

© Framestock | AdobeStock

Virtuelle Generierung von Lastprofilen und -kollektiven zur Entwicklung von E-Autos

Ganzheitlicher modellbasierter Simulationsansatz

Die Konzeption von Antriebssträngen und deren Komponenten ist in Zeiten diverser Antriebsstrangarchitekturen und dem Wunsch nach Modularisierung eine Herausforderung. Um dieser zu begegnen, kann der virtuelle Fahrversuch bei einer agilen Auslegung des Antriebssystems und seiner Komponenten unterstützen.

Steven Yan und Pascal Piecha

Die derzeitige Entwicklung von Antriebsystemen und -komponenten ist stark von der fortschreitenden Elektrifizierung geprägt – die Vielfalt an Antriebsstrangkonfigurationen und Software-Paketen nimmt kontinuierlich zu. Gleichzeitig gibt es aufgrund der Komplexität und des Neuheitsgrads elektrifizierter Antriebsstränge im Vergleich zu konventionellen Antriebssträngen deutlich weniger hilfreiche Erfahrungswerte, die eine Grundlage für die Entwicklung bilden könnten.

Im Hinblick auf die Hardware-Komponenten sind Position und Anzahl der Elektromotoren sowie die Kapazität und Auslegung der Traktionsbatterie

ausschlaggebend für die mechanischen und elektrischen Lasten. Darüber hinaus haben auch die spezifische Betriebsstrategie sowie die Fahrscenarien einen großen Einfluss auf die Lastprofile und -kollektive sämtlicher Antriebsstrangarchitekturen und -varianten. Diese bilden zugleich die Basis für die nachfolgenden Entwicklungs- und Testprozesse.

Aufgrund dieser Komplexität ist es vorteilhaft, so früh wie möglich im Entwicklungsprozess virtuelle Testfahrten durchzuführen, um eine agile Auslegung des Antriebssystems mitsamt den zugehörigen Komponenten zu ermöglichen. Hierbei leistet der Einsatz

eines virtuellen Fahrzeugprototyps einen großen Beitrag zu einer kontinuierlichen Integration (Continuous Integration, CI) sowie einer effizienten Zusammenarbeit zwischen den involvierten Entwicklungsteams [1].

Modellbasierter Ansatz

Um aussagekräftige Lastdaten für spätere Entwicklungsprozesse zu generieren, kann ein ganzheitlicher modellbasierter Ansatz genutzt werden. Dieser umfasst Fahrer-, Fahrzeug-, Straßen-, Verkehrs- und Umweltmodelle und ermöglicht darauf basierend eine hohe Flexibilität und Kontrolle über sämtliche

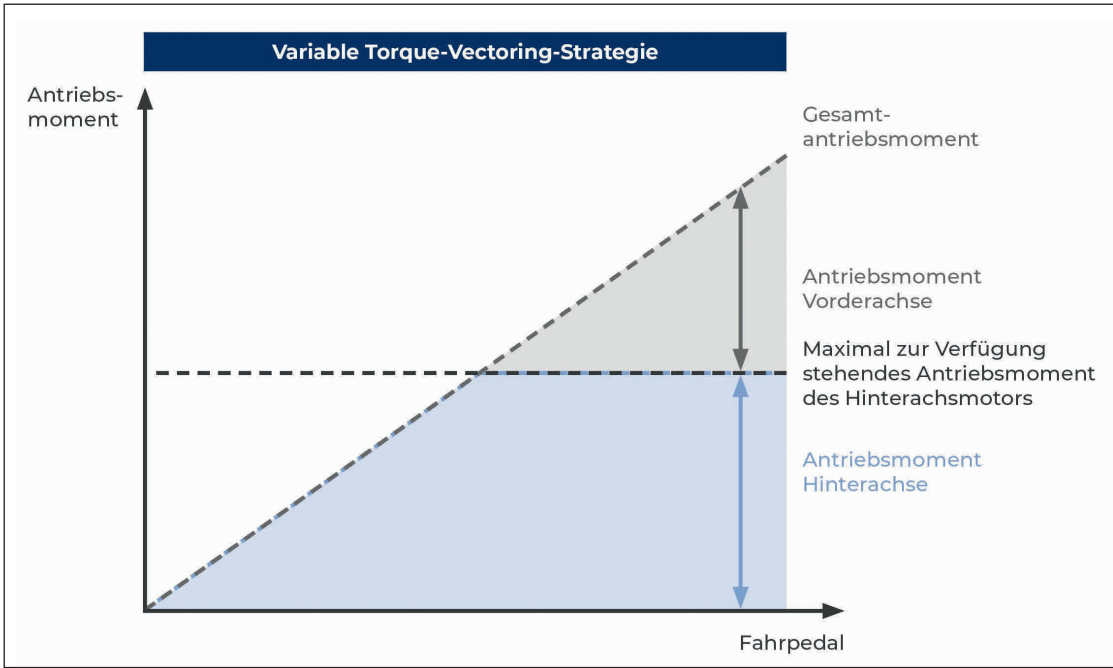


Bild 1: Qualitative Verteilung der Antriebsmomente an Vorder- und Hinterachse für eine variable TVS
© IPG Automotive

Testscenarien. Bereits vorhandene Zyklus- und Belastungsprofile lassen sich weiterhin in die Szenarien einbeziehen, weil sie eine spezifische Modellreduktion darstellen. Das ist beispielsweise in Form eines Fahrzeuggeschwindigkeitsprofils umsetzbar, das aus einer bestimmten Kombination von Fahrer, Fahrzeug, Straße und Verkehr abgeleitet ist. Es birgt jedoch gleichzeitig den Nachteil der komplexen und komplizierten Anpassbarkeit an ein anderes Fahrzeug oder Szenario.

Eine offene Integrations- und Testplattform wie CarMaker ermöglicht die Durchführung des virtuellen Fahrversuchs. In diesem können Fahrzeuge mit unterschiedlichen Hardware- und Software-Konfigurationen über sämtliche Entwicklungsstufen hinweg durchgängig und reproduzierbar in verschiedenen Szenarien virtuell getestet werden. Die Flexibilität und Integrationsfähigkeit bietet eine hervorragende Grundlage für die virtuelle Generierung von Lastdaten.

Anwendungsbeispiel: AWD Torque Vectoring

Zur Lastdatengenerierung wird ein allradgetriebenes Elektrofahrzeug mit einem Elektromotor pro Achse modelliert. Für dieses Fahrzeug kommen zwei verschiedene Torque-Vectoring-Strategien (TVS) zum Einsatz, um die Momente zwischen Vorder- und Hinterachse zu verteilen. Mögliche Einsatzzwecke dafür sind etwa eine optimale Verwendung verschiedener Elektromoto-

ren (Bauart und Leistung) in Hinsicht auf Energieeffizienz oder die Abstimmung der Fahrdynamik in Bezug auf die gewünschte Fahrzeug-DNA des Automobilherstellers.

Die Versuche werden dafür in verschiedenen simulierten Fahrscenarien durchgeführt. Bei dem in diesem Artikel beschriebenen Anwendungsbeispiel liegt der Fokus auf der Testmethodik an sich und nicht auf der exakten und detaillierten Modellierung, Parametrierung und Kalibrierung eines bestimmten, sich auf dem Markt befindlichen Fahrzeugs.

Modellierung und Parametrierung

Als Grundlage für das Anwendungsbeispiel dient ein generisches Beispielfahrzeug, das zum Standardumfang der Simulationsumgebung CarMaker gehört. Dessen Chassis orientiert sich an ei-

nem Fahrzeug aus dem Sportcoupé-Segment. Das Fahrzeuggewicht beträgt 2.200 kg bei einer maximalen Gesamtleistung von 250 kW. Jeweils ein Elektromotor mit 125 kW Leistung und einem Maximalmoment von 200 Nm treibt über ein Differenzialgetriebe eine Achse an.

Die Leistungsabgabe des Elektromotors einschließlich der Leistungselektronik wird mit einfachen Kennzahlen modelliert. Die maximale Leistung ist dabei im motorischen Betrieb höher als im generatorischen Betrieb, weil letztere über die maximale Ladeleistung der Batterie begrenzt wird. In diesem Anwendungsbeispiel ist die generatorische Leistung auf 50 Prozent der motorischen Leistung limitiert. Die Batterie wird mit einem Ersatzschaltbild modelliert [2]. Das verwendete Reifenmodell – RTTire von IPG Automotive – berechnet eine Kraft auf Basis eines Schlupf-

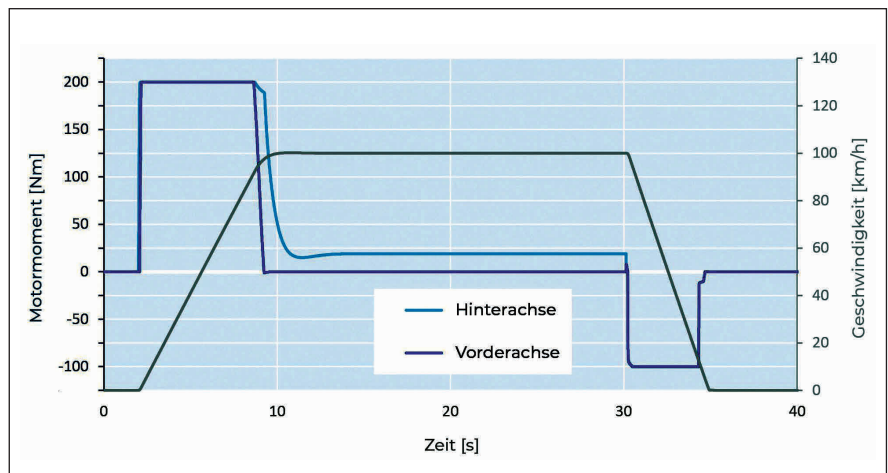


Bild 2: Momentenverläufe für variable TVS beim Beschleunigen und Bremsen © IPG Automotive

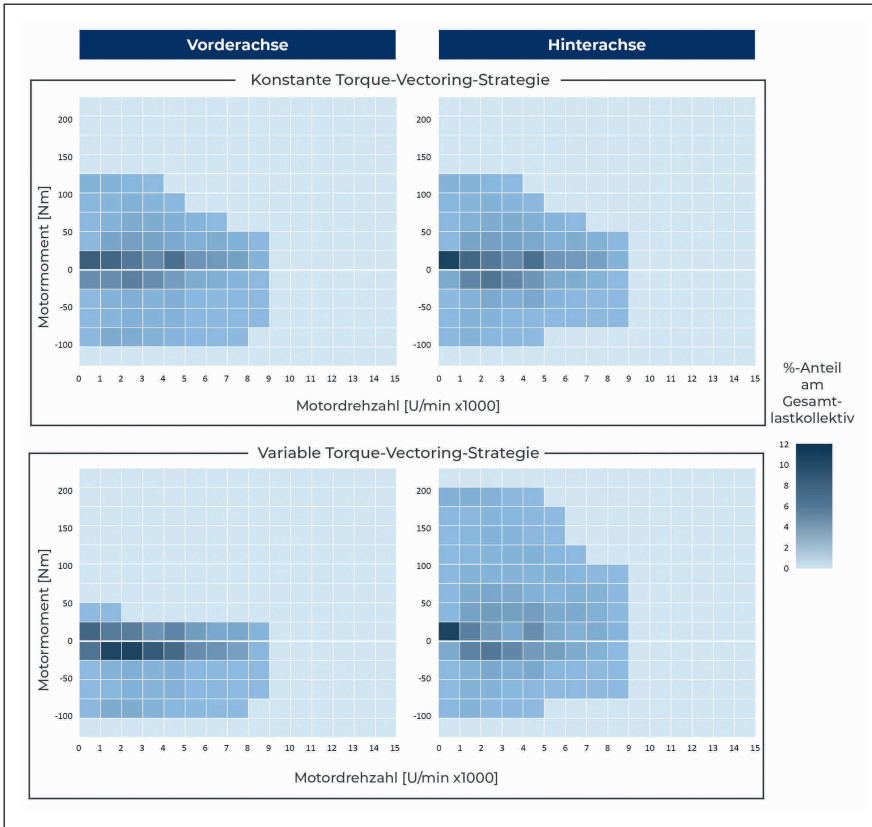


Bild 3: Betriebspunktverteilung für konstante und variable TVS im Testszenario „RDE“

© IPG Automotive

faktors und berücksichtigt darüber hinaus Nichtlinearitäten an der Haftungs-grenze [3].

Die beiden erwähnten TVS werden angewandt, um die Momente zwischen der Vorder- und Hinterachse zu verteilen. Bei einer konstanten TVS wird das gewünschte Antriebsmoment statisch im Verhältnis 1:1 zwischen Vorder- und Hinterachse verteilt. Bei einer variablen TVS wird das Fahrzeug bevorzugt durch den Heckmotor angetrieben. Falls das gewünschte Antriebsmoment das Maximummoment des Heckmotors übersteigt, wird das fehlende Moment über den Vorderachsmotor bereitgestellt (**Bild 1**).

Die standardmäßige Bremskraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse beträgt im Anwendungsbeispiel 2:1. Dabei kommt eine serielle Rekuperationsstrategie zum Einsatz. Die Reibbremse an beiden Achsen kommt nur dann zum Einsatz, wenn das Soll-Bremsmoment an der jeweiligen Achse das maximal mögliche Rekuperationsmoment des Elektromotors übersteigt. Bei Geschwindigkeiten unterhalb von 12,5km/h findet keine Rekuperation statt.

Testszenarios und Ergebnisse

Beim Testszenario Beschleunigung und Bremsung wird das Fahrzeug unter Voll-

last auf eine Geschwindigkeit von 100 km/h beschleunigt. Anschließend wird die Geschwindigkeit gehalten, bevor das Fahrzeug bei Geradeausfahrt

zum Stillstand gebracht wird. Die Ergebnisse in **Bild 2** zeigen einen Ausschnitt der Momentenverläufe. Zunächst werden beide Motoren benötigt, um die Momentenanforderung beim Beschleunigen zu erfüllen. Zum Halten der Geschwindigkeit im zweiten Abschnitt wird nur noch der Heckmotor benötigt. Bei der Verzögerung werden wiederum beide Motoren für die Rekuperation verwendet.

Im zweiten Testszenario Real Driving Emissions (RDE) fährt das Fahrzeug auf einer öffentlichen Strecke mitsamt Straßenverkehr. Die Testfahrt entspricht den aktuellen Fahrdynamikvorschriften für den Test von RDE [4]. Die Ergebnisse für die Häufigkeitsverteilungen sind in **Bild 3** dargestellt.

Mit der variablen TVS wird vorwiegend die Hinterachse für den Antrieb eingesetzt. Bei Beschleunigungsphasen wird der Frontmotor hinzugeschaltet, während die Momente mit durchgängig weniger als 50 Nm vergleichsweise niedrig sind. Bei der Verzögerung kommen grundsätzlich beide Motoren zum Einsatz, sodass an der Vorderachse hauptsächlich negative Momente anliegen.

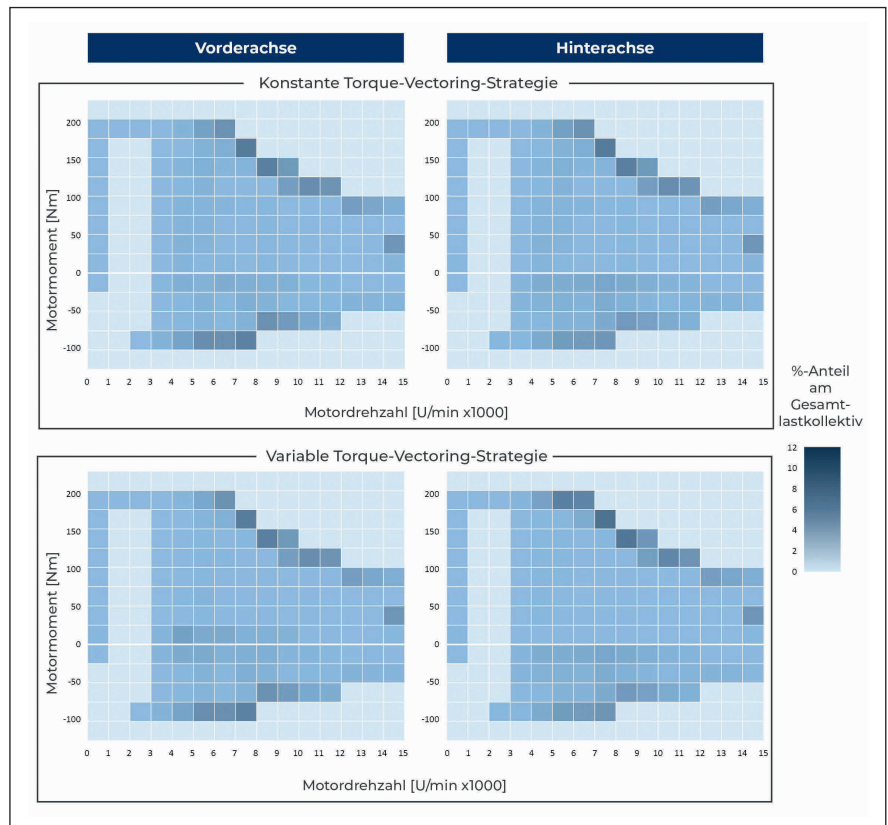


Bild 4: Betriebspunktverteilung für konstante und variable TVS im Testszenario „Nürburgring-Nordschleife“ © IPG Automotive

Im Testszenario Nürburgring-Nordschleife fährt das Fahrzeug, gesteuert von einem sportlich agierenden Fahrermodell, eine Runde auf der gleichnamigen Rennstrecke inklusive Anfahrvorgang. Das Fahrermodell gestattet in diesem Fall eine maximale Querbeschleunigung von 9 m/s^2 . Die Rundenzeiten für die beiden Strategien sind nahezu identisch. **Bild 4** demonstriert die Ergebnisse für die Häufigkeitsverteilungen.

Im direkten Vergleich zum vorhergegangenen RDE-Szenario sind die Belastungen auf beiden Achsen vergleichbar, weil auf der Rennstrecke meist am Leistungslimit gefahren wird. Entsprechend häufig wird dabei der Frontmotor genutzt, um maximale Beschleunigungen zu erzielen. Darüber hinaus ist ersichtlich, dass geringe und mittlere Momente vergleichsweise selten abgerufen werden.

Ausblick

Mit einem ganzheitlichen modellbasierten Simulationsansatz ist es möglich, Lastdaten und Lastkollektive auf Gesamtfahrzeugsystem-Ebene zu generieren, ohne dabei auf reale Fahrzeugpro-

totypen angewiesen zu sein. Im exemplarisch dargelegten Projekt wurden zwei TVS für ein allradgetriebenes Elektrofahrzeug implementiert, um ihren Einfluss auf die Last in verschiedenen Fahrscenarien zu untersuchen. Bei der variablen TVS wird der Vorderachsmotor hinzugeschaltet, falls das gewünschte Antriebsmoment nicht vom Heckmotor allein gestellt werden kann.

Die Ergebnisse veranschaulichen den Einfluss der TVS auf das Lastkollektiv, das durch einen frühzeitig durchgeführten virtuellen Fahrversuch herausgearbeitet werden kann. Diese Informationen sind etwa bei der Auslegung verschiedener Elektromotoren wichtig, um die Energieeffizienz zu optimieren oder die Fahrdynamik anhand der gewünschten Fahrzeug-DNA abzustimmen. Des Weiteren lässt sich bei Software-definierten Elektrofahrzeugen der Einfluss der Software auf die Komponentenauslegung frühzeitig abbilden. Für weiterführende Untersuchungen ist es möglich, reale Komponenten auf HiL-Testsystemen in die Simulationsumgebung einzubeziehen. ■ (eck)

www.ipg-automotive.com

Quellenverzeichnis

[1] Ahlert, Alexander, 2022: The Future of Vehicle Development Using Virtual Prototypes and an Interconnected Software Infrastructure. 22. Internationales Stuttgarter Symposium. Proceedings.

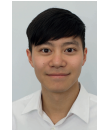
Wiesbaden: Springer Vieweg.
https://doi.org/10.1007/978-3-658-37009-1_16

[2] Chen, Min, and Rincon-Mora, Gabriel Alfonso, 2006. Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance. In: IEEE Transactions on Energy Conversion. 21(2), 504–511.

<https://doi.org/10.1109/TEC.2006.874229>

[3] IPG Automotive, 2022: CarMaker Reference Manual Version 11.0. Karlsruhe: IPG Automotive GmbH.

[4] Commission Regulation (EU) 2017/1151.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02017R1151-20200125>, last accessed 2022/08/18.



Dr.-Ing. Steven Yan arbeitet als Business Development Manager Powertrain bei IPG Automotive.
© IPG Automotive



Dr. techn. Pascal Piecha ist Business Development Manager bei IPG Automotive. © IPG Automotive