



# Sichere Legenden

Entwicklung und Absicherung von Regelsystemen für  
Hochleistungsaufgaben in ultimativen Supersportwagen

*Bildnachweis: © Bugatti*

Die Integration sicherer elektronischer Systeme definiert den Leistungsbereich der Bugatti-Fahrzeuge. Eine besonders zuverlässige Systemfunktion wird mit einem Simulator von dSPACE erreicht.

**B**ugatti verdankt seinen unverkennbaren Charakter einer Familie von Künstlern und Ingenieuren und strebt seit jeher das Außergewöhnliche, das Beste, die Superlative an. Jedes Element im neuen Bugatti Chiron ist eine Kombination aus Reminiszenz an die Markengeschichte und innovativer Technologie. Das Resultat sind Kreationen von bleibendem Wert und automobile Meisterstücke. Das Herzstück des Chiron ist sein vierfach turboaufgeladener 8-Liter-W16-Motor. Dieses außergewöhnliche Meisterwerk erzeugt unglaubliche 1.500 PS und 1.600 Nm Drehmoment bei einer nahezu linearen Leistungsabgabe zwischen 2.000 und 6.000 U/min. Vier Hochleistungsturbolader arbeiten in einer zweistufig gesteuerten Konfiguration und definieren diesen Champion der Leistung.

#### **Herausforderung: Höchste Zuverlässigkeit**

Um dem Fahrer diese Leistung unter allen Bedingungen zuverlässig und sicher zur Verfügung zu stellen, sind viele elektrische Systeme und aufwendige elektronische Steuerungen erforderlich. Die effiziente Absicherung der Steuereinheiten ist eine Kernaufgabe in der Fahrzeugentwicklung. Hierbei müssen insbesondere Tests in Grenzbereichen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass das Fahrzeug immer beherrschbar bleibt. Für best-

mögliche Entwicklungseffizienz ist es ebenfalls erforderlich, dass neue Steuergeräte und Software-Stände auch schon dann getestet werden können, wenn die Regelstrecken bzw. das gesamte Fahrzeug noch nicht oder gerade nicht zur Verfügung stehen.

#### **Lösungsansatz: Effiziente Fahrzeugsimulation**

Bei Bugatti ist der Steuergerätestest per Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulation eine etablierte Vorgehensweise. Für das neue Fahrzeugmodell Chiron galt es, eine optimierte Absicherungs-lösung aufzubauen, die neue Leistungsdimensionen ermöglicht und für die Modellvarianten des Chiron sowie für zukünftige Fahrzeuge einfach erweitert werden kann. Konkret ging es darum, den gesamten Antriebsstrang unter Berücksichtigung der Fahrdynamik detailliert zu simulieren, um die an den Simulator angeschlossenen Steuergeräte für Motor, Getriebe und Fahrdynamik zu testen.

#### **Evaluierung einer Simulationsplattform**

Nach Evaluierung verschiedener kommerzieller Simulationsmodelle und Simulatoren entschied sich Bugatti für eine maßgeschneiderte Simulationslösung von dSPACE. Diese besteht aus einem HIL-Simulator sowie detaillierten Simulationsmodellen, die das Fahrzeug inklusive aller Kompo-

nenten abbilden. Dies wird mit den mathematischen Modellen der Tool-suite Automotive Simulation Models (ASM) realisiert. Das Fahrzeug und der Antriebsstrang konnten mit folgenden Modellen exakt virtualisiert werden:

- W16-Motor: ASM Gasoline Engine
- 7-Gang-Doppelkupplungsgetriebe (DSG): ASM Drivetrain
- Chassis und Fahrdynamik: ASM Vehicle Dynamics

#### **Vorgehen bei Aufbau und Parametrierung des Simulators und der Modelle**

Planung und Aufbau des Simulators sowie Erstellung des I/O-Modells als Interface zwischen den realen Steuergeräten und den virtualisierten Fahrzeugen erfolgten auf Basis von Informationen über das Elektrik/Elektronik-System und die Steuergeräte sowie auf Grundlage der Spezifikationen von Motor und Getriebe. Daraus wurden eine Modellstruktur abgeleitet und Anforderungen für die Parametrierung festgelegt. Die Genauigkeit der Parameter ist ein Maß für die Simulationsgüte; sie werden beispielsweise aus Konstruktionsdaten erfasst sowie durch Messungen ermittelt. Durch Prüfstandmessungen gelang es, fein aufgelöste Kennfelder für die Parametrierung zu erstellen. Die Parametrierung wird anschließend mit den Soft-ECUs aus der ASM-Bibliothek >>

„Bevor wir uns mit dem Fahrzeug in Geschwindigkeitsbereiche über 450 km/h vorgetastet haben, fanden ausführliche Untersuchungen und Tests mit dem dSPACE Simulator statt. Auffälligkeiten konnten so frühzeitig erkannt werden.“

*Dr. Alexander Riedel, Bugatti*





Bildnachweis: © Bugatti



Bildnachweis: © Bugatti

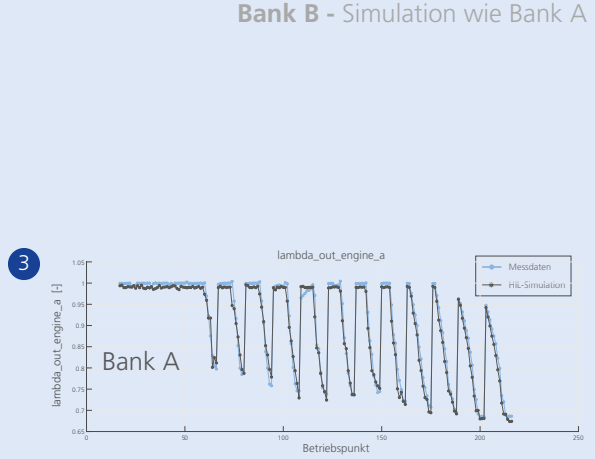
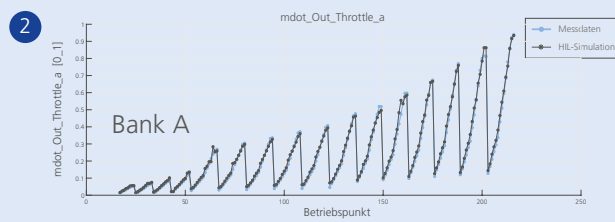
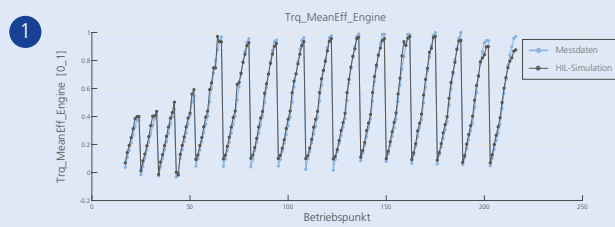
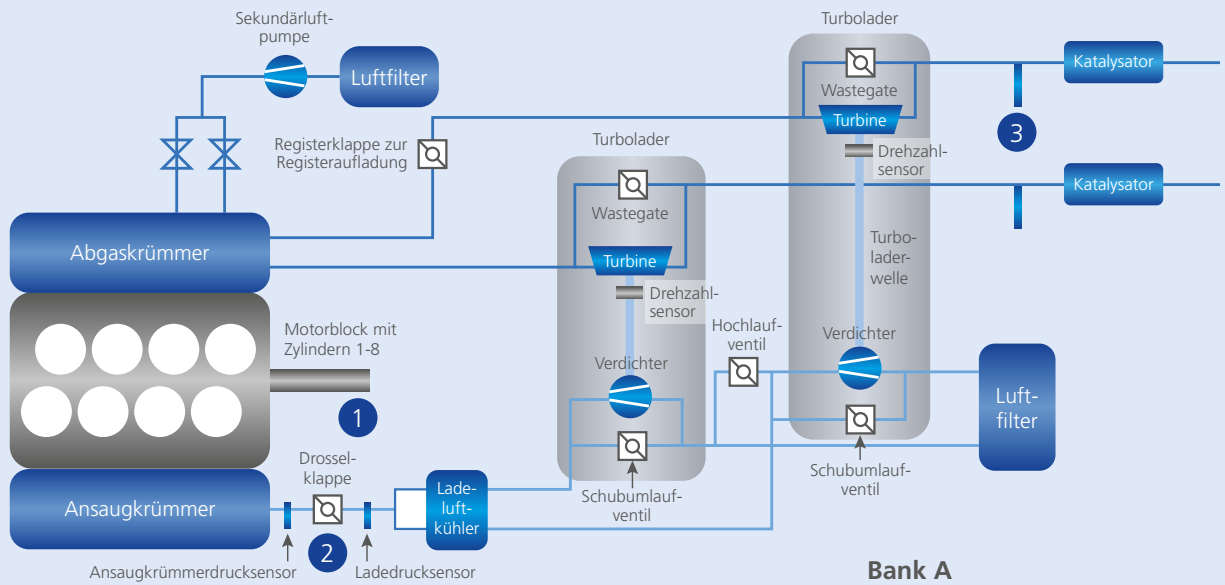


validiert. Darauf folgt ein weiterer Validierungsschritt, der das I/O-Modell und das reale Steuergerät einbezieht. Auf dieser Grundlage erfolgt die Inbetriebnahme, bei der auch die Simulationsergebnisse mit gemessenen Referenzwerten verglichen werden. Hierbei arbeiten Experten von Bugatti und dSPACE intensiv zusammen.

### Entwicklungs- und Testaufgaben am Simulator

Der HIL-Simulator wird bei Bugatti für verschiedene Testaufgaben eingesetzt. Dazu gehören beispielsweise klassische Freigabeteils neue Softwarestände. Dazu wird das Steuergerät mit der neuen Software einem Testdurchlauf am HIL-Simulator unterzo-

gen und erst nach bestandem Test ins reale Serienfahrzeug übernommen. Beispielsweise werden für Prüfungen der Motor- und Getriebesoftware OBD-Tests (OBD: On-Board-Diagnose) in bestimmten Geschwindigkeits- und Lastbereichen mit dem Simulator durchgeführt. Dabei handelt es sich um herstellerübergreifende, standar-



Darstellung einer Bank des modellierten W16-Motors sowie gemessener und simulierter Signale. Die hohe Abbildungstreue der Simulation wird in der überlagerten Signaldarstellung deutlich.

ENGINE

Bildnachweis: © Bugatti



Bildnachweis: © Bugatti



Bildnachweis: © Bugatti

disierte Tests, die kontinuierlich während des Fahrzeugbetriebs erfolgen. Ein korrektes Fehlverhalten mit entsprechenden Ersatzreaktionen und die richtige Fehlerausgabe im Fehlerpeicher des Steuergerätes werden damit überprüft. Während die Fahrzeuge rund um die Welt erprobt werden, entstehen weitere Testaufgaben für den HIL-Simulator: Er wird genutzt, um Fehler nachzustellen, die während der Erprobung gefunden wurden. Dazu wird auch virtuell dieselbe Strecke, beispielsweise der Kurs des Ehra-Lessien-Testgeländes bei Wolfsburg gefahren. Darüber hinaus spielt der Simulator gerade bei Funktionstests seine besonderen Stärken aus. So lassen sich beispielsweise das Fahrverhalten beeinflussende Ersatzreaktionen auch bei Geschwindigkeiten über 400 km/h gefahrlos untersuchen. Weitere wichtige Funktionstests liegen im Bereich der Regelstrategien bei Übertemperatur, Zündaussetzern oder ähnlichen Vorfällen. Auch bei Entwicklungsaufgaben kann der Simulator unterstützen. Die vielfältigen elektronischen Systeme, beispielweise zur Heckflügelverstellung, aktiven Aerodynamik und Niveauregulierung, können in frühen Phasen geprüft und im Zusammenspiel optimiert werden.

### Qualitätssteigerung durch Testautomatisierung

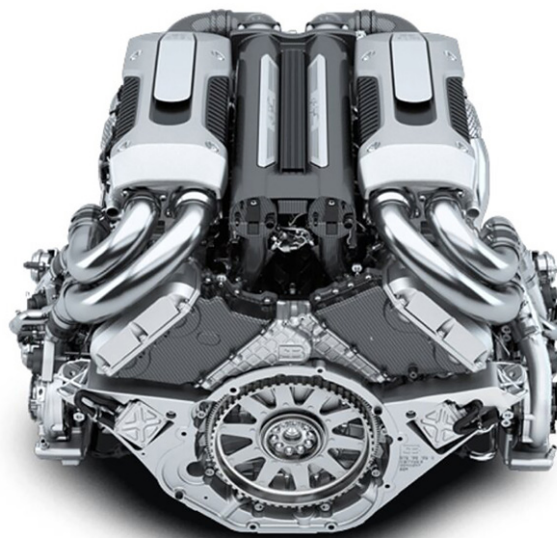
Um Tests zu jeder Zeit auszuführen, auch 24 Stunden am Tag und 7 Tage in der Woche, wird die dSPACE Test-Authoring- und Testautomatisierungs-

software AutomationDesk eingesetzt. AutomationDesk verfügt über Bibliotheken mit einer Auswahl vordefinierter Testschritte, zum Beispiel für den Zugriff auf das Simulationsmodell, auf eine FIU (Failure Insertion Unit) oder auf die Applikations- und Diagnose-Software. Dies erlaubt den Entwicklern, die Testdurchführung zu automatisieren, um damit die Testabdeckung sowie die Qualität der Steuergeräte-Software zu erhöhen, bei gleichzeitiger Einsparung von Zeit und Kosten.

### Bewertung der Testlösung

Aufgrund der reproduzierbaren Simulationen konnte der dSPACE Simula-

tor wesentlich zur Vorbereitung des Geschwindigkeitsweltrekords des Bugatti Chiron Super Sport 300+ beitragen. Per Simulation ließ sich das Verhalten des Fahrzeugs im Grenzbereich detailliert untersuchen und mit den gewonnenen Erkenntnissen die Entwicklung frühzeitig gezielt steuern. Relevante Komponenten aus dem Antriebsstrang-, Chassis- und Body-Bereich werden mit den Simulationsmodellen von ASM in Echtzeit abgebildet. Dazu gehören der W-Motor mit beiden Bänken inklusive Turbolader und variabler Ventilsteuerung sowie Doppelkupplungsgetriebe (DSG), Haldex-Kupplung für den Allradantrieb bis hin zu aktiven Dämp- >>



Bildnachweis: © Bugatti

Herzstück eines Bugatti: Der legendäre W-Motor mit 16 Zylindern.

„Die wirklich gute Zusammenarbeit mit den dSPACE Kollegen hat wesentlich zum Erfolg des Projekts beigetragen. Wir schätzen das eingebrachte hohe Engagement und die Flexibilität bei der Projektarbeit.“

Dr. Alexander Riedel, Bugatti



Die Experimentiersoftware ControlDesk schickt die simulierten Fahrzeuge von Bugatti auf virtuelle Testfahrten.

fern, Differentialsperre und adaptivem Heckspoiler. Auch die Positionsverstellung von Schaltmuffen, die Drehzahl-Synchronisation zwischen allen Wellen bei der Gangschaltung, die Gang-Vorwahl sowie die Positionsregelung von Kupplungen und Kupplungsadaption können zusammen mit dem ASM-DCT-Modell getestet werden. Der Test von Diagnosefunktionen und eine umfassende Ergebnisanalyse gehören zum Testrepertoire. Darüber hinaus lässt sich der Simulator flexibel erweitern. Beispielsweise konnte eine

lonenstrommessung schnell integriert werden. Dazu trug auch der enge Kontakt zwischen den Verantwortlichen bei dSPACE und Bugatti bei.

**Resümee**

Bei einem Kleinserienhersteller wie Bugatti lassen sich Investitionen für Werkzeuge nicht einfach auf große Stückzahlen umlegen. Dennoch lohnt sich der Einsatz eines HIL-Systems aus zwei Gründen:

- Bugatti kann für seine Fahrzeuge auch eine entsprechende Qualität

sicherstellen. Und das insbesondere in den vielfältigen Grenzbereichen von Fahrzeugen dieser Leistungsklasse.

- Die Verlagerung von Entwicklungsaufgaben auf den HIL-Simulator ist als Ergänzung durchaus sinnvoll. Die Entwicklung lässt sich dadurch effizienter gestalten. Beispielsweise können Versuche am Fahrzeug und Prüfstand reduziert werden. ■

Dr. Alexander Riedel, Bugatti

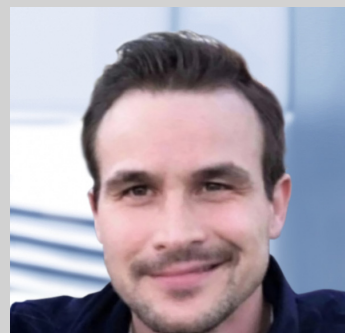
„Mit den ASM-Simulationsmodellen bilden wir alle relevanten Komponenten des Antriebsstrangs ab.“

Dr. Alexander Riedel, Bugatti

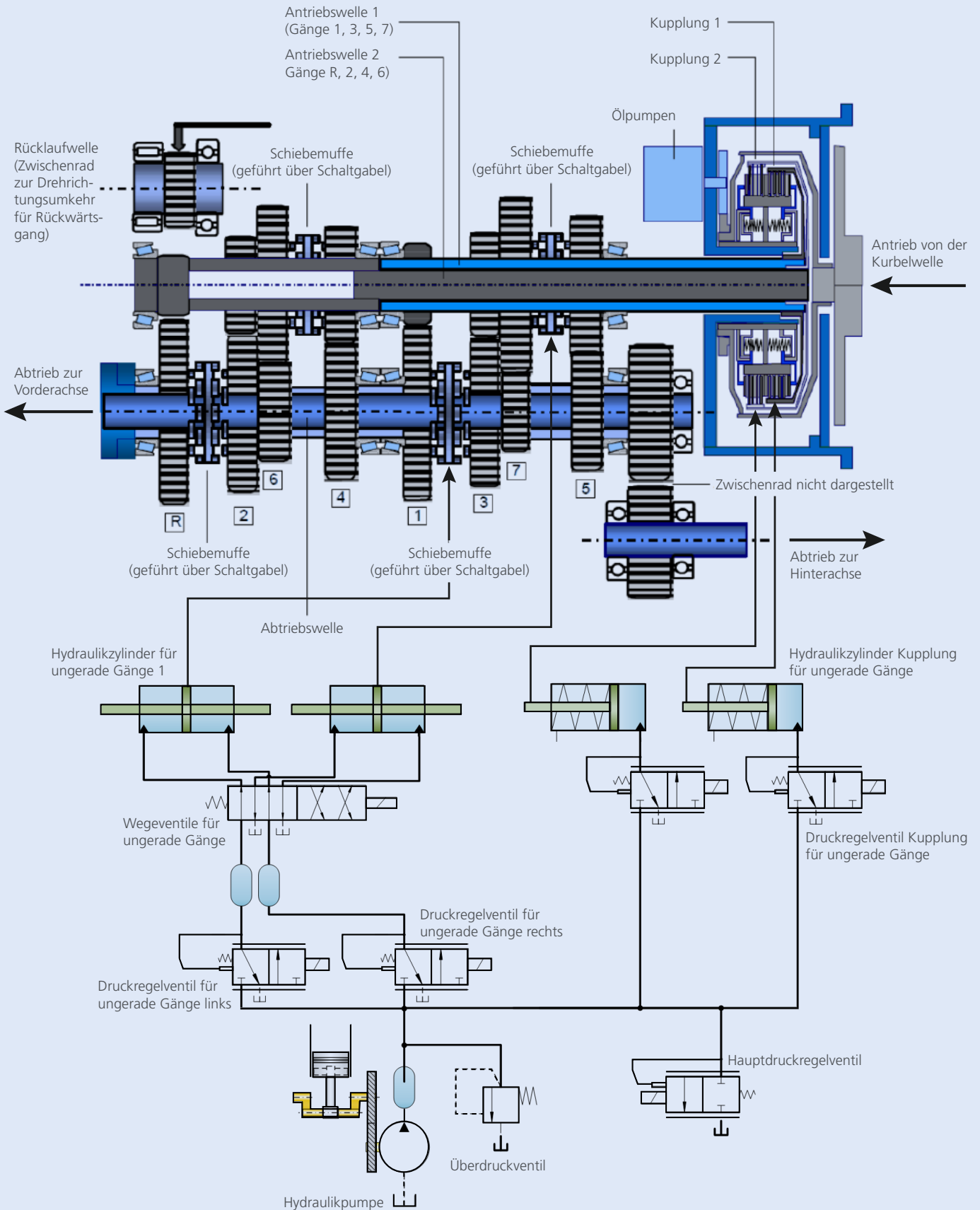


Ein Bugatti-Fahrzeug auf der virtuellen Teststrecke, visualisiert mit MotionDesk, der 3D-Online-Animationssoftware von dSPACE.

Dr. Alexander Riedel  
Dr. Alexander Riedel, Motorapplikation BG-EA/2, Bugatti







Auszug aus dem detailliert modellierten Doppelkupplungsgetriebe. Die hier dargestellte hydraulische Ansteuerung zeigt einen Auszug des ASM-Demomodells, das an die Hydraulik von Bugatti adaptiert wurde.