



Künstliche Intelligenz wird genutzt, um die Produkt- und Prozessparameter so zu optimieren, dass eine konstant hohe Produktqualität sichergestellt wird. Damit wird der Einsatz von Recyclingmaterialien auch für technisch komplexe Anwendungen risikoarm möglich. © M.TEC Engineering

Neue Entwicklungsprinzipien für Kunststoffbauteile mit Rezyklatanteil

Nachhaltiges Produktdesign mithilfe künstlicher Intelligenz

Der Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) im Engineering steigert bereits heute die Qualität, Wirtschaftlichkeit und Sicherheit von Produkten und Prozessen. M.TEC Engineering hat als Pionier einen KI-integrierten Entwicklungsprozess entwickelt, der die technische Effizienz erhöht und komplexe multiphysikalische Herausforderungen bewältigt. Als neue Anwendung etabliert sich gerade ein KI-integrierter Entwicklungsprozess für die Auslegung von Bauteilen aus Recyclingmaterialien.

Neue, strengere Gesetze und Auflagen zum Umweltschutz, steigende Rohstoffpreise, ehrgeizige Nachhaltigkeitsziele und gesteigerte Konsumentenerwartungen erfordern ein Umdenken in der Produktentwicklung. Dabei können auch neue digitale Hilfsmittel einbezogen werden. Die Frage ist also: Kann künstliche Intelligenz helfen, diesen Innovationsdruck zu bewältigen?

Angesichts der heutigen wirtschaftlichen und ökologischen Herausforderungen müssen Unternehmen innovative Lösungen finden, um Ressourcen zu schonen, nachhaltige Produktionsmethoden zu etablieren und gleichzeitig sichere und stabile Produkte zu liefern.

Unsicherheiten und immer komplexere Anforderungen prägen die Welt der Produktentwicklung. Effizienzsteigerungen, eine Reduktion des Material- und Energieverbrauchs sowie die Gewährleistung höchster Produktqualität sind essenzielle Faktoren, um den Anforderungen der modernen Industrie und Gesellschaft gerecht zu werden.

M.TEC Engineering ist seit über 30 Jahren ein Vorreiter in der Produktentwicklung. Mit einem klaren Fokus auf nachhaltige und hocheffiziente Lösungen hat das Unternehmen die Entwicklung eines KI-integrierten Prozesses inhouse vorangetrieben, um den Herausforderungen einer schnellen, an- »

Info

Text

Dipl.-Ing. Ulf Seefeldt ist Business Development Manager bei der M.TEC Engineering GmbH, Herzogenrath; u.seefeldt@mtec-engineering.de
Dipl.-Ing. Wolfgang Pelzer ist Geschäftsführer der M.TEC Engineering; w.pelzer@mtec-engineering.de

Service

Weitere Infos zum Ingenieurbüro:
<https://mtec-engineering.com/de/>

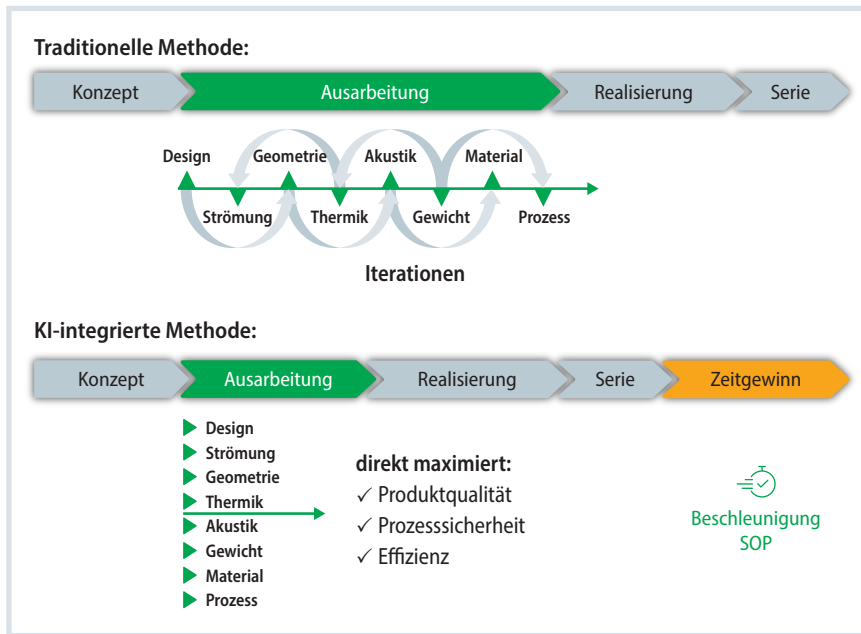


Bild 1. Entwicklungsmethoden ohne und mit KI-Nutzung im Vergleich. Die ineinander verzahnte Simulation wichtiger Eigenschaften (unten) beschleunigt den Entwicklungsprozess. Quelle: M.TEC

Engineering; Grafik: © Hanser

spruchsvollen und volatileren Welt der Produktentwicklung zu begegnen. Dieser Prozess ist speziell darauf ausgelegt, technisch Realisierbares bis aufs Letzte auszureizen, Potenziale zu heben, Kosten zu sparen, Entwicklungszeiten zu verkürzen und den Kunden mehr Sicherheit und Stabilität zu bieten.

KI-integrierter Entwicklungsprozess: Schneller, effizienter, nachhaltiger

Lange vor dem Aufkommen KI-basierter Chatbots wie ChatGPT begannen die Ingenieure von M.TEC, an einem KI-gestützten Produktentwicklungsverfahren zu arbeiten. Dieses sollte neue Wege eröffnen, den Entwicklungsprozess nachhaltiger, ressourceneffizienter und schneller zu gestalten. Der KI-integrierte Entwicklungsprozess ermöglicht es zum Beispiel, Schwankungen in den Materialeigenschaften zu berücksichtigen, wie sie beim Einsatz von beispielsweise Rezyklaten immer wieder auftreten, und die Produkt- und Prozessparameter so zu optimieren, dass eine konstante Produktqualität gewährleistet ist.

Im Unterschied zur traditionellen Methode der Produktentwicklung, bei der einzelne physikalische Bereiche isoliert voneinander betrachtet werden, erlaubt dieser Entwicklungsprozess durch multiphysikalische Simulation die Optimierung eines Produkts im gesamten Parameterraum, der zur Verfügung steht (**Bild 1**). Dabei können durch Beherrschen einer hohen Komplexität und großer Datenmengen Wechselwirkungen berücksichtigt und widersprüchliche Ziele aufgelöst werden. Ergebnis ist der bestmögliche Datensatz, der sich durch einen menschlichen Planer so nicht ermitteln lässt. Die so optimierten technischen Lösungen eröffnen neue Möglichkeiten, um wichtige Innovations- und Nachhaltigkeitsaspekte in der Entwicklung treiben und beschleunigen zu können.

„Blickt man auf den Wertstoffstrom der Post-Consumer-Rezyklate, wird klar, dass die Materialeigenschaften in Zukunft nicht mehr als konstant angenommen werden können.“

Aber wie genau kann künstliche Intelligenz dazu beitragen, Produkte und Prozesse umweltfreundlicher zu gestalten? Welche Nachhaltigkeitsvorteile bieten sich durch die Integration von KI? Im Folgenden werden relevante Nachhaltigkeitsfaktoren in der Entwicklung zunächst zusammenfassend vorgestellt und anschließend an einem Anwendungsbeispiel der konkrete Nachhaltigkeitsnutzen der KI erläutert.

Nachhaltigkeitsaspekte in der Produktentwicklung

Aspekte der Nachhaltigkeit stehen heutzutage zunehmend im Mittelpunkt der Produktentwicklung (**Bild 2**): Hierbei geht es vor allem um veränderte Anforderungen der Verbraucher, selbst gesteckte Unternehmensziele sowie die Einhaltung verschärfter Regularien und rechtlicher Vorgaben. Dabei tragen der Einsatz von Recyclingmaterialien und die Optimierung des Material- und Energieverbrauchs maßgeblich zur Ressourcenschonung und zur Reduktion des CO₂-Fußabdrucks bei. Der Fokus der Entwicklung liegt dementsprechend darauf, die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft sowie der Langlebigkeit und Reparierbarkeit der Produkte in den Entwicklungsprozess zu integrieren.

Blickt man auf den Wertstoffstrom der Post-Consumer-Rezyklate (PCR), wird schnell klar, dass die Materialeigenschaften in Zukunft nicht mehr als konstant angenommen werden können, weil deren Quelle und Zusammensetzung nicht, wie zuvor, gesichert vorausgesetzt sind.

KI-gestützte Optimierung ermöglicht es in diesem Zusammenhang, durch präzise Vorhersage des Prozesses auch bei schwankenden Materialeigenschaften eine hohe Produktqualität zu ge-

währleisten und somit den Einsatz von Recyclingmaterialien in technisch anspruchsvollen Anwendungen zu fördern. Zudem lassen sich

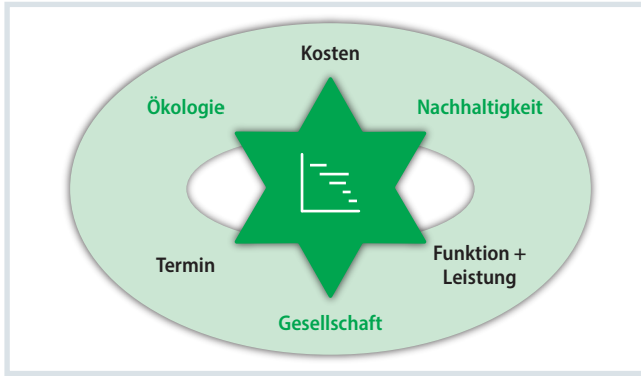


Bild 2. Erweiterte Rahmenbedingungen für Entwicklungsprojekte in Bezug auf Nachhaltigkeit.

Quelle: M.TEC Engineering; Grafik: © Hanser

Prozesse ressourcenschonend und energiesparend optimieren und der Materialeinsatz minimieren. Dies entspricht nicht nur den heutigen Anforderungen von Gesetzgebern und Endkunden, sondern auch den selbst gesteckten Zielen vieler Hersteller.

Prozess- und Verzugsoptimierung einer Kfz-Tragstruktur

Ausgangspunkt für das nachfolgende Beispiel aus der Praxis war die Prozessauslegung für die Herstellung eines Kfz-Querträgers (**Bild 3**) aus einem langglasfaserverstärkten Polypropylen (Neuware) mithilfe von Schwindungs- und Verzugsberechnungen. Der Prozess wurde mithilfe der hauseigenen KI M.Opt so ausgelegt, dass keine Werkzeugänderungen notwendig waren und die Abmusterungszeit um 80% verkürzt werden konnte.

Im weiteren Verlauf dieses Projekts für die BMW AG ging es auch darum, mithilfe der KI einen Parametersatz zu berechnen, der beim Einsatz von Rezyklat trotz der daraus resultierenden Schwankungen der Materialeigenschaften (hier angenommen: der Viskosität) einen stabilen Prozess und eine konstant hohe Produktqualität sicherstellen würde.

Der Entwicklungsprozess begann mit der genauen Definition der Anforderungen und der Erstellung eines digitalen Zwillings des Bauteils. Hierzu wurden detaillierte FEM-Modelle (FEM: Finite-Elemente-Methode) erstellt, um die strukturellen Eigenschaften der Tragstruktur zu simulieren.

Ein wesentlicher Aspekt der Optimierung war es, die Schwankungen in den Materialeigenschaften der verwendeten Recyclingmaterialien zu berücksichtigen.

Die Materialviskosität wurde als Variable in die Optimierung aufgenommen, wobei eine Schwankungsbreite von $\pm 20\%$ im Vergleich zum Ausgangswert angenommen wurde. Andere Untersuchungen zeigen, dass die Schwankung der Viskosität bei Rezyklaten auch deutlich größer ausfallen kann (bis zu $\pm 50\%$).

Multiphysikalische Optimierung

Ziel der Optimierung war es, den Parametersatz zu finden, der bei Viskositäts-

Änderung der Viskosität [%]	Verzugsänderung [%]
-20	-4,05
0	-
+20	0,97

Tabelle 1. Änderung des Verzugs: Ergebnisse für das Viskositätsminimum und -maximum.

Quelle: M.TEC Engineering

Änderung der Viskosität [%]	Verzugsänderung [%]
-20	-0,72
0	-
+20	-0,57

Tabelle 2. Änderung des Verzugs: Ergebnisse für das Viskositätsminimum und -maximum bei Einbeziehung der Werkzeugdimensionen.

Quelle: M.TEC Engineering

werten, die im Bereich von $\pm 20\%$ im Vergleich zum Nennwert schwanken, den geringsten Verzug bietet. Als Verzug wurde der Hauptverzug angenommen, wobei dafür der Mittelwert aller Knoten gebildet wurde. Zunächst wurde der Gesamtverzug (Definition wie oben beschrieben) mit den Pro- »

Bild 3. Auf der 20. Automotive Award Night der SPE wurde die mithilfe von KI optimierte Kfz-Tragstruktur in der Kategorie „Enabler Technology“ ausgezeichnet.

© M.TEC Engineering



zessparametern des Serienmaterials ermittelt. Dieser sollte im Folgenden als Vergleichswert dienen.

Als zusätzlichen Mehrwert identifiziert die KI in diesem Fall die Sensitivitäten. Sie benennt also die Parameter, die einen großen Einfluss auf das Verzugverhalten haben, ebenso wie die, die nur eine untergeordnete Rolle spielen. So lässt sich die Qualitätssicherung bei der Erstellung von Produktionslenkungs- und Prüfplänen optimieren: In der Produktion werden nur die Parameter überwacht, die wirklich sinnvoll und wichtig sind.

Dann wurden im nächsten Schritt alle 26 variablen Parameter gleichzeitig optimiert und dabei die minimalen und maximalen Werte der Viskosität angenommen. So entstand ein Ergebnisraum $x^{\wedge}26$, in dem das Optimum dieser Funktionsgleichung gesucht wird (**Tabelle 1**).

Bild 4. Insulinpens als Beispiel für die Anwendung der multiphysikalischen Optimierung in komplexen Engineering-Projekten mit gegenläufigen Entwicklungszielen.

© abidika – stock.adobe.com



Zu beobachten war, dass eine geringere Viskosität einen erheblich größeren Einfluss auf das Schwindungs- und Verzugverhalten hat als eine höhere Viskosität.

In einem weiteren Schritt wurden die Werkzeugdimensionen als variable Parameter in die Optimierung mit einbezogen, das heißt, es wurden neben den Prozess- und Materialparametern zusätzlich Geometrieparameter berücksichtigt. Der Lösungsraum wurde dadurch nochmals erweitert (**Tabelle 2**).

Grundsätzlich ist festzustellen, dass der gemittelte Verzug vom Niveau her geringfügig größer wurde. Gleichzeitig lässt sich jedoch ein positiver Effekt eines solchen Vorgehens konstatieren: Die Standardabweichung konnte erheblich reduziert werden. Die angenommene große Toleranz der Viskosität konnte also durch intelligente Werkzeugauslegung kompensiert werden.

Der Erfolg von Rezyklaten in neuen Produkten kann also durch den Einsatz von KI in der Entwicklungsphase in hohem Maße unterstützt werden: Risiken werden kalkulierbarer und die Machbarkeit früher sichtbar. Voraussetzung ist dabei die Untersuchung des kompletten zur Verfügung stehenden Lösungsraums. Ein Mensch kann diesen Aufwand aufgrund der Komplexität des Ansatzes nicht in einer realistischen Zeit leisten, die KI ist in diesem Falle der einzige Lösungsweg.

Anwendungsbeispiel Medizintechnik: Entwicklung eines Insulinpens

Daneben gibt es zahlreiche weitere Praxisbeispiele für die Wirksamkeit der KI-integrierten Entwicklung, wie etwa die Optimierung eines Insulinpens (**Bild 4**). Insbesondere in der Medizintechnik, wo Präzision und Sicherheit entscheidend sind, konnte die multiphysikalische Optimierung helfen, eine konstant hohe Produktqualität und Prozessstabilität zu erreichen sowie gleichzeitig die Kosten zu verringern.

Als komplexes medizinisches Sicherheitsprodukt unterlag die Entwicklung des Insulinpens einer Vielzahl teils gegensätzlicher Anforderungen. Durch die mehrstufige Simulation gelang es, eine Balance zwischen mechanischen, thermischen und strömungsmechanischen Anforderungen zu finden und die Produktions- und Entwicklungskosten zu senken, während gleichzeitig die norma-



Bild 5. Ein Mensch kann den Aufwand – die Untersuchung des kompletten zur Verfügung stehenden Lösungsraums – nicht leisten, die KI ist in diesem Falle der einzige Lösungsweg. © M.TEC Engineering

tiven Anforderungen stets erfüllt wurden. Die Entwicklung umfasste mehrere Schritte:

- Die spezifischen Anforderungen an den Pen-Injektor wurden definiert.
- Ein umfassendes multiphysikalisches Modell, das mechanische, thermische

und strömungsmechanische Aspekte berücksichtigt, wurde erstellt.

- Die KI-basierte Optimierung führte zu einem Design, das alle Anforderungen erfüllte.

Schließlich wurde das Ergebnis in realen Tests validiert.

Fazit

Der beschriebene KI-integrierte Entwicklungsprozess markiert einen bedeutenden Fortschritt in der nachhaltigen Produktentwicklung. Dies zeigt sich praxisnah an den Beispielen von Tragstruktur und Insulinpen, wo durch die KI-gestützte Optimierung nicht nur die Abmusterungszeit, der Materialverbrauch sowie der Ressourceneinsatz reduziert, sondern auch die Produktqualität und Prozesssicherheit verbessert wurden.

In Bezug auf eine umweltfreundlichere Entwicklung können nicht nur der Einsatz von Rezyklaten, sondern auch die Reduktion des CO₂-Fußabdrucks, die Implementierung von Kreislaufkonzepten und weitere positive Aspekte vorangetrieben werden. So wird die Zukunft des Engineerings (**Bild 5**) aktiv gestaltet, um den Herausforderungen der heutigen Produktentwicklung zu begegnen und zukunftsweisende, nachhaltige Lösungen zu ermöglichen. ■