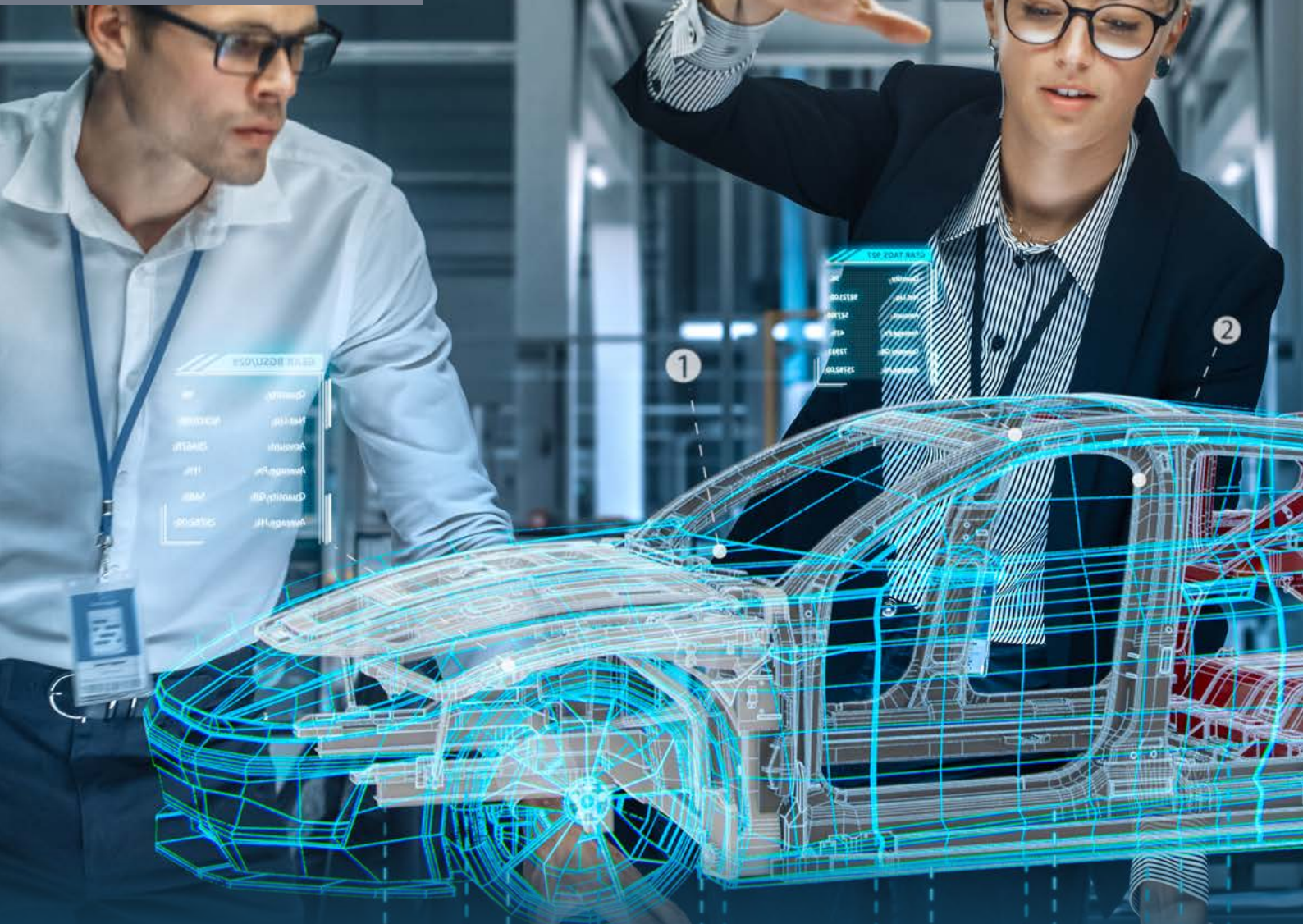


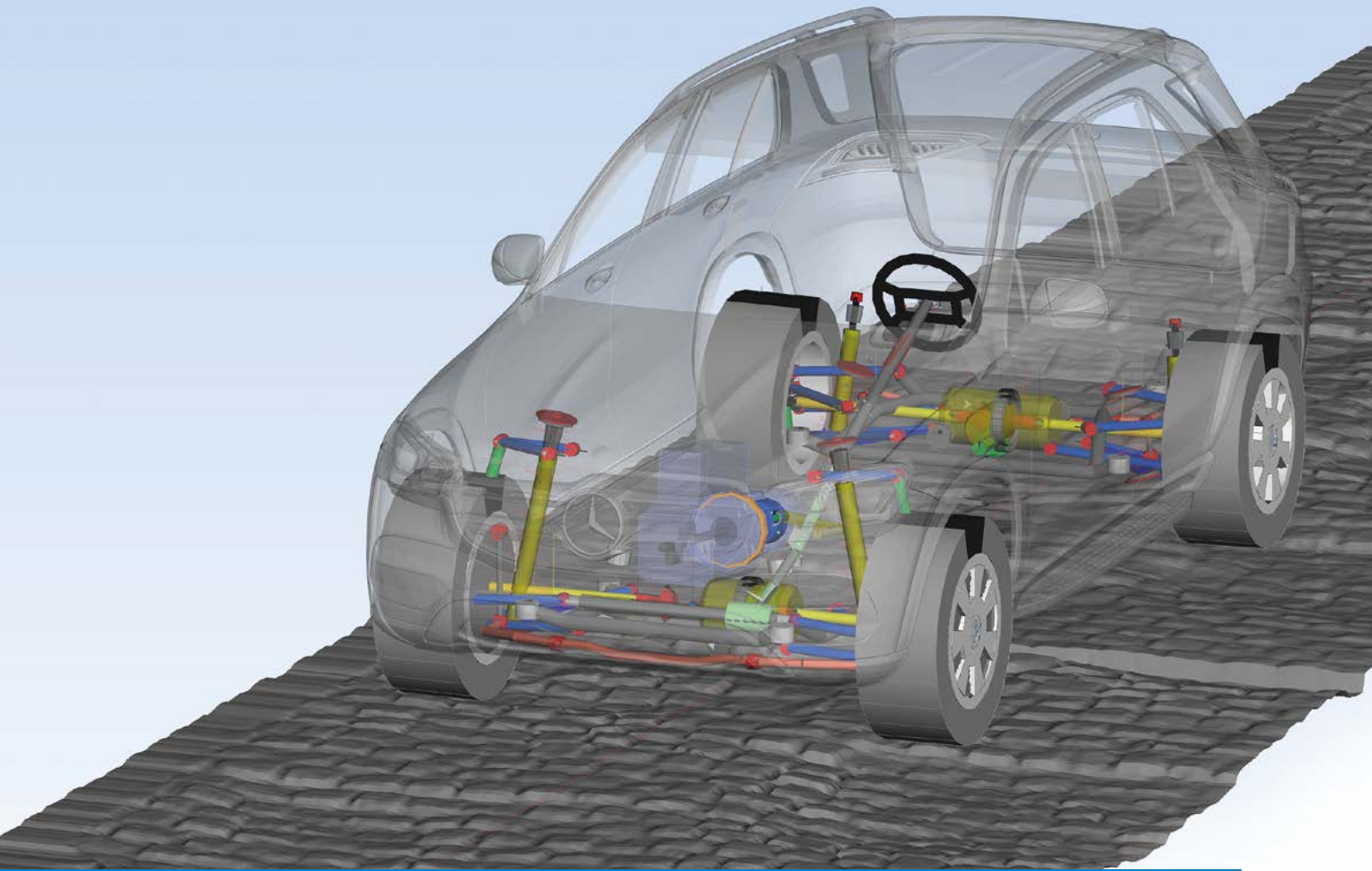
ATZ extra



Effizienzgewinn in der
Fahrzeugentwicklung

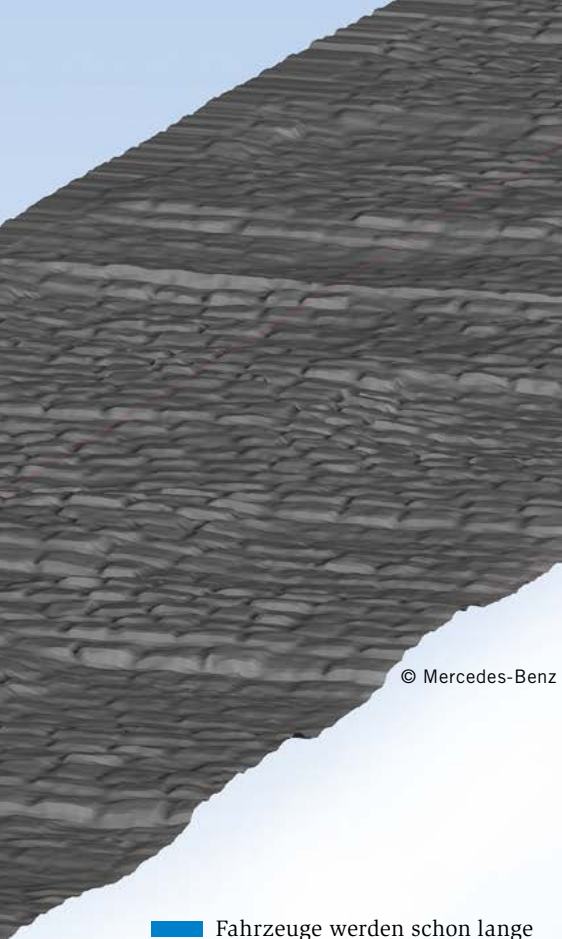


KARAKUN



Funktionsdatenmanagement für die virtuelle Fahrzeugentwicklung

Daten zur Beschreibung der Funktion von Komponenten sind die Grundlage einer jeden Fahrzeugentwicklung. Funktionsdaten definieren Anforderungen an neue Komponenten und sind Voraussetzung des modellbasierten Systems Engineering. Karakun beschreibt den Effizienzgewinn anhand eines Anwendungsbeispiels des integrierten Funktionsdatenmanagements unter Einbeziehung des FDX-Standards (Functional Data eXchange).



© Mercedes-Benz

Fahrzeuge werden schon lange auf der Basis digitaler Modelle entwickelt [1]. Allerdings umfassen diese Modelle heute vor allem geometrische und geometrienahen Daten. Funktionsdaten zur Beschreibung der Aufgabe oder Wirkweise eines Bauteils, wie zum Beispiel die Kraft-Weg-Kennlinie eines Elastomerlagers, sind heute noch nicht in den gängigen Systemen enthalten. Dabei werden solche Daten in vielen Bereichen der Entwicklung, wie zum Beispiel bei der Definition von Anforderungen an neue Komponenten oder für die Anwendung von Methoden des Model-based Systems Engineering (MBSE) benötigt.

DATENSTANDARD FDX

Wenn Daten überhaupt digital existieren, liegen sie weder in einheitlichen Formaten vor, noch werden sie durchgängig und revisionssicher verwaltet. Das verzögert und verteuert den Entwicklungsprozess erheblich. Daher haben der Verband der Automobilindustrie (VDA) und später der Verein prostep IVIP den Datenstandard FDX für die Modellierung von Funktionsdaten erarbeitet [2]. Darauf aufbauend entwickelt die FDX-Arbeitsgruppe fortlaufend konkrete Datenmodelle zur Beschreibung der Funktionen aller Komponenten eines Fahrzeugs und veröffentlicht diese als detaillierte Standards, wie zum Beispiel in [3]. Die Datenmodelle dienen in der Folge sowohl der Spezifikation des Sollverhaltens als auch der Erfassung des Istverhaltens einer entwickelten Komponente. Ebenso können sie als Eingabeparameter in Form von Kennwerten, Kennlinien oder Kennfeldern für Simulationen verwendet werden. Mithilfe von FDX und einem integrierten Management von Funktionsdaten innerhalb einer Organisation, aber auch unter Einbeziehung von externen Lieferanten und Kunden, lässt sich die gesamte Prozesskette eines Entwicklungsprozesses datentechnisch schließen. Um Organisationen den Einstieg in diese neuartige Verwaltung von Funktionsdaten zu erleichtern, wurde die Software Exoknox entwickelt. Mit dieser können Daten im Standardformat FDX erzeugt und gelesen werden.

VERFASST VON



Dr. Hans-Dirk Walter
ist Mitglied der Geschäftsleitung der Karakun AG in Basel (Schweiz).



Michael Baumann, M. Eng.
ist Leiter des Bereichs Digital Engineering Solutions bei der Karakun AG in Basel (Schweiz).



Dr. Ronaldo Nunes
ist Leiter des Teams Berechnung Fahrwerk bei der Mercedes-Benz AG in Sindelfingen.



Dipl.-Ing. Thomas Erdmann
ist Projektleiter für Exoknox und Verantwortlicher für (Funktions-) Datenmanagement und Prozessoptimierung im Team Berechnung Fahrwerk bei der Mercedes-Benz AG in Sindelfingen.

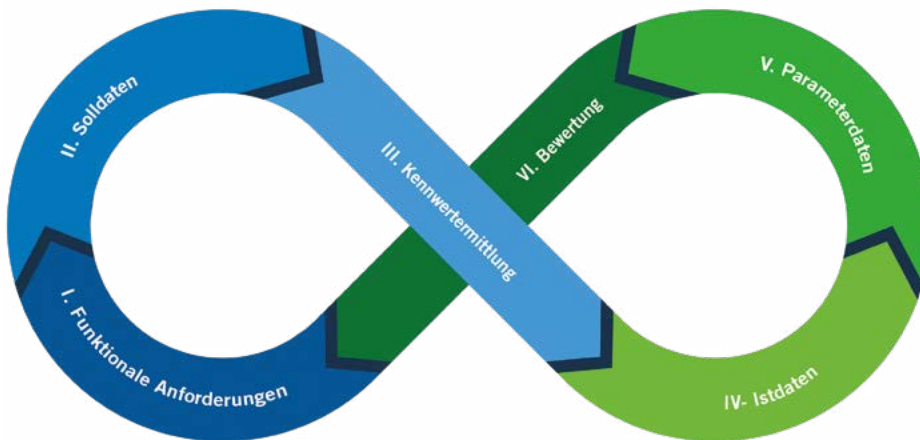


BILD 1 Geschlossene Prozesskette eines datengetriebenen Entwicklungsprozesses (© Karakun)

Funktionsdatentyp		NVH		Betriebsfestigkeit
Statisch				
Kraft/Weg	x-Achse		Steifigkeit im Arbeitspunkt	Kennlinie bis ± 15 kN
Kraft/Weg	y-Achse		Steifigkeit im Arbeitspunkt	Kennlinie bis ± 10 kN
Kraft/Weg	z-Achse		Steifigkeit im Arbeitspunkt	Kennlinie bis +5/-15 mm
Dynamisch				
x-Achse	Anregungsamplitude	0,01 mm	Kennlinie bis 500 Hz	
x-Achse	Anregungsamplitude	1,50 mm		Kennlinie bis 35 Hz
y-Achse	Anregungsamplitude	0,01 mm	Kennlinie bis 500 Hz	
y-Achse	Anregungsamplitude	1,50 mm		Kennlinie bis 35 Hz
z-Achse	Anregungsamplitude	0,01 mm	Kennlinie bis 500 Hz	
z-Achse	Anregungsamplitude	1,50 mm		Kennlinie bis 35 Hz

TABELLE 1 Für die MKS-Disziplinen NVH und Betriebsfestigkeit benötigte Daten für ein Elastomerlager (© Karakun)

Ein geschlossener, datengetriebener Entwicklungsprozess umfasst sechs Schritte: von der interdisziplinären Anforderungsdefinition über die Lieferung von Istdaten sowie die Kennwertermittlung zur Herleitung von Soll- und Parameterdaten bis hin zur automatisierten Auswertung und Nutzung der Daten für Simulationen, **BILD 1**. Mit gewonnenen Erkenntnissen innerhalb der Prozesskette können Optimierungen am Produkt vorgenommen werden.

Der Nutzen eines Standarddatenmodells und die Anwendung einer Softwarelösung zur integrierten Verwaltung und Bearbeitung von Funktionsdaten wird am Beispiel einer Referenzimplementierung in Exoknox dargestellt. Als Beispiel für ein zu entwickelndes Produkt wird das Datenobjekt für ein Elastomerlager erzeugt und über die einzelnen Schritte von unterschiedlichen Teilnehmenden am Prozess immer mehr angereichert. So entsteht über die ge-

samte Prozesskette ein durchgängiger und zu jederzeit nachverfolgbarer Datenfluss. Beim Elastomerlager handelt es sich konkret um ein Querlenkerlager.

FUNKTIONALES ANFORDERUNGSMANAGEMENT

In Schritt I definieren Entwickler und Entwicklerinnen verschiedener Disziplinen auf einheitliche Weise die funktionalen Anforderungen an das neue

BILD 2 Ausschnitt des Datensatzes mit Berechnungen zur Betriebsfestigkeit, NVH und Referenzdaten (© Karakun)

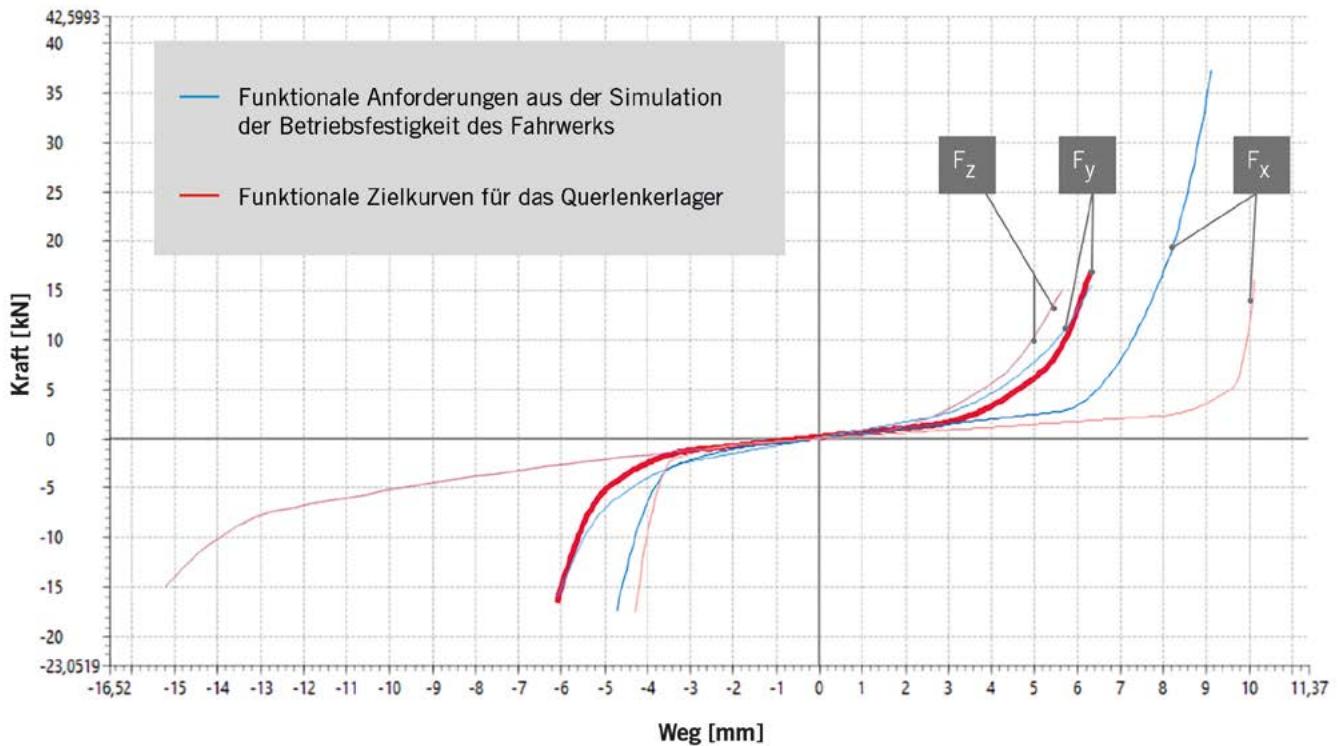


BILD 3 Kurvenverläufe von simulativ ermittelten funktionalen Anforderungen der Betriebsfestigkeit des Fahrwerks und Zielvorgaben für das Querlenkerlager (© Karakun)

Querlenkerlager und speichern sie in der Funktionsdatenbank ab. Solche Anforderungen enthalten beispielsweise Kraft-Weg-Sollkennlinien und Frequenzwertebereiche, innerhalb derer dynamische Kennlinien erforderlich sind.

So benötigt zum Beispiel die Disziplin „Fahrodynamik“ sowohl statische als auch dynamische Kennlinien bis zur dreifachen Achseigenfrequenz. Die Disziplin „NVH“ (Geräusch, Vibration, Rauheit – Noise, Vibration, Harshness) fordert dynamische Kennlinien mit hohen Frequenzen. Bei der „Betriebsfestigkeit“ werden dagegen statische Kennlinien erwartet, die bis zu Anschlägen vermessbar sind, sowie dynamische Kennlinien bis zur dreifachen Achseigenfrequenz. **TABELLE 1** illustriert verkürzt die daraus resultierende Anforderungsspezifikation für das Querlenkerlager.

ERSTELLUNG EINES SOLLDATENSATZES

In Schritt II werden die Anforderungen aus den unterschiedlichen Disziplinen konsolidiert, mögliche Zielkonflikte identifiziert und aufgelöst. Oft obliegt diese

Aufgabe einer dedizierten verantwortlichen Person für ein Bauteil. Nach der Auflösung etwaiger Zielkonflikte erstellt die bauteilverantwortliche Person einen Datensatz als Referenz für alle an der Entwicklung Beteiligten und gibt diesen frei. Alle Ergebnisse der Berechnungen zur Disziplin Betriebsfestigkeit, NVH und die Referenzdaten liegen somit im Datensatz des Bauteils vor, **BILD 2**. Die simulierten Anforderungen zur Betriebsfestigkeit des Fahrwerks und zu den Zielvorgaben für das Querlenkerlager sind darüber hinaus visuell prüfbar, **BILD 3**.

KENNWERTERMITTLUNG

Nach der Freigabe des Anforderungsdatsatzes kann nun in Schritt III ein Auftrag zur Kennwertermittlung bei internen oder externen Lieferanten erstellt werden. Hierfür können dem Datensatz Toleranzangaben hinzugefügt werden, die als Grundlage für spätere automatische Qualitätsprüfungen dienen. Für das Querlenkerlager sind es beispielsweise Vorgaben für die Toleranzen der Nennsteifigkeit aller sechs Freiheitsgrade und für die Kraftbereiche die Toleranzen, inner-

halb derer statische Kennlinien zu liefern sind. Im Zuge der Auftragsvergabe zur Kennwertermittlung kann der mit Toleranzen angereicherte Datensatz unmittelbar digital an Lieferanten der Komponenten weitergereicht werden. Hierfür stehen mehrere technische Möglichkeiten bereit, je nach vorhandener Infrastruktur bei den beteiligten Unternehmen (zum Beispiel durch Versand per E-Mail oder Zugriff über ein Datenportal).

ERSTELLEN EINES ISTDATENSATZES

Schritt IV wird von dem Datenlieferanten durchgeführt. In der Regel werden die benötigten Istdaten für die zu entwickelnde Komponente auf einem Prüfstand oder in frühen Entwicklungsstadien durch Simulationswerkzeuge erzeugt. Das FDX-basierte Datenmodell erfordert hierbei die Angabe wichtiger Randbedingungen, um zum Beispiel beim Querlenkerlager den Mullins-Effekt zu eliminieren. Mit den in Schritt III definierten Toleranzvorgaben lassen sich die so erzeugten Istdaten automatisch prüfen. Sie können erst nach einer be-

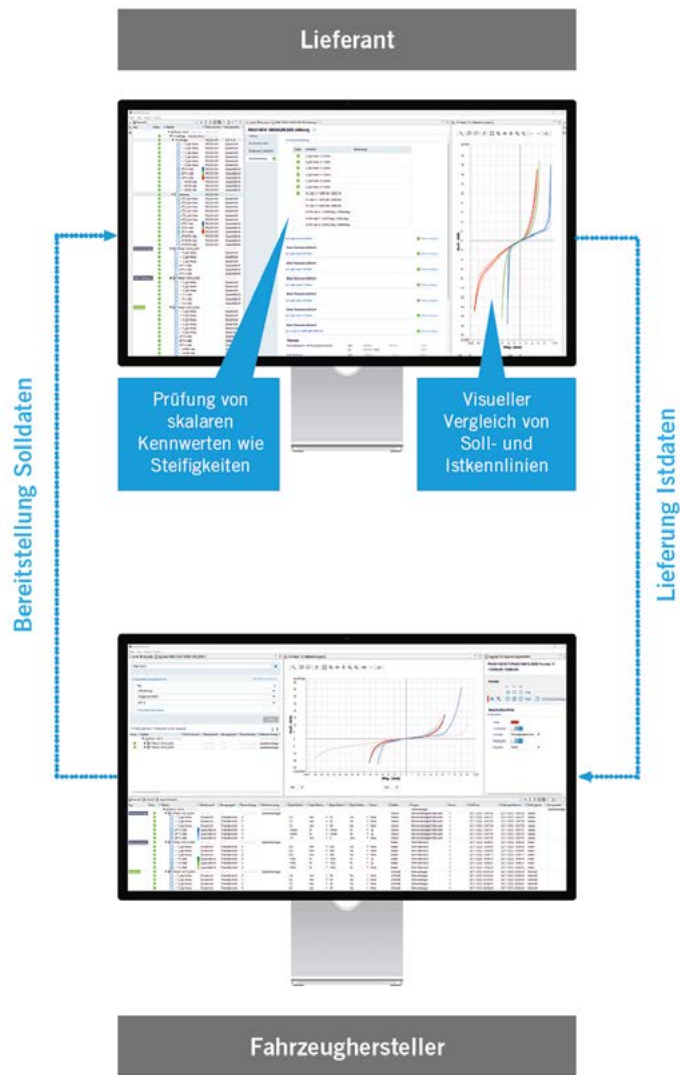


BILD 4 Qualitätsprüfung und visueller Kennlinienvergleich zwischen Soll- und Istdaten aufseiten des Bauteillieferanten und Datenaustausch mit dem Fahrzeughersteller (© Karakun)

standenen Qualitätsprüfung an die Entwicklungsabteilung des Fahrzeugs zurückgeliefert werden, **BILD 4**. Hierfür stehen die gleichen Möglichkeiten wie bei der Auftragsvergabe zur Verfügung.

AUTOMATISIERTE PARAMETRIERUNG MIT EXOKNOX

Die Istdaten können nun in Schritt V für die weitere Entwicklung des Produkts genutzt werden, zum Beispiel zur Parametrierung von Mehrkörpersimulations(MKS)-Modellen. Ein großer Mehrwert der datengetriebenen Entwicklung mit FDX und Exoknox besteht in der Möglichkeit, den notwendigen Parameterdatensatz automatisch aus den erhaltenen Istdaten zu generieren. Für das Querlenkerlager kann nun eine zuständige Person der Fahr dynamiksimulation

ein zuvor in Exoknox erstelltes Skript ausführen, um die Modellparameter und -kennlinien zur Parametrierung eines Kelvin-Voigt-Kraftelements automatisch zu erzeugen. Andere Modellansätze können individuell ergänzt werden.

Ein solches Skript kann unter anderem die für den statischen Modellanteil benötigten hysterese-freien Skelettlinien in allen sechs Freiheitsgraden erzeugen. Dies erfolgt durch Optimierung der Parameter einer algebraischen Ansatzfunktion. Dadurch wird zum Beispiel sichergestellt, dass Kennlinien für die Betriebsfestigkeitsdisziplin bis in hohe Lastbereiche zur Verfügung gestellt werden können. Zudem werden aus den ermittelten dynamischen Kennlinien durch Linearisierung in vorgegebenen Arbeitspunkten die nötigen Parameter für die Verlustwinkel und die dynamischen

Verhärtungsfaktoren in allen sechs Freiheitsgraden berechnet.

Der Parametrierungsdatensatz wird aus Gründen der Nachvollziehbarkeit mit den Quelldaten (Istdaten aus Schritt III und IV) verknüpft und in der Datenbank gespeichert. Dadurch können andere Berechnungsdisziplinen bei Bedarf denselben Parametersatz verwenden. Es ist auch möglich, mit spezifischen Automatisierungsskripten eigene Parametrierungsdatensätze zu erzeugen. Sie können ebenfalls mit den Quelldatensätzen verknüpft werden und lassen sich direkt in einem MKS-Werkzeug verwenden.

MODIFIKATIONEN DER ANFORDERUNGEN UND SOLLDATEN

In Schritt VI erfolgt die Bewertung der in Simulationen oder Tests erzielten

Ergebnisse. Sie kann zu Anpassungen der Anforderungen und den dazugehörigen Solldaten führen. So kann zum Beispiel eine Anpassung des funktionalen Verhaltens des Querlenkerlagers erforderlich sein. Derartige Modifikationen können direkt auf nachvollziehbare Weise im Funktionsdatenmanagementsystem vorgenommen werden. Es wird eine Kopie der ursprünglichen Solldaten erstellt und mit dem Original verbunden. Auf der Kopie kann beispielsweise die statische Kraft-Weg-Kennlinie in Hauptwirkrichtung bezüglich ihrer Grundsteifigkeit, ihres linearen Bereichs und ihres Progressionsverhalten angepasst werden. Die auf diese Weise erzeugten Daten dienen als Eingangsgrößen für die nächste Entwicklungsschleife.

ANGEREICHERTE PRODUKT-DATEN UND GESCHLOSSENE PROZESSKETTE

Mit FDX als Datenstandard und einer dazugehörigen Softwarelösung wie Exoknox kann zum einen die Integration von Lieferanten in den Beschaffungsprozess von Daten für die Befüllung von Produktdatenmanagementsystemen bewerkstelligt werden (Upstreamprozess). Zum anderen wird dadurch eine neuartige Nutzung der Funktionsdaten im Rahmen einer

erst jetzt vollständig digitalisierten, geschlossenen Prozesskette für mehrere Entwicklungsschleifen möglich (Downstreamprozess), nämlich ihre massenhaft automatisierte Analyse und Weiterverarbeitung. Die Evolution der Daten kann mit einer geeigneten Softwarelösung, wie sie beispielhaft in diesem Artikel vorgestellt wurde, nachverfolgbar und revisionssicher verwaltet werden – wichtige Voraussetzungen für Zertifizierungen.

Für die Entwicklung neuer Produkte bedeutet ein Funktionsdatenmanagement mit FDX einen erheblichen Effizienzgewinn. Dieser konnte durch erste Praxiserfahrungen in der digitalen Fahrzeugabsicherung bei Mercedes-Benz bestätigt werden. In konkreten Einsatzfällen konnte die Entwicklungsabteilung des Unternehmens den Aufwand für die Parametrierung deutlich reduzieren. Insgesamt wurde eine Verbesserung der Qualität der Entwicklungsergebnisse sowie eine umfassende Nachvollziehbarkeit des gesamten Entwicklungsprozesses rund um Funktionsdaten festgestellt.

Zukünftig wird prostep IVIP mehr und mehr Komponentenmodelle als Standard bereitstellen, die in Exoknox integriert werden. Zudem erwarten die Autoren, dass weitere Softwarelösungen auf der Basis von FDX auf den Markt kommen werden.

LITERATURHINWEISE

- [1] Eigner, M. et al. (Hrsg.): Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2014
- [2] prostep ivip Association (Hrsg.): White Paper FDX – Automated Functional Data Exchange in the Automobility Industry. Online: https://www.ps-ent-2023.de/fileadmin/prod-download/prostepivip_FDX-WhitePaper_2022.pdf, aufgerufen: 4. Dezember 2024
- [3] prostep ivip Association (Hrsg.): prostep IVIP PSI 20/VDA 5550 Part 3.3: Automated Functional Data Exchange in the Automobility Industry – Part 3.3 Wheel Brake. Online: https://www.ps-ent-2023.de/fileadmin/prod-download/VDA_5550_PSI20_Part3.3-WheelBrake.pdf, aufgerufen: 4. Dezember 2024

IMPRESSUM

Sonderausgabe 2024 in Kooperation mit Karakun AG, Elisabethenanlage 25, 4051 Basel;
Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Postfach 1546,
65173 Wiesbaden, Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE81148419

GESCHÄFTSFÜHRER:

Stefanie Burgmaier | Andreas Funk | Joachim Krieger

PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabusch

TITELBILD: © istockphoto.com



EXOKNOX ist die erste vollumfängliche und zukunftssichere Datenmanagement-Plattform für Funktionsdaten. Die von Berechnungsingenieuren aus der Automobilindustrie entwickelte Softwarelösung schließt eine Lücke in der Entwicklung von Bauteilen: Während es für geometrische oder geometrienaher Daten bereits sehr gute CAD-Produktdatenmanagementsysteme gibt, können Bauteil- und Systemeigenschaften wie Steifigkeit, Dämpfung, Druckverlust oder Drehmomentverhalten erst mit EXOKNOX zuverlässig verwaltet und mit allen Akteuren ausgetauscht werden. Dabei bestimmen gerade diese Eigenschaften zu erheblichen Teilen die DNA eines Gesamtfahrzeugs.



EXO:FDM

Vollumfängliches Datenmanagement für Funktionsdaten



EXO:FDX

Einfacher, kostengünstiger Austausch von Funktionsdaten



EXO:RDM

Hochskalierbare Management- und Analyseplattform für Ergebnisdaten



EXO:ODS

ODS Server Grundlage für EXO:FDM und EXO:RDM



EXO:VIZ

Erweiterte Visualisierung, Reports und Vergleiche



Basel
Karakun AG
Elisabethenanlage 25
4051 Basel
Schweiz

Dortmund
Karakun GmbH
Selkamp 12
44287 Dortmund
Deutschland

Stuttgart
EXOKNOX GmbH
Waldburgstr. 17/19
70563 Stuttgart
Deutschland

Mumbai
Karakun Software Pvt Ltd
Regus Business Center
2nd FL., Duru House
Juhu Tara Road
Juhu, Mumbai 400049
Indien