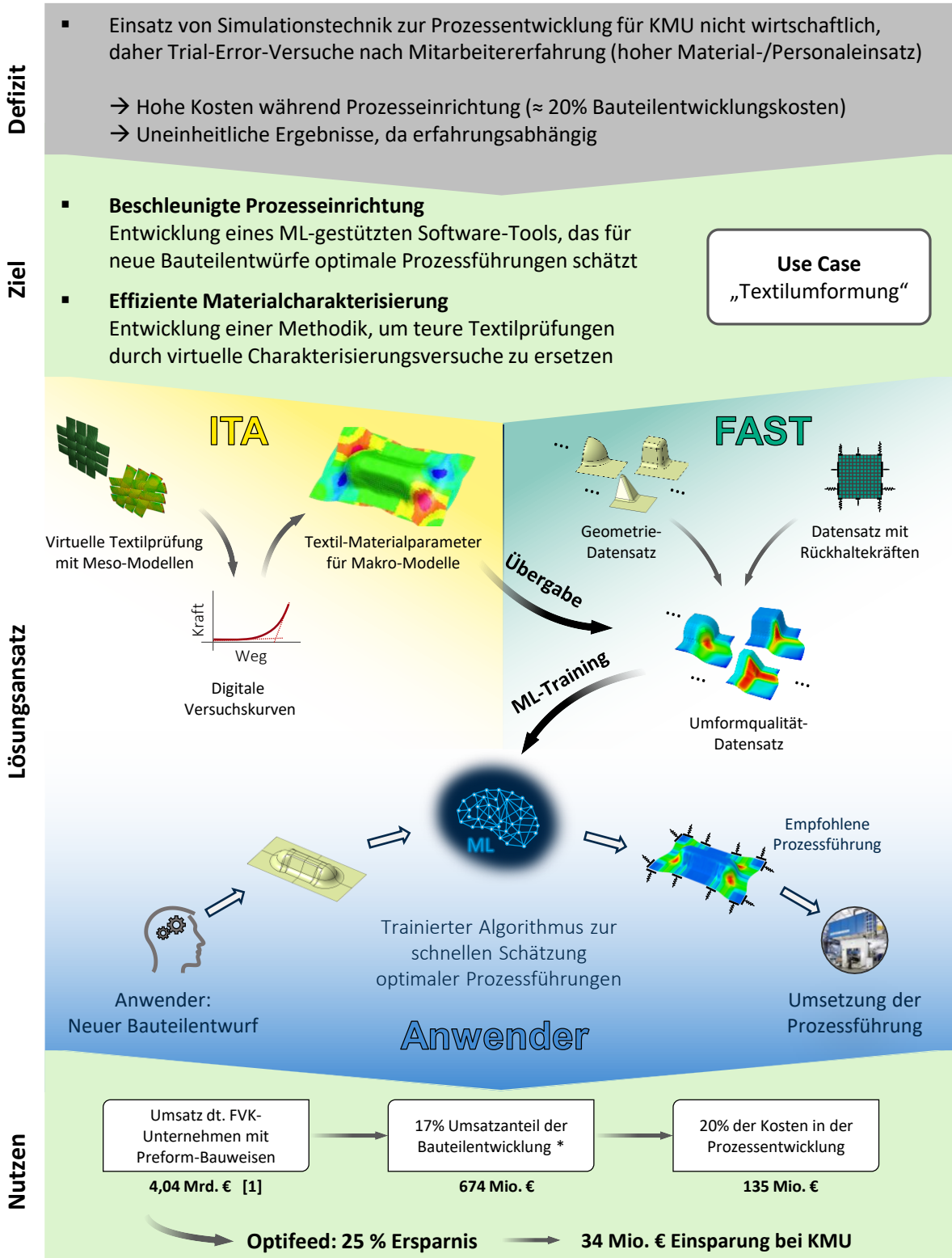


– **OptiFeed** –

Zeiteffiziente Einrichtung komplexer Fertigungsprozesse unterstützt durch Verfahren des Maschinenslernens am Beispiel des Drapierprozesses technischer Textilien



[1]: AVK Composite Marktbericht 2014, *: Expertenschätzung

Abbildung 1: Ziel und Nutzen von *OptiFeed*

Motivation

Beschleunigung der Einrichtung und Optimierung von Drapierprozessen durch Integration von „Vorwissen“ mit Methoden des Maschinlernens (ML)

Kostenminimierung in der Materialcharakterisierung für Verstärkungstextilien durch konsequenten Einsatz digitaler Engineering-Werkzeuge

Problemstellung und Projektidee

Die Feinabstimmung eines Fertigungsprozesses zur fehlerfreien Bauteilfertigung erfordert in der Praxis zahlreiche kostenintensive Prozessversuche. Numerische Prozesssimulationen in Kombination mit Optimierungsalgorithmen können helfen, teure Prozessversuche zu reduzieren, erfordern jedoch aufwendige Materialprüfungen, numerische Expertise und lange Rechenzeiten. Dies schmälert ihre Attraktivität, insbesondere für KMU mit eingeschränktem Zugriff auf leistungsfähige Rechentechnik. Die Suche nach optimalen Fertigungsparametern geschieht daher häufig versuchs- und erfahrungsgetrieben nach Expertenwissen.

*Kostenintensive Prozessversuche reduzieren,
einfache Nutzbarkeit für Anwender*

Die zunehmende Verfügbarkeit und Nutzerfreundlichkeit fortgeschrittener Techniken des Maschinlernens legt nahe, dieses Expertenwissen mit ‚lernenden‘ Algorithmen nachzubilden. Vergleichbar einem erfahrenen Experten erlernt ein Algorithmus den Zusammenhang zwischen Geometrie, Prozessbedingungen und beobachteter Bauteilqualität aus Beispielen (Abb. 1). Automatisierte Simulationen erlauben dabei, enorme Umfänge unterschiedlicher Prozessbeispiele zu berücksichtigen und so das Prozesswissen vieler Umformexperten in einem einzelnen Algorithmus zu konzentrieren.

*Besser früh eine gute Abschätzung
als spät ein präzises Optimierungsergebnis*

In einer Software gebündelt soll dieses ‚Prozesswissen‘ per Knopfdruck verfügbar gemacht werden: Einmal trainiert, kann der Algorithmus zeiteffizient untaugliche Prozessvarianten ausschließen und bauteilabhängig eine Prozessführung empfehlen. So können teure Simulationen oder Versuche während der Optimierung reduziert und auf die meistversprechenden Varianten konzentriert werden.

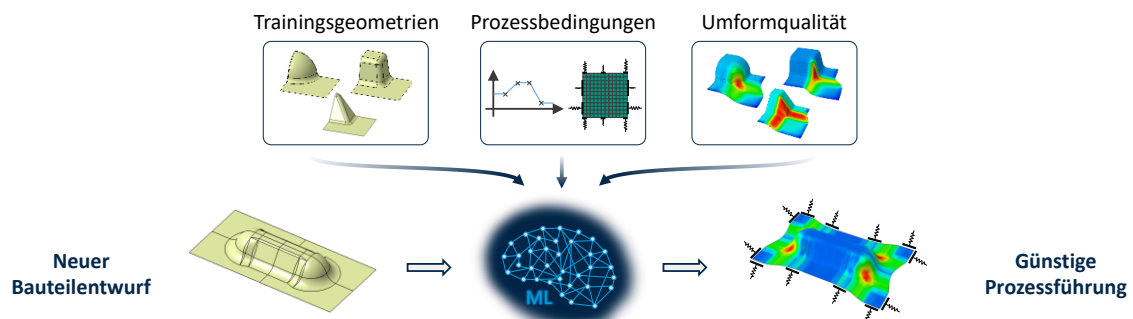


Abb. 1: Grundidee von *OptiFeed*: Anhand eines Datensatzes aus Beispielgeometrien, Prozessbedingungen und zugehörigen Simulationsergebnissen lernt ein Algorithmus günstige Fertigungsparameter für neue Entwürfe zu schätzen.

Use-Case „Textilumformung“

Leichtbauweisen mit FKV ermöglichen eine wirksame Schonung von Ressourcen sowohl im Produkt (Gesamtmaterialereinsatz) als auch im Betrieb (Energieeffizienz). Aufgrund ihres komplexen Materialverhaltens steht dem erreichbaren Gewinn an Produkteffizienz gegenwärtig jedoch ein hoher Aufwand zur fertigungs- und materialgerechten Bauteilgestaltung und Prozessentwicklung gegenüber.

Vermeidung von Umformdefekten beim Drapieren durch Variation des Materialeinzugs

Ein wichtiger und herausfordernder Prozessschritt bei der FKV-Herstellung ist das Umformen eines 2D-Textilhalbzeugs zu einer 3D-Preform (Abb. 2 a). Zur Vermeidung von Umformdefekten, etwa Faltenwurf, ist eine sorgfältige Prozesseinrichtung erforderlich, beispielsweise durch gezielte Manipulationen des Materialeinzugs mittels lokalen Rückhaltekräften (Abb. 2 b) und c).

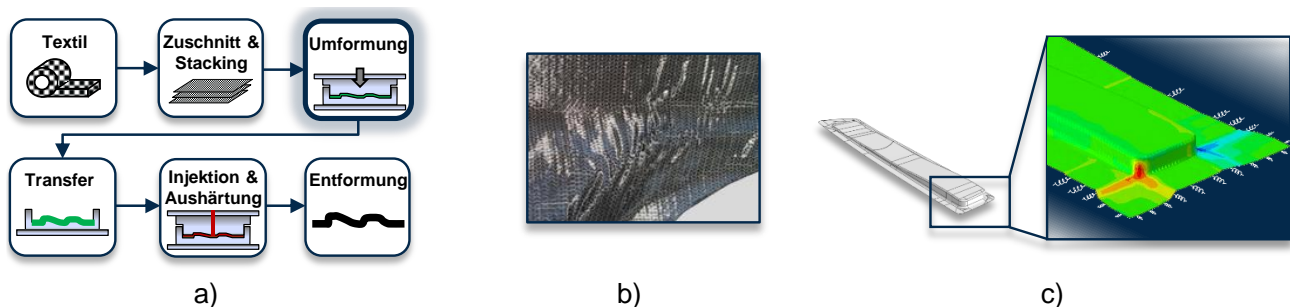


Abb. 2: RTM-Prozessroute a), unerwünschter Faltenwurf b), Umformsimulation mit Rückhaltekräften (Federn) c)

Bei dem sogenannten Preforming werden etwa 50% der Bauteilkosten verursacht. Wegen der wirtschaftlichen Relevanz, der hohen Sensitivität bezüglich Geometrieänderungen und ihrer gleichzeitig guten Manipulierbarkeit (Rückhaltekräfte) dient die Textilumformung (Drapierung) daher als relevanter und herausfordernder Beispiel-Prozess.

Virtuelle Textilprüfung anstelle teurer Charakterisierungsversuche

Neben der Geometrie und dem Materialeinzug ist das passende Materialverhalten entscheidend im Umformprozess. Die Eignung eines Materials wird dabei anhand personal- und materialintensiver Charakterisierungsversuche bewertet. Eine vielversprechende Möglichkeit zur Kostenreduktion sind virtuelle Prüfungen: Im Gegensatz zu experimentellen Versuchen erlauben sie eine rasche und automatisierte Prüfung von Textilien unterschiedlicher Eigenschaften, wie Rovingfeinheit oder Bindungsart. So können relevante Kennwerte (Scherverhalten, Steifigkeiten,...) rasch ermittelt und verglichen werden. Die gewonnenen Kennwerte sind zudem Grundlage der Materialmodelle für die Simulationen und ermöglichen eine durchgängig digitale Engineering-Toolkette.

Zielgruppe und Anwenderkreise

Die Anwendung bzw. Integration digitaler und ML-unterstützter Entwicklungsmethoden an komplexen Fertigungsprozessen im Faserverbund-Leichtbau soll zeigen, dass sich die Prozess- und Materialkomplexität einfacher als bisher beherrschen lässt und gleichzeitig Qualität und Effizienz steigern lassen. Primärzielgruppe sind daher KMU mit FKV-Fertigung aber wenig Simulationserfahrung sowie Anlagenhersteller (Kontaktaufnahme läuft), die solche ML-Tools als Service anbieten können.

Bessere Beherrschung komplexer Prozesse mit virtuellen Methoden

Zudem wird erwartet, dass *OptiFeed* die Akzeptanz gegenüber komplexen, leistungsfähigen Materialkombinationen und Prozessen in der industriellen Serienfertigung erhöht. Es eröffnen sich neue Möglichkeiten für Verarbeiter sowie Anwender- und Kundenkreise. Ausdrücklich soll *OptiFeed* Eintrittshürden in die FKV-Fertigung durch einfach zugängliche Auslegungsmethoden senken. Der Technologiesprung erfüllt damit besonders Marktanforderungen der Wirtschaftssektoren

Automobil(-zulieferer)

- Senkung der (Prozess-) Entwicklungskosten
- Kürzere Produktionszyklen u. geringe Losgrößen
- Höhere Derivatisierung

Maschinen-/Anlagenbau

- Optimierung Maschinen- und Prozessführung
- Realisierung rascher Bauteilwechsel auf der Produktionslinie

Engineering-Dienstleistung

- Verkürzung aufwendiger Optimierungsberechnungen
- Beschleunigte Bewertung von Varianten
- Virtuelle Materialkarten

Anschlussperspektiven

OptiFeed konzentriert sich auf die Variation des Materialeinzugs zur Umformoptimierung, global bieten sich dem Anwender jedoch weitere Steuermöglichkeiten im Prozess an. Damit mündet *OptiFeed* in Anschlussfragen zur Integration weiterer Prozessgrößen, etwa der Temperaturführung. Zur Erweiterung des Anwenderkreises ist auch der Methodiktransfer auf andere Prozesse in- und außerhalb der FKV-Fertigung denkbar, etwa Metallumformungen. Damit sind die Ergebnisse branchenübergreifend von Relevanz und laufen auf domänenspezifischen Zuschnitt, Modularisierung und Transferfähigkeit hinaus.

Integration von Sensorik zur Qualitätskontrolle und operativen Parameteranpassung/-regelung

Perspektivisch denkbar ist zudem, ML-Methoden aus *OptiFeed* zu erweitern um Messsignale aus der Anlage zu berücksichtigen. Damit ließe sich die Prognosefähigkeit der Algorithmen sukzessive verfeinern („kontinuierliches Lernen im Prozess“). Ein solcher Algorithmus könnte drohende Verletzungen von Zulässigkeitsgrenzen erkennen und durch intelligente Parameterkorrekturen abfangen.

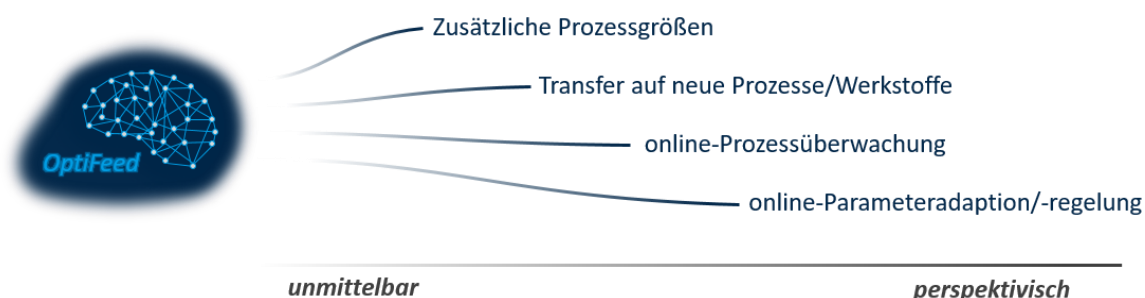


Abb. 3: Anschlussperspektiven nach *OptiFeed*

Methodischer Lösungsansatz

Das effektive mechanische Verhalten eines Textils wird im Wesentlichen bestimmt aus den Verhalten der Rovings sowie deren Verknüpfung zueinander (Bindungsart). Sind beide bekannt und beschreibbar, so ermöglichen fein aufgelöste Textilmodelle, sog. mesoskopische Modelle, digitale Textil-Probekörper zu erstellen und virtuell zu prüfen. Im Ergebnis werden Charakterisierungskurven analog einer experimentellen Prüfung gewonnen. Die Kurven liefern Kennwerte zur Beschreibung des Textilverhaltens in der Drapiersimulation auf Bauteilebene. Modellaufbau und Prüfung sind dabei vollautomatisiert, so dass mit minimalem Versuchsaufwand (Roving-Messung) eine Vielzahl von Textilvarianten untersucht und auf den Anwendungsfall zugeschnitten werden können.

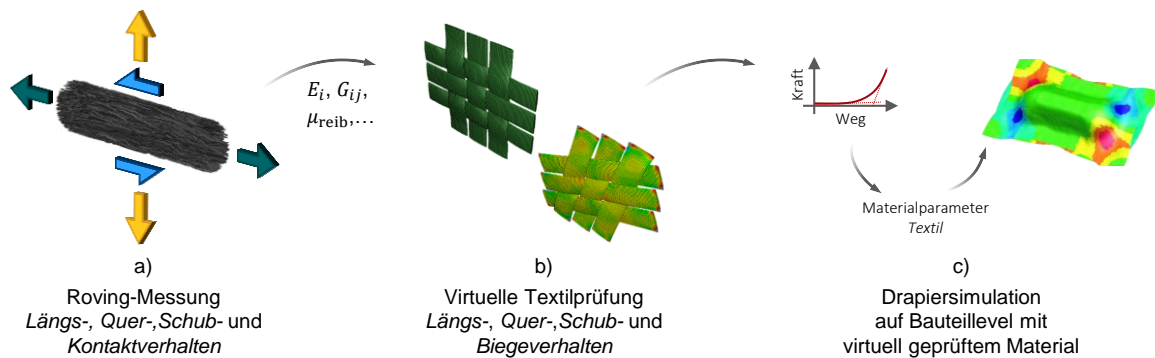


Abb. 4: Ermittlung der effektiven Textileigenschaften aus Roving-Eigenschaften und virtuellen Textilprüfungen

Vorarbeiten am KIT-FAST zeigen, dass fortgeschrittene ML-Algorithmen aus der Bilderkennung, sog. neuronale Faltungsnetze, aus Prozessbeispielen lernen können, Geometrien hinsichtlich ihrer Umformbarkeit zu bewerten. Neuronale Faltungsnetze sind speziell entwickelt, um räumliche Zusammenhänge in Daten zu finden. Neben der inzwischen guten Algorithmenvorfügbarkeit ermöglicht der bildbasierte Ansatz daher, den vorhandenen örtlichen Zusammenhang zwischen Geometrie, Umformergebnis und Auswirkung lokaler Rückhaltekräfte im ML-Training zu erhalten (Abb. 5).

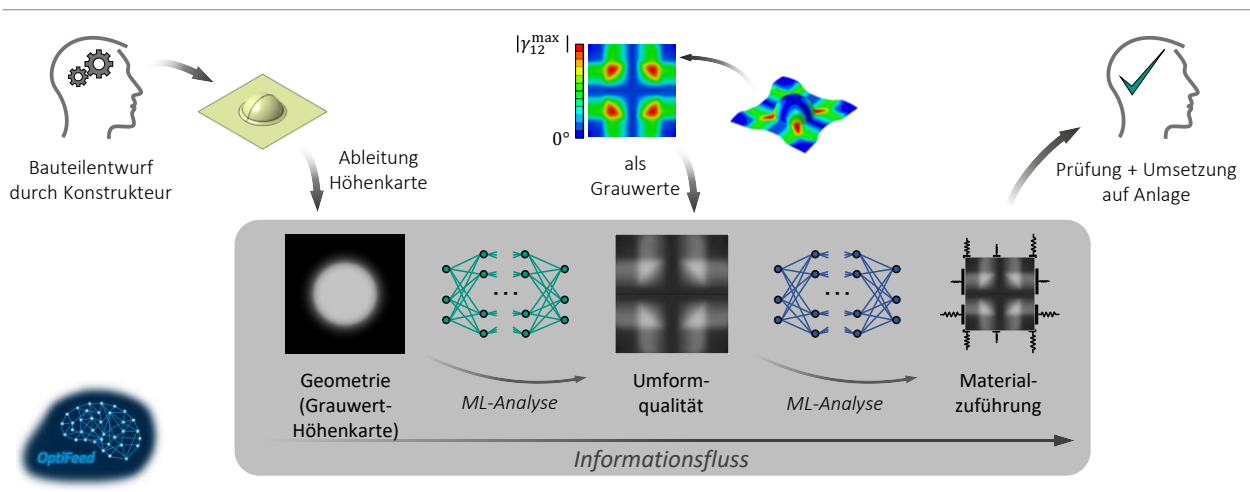


Abb. 5: Ansatz zur Geometriebewertung und Ableitung geeigneter Prozessführung in *OptiFeed*: Bildverarbeitende ML-Algorithmen erfassen räumliche Zusammenhänge zwischen Geometrie, Materialdehnung und Rückhaltekräften

Dazu werden die Geometrien dem Netz als Grauwertbild übergeben. Das Netz sucht nach kritischen Grauwertverläufen (d.h. Bauteilkrümmungen) und schätzt die entstehenden lokalen Materialdehnungen. Ein zweites Netz analysiert diese Dehnungen und gibt dem Prozessingenieur eine Empfehlung, ob und, wenn ja, wo Rückhaltekräfte den Prozess verbessern können.

Förderrahmenbedingungen

Projektform	IGF	
Fördermittelgeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	
Einreichung über	<i>Forschungskuratorium Textile. V.</i>	(FKT)
Laufzeit und Volumen	2 Jahre (24 Monate)	ca. 499 000 €
Start	01.10.2021	

Forschungsstellen und Kontakt



Themenfeld
Virtuelle Textilcharakterisierung

Ansprechperson: **Stefan Hesseler, M.Sc.**

+49 241 80 – 23449

stefan.hesseler@ita.rwth-aachen.de

Composite Reinforcements
Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University
Otto-Blumenthal-Str. 1 | 52074 Aachen



Themenfeld
Anwendung Maschinenlern-Techniken

Ansprechperson: Dipl.-Ing. **Clemens Zimmerling**

+49 721 608 – 45409

clemens.zimmerling@kit.edu

KIT | Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Fahrzeugsystemtechnik – Leichtbautechnologie
Rintheimer-Querallee 2 | Geb. 70.04 | 76131 Karlsruhe