvoll ist und interessante Erkenntnisse liefern könnte.

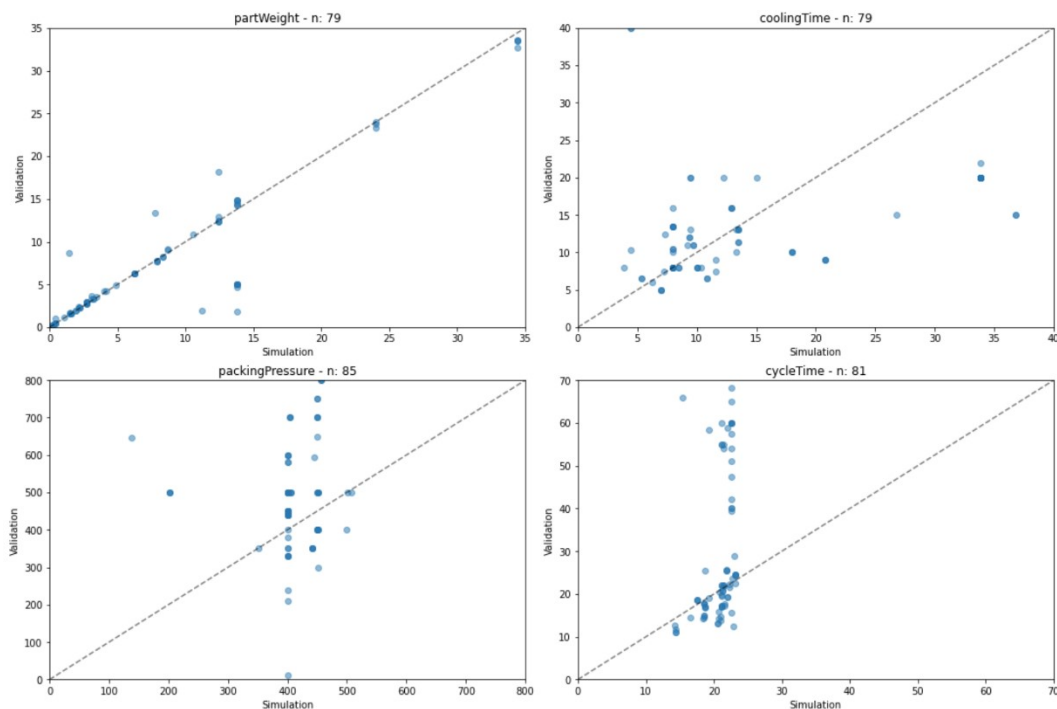


Abbildung 2: Ergebnisauswertung der High Level Analyse

Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, ist das Endergebnis der allgemeinen Analyse ein Raster von Diagrammen, das zeigt, wie nah die Ergebnisse der Simulation und der Validierungsdaten beieinander liegen. Je näher die Punkte an der diagonalen Linie sind, desto besser ist das Ergebnis. Die Diagramme zeigen, dass einige der Datenpunkte sehr nahe beieinander liegen, während andere willkürlich verteilt zu sein scheinen. Das interessanteste Ergebnis war, dass die Simulationszykluszeit ab einem bestimmten Schwellenwert nicht mehr ansteigt, während die Validierungszykluszeit noch viel höher werden kann. In Absprache mit den Fachexperten aus der Simulationsabteilung des Projektpartners konnte ermittelt werden, dass die Berechnungsgrundlage für die

Zykluszeit in der Simulation anders definiert wird wie in der Validierung. In der Simulation wird nur die reine Füllzeit als Zykluszeit herangezogen während in der Validierung auch die Kühlzeiten berücksichtigt werden. Bei Produkten mit hohen Abkühlzeiten kommt es somit zu dieser starken Abweichung. Der Grenzwert von 25 für die Füllzeit in der Simulation ist daher abgeleitet, dass Produkte mit einer Füllzeit größer 25 Sekunden sehr fehleranfällig sind und daher abgewiesen werden. Gemeinsam mit den Stakeholdern des Projektpartners wurde aufgrund der High Level Analyse entschieden, dass es sich lohnt eine detaillierte Auswertung vorzunehmen.

## 4.2 DETAILLIERTE ANALYSE

Die detaillierte Analyse wurde zwei Mal durchgeführt. Einmal für jedes Endprodukt, und einmal für jedes Rohmaterial. Der Grund für die doppelte Durchführung ist, dass beide Analysen ihren Mehrwert haben. Die Auswertung der Endprodukte kann aufzeigen, welche Produktmerkmale zu einer signifikanten Abweichung zwischen Simulation und Werkzeugabnahme verursachen können während die Analyse für die Rohmaterialien aufzeigen kann, welche virtuellen Materialien sich von ihren echten Gegenständen unterscheiden. Die grafische Darstellung ist die gleiche, für die Rohmaterialien und die fertigen Produkte. Abbildung 3 zeigt das erste Diagramm der detaillierten Analyse zeigt die absolute Abweichung der gemessenen Werte. Da die Abweichungen sowohl positiv als auch negativ sein können, wird hier stets der absolute Wert angezeigt.

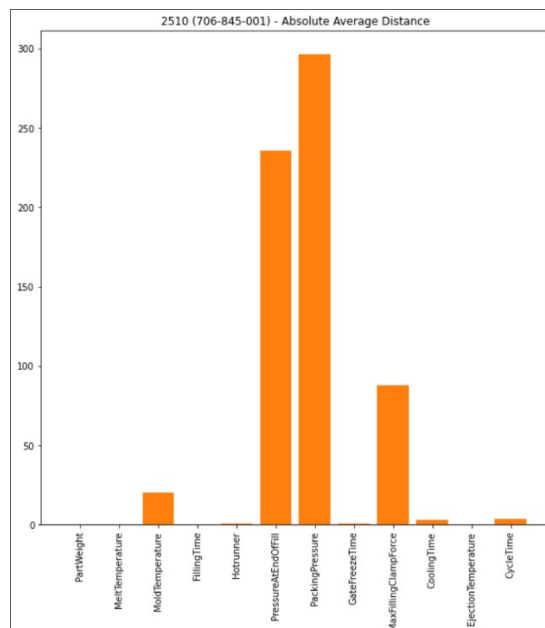


Abbildung 3: Absolute Abweichung der detaillierten Analyse

Zusätzlich zu der Visualisierung der absoluten Abweichung wurden die Datenpunkte gleich wie bei der High-Level Analyse einander gegenübergestellt, um die größten Abweichungen visuell darzustellen. Um die absoluten Abweichungen in einer vergleichbareren Perspektive anzuzeigen, wurden die Abweichungen in einen Wertebereich zwischen 0 und 10 neu zugeordnet und auf einem Radar Plot abgebildet. Ein Beispiel für einen solchen Plot wird in Abbildung 4 dargestellt. Der Radar erlaubt es, die Abweichungen in Relation zueinander darzustellen, was es einfacher macht, unterschiedliche Parameter miteinander zu vergleichen.

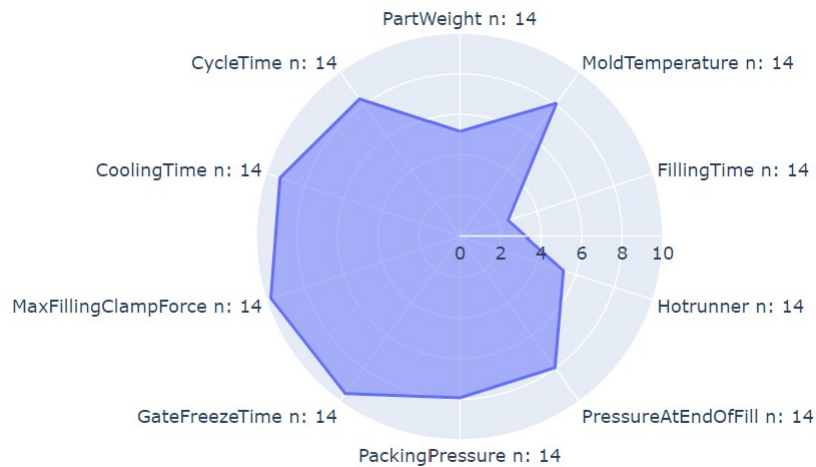


Abbildung 4: Radar Chart zum Vergleich von Abweichungen

Zu guter Letzt wurde noch eine Kovarianz- und Korrelationsanalyse für alle Parameter durchgeführt. Das Ziel dieser Analyse war es, Abhängigkeiten zwischen und Einflüsse von einzelnen Parametern aufzuzeigen. Das Ergebnis der Analyse wurde wie in Abbildung 5 dargestellt in der Analyse dargestellt und zusätzlich noch als 2D Scatter Plot aufgezeichnet.

```
Covariance matrix:
      PartWeight  FillingTime
PartWeight  10.966707  -0.899381
FillingTime -0.899381   1.730554
Correlation: -0.19894337954841027
```

Abbildung 5: Kovarianz- und Korrelationsanalyse

## 5 CONCLUSIO

Mithilfe einer sehr einfachen Herangehensweise konnten erste Erkenntnisse aus der Kombination von Simulations- und Validierungsdaten beim Projektpartner getroffen werden. Viel wichtiger noch wie diese ersten Erkenntnisse ist das tiefgreifende Verständnis der vorhandenen Datenbasis welches durch dieses Projekt bei den Fachexperten erreicht werden konnte. Auf Basis der erstellten Simulation wurde beim Projektpartner intern ein Business Intelligence Projekt in Auftrag gegeben mit dem Ziel, für kommende Simulationen bzw. Validierungen eine automatisierte Analyse zu ermöglichen und den Fachexperten einen interaktiveren Zugang zu den Vergleichsdaten zu ermöglichen. Zusätzlich wurde ein Projekt zur Verbesserung des Validierungsprozesses angestoßen mit dem Ziel, die Produktionsdaten jedes einzelnen Produktionszyklus im Rahmen des Validierungsprozesses im Injection Molding Board abzulegen, statt wie bisher, nur ein aggregierter Datensatz für alle 20 Validierungszyklen. Die vollständigen Validierungsdaten sollten in Zukunft eine noch genauere Analyse ermöglichen. Die Simulationsabteilung hat als Folge der Analyse für mehrere Rohmaterialien eine Laboranalyse in Auftrag gegeben mit dem Ziel, bessere Stammdaten für die Simulation zu gewinnen für Materialien, die in der Analyse schlecht abgeschnitten hatten. Ob diese besseren Stammdaten zu einer Verbesserung der Simulationsgenauigkeit führen werden, muss in einem zukünftigen Projekt ermittelt werden.

## 6 REFERENZEN

- [1] L. Agostini und A. Nosella, „The adoption of Industry 4.0 technologies in SMEs: results of an international study“, *Manag. Decis.*, Bd. 58, Nr. 4, S. 625–643, Aug. 2019, doi: 10.1108/MD-09-2018-0973.
- [2] U. Vietri, A. Sorrentino, V. Speranza, und R. Pantani, „Improving the predictions of injection molding simulation software“, *Polym. Eng. Sci.*, Bd. 51, Nr. 12, S. 2542–2551, 2011.
- [3] C.-C. Kuo, T.-D. Nguyen, Y.-J. Zhu, und S.-X. Lin, „Rapid development of an injection mold with high cooling performance using molding simulation and rapid tooling technology“, *Micromachines*, Bd. 12, Nr. 3, S. 311, 2021.
- [4] R. Sánchez, J. Aisa, A. Martinez, und D. Mercado, „On the relationship between cooling setup and warpage in injection molding“, *Measurement*, Bd. 45, Nr. 5, S. 1051–1056, Juni 2012, doi: 10.1016/j.measurement.2012.01.039.
- [5] H. Hassan, N. Regnier, C. Pujos, E. Arquis, und G. Defaye, „Modeling the effect of cooling system on the shrinkage and temperature of the polymer by injection molding“, *Appl. Therm. Eng.*, Bd. 30, Nr. 13, S. 1547–1557, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2010.02.025.
- [6] P.-H. Liu und F.-L. Chen, „Process capability analysis of non-normal process data using the Burr XII distribution“, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Bd. 27, Nr. 9–10, S. 975–984, Feb. 2006, doi: 10.1007/s00170-004-2263-8.