

SiL-First-Ansatz im Testökosystem als Erfolgsfaktor für Automotive Software

Die Inhouse-Softwareentwicklung spielt in der Automobilindustrie eine zunehmend zentrale Rolle, da innovative Softwarefeatures marktdifferenzierende Komponenten sind. Vor dem Einsatz im Fahrzeug durchlaufen sie unzählige Tests in diversen Umgebungen nach neuesten Methoden. Mercedes-AMG und tracetronic zeigen, wie für ein Steuergerät im e-Drive der SiL-First-Ansatz genutzt wird, um Fehler im Code frühestmöglich zu identifizieren und beheben zu können.

Der signifikant steigende Anteil von Software in modernen Fahrzeugen lenkt den Fokus der Hersteller zunehmend darauf, einen durchgängigen, automatisierten und transparenten Testprozess aufzusetzen. Gleichzeitig müssen Methoden etabliert werden, um frühzeitig im Entwicklungsprozess zu testen. Hierdurch nehmen Software-in-the-Loop(SiL)-Tests in virtuell skalierbaren Umgebungen deutlich zu.

Die Verlagerung von Tests in SiL-Umgebungen hat vor allem wirtschaftliche Gründe. Es ist der kosteneffizienteste und schnellste Weg im Kontext agi-

ler Softwareentwicklung, um permanent eine hohe Testanzahl parallel auszuführen und eine möglichst geringe Time-to-Feedback sicherzustellen. Die benötigte Infrastruktur kann mit günstigen Ressourcen aufgebaut und beliebig erweitert werden. Daneben bleiben gängige Umgebungen wie Hardware-in-the-Loop(HiL)-Prüfstände und reale Fahrzeugtests wichtig, um Fahrzeugfunktionen unter realen Bedingungen zu validieren, regulatorische Anforderungen zu erfüllen und sicherzustellen, dass die Software reibungslos mit allen anderen Fahrzeugkomponenten interagiert.

Der Schlüssel zum Erfolg sind hochautomatisierte und kontinuierliche Tests in heterogenen Umgebungen. Doch wie lässt sich dabei eine optimale Benutzerfreundlichkeit erreichen? Und wie behält man bei Tausenden Ergebnissen den Überblick?

Der steigende Fokus auf Inhouse-Entwicklung von Software im e-Drive sorgte bei Mercedes-AMG für einen größeren Wandel. Seit der Einführung des Scaled-Agile-Frameworks (SAFe) arbeiten crossfunktionale Teams an der Entwicklung von Softwarefeatures. Diese Teams erfordern neue Rollen und Kompetenzen und

VERFASST VON



Dipl.-Ing. Jan Georges
ist Senior Engineer ADAS/AD
bei tracetronic in Dresden.



Moritz Sauren, M. Sc.
ist e-Drive-Softwareentwickler
bei der Mercedes-AMG GmbH
in Affalterbach.



Dipl.-Ing. Tobias Fochtmann
ist Senior Softwareentwickler
bei tracetronic in München.



Dipl.-Ing. (FH) Carmen Schaak
ist Managerin für Digitale Methoden
im e-Drive bei der Mercedes-AMG
GmbH in Affalterbach.



© Mercedes-AMG GmbH

legen besonderen Wert auf eine hohe Qualität der Softwaretests. Seit 2022 entwickelt Mercedes-AMG in enger Zusammenarbeit mit tracetronic ein durchgängiges Testökosystem für den e-Drive, das kontinuierlich ausgebaut wird. Ziel ist es, Aktivitäten zu standardisieren und Fehler frühzeitig zu erkennen.

DEFINITION EINES TESTÖKOSYSTEMS

Um Millionen Codezeilen zu testen, müssen verschiedene Testarten kombiniert werden, vom klassischen Unit-Test bis

hin zu solchen für Antriebskomponenten und im Fahrzeug. Häufig beschäftigen sich ganze Abteilungen intensiv mit dem Testen von Software. Die Herausforderung besteht darin, dass der auf Steuergeräte eingebettete Code in Echtzeit auf Ereignisse im Fahrzeug reagieren muss. Dazu ist es notwendig, komplexe HiL- oder SiL-Systeme zu entwickeln, um durch physikalische Modelle kritische Zustände des entwickelten Codes zu provozieren und die Reaktionen mit geeigneter Messtechnik zu verifizieren. Um den wachsenden Testumfang zu bewältigen, der durch kontinuierliche

Änderungen und Erweiterungen der Softwarefunktionalitäten entsteht, werden Automatisierungstools wie `ecu.test` eingesetzt. Neben der Stimulation, die das Verhalten des System-under-Test (SuT) mithilfe von Signalen und Datenströmen unter realen Bedingungen simuliert, gibt es verschiedene Möglichkeiten, um die Reaktion des SuTs während des gesamten Testdurchlaufs automatisch zu bewerten.

Prüfstände werden bereits seit Jahren individuell automatisiert, wobei die Herausforderung in der nächsten Stufe der Automatisierung liegt [1]. Es geht nicht

nur darum, Tests schnell und kostengünstig durchzuführen. Vielmehr muss in einem Ökosystem der gesamte Weg, von der Entwicklung über die einzelnen Testsysteme bis hin zur Zusammenführung aller Ergebnisse, für die Freigabe neuer Fahrfunktionen betrachtet werden. Nur so lässt sich der komplette Prozess optimieren.

Die erste Herausforderung besteht bereits in der Definition der Ziele für eine bessere Automatisierung [2]. Das Testökosystem von Mercedes-AMG fokussiert vor allem auf:

- Geschwindigkeit: Es muss möglich sein, neue Softwareversionen in kurzer Zeit zu integrieren und zu testen.
- Testumgebung: Es soll immer die optimale Umgebung verwendet werden, die am kostengünstigsten zuverlässige und bewertbare Ergebnisse liefert.
- Qualität der Testfälle: Ein Test muss nicht nur für die Teams nachvollziehbar sein, sondern auch für weitere Beteiligte wie Entwicklerinnen und Entwickler oder Testmanagerinnen und -manager. Wichtig ist darüber hinaus die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Ein Testökosystem ist ein komplexes IT-System mit mehreren Hundert Beteiligten, die übergreifend zusammen Software entwickeln, Fälle und Modelle bereitstellen, Ergebnisse überprüfen oder Releases managen. Dazu müssen viele Tools miteinander verbun-

den werden. Eine wichtige Anforderung ist die Stabilität, das heißt, Tool-Updates oder Konfigurationsänderungen beteiligter Systeme können dazu führen, dass das Gesamtsystem nicht mehr funktionsfähig ist und müssen demnach abgesichert werden. Zweitens sind Datenstandards relevant. Bei der Erstellung und Durchführung von Tests wird eine Vielzahl von Daten benötigt, von Artefakten über Parameter bis hin zu Ergebnissen. Standards sollen einen einfachen Datenaustausch ermöglichen. Und drittens ist die Arbeitsweise zu beachten, das heißt, statt getrennte Teams zu optimieren, muss der gesamte Prozess betrachtet werden. Crossfunktionale Teams aus IT- und Testsystemexpertinnen und -experten bilden die Basis für die Entwicklung und den Betrieb des Ökosystems.

TECHNISCHER AUFBAU DES TESTÖKOSYSTEMS

Das Ökosystem verfolgt neben den beschriebenen Zielen hauptsächlich die Standardisierung von Tools und Workflows sowie einen möglichst großen Automatisierungsgrad funktionaler Tests. Dies setzt die Entwicklung einer Cloud-fähigen Businesslogik mit der finalen Integration fünf spezifischer Tools, darunter test.guide und ecu.test, in die bestehende Infrastruktur voraus. Alle Stakeholder sollen die Testaktivitäten des e-Drives zentral einsehen kön-

nen. In einer solchen Architektur müssen viele Informationen verarbeitet und ausgetauscht werden. Daher sind robuste APIs (Application Programming Interfaces) und interpretierbare Datenformate besonders wichtig. Die jeweiligen Artefakte wie Skripte, Konfigurationsdateien oder Mapping-Files müssen asynchron von der automatisierten Testausführung in den entsprechenden Tools entwickelt und bereitgestellt werden können, **BILD 1**.

Eine große Herausforderung beim Aufbau eines solchen Testökosystems besteht darin, Umgebungen mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad zu integrieren. Die Businesslogik ist in diesem Zusammenhang das Herzstück, indem sie spezifische Workflows automatisiert, den Datenaustausch standardisiert und somit die nahtlose Integration in die eigene IT-Infrastruktur ermöglicht. Zudem fungiert sie als Schnittstelle zu den externen Systemen.

Für den e-Drive müssen sowohl vollautomatisierte Prozesse in virtuellen Umgebungen als auch weniger automatisierbare Prozesse am Prüfstand oder Fahrzeug in das System eingebunden werden. Dadurch sind sowohl Events aus einer vorgelagerten CI-Pipeline als auch manuell konfigurierte Aufträge die Triggermöglichkeiten für die automatisierte Testausführung. Sobald ein solches Trigger-Event stattfindet, werden aus allen beteiligten Tools und Systemen die notwendigen Daten verarbeitet, ein

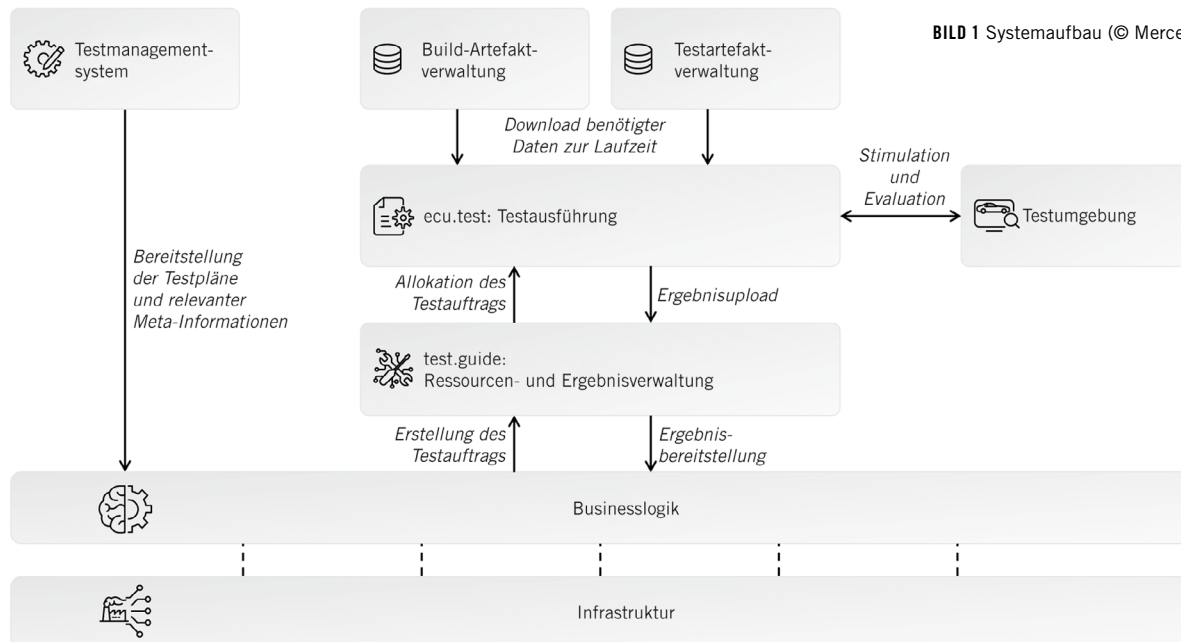


BILD 1 Systemaufbau (© Mercedes-AMG GmbH)

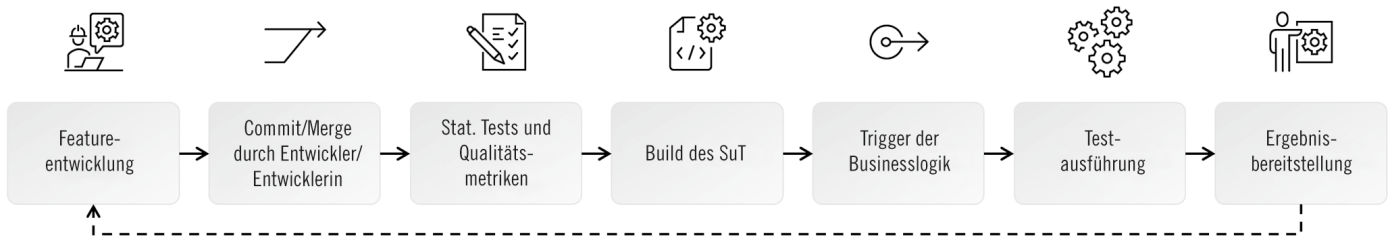


BILD 2 Prozessablauf der Featureentwicklung von der Codeänderung bis zum Testergebnis (© Mercedes-AMG GmbH)

Auftrag angelegt, dieser auf die passende Umgebung allokiert und schließlich die geplanten Tests ausgeführt. Die Ergebnisse werden unabhängig von der Testumgebung zentral gespeichert. Dabei werden alle relevanten Metadaten und Messungen abgelegt. Diese Ergebnisse werden wiederum der Businesslogik bereitgestellt und dort weiterverarbeitet, sodass abschließend automatisierte Folgeprozesse angestoßen werden können, wie beispielsweise das automatisierte Deployment der Software.

Die gesamte Plattform basiert auf dem Ansatz der Zentralisierung durch die Integration verteilter Systeme und

Tools in einer eigenen Businesslogik. Hierbei ist das Handling aller beteiligten Tools durch die vielen bestehenden Abhängigkeiten besonders komplex. Zudem können individuelle Updates in der IT-Infrastruktur oder Ausfallzeiten die Lauffähigkeit des gesamten Systems beeinträchtigen, was schnell zu einer Verlangsamung oder gar Blockade im Entwicklungsprozess der Steuergeräte-Software führt.

REALER ANWENDUNGSFALL IM SIL

Das Testökosystem wird für mehrere Steuergeräte des e-Drives auf unter-

schiedlichen Umgebungen im Realbetrieb eingesetzt. Hierzu zählt auch ein inhouse bei Mercedes-AMG entwickelter Domain Controller. Dieser setzt besonders stark auf die SiL-Testumgebung und orientiert sich sowohl technisch als auch methodisch sehr nah am Idealzustand der Nutzung der Plattform. **BILD 2** zeigt den Prozess der Featureentwicklung von der Codeänderung bis zum Testergebnis. Durch den integrierten SiL-Ansatz ist das System in der Lage, schnell Feedback für das gesamte Steuergerät geben zu können.

Am Beginn der Feedbackschleife steht die Implementierung oder Anpassung

PRESTO™ Prozessthermostate

PERFEKTE TEMPERATURSIMULATION FÜR IHREN PRÜFSTAND

Vertrauen Sie bei ihrem Prüfstand und der Temperierung von Umweltsimulationen für Material- und Qualitätsprüfungen oder Stress- und Belastungstests auf die hochdynamischen Temperiersysteme aus der PRESTO Reihe. Durch jahrzehntelange Erfahrung in der Entwicklung und Herstellung von Prozessthermostaten bietet JULABO nicht nur Premium-Temperiertechnik für höchste Ansprüche, sondern auch individuelle Sonderlösungen für kundenspezifische Anwendungen.



Julabo
THE TEMPERATURE CONTROL COMPANY

SONDERLÖSUNGEN · QUALITÄT · REPRODUZIERBARKEIT

www.julabo.com/automotive

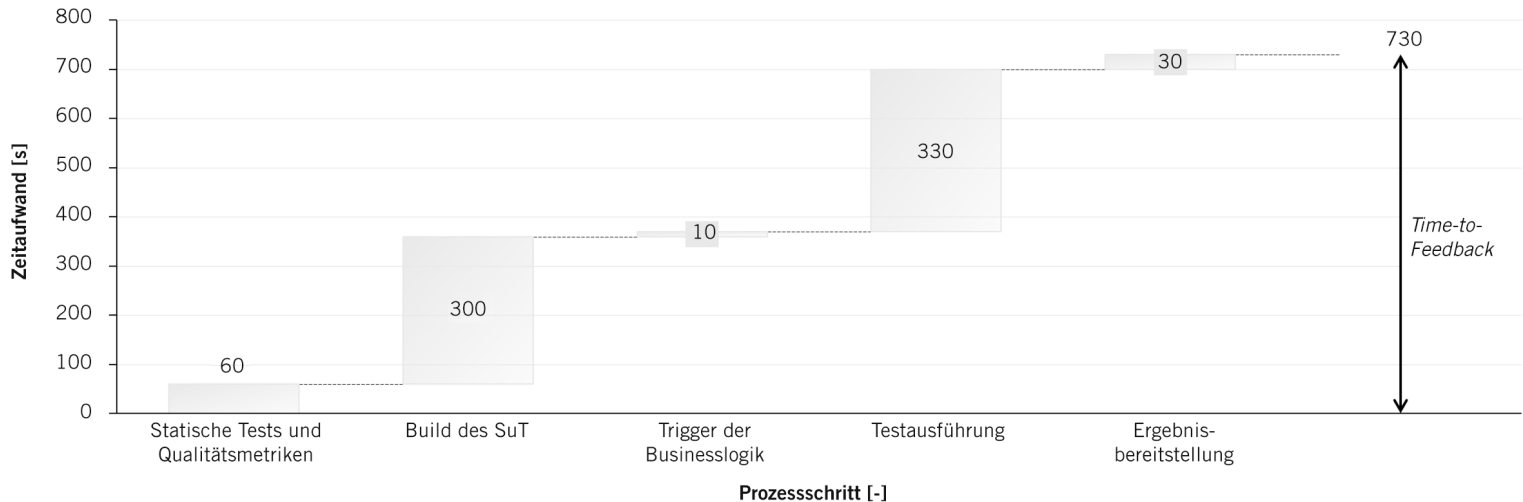


BILD 3 Zusammensetzung der Time-to-Feedback (© Mercedes-AMG GmbH)

eines beliebigen Moduls des Steuergeräte-Codes in einem Repository. Die Codeänderung wird zunächst in das gewählte Tool zur Softwareversionsverwaltung committet, beziehungsweise die Summe der einzelnen Änderungen von einem Entwicklungsbranch auf einen sogenannten stable Branch merged. Solche Events stellen den Trigger für die vollautomatisierte Prozessabfolge, der serielle Ablauf mehrerer Stages, dar. Die entsprechende Zusammensetzung der Time-to-Feedback zeigt **BILD 3**.

Zu Beginn erfolgen statische Tests und Überprüfungen definierter Qualitätskriterien gemäß Modellierungs- oder Codierungsrichtlinien. Der zeitliche Aufwand liegt hier bei etwa 60 s. In der nächsten Stage findet der Build des SiLs als SuT statt. Hier werden zunächst die Sources des Repositories für den jeweiligen Commit herangezogen und eine virtuelle ECU (vECU) in einer speziellen Build-Umgebung gebaut. Darauf folgt die Integration der vECU mit den relevanten Streckenmodellen und Konfigurationsdaten der Simulation in das SuT. Die erzeugten Daten werden anschließend in die Build-Artefaktverwaltung abgelegt. Der gesamte Prozessschritt dauert rund 300 s.

Nach dem erfolgreichen Build des SiLs wird die Businesslogik des Ökosystems getriggert und in etwa 10 s ein Auftrag in test.guide angelegt. Anschließend ordnet das System den Auftrag dem passenden Prüfplatz zu und führt die geplanten funktionalen Tests mit ecu.test in etwa 330 s durch. Die Ergebnisse lädt es ge-

bündelt in test.guide hoch. Abschließend prüft die Businesslogik innerhalb weiterer 30 s, ob der initiale Commit oder der Merge-Request, **BILD 2**, freigegeben und als erfolgreich bewertet werden kann. So erhalten Entwicklungsteams in etwa 730 s Feedback zu Codeänderungen auf der Gesamtebene eines Steuergeräts und können nachfolgende Schritte wie ein automatisiertes Deployment oder zusätzliche Tests in anderen Umgebungen einleiten.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das von Mercedes-AMG und tracetronic entwickelte Testökosystem für den e-Drive basiert auf den Anforderungen moderner Automotive-Softwareentwicklung. Es zeigt, wie die Plattform vollautomatisiert Feedback zu jeder Codeänderung an die Entwicklungsteams liefert. Die Funktionalität der Software lässt sich in deutlich kürzerer Zeit testen, was die Entwicklung neuer Produkte erheblich beschleunigt.

Darüber hinaus bieten die Parallelisierung der Testausführung auf Cloudtechnologien oder die Aufteilung einzelner Pläne auf mehrere virtuelle Prüfplätze enorme Skalierungsmöglichkeiten und erzeugen so weitere Potenziale zur Reduzierung der Time-to-Feedback. Künftig gilt es, die optimale Ausführungszeit zu finden, indem der Ressourcenaufwand durch Parallelisierung und die Laufzeit der Testaufträge entsprechend ihrer Anzahl und Dauer gegeneinander abgewogen werden.

LITERATURHINWEISE

- [1] Eldh, S. et al.: Test Automation Improvement Model – TAIM 2.0. In: 2020 IEEE International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops (ICSTW), Porto, Portugal, 2020, S. 334-337. Online: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9155990>, aufgerufen: 12. Februar 2025
- [2] Eldh, S.; Andersson, K.; Ermedahl, A.; Wiklund, K.: Towards a Test Automation Improvement Model (TAIM). In: 2014 IEEE Seventh International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops, Cleveland (OH), USA, 2014, S. 337-342. Online: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6825682>, aufgerufen: 12. Februar 2025

DANKE

Die Autoren danken den Mitgliedern der beteiligten Entwicklungsteams bei der tracetronic GmbH sowie der Mercedes-AMG GmbH für den täglichen Einsatz und die herausragende Zusammenarbeit. Darüber hinaus gilt Alexander Beck und Alexander Schneider als Entwickler der Mercedes-AMG ein besonderer Dank für die Unterstützung bei der Beschreibung des realen Anwendungsfalls.



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
Test now for 30 days free of charge:
www.ATZelectronics-worldwide.com