

DIGITAL ENGINEERING MAGAZIN

SPECIAL
KI IM ENGINEERING



VIRTUALISIERUNG IN DER FAHRWERKSENTWICKLUNG

**DIE HOHE KUNST DER
DYNAMISCHEN GEOMETRIEPRÜFUNG**

DIE HOHE KUNST DER DYNAMISCHEN GEOMETRIEPRÜFUNG

Ein Kooperationsprojekt der BMW Group mit der Firma invenio Virtual Technologies (VT) erreicht einen erheblichen Effizienzhub in der geometrischen Fahrwerksauslegung. Datenbankbasierte, hochgradig automatisierte und KI-basierte Berechnungen und Analysen heben den Prozess der virtuellen Fahrwerksgestaltung und -absicherung auf ein neues Niveau. » VON STEFFEN HEDWIG UND HERMANN GAIGL

In Zeiten der Digitalisierung, volatiler Märkte und dynamischer Technologiesprünge steht die Automobilindustrie vor großen Herausforderungen. Entwicklungszyklen von vier bis sieben Jahren für Automodelle und Architekturen sind keine Seltenheit. Diese Prozesse zu beschleunigen, bietet – gerade in dieser Zeit – einen immensen Wettbewerbsvorteil. Gleichzeitig erwarten die anspruchsvollen Kunden weltweit echte Produksubstanz, nachhaltige und langlebige Fahrzeuge sowie Spitzenqualität von BMW.

Die virtuelle Fahrzeugentwicklung, welche die Basis für zentrale Richtungsentscheidungen darstellt – Jahre bevor die ersten Prototypen und Testfahrzeuge gebaut und gefahren werden – steht dabei bei der BMW Group besonders im Fokus. Dadurch werden kurze und effiziente Entwicklungs-Iterationen sowie vernetzte Arbeitsweisen ermöglicht. Dies bildet den Ausgangspunkt für Crash-Simulationen, Fahrwerksanalysen, Aerodynamikberechnungen, Homologation und viele weitere Themen und gewinnt so mehr und mehr an Bedeutung. Fundamental sind dabei die geometrische Stimmigkeit und das Monitoring des virtuellen Fahrzeugs.

Großer Absicherungsaufwand

Die Auslegung eines Fahrwerks erfordert aufgrund der Feder- und Lenkbewegungen sowie der daraus resultierenden hohen Anzahl an Radstellungspositionen einen großen Absicherungsaufwand. Im Hinblick darauf wurde bereits vor Jahren damit begonnen, manuelle Abläufe erfolgreich zu automatisieren, um so die Aufwände zu reduzieren. Durch diesen stetigen Anspruch, sich zu verbessern und neue Innovationen in der Entwicklung einzusetzen, entstand in Kooperation mit

der Firma invenio VT ein neuer Ansatz zur dynamischen Geometrieprüfung.

Der invenio Quality-Monitor ermöglicht den Entwicklern einen datenbankbasierten Überblick über die geometrische Stimmigkeit des virtuellen Bauraums und wird bei der BMW Group für die Absicherung eingesetzt. So lassen sich Unstimmigkeiten, Probleme und Zielkonflikte frühzeitig aufdecken und lösen. Absolute Transparenz in Millionen von Datensätzen ist mit dem Quality-Monitor tagesaktuell sichergestellt.

Hohes Maß an Erfahrung und Expertise gefordert

Das Fahrwerk eines Automobils stellt mit seiner Vielzahl an bewegten Komponenten und komplexen Kinematiken eine besondere Herausforderung dar. Es hat die Aufgabe der Radführung, integriert dazu alle Subsysteme und Komponenten der Längs-, Quer- und Vertikaldynamik und bildet die Schnittstelle zum Gesamtfahrzeug.

Das Zusammenspiel von Querlenker, Spurstangen, Lenkung, Federn und Dämpfer, Gummilagern und Bremsen ist von essenzieller Bedeutung für das spätere Fahrverhalten sowie für die Sicherheit und Stabilität des Fahrzeugs. Die komplexe geometrische und funktionale Auslegung

von Fahrwerkskomponenten in der frühen, virtuellen Entwicklungsphase erfordert aber ein hohes Maß an Erfahrung und Expertise.

Um die verschiedenen Bahnkurven aller bewegter Bauteile zueinander im Blick zu behalten und so die jeweiligen Komponenten im Zielkonflikt Kosten, Qualität und Zeit optimal und effizient auszulegen, entwickelt die BMW Group bereits seit über 15 Jahren Tools und Methodiken. Mit intelligenten Programmen auf Basis von Catia V5 werden in einem (teil-) automatisierten Prozess alle

— DAS FAHRWERK EINES AUTOMOBILS STELLT MIT SEINER VIELZAHL AN BEWEGTEN KOMPONENTEN UND KOMPLEXEN KINEMATIKEN EINE BESONDERE HERAUSFORDERUNG DAR. —



kinematischen Zustände eines Achssystems, somit alle Feder- und Lenkpositionen, angefahren und analysiert. Engstellen wie auch Entwicklungsfreiräume lassen sich so identifizieren, dokumentieren und weiterbearbeiten.

Dabei wurden in den vergangenen Jahren immer effizientere Baukästen entwickelt, die beispielsweise die Verwendung einer bestimmten Fahrwerkskomponente über eine Vielzahl verschiedener Derivate und Achstypen hinweg ermöglichen. Die Kombination dieser Baukästen bildet als Resultat eine individuelle und punktgenaue Fahrwerksauslegung für jedes Fahrzeug der BMW Group bei gleichzeitig effizientem und reduziertem Ressourceneinsatz. Die Komplexität in der frühen Entwicklungsphase durch die Vielzahl an Möglichkeiten und den Wunsch nach Verwendung von Gleichteilen steigt jedoch an.

Technische Machbarkeit sondiert

Die Quality-Monitor-Plattform von invenio VT bietet für dieses Vorhaben eine gute Basis, um sowohl die dynamische geometrische Integration als auch datenbankbasierte Dokumentation und Bewertung

miteinander zu verbinden. Ende 2019 starteten hierzu die ersten Gespräche zwischen der Firma invenio VT und der Fahrwerksentwicklung der BMW Group. Um die Komplexität dieses Innovationsprojekts zu bewerkstelligen, wurde zunächst auf Basis eines „Proof of Concept“ (POC) die technische Machbarkeit sondiert.

Die technologische Grundlage bildet die invenio-Applikation Quality-Monitor, die bei der BMW Group ausschließlich für die statische, nicht bewegte, Geometrieprüfung zum Einsatz kommt. Zunächst wurde im Rahmen eines POC mit Achsdaten aus Altprojekten die technische Machbarkeit bestätigt und verifiziert. Im anschließenden Dry-Run wurde bereits mit den Produktivdaten des neuen BMW 7er der laufenden Entwicklung gearbeitet. Damit konnten die Entwickler die Qualität der Berechnungsergebnisse im direkten Vergleich mit den bisherigen Tools und Methoden zur dynamischen geometrischen Integration absichern. Zudem wurde durch die frühe Einbindung und Erprobung mit Produktivdaten ein noch intensiverer Austausch mit den Fahrwerksentwicklern der BMW Group erreicht, mit dem Resultat einer besseren User Experience und höherer Nutzerakzeptanz von Anfang an.

Quality-Monitor wird zu QM-dynamisch

Inzwischen ist QM-dynamisch (Quality-Monitor) in der BMW Group Produktivumgebung ausgerollt und deckt den kompletten Prozess der dynamischen Geometrieprüfung in der Fahrwerksentwicklung ab.

Dieser startet, nachdem alle Input-Informationen in Form von 3D-Bauteilen, Bewegungsinformationen auf Basis der Fahrwerkskinematik (je Zeitschritt die exakte Bauteilposition) und die Berechnungsregeln vorliegen. Über ein als XML-Datei vorhandenes Regelwerk legen die Fahrwerksentwickler fest, welche Mindestabstände zwei Bauteile zueinander einhalten müssen. Diese Vorgabe wird individuell für jede Bauteilpaarung festgelegt und dient der Berücksichtigung der Einflussfaktoren wie Toleranzen, Elastizitäten und Alterung.

Für den nächsten Schritt war bislang eine aufwändige Datenaufbereitung durch einen Experten notwendig, und die Herausforderung dabei war, die Komplexität des geometrischen Fahrwerksverhaltens über eine entsprechende Berechnungsintelligenz abzudecken.

Zueinander bewegliche Komponenten müssen im späteren Fahrzeug einen be-

stimmten Mindestabstand aufweisen, um einen korrekten und sicheren Betrieb zu gewährleisten. Demgegenüber sind die Fahrwerkskomponenten über Gummilager und Schrauben miteinander verbunden, und genau dort kommt es zwangsläufig zu Berührungen. Ob die Kollisionen allerdings relevant sind oder nicht, hängt von vielen Faktoren ab. Als Beispiel zur Erläuterung des Sachverhalts soll die Verbindung von Querlenker und Radträger genauer betrachtet werden. Die beiden Bauteile sind über ein Gummilager und eine Schraub-

INZWISCHEN IST DER QUALITY-MONITOR IN DER BMW GROUP PRODUKTIVUMGEBUNG AUSGEROLLT UND DECKT DEN KOMPLETTEN PROZESS DER DYNAMISCHEN GEOMETRIEPRÜFUNG IN DER FAHRWERKSENTWICKLUNG AB.

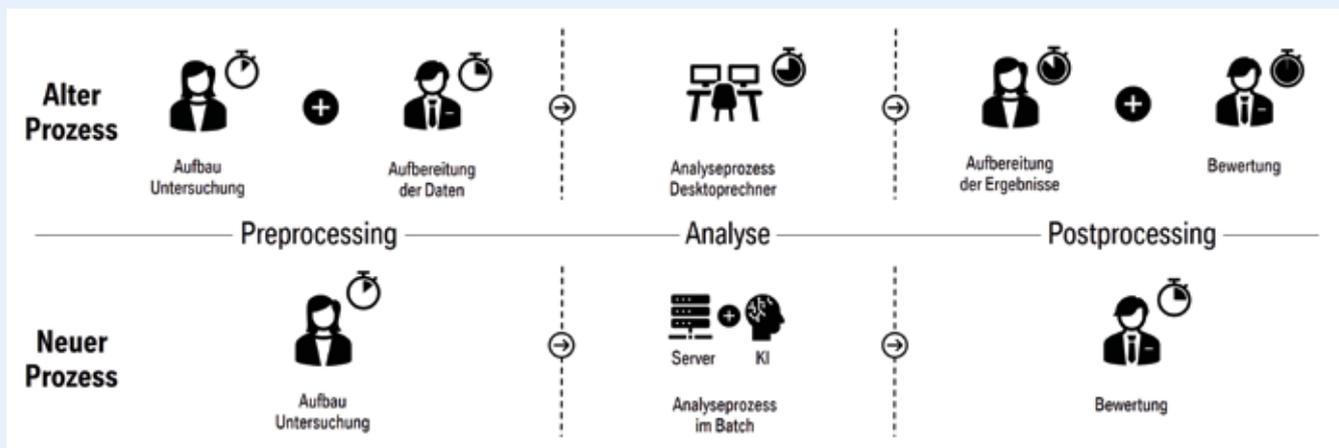
verbindung verbunden. Die vom Gummilager erzeugten Kollisionen müssen dabei separat betrachtet werden, zwischen den festen, zum Beispiel Kern und Hülse, und den flexiblen Bestandteilen des Lagers, beispielsweise Gummi. Eine Berechnung der realen Gummilagerverformung ist an dieser Stelle sehr aufwändig und nicht zweckmäßig. Für den geometrischen Freigang ist das Gummielement für die Untersuchung nicht relevant. Hier unterstützt das Tool durch eine neu etablierte Methode, welche die nicht relevanten Elemente aus den jeweiligen Komponenten herausfiltert und somit den Aufwand bei der Prüfung reduziert und die Qualitätsgüte steigert. Ebenso müssen beispielsweise Kontaktflächen zwischen Schraube und Radträger gesondert betrachtet werden. Diese Relationen stellen in der Geometrieprüfung eine akzeptierte Berührung zweier Komponenten dar. Von größter Bedeutung für den achsinternen Freigang und den sicheren Fahrzeugbetrieb sind aber Engstellen und Mindestabstände zwischen zueinander beweglichen Komponenten. Eine Kollision, beispielsweise zwischen Querlenker und Radträger, muss durch die Auslegung der jeweiligen Geometrien verhindert werden.

Suche nach potenziell kritischen Engstellen

Um dies sicherzustellen, werden in QM-dynamisch die jeweils aktuellen CAD-Modelle aus dem zentralen PDM-System



Bild: invenio Virtual Technologies



Alter vs. neuer Prozess mit invenio Quality-Monitor inklusiver künstlicher Intelligenz (KI).

Bild: BMW Group

geladen und mit den Eingangsdaten verknüpft. Die Berechnung, also die Suche nach potenziell kritischen Engstellen, läuft vollständig automatisiert im Hintergrund. Dabei wird der komplette Bewegungsraum des Fahrwerks – von einer Extremlage zur anderen – analysiert, indem nach Kollisionen gesucht, Mindestabstände überprüft und Abstandsbänder ausgewertet werden. Nach weniger als zwei Stunden liegen die Berechnungsergebnisse von über mehr als 200 achsinternen Bauteilpaarungen vor, welche die definierten Berechnungsregeln verletzen. Diese muss ein Experte überprüfen.

KI kommt ins Spiel

Um die Effizienz der Anwendung zu steigern, ist eine generische künstliche Intelligenz (KI) in QM-dynamisch integriert. Sie erstellt Zusatzinformationen parallel zur Berechnung und liefert Bewertungsvorschläge und Bilder von den identifizierten Problemstellen.

Sobald die Anwender QM-dynamisch starten, erhalten sie sofort den Überblick über alle potenziellen Problemstellen. Im nächsten Schritt wird je nach Priorität ein Arbeitsvorrat ausgewählt, zum Beispiel alle Kollisionen, für die die KI einen Bewertungsvorschlag mit einer Sicherheit von 99 Prozent erstellt hat. In diesem Fall wird der Experte nur noch einen kurzen, prüfenden

Blick auf das Bildmaterial werfen und den KI-Vorschlag per Knopfdruck bestätigen.

Liegt der Fokus auf der Bewertung von Abstandsverletzungen, so ist auch hier ein bisher nicht bekanntes Komfort-Level erreicht. Mit der Funktion zur Berechnung von Abstandsbändern werden nicht nur alle Stellen markiert, die zwischen zwei Bauteilen den vorgegebenen Mindestabstand verletzen (Bereich bis zur unteren Grenze ist rot markiert), sondern auch Bauteilabschnitte, die eine spezifische Meldeschwelle unterschreiten (Bereich zwischen unterer und oberer Grenze ist gelb markiert).

All diese Informationen werden dem Anwender durch automatisch generierte Bilder – mit Hilfe der KI – vorgelegt, so dass eine Bewertung durch den Experten in Sekundenschnelle möglich ist. Ein weiterer Vorteil ist hierbei ebenfalls der Abgleich mit bereits bestehenden Ergebnissen aus vorangegangenen Untersuchungen, womit sich der Aufwand bei der Bewertung durch die Vererbung der Informationen reduziert.

Diese neuen Funktionalitäten schaffen nicht nur mehr Sicherheit und Transparenz, sondern steigern die Effizienz erheblich. BMW konnte die zeitaufwändige Visualisierung im CAD-System und die Suche nach der kritischsten Relation deutlich reduzieren. Durch die automatisierte Berechnung auf separaten Ser-

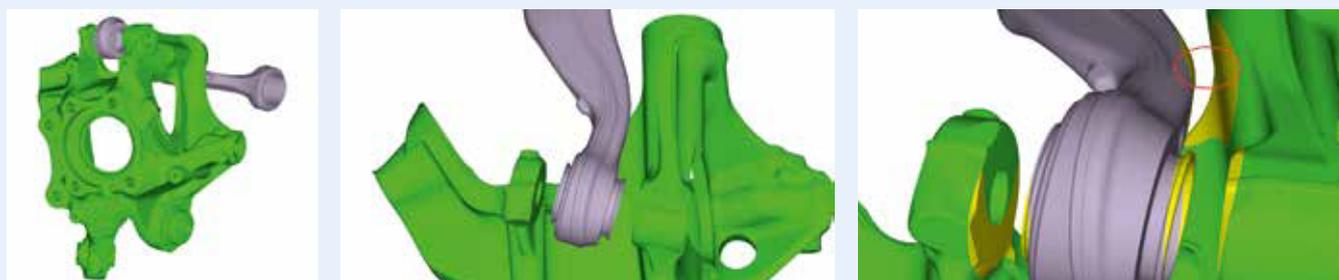
vern konnte der Automobilist außerdem CAD-Lizenzen einsparen. Alle potenziellen Problemstellen werden jetzt automatisch gefunden und aufbereitet. Außerdem wird jede Bewertung zusammen mit

UM DIE EFFIZIENZ DER ANWENDUNG ZU STEIGERN, IST EINE GENERISCHE KI IN QM-DYNAMISCH INTEGRIERT.

entsprechendem Bildmaterial und Kommentaren in der zentralen Quality-Monitor-Datenbank abgelegt. Damit können die Anwender jederzeit per Knopfdruck auf die aktuellen, aber auch historischen Ergebnisse zugreifen.

Gemeinsam wurde erreicht, die einzelnen Komponenten, Schnittstellen, Algorithmen und die KI so miteinander zu kombinieren, dass sich ein komplexes Thema in einen einfachen Workflow in der Fahrwerksentwicklung überführen ließ – und zwar durchgängig, intelligent, sicher und anwenderfreundlich. « RT

Steffen Hedwig ist Mitarbeiter im Bereich Entwicklung Fahrerlebnis bei der BMW Group. **Hermann Gaigl** ist Geschäftsführer der invenio Virtual Technologies GmbH.



Für die schnelle Bewertung einer identifizierten Engstelle stehen die automatisch erstellten Bilder im Quality-Monitor zur Verfügung. Bild: BMW Group