

// Wir müssen simulieren, was außerhalb der Möglichkeiten unserer Prüfstände liegt. Wir können uns ja keine Superyacht oder Gasförderanlage in den Hof stellen.

Dr.-Ing. Sven Christian Fritz, MTU



Virtuelle Testumgebung für die Großmotorenentwicklung

Virtualisierter Prüfstand bei MTU Friedrichshafen

Bei der Auslegung von bis zu 10.000 kW starken Großmotoren für Großyachten, Miningtrucks oder Lokomotiven haben die Entwickler der MTU Friedrichshafen GmbH ein Dilemma gelöst: Die Motoren müssen die weltweit verschiedenen Abgasgrenzwerte einhalten, die Entwicklung kann jedoch nur bedingt auf reale Motorprüfstände zugreifen – beispielsweise lassen sich Non-ISO-Bedingungen nur bedingt realisieren. Die Lösung heißt Virtualisierung.

MVP steht im US-Sport für Most Valuable Player. Bei der MTU Friedrichshafen GmbH steht das Kürzel ebenfalls für einen sehr wertvollen Mitspieler: Mit dem „MTU Virtuellen Prüfstand“ – MVP – verfügt das Unternehmen über ein hocheffizientes Werkzeug zur Entwicklung und Validierung moderner Großdieselmotoren. Denn der komplett virtualisierte, automatisierte Prüfstand ebnet den Entwicklern nicht nur den Weg zu einer effektiven, interdisziplinären Teamarbeit – sondern die Simulation überwindet auch Grenzen, an die reale Prüfstände im Leistungsbereich der MTU-Aggregate stoßen.

Dr. Sven Fritz, Methodenspezialist bei MTU, erläutert das Dilemma an den Motoren der 4.000er-Baureihe. Es handelt sich um bis zu 15 Tonnen schwere Aggregate mit Leistungen von 2.040 bis 4.300 kW, die mal große Yachten antreiben, mal riesige Miningtrucks, Schienenfahrzeuge oder Pumpen für die Öl- und Gasförderung. Solch ein Motor verbrennt bis zu einer Tonne Kraftstoff pro Stunde, wozu ihm am Prüfstand bis zu 25 Tonnen konditionierte Luft zugeführt werden müssten. Klimakammern, die solche Luftmassen auf eine definierte Luftfeuchte und Temperatur bringen können, stehen aber nicht zur Verfügung. Doch unterliegen die Motoren weltweit einem Dutzend unterschiedlicher Abgasgesetzgebungen, die Umweltbedingungen für das Einhalten dieser Grenzwerte exakt definieren.

Ohne Virtualisierung geht es nicht

„Wir müssen simulieren, was außerhalb der Möglichkeiten unserer Prüfstände liegt“, stellt Dr. Fritz klar. Virtuelle Tests helfen aus, wo reale Prüfstände an Grenzen stoßen. Die Aufgaben für die Entwickler haben es in sich: So mussten sie beispielsweise Motoren im Leistungsbereich über 560 kW für den US-Markt (EPA Tier 4) zunächst von 6,4 auf 3,5 g Stickoxide (NO_x) und von 0,2 g auf 0,1 g Partikel pro Kilowattstunde (kWh) trimmen – um dann in einer zweiten Stufe bis Mitte dieses Jahrzehnts Zielwerte von 3,5 g/kWh NO_x und 0,04 g/kWh Partikel zu erreichen. Wobei sie natürlich auch den Ausstoß von Kohlenmonoxid und

Kohlenwasserstoffen reduzieren mussten. All das ohne Zugriff auf die Antriebsstränge im Gesamtsystem. „Wir können uns ja keine Superyacht oder Gasförderanlage in den Hof stellen“, gibt der MTU-Experte zu bedenken.

Um die Grenzwerte einhalten zu können, müssen die Entwickler deshalb zusätzliche Freiheitsgrade in die Motoren und deren Steuerungen einbringen. Dies geht jedoch mit exponentiell steigendem Bedatungsaufwand einher. Zugleich werden die Entwicklungszeiten und Budgets immer knapper. Die beteiligten Teams aus verschiedenen Disziplinen von Thermodynamik, Elektronikentwicklung oder Versuch müssen dafür hocheffizient zusammenarbeiten. Es geht darum, schon im Zuge der Simulation möglichst reife Betriebsstrategien und Bedatungen zu entwickeln, um reale Hardware-in-the-Loop-Tests auf ein Minimum zu reduzieren. Zumal diese bei Großmotoren ein echter Kostenfaktor sind: Pro Stunde verbrennen MTU-Motoren je nach Baureihe und Leistung zwischen 200 und 2.000 kg Kraftstoff. Und die Zahl der Prüfstände ist begrenzt, zumal nicht jeder Motor auf jedem Prüfstand laufen kann. Damit ist das Ziel klar: „Auf dem Prüfstand soll nur noch der Feinschliff der Werte erfolgen, die wir in den Simulationen erarbeiten“, so Dr. Fritz.

Kompetenzen aller Disziplinen mitnehmen

Die MVP-Entwickler standen vor der Aufgabe, den Kollegen aus Motor- und Steuergeräte-Entwicklung, Test und Applikation eine virtuelle Testumgebung bereitzustellen, mit der diese ihr Prüfprogramm ohne viel Anlaufzeit durchführen konnten. Auch Kalibrateure sollten sich darin intuitiv zurechtfinden. „Wir haben zuerst geschaut, welches Know-how und welche Tools in unseren Reihen vorhanden waren und haben uns auf dieser Basis daran gemacht, das Wissen zu bündeln und in unsere virtuelle Testumgebung MVP einfließen zu lassen“, sagt Dr. Fritz. Motor-, Steuergeräte- und Steuergerätesoftware-Entwickler sowie die Kalibrateure sollten dabei jeweils ihre vertrauten Tools weiternutzen können. Ein Umlernen auf neue Tools und Softwareroutinen sollte ihnen erspart bleiben. Denn die Komplexität der Bedatung von Antrieben

ist angesichts unterschiedlichster Auflade- und Einspritzstrategien sowie Abgasrückführung und Abgasnachbehandlung ohnehin hoch genug. Weil bereits Teilkomponenten mit MATLAB®/Simulink® vorlagen oder leicht in diese Plattform überführbar waren, stand von vornherein fest, dass Simulink® die tragende Säule des MVP bleiben soll. Das zentrale Motor- und ECU-Modell basiert darauf, und weitere Last-, Kühlsystem- oder Abgasnachbehandlungsmodelle lassen sich darin einbinden. Gleiches gilt für Schnittstellen zu ETAS INCA und AVL Puma Open.

// Wir brauchen Lösungen, die sich leicht an die Anforderungen in unserem Geschäft anpassen lassen.

Dr.-Ing. Sven Christian Fritz, MTU

Anders als die Methodenentwickler waren die Kalibrateure im Team den Umgang mit INCA gewohnt. Hier griff die ETAS-Strategie, konsequent auf standardisierte Schnittstellen zu setzen. Denn nur so ist gewährleistet, dass bei Weiterentwicklungen der Toolketten alle Entwickler die vertrauten Werkzeuge weiternutzen können. Und das kann von Team zu Team und von Disziplin zu Disziplin verschieden sein. „Wir brauchen Lösungen, die sich leicht an die Anforderungen in unserem Geschäft anpassen lassen“, erklärt Dr. Fritz, „damit wir uns nicht jedes Mal aufs Neue den Tools anpassen müssen.“

Im Fall des MVP haben die Methodenentwickler INCA über INCA-SIP V7.2 an die MATLAB®-Welt angebunden. Diese Anbindung von INCA an MATLAB®/Simulink® ist seit Einführung von INCA V7.2 in das INCA Experimental Target Integration Package (INCA-EIP) eingebunden. Entwickler können die Mess- und Applikationsfunktionen von INCA für Steuergerätefunktionen nutzen, um damit direkt an Simulink®-Modellen zu kalibrieren. Die MTU-Anwender müssen sich damit nicht in die komplexe MATLAB®-Welt hineindenken, sondern können in ihrer gewohnten Umgebung arbeiten, dabei mit Drehzahl- und Lastanforderungen experimentieren, und ECU- oder Umweltparameter variieren. „Das ist für uns ein sehr wichtiges Feature“, sagt Dr. Fritz. Denn die komplexe Simulationswelt bekomme durch INCA für Kalibrateure eine klar verständliche, intuitiv bedienbare Oberfläche. Die notwendigen Systemanpassungen seien dank der konstruktiven Zusammen-

arbeit mit ETAS weitgehend reibungslos verlaufen. „Angesichts der Komplexität des Projekts war der Anpassungsaufwand für beide Seiten zunächst überschaubar, zumal wir wirklich sehr lösungsorientiert zusammengearbeitet haben“, freut er sich.

Ausblick: Am automatisierten Prüfstand in die Zukunft

Neben dem beschriebenen Aufbau hat die MTU Friedrichshafen ein komplettes Automatisierungssystem integriert, durch das die Lösung zum komplett virtualisierten Prüfstand wird. Simulierte Messtechnik, virtuell abfahrbare Fahrprogramme unter unterschiedlichsten Lastanforderungen – die Arbeiten verlaufen exakt so, wie am realen Prüfstand und können danach jederzeit eins zu eins am realen Prüfstand verifiziert werden. Die Vorteile gehen weit über die eingesparten Kosten und die Lösung des Klimakammerdilemmas hinaus: „In der Simulationswelt können wir experimentieren und unkonventionelle Ansätze und Betriebsstrategien erproben, was am echten Prüfstand aus Zeit- und Kostengründen nicht machbar ist. Dabei haben wir schon so manchen Aha-Moment erlebt und unser Know-how spürbar vertieft“, berichtet Dr. Fritz. Und die Simulatorzeit ist anders als Prüfstandszeit kein Flaschenhals mehr. Einmal mit den nötigen Daten versorgt, läuft der Rechner allein – und kostet kaum mehr als den verbrauchten Strom. Die Kosten einer Prüfstandstunde liegen hingegen im vierstelligen Bereich. Und nicht zuletzt senkt die Virtualisierung den CO₂- und Abgasausstoß.

Ein weiterer Vorteil: Im Stadium der Simulation genügt laut Dr. Fritz in zwei Drittel aller Fälle eine Annäherung an die Realität. „Die Tests müssen nicht hochgenau, sondern qualitativ richtig sein. Die zweite Nachkommastelle ist oft nicht relevant“, sagt er. Solange ECU- und Motormodell gleich getaktet sind, spiele Echtzeit allenfalls eine untergeordnete Rolle. Noch ist das sehr rechenaufwändige physikalische Modell der Großmotoren zu langsam, um die Simulationen in Echtzeit laufen zu lassen. Doch die Entwickler haben diese Option im Fokus. Auch eine weitere Möglichkeit treibt Dr. Fritz um: Mithilfe des Rapid-Prototyping-Werkzeugs ETAS INTECRIO wäre es denkbar, die Gesamtsimulation für das Funktionsprototyping zu nutzen. Ebenso ließe sich die virtuelle Testumgebung bei Bedarf für Hardware-in-the-Loop-Tests nutzbar machen, etwa um reale MTU-Steuergeräte und deren Software zu testen, zu validieren und zu verifizieren. Klar ist schon jetzt: Die Virtualisierung ist das Bindeglied für eine wirklich gut funktionierende Zusammenarbeit an effizienten Großmotoren der Zukunft.

Im Gespräch mit der Redaktion

Dr.-Ing. Sven Christian Fritz ist Fachspezialist für DoE, Methodenentwicklung, Prüfstandsautomatisierung und virtuelle Prüfstände bei der MTU Friedrichshafen GmbH.

