

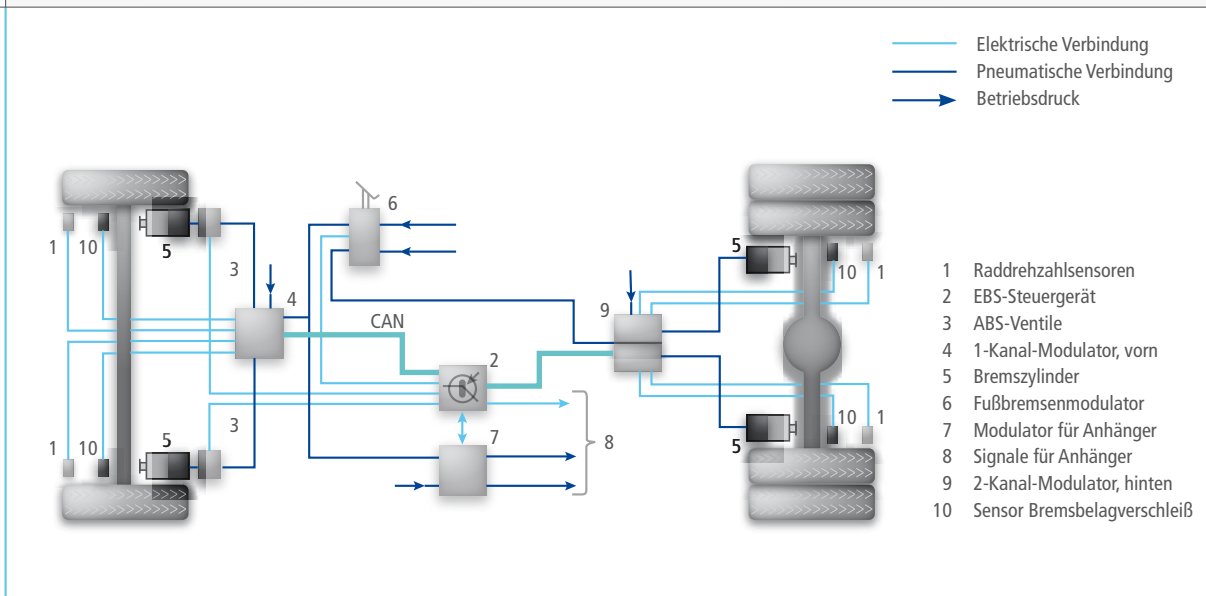
Enorm sicher

Für den Test und die Verifikation von Bremsystemreglern setzt Volvo 3Ps innovative Produktentwicklung auf die HIL-Simulation





Moderne Schwerlast-Lkws müssen enorm schwere Lasten sicher über die Straßen ziehen. Der absolut zuverlässige, sichere Betrieb unter allen Last-, Straßen- und Verkehrsbedingungen stellt eine große Herausforderung für die Bremsen dar. Volvo 3P setzt auf HIL-Simulation, um die Regler für neue Lkw-Bremssysteme zu testen und zu verifizieren.



Das EBS für ein Fahrzeug mit zwei Achsen.

Braking by Air and Wire

In Pkws hängen Bremsdruck und Bremskraft von der auf das Bremspedal angewandten Kraft ab. Der Druck wird von einem Vakuum verstärkt, das vom Saugrohr des Motors bereitgestellt und von einer Hydraulik auf die Bremsen übertragen wird. Weil einerseits dieses Vakuum für große Lkws und Busse nicht ausreicht, andererseits ein Hydrauliksystem umständlich ist, wenn es um das An- und Abkoppeln von Aufliegern geht, arbeitet das Bremssystem solch großer Fahrzeuge mit Luftdruck. Eine pneumatisch erzeugte und durch das Bremspedal regulierte Kraft presst die Bremsbeläge an die Bremscheiben. Diese elektropneumatischen Bremssysteme basieren vollständig auf By-Wire-Technologien. Druckbehälter speichern die verdichtete Luft, und elektronisch gesteuerte Modulatoren leiten sie an die Bremsen weiter. Um Überhitzung, Bremschwund (Fading) und starken Verschleiß zu vermeiden, nutzen Lkws Zusatzbremsen wie Retarder (Bremsen im Antriebsstrang) und Motorbremsen. Das Bremssystem koordiniert das Zusammenspiel zwischen Zusatzbremsen und Betriebsbremsen für verschiedene Bremssystemfunktionen, die z. B. die Drehzahl steuern, die Fahrzeugstabilität gewährleisten und das Fahrzeug stoppen.

„Autos werden von Menschen gefahren. Das grundlegende Prinzip all unserer Bestrebungen bei Volvo muss deshalb Sicherheit sein und bleiben!“

Assar Gabrielsson und Gustaf Larson, Volvo-Gründer, 1927

Diese Bremsaktorsysteme und Funktionen müssen effizient und sicher interagieren – eine Aufgabe für ein elektronisches Bremssystem (EBS).

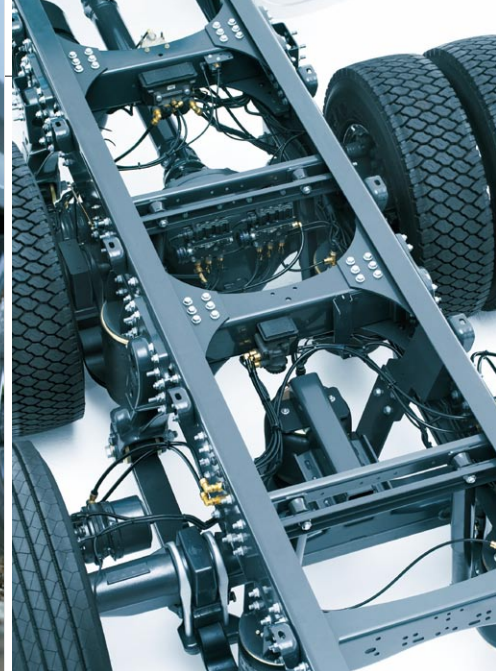
Leistungsmerkmale des Lkw-Bremssystems

Wenn ein Lkw über ein EBS inkl. elektronischen Stabilitätsprogramms (ESP) verfügt, liefern zahlreiche Sensoren Messwerte zum dynamischen Verhalten des Lkws. Typische Beispiele sind Drehzahl, Gierrate, Querbeschleunigung und Lenkwinkel. Zudem muss das Bremssystem adaptiv sein, um die speziellen Anforderungen eines Lkws zu erfüllen, z. B. Ausgleichen ungleichmäßiger Lastverteilung, hebbare Achsen, Abbremsen des Aufliegers oder gleichmäßige Abnutzung der Bremsbeläge. Um die beste Bremsstrategie zu ermitteln, werden Sensorsignale wie Achslast und Bremsbelagverschleiß berücksichtigt. Verfügt der Lkw über Zusatzbremsen, müssen die Eigenschaften dieser Bremssysteme an das EBS übertragen

werden, damit bei einer Kombibremung alle Systeme sicher und komfortabel zusammenarbeiten.

Bremsen des Aufliegers

Das Bremssystem des Aufliegers ist unabhängig von der Zugmaschine. Es kann sich entweder um ein herkömmliches pneumatisch gesteuertes System oder um ein elektronisch gesteuertes Pneumatiksystem handeln. Die Zugmaschine und der Auflieger können unterschiedliche Bremssysteme besitzen: pneumatisch oder elektronisch gesteuert. Der Auflieger hat eigene Druckbehälter, versorgt von der Zugmaschine. Das Bremssteuersignal an das Aufliegerbremssystem kommt von der Zugmaschine und kann entweder rein pneumatisch oder sowohl elektronisch als auch pneumatisch sein. Die Bremse des Aufliegers muss seine eigene Masse abbremsen können. Die Koppelkraftregelung (CFC) im EBS hilft beim Bremsausgleich zwischen Zugmaschine und Auflieger.



Funktionen eines elektronischen Bremssystems

EBS und Modulatoren

Alle Bremsfunktionen einschließlich Antiblockiersystem (ABS) und ESP sind in das EBS integriert. Das EBS kommuniziert mit bis zu 4 Modulatoren, die den pneumatischen Druck in einem Bremskreis steuern. Jede Modulatorschnittstelle am EBS-Steuergerät kann entweder mit einem 1-Kanal- oder 2-Kanal-Modulator verbunden werden; dies macht das EBS modular und für unterschiedliche Lkw-Varianten anpassbar. Jeder Modulator regelt den Bremsdruck in entweder einem oder zwei Kreisen, abhängig davon, ob es ein 1- oder 2-Kanal-Modulator ist. Ein Drucksensor pro Bremskreis schließt den Regelkreis. Im Normalbetrieb empfangen die Modulatoren die Bremsdruckerfordern vom EBS-Steuergerät über einen CAN-Bus. Fällt die Elektronik aus, liefert der Fußbremsenmodulator ein pneumatisches Steuersignal, das den Modulatorbremsdruck regelt.

Lkw-Fahrdynamik

Weil ein vollbeladener Schwerlast-Lkw fast das Dreifache eines unbeladenen wiegt, hängt sein Fahrverhalten sehr stark von seiner Beladung ab. Mit Wechselbrücken lässt sich dieselbe Zugmaschine für unterschiedliche Transportarten einsetzen, an die das Fahrgestell dann ange-

Berechnung des Basisbremsdrucks: Berechnet den Bremsdruck, basierend auf Bremspedalposition und Lkw-Ladung.

Kraftschlussoptimierte Bremskraftverteilung: Passt Bremsdruck gemäß der Achslastverteilung und Fahrsituation an einzelne Bremskreise an.

Kombibremung: Verteilt automatisch die Bremsanforderung auf die Betriebsbremsen und die Zusatzbremsen, um die Last auf die Betriebsbremsen zu reduzieren.

Bremsassistent: Erhöht den Bremsdruck automatisch zur Optimierung der Verzögerung und Verkürzung des Anhaltewegs (Notbremsassistent).

Koppelkraftregelung: Gleicht die Bremskraft zwischen Sattelzugmaschine und Auflieger aus, um den Bremsverschleiß gleichmäßig zu verteilen.

Kippschutz: Verhindert ein Vorwärtkippen des Fahrzeugs (wichtig für Zugmaschinen, die ohne Auflieger bergab bremsen).

Verschleißoptimierte Bremskraftverteilung: Gleicht den Verschleiß zwischen den Bremsbelägen an den einzelnen Achsen aus.

Antiblockiersystem: Sicherheits-

system, das verhindert, dass die Räder eines Fahrzeugs blockieren.

Schleppmomentregelung: Regelt das Schleppmoment des Motors und verhindert das Blockieren der Antriebsräder auf glattem Untergrund beim Loslassen des Gaspedals.

Externe Bremsanforderung: Schnittstelle für andere Steuergeräte, die eine Bremsaktion anfordern, zum Beispiel die automatische Abstandsregelung.

Bremsschwundwarnung: Warnt, wenn die Bremsen zu heiß werden.

Belagsverschleißkontrolle und -analyse: Berechnet die verbleibende Lebensdauer der Bremsbeläge in Kilometern und zeigt die aktuelle Abnutzung an.

Traktionskontrolle: Verhindert das Durchdrehen der Räder und synchronisiert ihre Drehzahl, um eine gleichmäßige Traktion der Antriebsräder zu erreichen.

ESP: Elektronisches Stabilitätsprogramm verhindert Schleudern und Überschläge.

Automatische Differentialsperre: Aktiviert automatisch die Differentialsperre, vorher wird die Drehzahl der Antriebsräder synchronisiert.



passt werden muss. Wegen des je nach Transportart sehr unterschiedlichen Fahrzeuggewichts besitzen manche Lkws anhebbare Hinterachsen, um den Reifenverschleiß und den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren. Sie dienen ebenfalls dazu, die Traktion der Antriebsachse zu optimieren, wenn die Zugmaschine nur eine leichte Last oder gar keine zieht. Aus Gründen der Manövrierfähigkeit und um den Reifenverschleiß zu reduzieren, sind manche Zugmaschinen mit einer oder zwei lenkbaren Hinterachsen ausgestattet. Die Lenkwinkel dieser Achsen werden abhängig von Lenkradwinkel und Fahrzeuggeschwindigkeit durch ein Steuergerät und ein Hydraulikaktuatorsystem geregelt. Die Hinterachsenlenkung (RAS) kommt allerdings nur bei geringer Geschwindigkeit zum Einsatz, und auch nur dann, wenn die gelenkte Achse die hinterste ist, da sie andernfalls die Fahrzeugstabilität beeinflus-

sen würde. Die Bremssystemfunktionen, die dem Fahrer bei anspruchsvollen Verkehrs- und Straßenverhältnissen beim Spurhalten helfen, müssen unterschiedliche Fahrzeugvarianten, Lasten, Lasterverteilungen zwischen den Achsen, Schwerpunkte und Bedienmodi berücksichtigen, denn all dies wirkt sich auf die Kraftverteilung beim Bremsen oder bei Kurvenfahrt aus. Bei einer Vollbremsung muss jede Achse gleichmäßig gegen die Achslast gebremst werden, um die Bremswirkung der Straßenreibung für alle Achsen gleich intensiv zu nutzen.

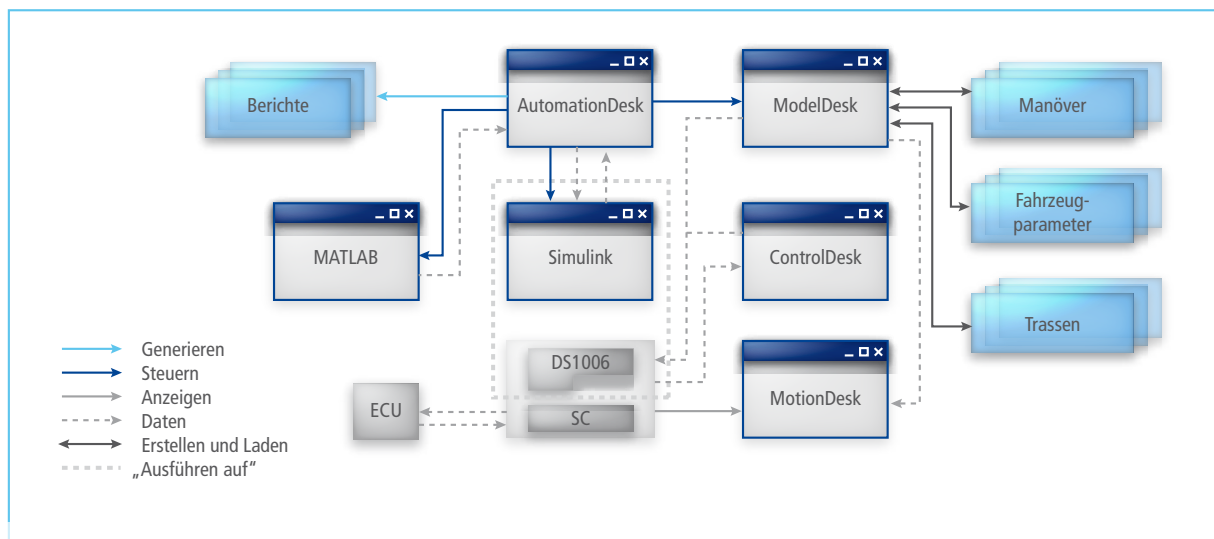
Herausforderungen für das Testsystem

Volvo 3P entschied sich für ein Hardware-in-the-Loop (HIL)-Testsystem, um manuelle und automatisierte Testläufe durchführen zu können. Das Testsystem musste folgende Anforderungen erfüllen:

- Schnelles, komfortables Konfigurieren der vielen Lkw-Bremssystemvarianten
- Virtualisierung der komplexen pneumatischen Systeme, Zusatzbremsen und des Hinterachsenlenksystems
- Testen unterschiedlicher Steuergeräte-Generationen
- Einbeziehen von Bremsmodulatoren als Echtteile

Somit muss das HIL-Simulatormodell unterschiedliche Lkw-Varianten allein durch das Verändern von Parametern in einer Echtzeitumgebung abbilden können. Die Parametrierung des kompilierten HIL-Simulatormodells muss nicht nur die von Volvo entwickelten Teilmodelle berücksichtigen, sondern auch alle Parameter, die zum Umschalten eines 1-Kanal- oder 2-Kanal-Modulators auf das EBS-Steuergerät und auf die I/O-Pins dienen.

Die Werkzeugkette um den dSPACE-HIL-Simulator, von der Testfall- und Fahrzeugparameterdefinition über automatisierte Batch-Simulationen bis zu Testberichten.



Hohe Anforderungen an die Produktivität

Weitere Anforderungen waren intuitive, grafisch basierte Tools, um die interaktive Simulation zu unterstützen, Testfälle komfortabel zu erstellen und alle Varianten effizient zu verwalten. Das Ziel war ein leicht bedienbares System, das keine Ingenieurressourcen für Entwicklung und Wartung bindet. Wichtig war außerdem, nicht mehrere Tools unterschiedlicher Hersteller einzusetzen, sondern einen Zulieferer zu finden, der eine komplette HIL-Simulator-Werkzeugkette bereitstellt, die alle Anforderungen abdeckt.

Aufbau des HIL-Systems

dSPACE konfigurierte den HIL-Simulator gemäß der Volvo-3P-Spezifikationen und Dokumentationen der Sensor- und Aktuatoreigenschaften. Das System basiert auf zwei DS1006 Processor Boards für die Echtzeitverarbeitung; eins für die Zugmaschinen- und Aufliegermodelle, das andere für das I/O-Modell. Das dynamische Verhalten und die Komponenten der Zugmaschine werden mit den dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) simuliert, die in MATLAB/Simulink erstellt wurden. Lkw-Parameter, Straßen und Fahrmanöver dienen zur Konfiguration und Parametrierung der Modelle. Die Testfälle werden in AutomationDesk definiert und ausgeführt. Anschließend erstellt AutomationDesk zu jedem Test automatisch einen Testbericht.

Integration von Volvo 3Ps Streckenmodellen

Um die Regelfunktionen von EBS und RAS zu testen, mussten die entsprechenden Regelstrecken simuliert werden. Dazu wurde das ASM-Lkw-Modell um die Volvo-3P-Streckenmodelle für Radbremse, pneumatisches Drucksystem und Lenksystemaktuatoren erweitert. Das HIL-Simulatormodell musste zudem durch Teilmodelle ergänzt werden, die je

„Zur Simulation der Lkw-Fahrdynamik setzen wir in diesem HIL-Simulator auf die Automotive Simulation Models (ASM).“

Per Olsson, Volvo 3P

nach Lkw-Variante den passenden Modulatorbremsdruck auf die richtige Achse und die richtige Modellrad-drehzahl auf den richtigen Modulator anwenden konnten. Dank der offenen Struktur der ASM war die nahtlose Integration der zusätzlichen Teilmodelle möglich.

Lkw-spezifische Features

Alle Modulatoren sind als Echtlasten integriert. Um Platz zu sparen, enthält ein Lasteschub nur die Leiterplatten (PCB) und Magnetspulen. Für jede EBS-Generation wurde ein eigener Lasteschub gefertigt. Weil das I/O-Modell generisch ausgelegt ist, müssen beim Wechseln der EBS-Generation lediglich der Lasteschub und das EBS-Steuergerät ausgetauscht und ein neuer Parametersatz aus ModelDesk heruntergeladen werden, was zusammen nicht einmal 5 Minuten dauert.

Je nach Lkw-Variante müssen unterschiedliche Modulatorkonfigurationen – entweder 1-kanalig, 2-kanalig oder gar keiner – an die vier Modu-

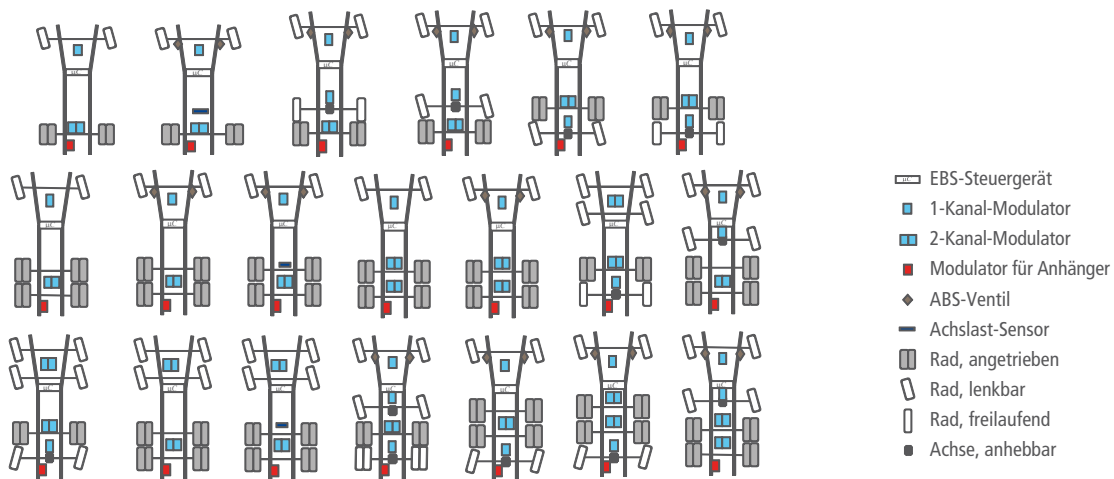
latorpositionen des EBS-Steuergeräts und an die dSPACE-Simulator-I/O angeschlossen werden. Gelöst wird das durch ein Board, das Volvo für diese Anwendungen spezifiziert hat und das auch für andere Testsysteme innerhalb des Unternehmens verwendet wird. Das Board verfügt über Lastschaltung, Kurzschluss-generierung, Signalkonditionierung und einen 1-Bit-ADC, um isolierte Differenzmessungen der EBS-Magnetspulenaktivierungen zu erhalten. Die Konfiguration des Boards wird von einem RS232-Protokoll gesteuert. Basierend auf diesem Protokoll, das auf einem DS1006 Board ausgeführt wird, erstellte Volvo 3P ein Treibermodell. Mit Parametrierungen für die unterschiedlichen Lkw-Varianten wählt das Treibermodell die richtige Modulatorkonfiguration aus.

Varianten-Handling

Da die ASM durch kundenspezifische Modelle erweiterbar sind, lassen sich alle Parameter für die Standard-ASM und auch für die von Volvo hinzuge-

Echtzeitanimation des simulierten Lkws.





Unterschiede in den Ausführungen der Lkw-Varianten.

fügten Teilmodelle von ModelDesk aus einstellen. Hier können ganze Parametersätze für die HIL-Simulator-konfiguration für die verschiedenen Lkw-Varianten und EBS-Generationen definiert werden. Die grafische Parametrierunterstützung von ModelDesk gestaltete den Prozess intuitiv und komfortabel. Mit wenigen Mausklicks war die Lkw-Geometrie modifiziert – Länge, Achsenanzahl, Radmodell usw. So lässt sich eine ganze Parameterbibliothek aller Varianten erstellen und verwalten.

Simulationsumfänge

Der HIL-Simulator simuliert:

- Zugmaschinen- und Aufliegerdynamiken wie Dämpfung, Räder, Reifen, Neigen, Drehen und Gieren

Per Olsson

Per Olsson ist technischer Spezialist für HIL-Simulationen bei Volvo 3P in Göteborg, Schweden.



„Ohne den HIL-Simulator wäre es nicht möglich gewesen, die erforderliche Test- und Verifikationsabdeckung so schnell zu erreichen.“

Per Olsson, Volvo 3P

- Dynamik der pneumatischen Komponenten des Bremssystems
- Straßen- und Fahreigenschaften
- Dynamische Kommunikation zwischen dem EBS-Steuergerät und der restlichen Lkw-Elektronik
- Lenksystemhydraulik der Hinterachse
- Manuelle und automatisierte Testläufe
- Aufschalten von Fehlern

Zum Lieferumfang des HIL-Simulators gehörten automatisierte Tests, die in AutomationDesk programmiert wurden:

- ABS, Bremsen aus Geradeausfahrt auf Strecken mit niedrigen und hohen Reibwerten μ
- ABS, Bremsen bei unterschiedlichen Reibwerten (split μ)
- Sinus mit Haltezeit
- Schließende Kurve

Die Anpassung der Tests erfolgt generisch und automatisiert. Volvo wird AutomationDesk auch für weitere Testfälle einsetzen, die letztlich alle EBS-Funktionen für alle Lkw-Varianten abdecken werden. Mit dem HIL-Simulator beabsichtigt Volvo

die Entwicklung eines automatisierten Freigabetestprozesses für EBS-Software und Parameter, der alle Lkw-Varianten abdeckt.

Manuelle Tests

Anfangs erfolgt das Erstellen automatisierter Tests über manuelle Tests zur Definition geeigneter Manöver und Testbedingungen. Diese werden auch für Spezialtests wie Nachfahrversuche und Problemlösungen aus Tests mit echten Lkws eingesetzt. Die Konfigurierbarkeit des HIL-Simulators macht es einfach, die Auswirkungen der EBS-Parameter auch bei speziellen Lkw-Varianten schnell manuell zu testen, auf die sonst nur schwer zugegriffen werden kann. Während manueller Tests lassen sich die Ergebnisse, zusammen mit numerischen Ergebnissen in ControlDesk, anhand der 3D-Animation in MotionDesk überwachen.

Automatisierte Tests

Die in AutomationDesk definierten automatisierten Testläufe sind ideal für reproduzierbare Regressionstests geeignet, um die komplette EBS-

Software- und Parameterfreigabe zu verifizieren. Alle Testfälle besitzen Variablen, so dass sie mit unterschiedlichen Drehzahlen und Lasten sowie mit unterschiedlichen Rad- oder Straßenreibwerten ausgeführt werden können. Während der Batch-Simulation in AutomationDesk sind Parameter wie die Manövergeschwindigkeit oder das Gewicht der Ladung veränderbar. Das Lkw-Verhalten bei den jeweiligen Parametern kann in Tabellen und Diagrammen dargestellt werden. Die Ergebnisse eines kompletten Simulationsdurchlaufs werden automatisch in einer globalen Ergebnisliste zusammengefasst. Mit den Toolautomatisierungsoptionen von ModelDesk sind alle Varianten während der automatisierten Testläufe wählbar, wodurch mehrere Varianten über Nacht getestet werden können. Auch hier gestaltet sich der Prozess äußerst effizient, da das Streckenmodell für eine neue Variante nicht neu kompiliert werden muss.

Absichern der Funktionen

Weil das EBS zu den sicherheitskritischen Systemen gehört, muss es auch im Falle von Fehlern wie Sensordefekten oder funktionalen Ausfällen zuverlässig funktionieren. Zudem muss das System in allen Betriebsmodi zuverlässig arbeiten. Mit dem HIL-Simulator haben die Testingenieure die absolute Kontrolle

über alle EBS-Sensoren, Aktuatoren und die zugehörigen CAN-Signale. Dadurch sind diese Tests deutlich leichter und sicherer am HIL-Simulator ausführbar als in echten Lkws.

Erste Resultate

Seit der Installation des HIL-Simulators wurden zahlreiche Tests mit unterschiedlichen Software- und Parameter-Releases durchgeführt. Mit dem HIL-Simulator waren Korrekturen an der Software und den Parametern möglich, noch bevor sie in die Test-Lkws implementiert wurden. Allein dies sparte Zeit und Kosten, da aufwendige Untersuchungen an den Prototypen entfielen.

Bewertung der dSPACE Produkte

Das Testsystem lief stabil und entsprach exakt den Spezifikationen von Volvo 3P. Dadurch entwickelt es sich zu einem wichtigen Werkzeug für die Verifikation von EBS-Funktionen. Damit ein solches Testsystem die gewünschten Ergebnisse bringt, müssen viele Dinge perfekt zusammenspielen. Der dSPACE Simulator lieferte diese Ergebnisse, und das ohne langwierige Konfigurationen am System seitens der Ingenieure. Ohne das HIL-System wäre es nicht möglich gewesen, die notwendige Test- und Verifikationsabdeckung des EBS so schnell zu erreichen. So viele unterschiedliche Varianten zuverlässig

Ausblick

Der nächste Schritt ist die Testautomatisierung aller EBS-Funktionen gemäß den Anforderungen und Testspezifikationen von Volvo 3P. In einem weiteren Schritt werden die Parameter aller Lkw-Varianten in die Simulationen einbezogen und validiert. Außerdem steht das Erhöhen der Testtiefe auf dem Programm, bis ein vollautomatisierter Freigabeprozess für die EBS-Parameter und Software für alle Lkw-Varianten erreicht ist. Ebenfalls ist geplant, den erforderlichen Aufwand für die Zulassung durch Simulation gemäß United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)-Regelung 13-H zu untersuchen.

automatisiert zu testen, bedeutet immens Zeit zu sparen. Die Werkzeugkette um den dSPACE-HIL-Simulator unterstützt manuelle Tests, automatisierte Tests, Animation und Echtzeit-Parametrierung der Modelle einschließlich der kundenspezifischen Teilmodelle. Sie ist eine gute Plattform, mit der man arbeiten kann. ■

*Per Olsson
Volvo 3P*

