

ANFORDERUNGSBASIERTE TESTSTRATEGIE FÜR TEST  
UND ABSICHERUNG VON ELEKTRIK/ELEKTRONIK

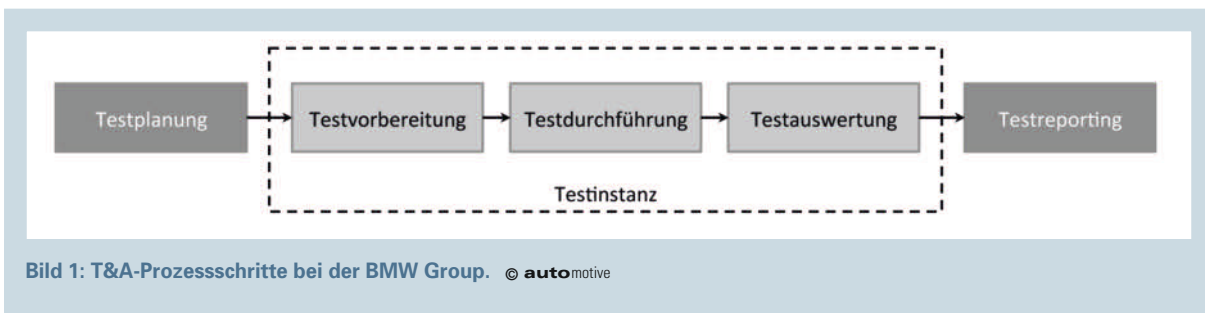
## Systematisch zu Testfällen

Der Artikel stellt eine anforderungsbasierte Teststrategie vor, die methodisch die Auswahl erforderlicher Teststufen, geeigneter Testentwurfsvorgang und Testende-Kriterien bestimmt. Somit wird das systematische Herleiten von Testfällen unterstützt. Umgesetzt wurde das Projekt durch Anwenden der ISTQB-Methodik in Zusammenarbeit mit der Firma Sogeti.

Für alle Marken der BMW Group werden bei der Entwicklung der Fahrzeuge und Fahrzeugkomponenten Prozesse gefordert, die höchste Qualität sowohl bei der internen Entwicklung als auch von Zulieferern sicherstellen. Elektrik/Elektronik (E/E) stellt sich dabei als eine der wichtigsten und schwierigsten Komponenten im Gesamtfahrzeug dar. Mit stets zunehmendem Anteil an Funktionalität, Flexibilität und Leistung werden durch E/E immer mehr Kundenfunktionen realisiert. Gleichzeitig steigt die Komplexität und somit das Risiko der fehlerhaften Spezifikation bzw. Umsetzung bei der Entwicklung von E/E. Das Risiko darf nicht unterschätzt werden. Risiken müssen möglichst frühzeitig und vor allem vor dem SOP erkannt und beseitigt werden. Deswegen legt die BMW Group großen Wert auf die Qualitätssicherung (QS) und verbessert diese kontinuierlich. Zu den Verbesserungsmaßnahmen gehört unter anderem die anforderungsbasierte Teststrategie E/E, die in diesem Artikel vorgestellt wird. Das Umfeld E/E bei der Abteilung Entwicklung Antrieb (EA)

der BMW Group umfasst verschiedene Steuergeräte für Otto- und Dieselmotoren, für Getriebe und auch für Elektroantriebe. Der Test und die Absicherung (T&A) dieser EA-Komponenten ist ein komplexer Prozess. Er setzt sich aus mehreren Prozessschritten, Testinstanzen und Testaktivitäten zusammen. **Bild 1** stellt die T&A-Prozessschritte dar.

Der T&A-Prozess verläuft iterativ. Für jedes neue Projekt bzw. jedes neue Release werden alle Prozessschritte von der Testplanung bis hin zum Testreporting sukzessive wiederholt. Im Prozess sind alle dafür erforderlichen Aktivitäten, Schnittstellen sowie verantwortende und ausführende Rollen definiert. Nach der projektübergreifenden Planung der Testaktivitäten, Ressourcen und Termine bearbeiten die Testinstanzen jeweils die Prozessschritte Testvorbereitung, Testdurchführung und Testauswertung. Unter anderem erstellen sie eigene Testpläne (Testfeinpläne), bereiten notwendige Testfälle und Testumgebungen vor und führen die geplanten Tests aus. Abschließend berichten die verantwortlichen Testinstanzen über den Sta-



tus ihrer Testaktivitäten. Im letzten Prozessschritt Testreporting werden die daraus resultierenden Testergebnisse aufbereitet und zusammengefasst. Die Testobjekte, Teststufen, Testaktivitäten und Testumgebungen im T&A-Prozess zeigt **Bild 2**.

Die Testobjekte sind verschiedene Funktionen des Steuergeräts, z. B. eine Regelungsfunktion oder eine Überwachungsfunktion. Diese Funktionen sind in der Software des Steuergeräts umgesetzt und mit entsprechender Hardware und Mechanik in das Gesamtfahrzeug integriert. Daraus erfolgt die Abgrenzung der Integrationsstufen Software, Komponente, EA-Teilsystem, Antriebssystem und Gesamtfahrzeug.

Jede Teststufe fokussiert sich auf Funktionen innerhalb bestimmter Systemgrenzen und definiert die dafür notwendigen Testaktivitäten und Testumgebungen. Den Teststufen sind die Testinstanzen zugeordnet. Sie betreuen die Testumgebungen und führen die Testaktivitäten durch. Je nach Projekt verwenden die Testinstanzen nicht nur eigene Testumgebungen, sondern auch die Testumgebungen

anderer Teststufen. Die Vielfalt von Testaktivitäten, Testumgebungen und Testinstanzen zeigt deutlich, wie komplex der T&A-Prozess ist und welche Bedeutung den organisatorischen und vorbereitenden Aktivitäten bei den Testschritten Testplanung und Testvorbereitung zukommt. Die Grundlage für diese Aktivitäten ist die Teststrategie.

**Anforderungsbasierte Teststrategie**

Nach ISTQB ist die Teststrategie eine abstrakte Beschreibung der vorgesehenen Teststufen und der Art und Weise, wie innerhalb dieser Teststufen vorzugehen ist. Mit anderen Worten bezieht sich die Teststrategie auf die Auswahl erforderlicher Teststufen, Testentwurfsverfahren und Testendekriterien mit dem Ziel, das Testen auf das Wichtigste zu fokussieren. Diese kann erfahrungsbasiert, änderungsbasiert und/oder anforderungsbasiert erfolgen. Die Entscheidung hängt von mehreren Faktoren ab und schließt die jeweils anderen Teststrategien nicht aus. Im Folgenden wird die anforderungsbasierte Teststrategie betrachtet.

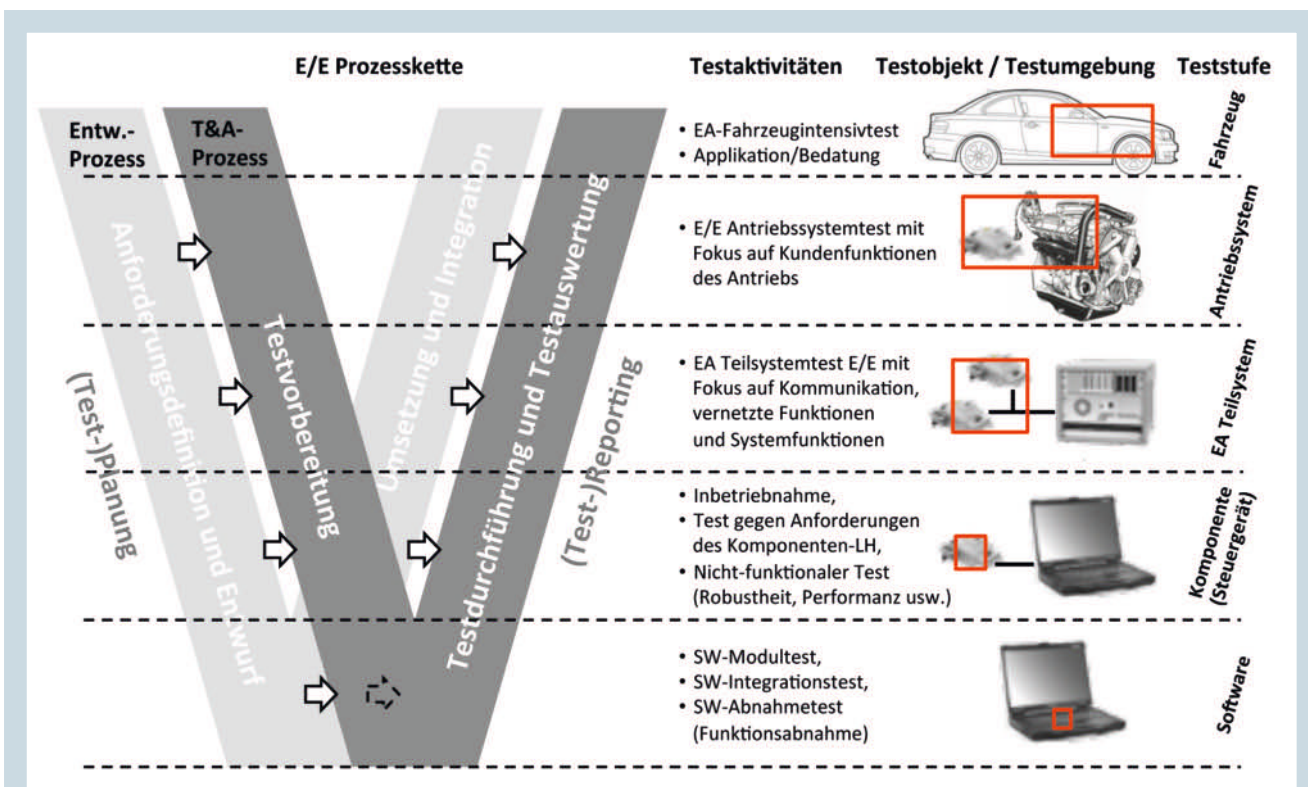


Bild 2: Testobjekte, Teststufen, Testaktivitäten und Testumgebungen im T&A-Prozess.



1	Funktion mit Anforderungen inkl. Abnahmekriterien			
2	keine Übernahme?			
3	Auftretenswahrscheinlichkeit	Risikobewertung: Auswirkung (Kritikalität)		Erkennung (Komplexität und Vernetzung)
4	Anforderung stabil und Risikokennzahl > Risikoschwellwert?			
5	–	–	Teststufe	Erweiterte Klassifizierung: Funktionstyp   Reifegrad
6	Testentwurfsverfahren und Überdeckungsgrad			

Tabelle 1: Anforderungsbasierte Teststrategie.

© automotive

Die Teststrategie sieht vor, Kriterien für die Auswahl geeigneter Testentwurfsverfahren und erforderlicher Überdeckung sequenziell und nach dem in **Tabelle 1** vorgegebenen Muster zu bestimmen. Dafür sind sechs Schritte definiert. Jeder Schritt ist als Zeile in der Tabelle dargestellt. Die relevanten Kriterien sind in einzelne Zellen einsortiert. Erst wenn alle Kriterien eines Schrittes geklärt sind, darf der Übergang in den nächsten Schritt erfolgen. Die kursiv dargestellten Kriterien beinhalten Abbruchbedingungen, d. h. hier erfolgt ein Abbruch der Methodik, wenn das Kriterium nicht erfüllt wird. Inhaltliche Zusammenhänge zwischen den Kriterien werden durch vertikale Zuordnung dargestellt. Je nach Anzahl der Abhängigkeiten ergibt sich die Zellenbreite einzelner Kriterien. So werden die Teststufen aus der Vernetzung der Funktion abgeleitet, die Testentwurfsverfahren abhängig von der Teststufe und dem Funktionstyp ausgewählt und die erforderliche Überdeckung anhand der Kritikalität und der Umsetzungsreife der Funktion bestimmt. Die Anwendung eines Testentwurfsverfahrens ist bis zu einem gewissen Überdeckungsgrad sinnvoll bzw. möglich. Daher sind diese beiden Kriterien in einer Zelle zusammengefasst. Der Überdeckungsgrad an sich wird als Testendekriterium betrachtet. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Teststrategie ausführlich erklärt.

*Schritt 1 – Funktion mit Anforderungen*

Jede Funktion muss ausreichend anhand von Anforderungen beschrieben bzw. spezifiziert sein, damit das Testen überhaupt möglich ist. Ebenso betrifft es die Verwendung der anforderungsbasierten Teststrategie. Die Anforderungen müssen aktuell, vollständig, stabil und prüfbar sein. Insbesondere die Prüfbarkeit von Anforderungen kann durch die Definition von Abnahmekriterien verbessert werden.

© automotive

*Schritt 2 – keine Übernahme*

Sämtliche Funktionen aus der Anforderungsspezifikation werden unterteilt in

- neue Funktionen,
- geänderte Funktionen und
- übernommene Funktionen.

Eine Funktion gilt als übernommen, wenn sie bereits mit denselben Anforderungen in einem Vorgängerprojekt umgesetzt wurde. Übernommene Funktionen gelten als weniger fehlerbehaftet und können deshalb von der weiteren Risikobetrachtung ausgeschlossen werden, weil sie durch das Vorgängerprojekt zum größten Teil abgesichert sind und somit eine höhere Betriebsbewährtheit haben.

Damit kann der Aufwand bei der Risikobewertung gezielt reduziert werden. Der Gewinn des reduzierten Aufwandes wird mit dem Nachteil erkauft, dass Fehler bei übernommenen Funktionen nicht mehr systematisch gefunden werden. Die Teststrategie gibt vor, dass der Fokus beim Testen auf neue oder geänderte Funktionen gelegt wird. Das Kriterium „keine Übernahme“ sortiert diese Funktionen aus.

Auftrittswahrscheinlichkeit		Auswirkung (Kritikalität)			Erkennung (Komplexität und Vernetzung)				
Lastenheft	Vernetzung	Erwartete Anforderungsstabilität	Gesetzesrelevanz	Sicherheitsrelevanz	Kundenrelevanz	innere Komplexität	Vernetzung ...		
0 bis 100%	0 bis 100%	hoch mittel niedrig	ja/nein	ASIL 0 bis D	hoch mittel niedrig	hoch mittel niedrig	innerhalb Komponente	außerhalb Komponente	zur HW & Mechatronik
							hoch mittel niedrig	hoch mittel niedrig	hoch mittel niedrig
Risikokennzahl = Auftretenswahrscheinlichkeit x Auswirkung x Erkennung									

Tabelle 2: Kriterien der Risikobewertung und die Risikokennzahl.

© automotive

Teststufe	Vernetzung ...		
	innerhalb der Komponente	außerhalb der Komponente	zu Hardware und Mechatronik
Antriebssystem und/oder Fahrzeug	–	–	hoch, mittel
EA-Teilsystem	–	hoch, mittel	–
Komponente	hoch, mittel	–	–
Software	immer		

Tabelle 3: Auswahl der Teststufe.

© automotive

### *Schritt 3 – Risikobewertung*

Durch die Risikobewertung wird die Risikokennzahl ermittelt. Auf dieser Basis wird die Entscheidung über die weitere Anwendung der Teststrategie getroffen, um begrenzte Testressourcen zielgerichtet einzusetzen. Liegt die berechnete Risikokennzahl unter einem bestimmten Risikoschwellwert, so ist das Herleiten der Testentwurfverfahren anhand der Teststrategie nicht nötig. Die Funktionen mit einer niedrigen Risikokennzahl werden pauschal im Rahmen der laufenden Testroutine ohne übergreifende Systematik (erfahrungsbasiertes Testen) bei den Testinstanzen abgesichert. Die Kriterien der Risikobewertung und die Formel für die Berechnung der Risikokennzahl zeigt **Tabelle 2**. Die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Fehlers bewertet die Funktion hinsichtlich der Anforderungsreife, Qualität/Vollständigkeit der Anforderungsdefinition und Erfüllungsgrad der Anforderung. Sie wird aus den Bewertungskriterien Erfüllungsgrad Lastenheft, Erfüllungsgrad Vernetzung und erwartete Anforderungsstabilität berechnet.

Die Auswirkung betrachtet die Kritikalität des Testobjekts auf das Gesamtfahrzeug in einem Fehler- bzw. Ausfall. Für die Berechnung der Auswirkung werden die Kriterien Gesetzesrelevanz, Sicherheitsrelevanz und Kundenrelevanz verwendet.

Hohe Komplexität und Vernetzung erschweren das Erkennen von Fehlern. Daher werden für die Bewertung der Risikokennzahl die Kriterien innere Komplexität der Funktion, Vernetzung innerhalb der Komponente, Vernetzung außerhalb der Komponente und Vernetzung zu Hardware und Mechatronik eingeführt. Für die Berechnung wird der Mittelwert dieser Kriterien verwendet. Eine entscheidende Rolle für die Bewertung der Vernetzungen spielt die Anzahl der Schnittstellen. Je höher die Anzahl, desto höher die Vernetzung.

Die Risikokennzahl wird anhand mehrerer Kriterien bestimmt. Dabei werden die Wertebereiche dieser Kriterien anhand eines Punktesystems konkretisiert und durch heuristische Formeln berechnet. Erst dann kann anhand der Risikokennzahl die Entscheidung getroffen werden, welche Funktionen in das Risikomanagement des Projektes aufgenommen werden und wie hoch der Umfang der systematisch zu testenden Funktionen sein wird.

### *Schritt 4 – Anforderung stabil*

Die Risikobewertung sagt aus, ob eine Anforderung stabil ist oder nicht. Das Testen gegen instabile Anforderungen ist sehr aufwendig und damit nicht zielführend. Mit dem Kriterium „Anforderung stabil“ werden die Funktionen aussortiert, welche mit „Erwarteter Anforderungsstabilität = mittel bzw. hoch“ eingestuft wurden. Nur stabile Anforderungen eignen sich zur effizienten Anwendung der Testentwurfverfahren.

Instabile Anforderungen, d. h., solche mit „erwarteter Anforderungsstabilität = niedrig“, müssen zuerst im Rahmen eines Anforderungsprozesses, z. B. anhand von einer Prototypenentwicklung gefestigt und validiert werden, bevor sie die Grundlage eines Umsetzungs- und Testprozesses in der Serienentwicklung bilden können.

Zustandsverhalten/ Wertebereiche	Zustandslos	Zustandsbehaftet
Kontinuierlich	Arithmetik, Kennlinien	Regler, Adaptionfunktionen, Filter
Diskret		Zustandsautomaten
Logisch	Entscheidungstabellen, Logik	

Tabelle 4: Funktionsklassifizierung nach Funktionstypen.

© automotive

Die Gründe für instabile Anforderungen sind:

- Die Anforderungen sind nicht formuliert und deshalb nicht vorhanden.
- Die Anforderungen sind nicht stabil, weil die Prämissen des Projektes noch nicht komplett fixiert sind oder sich mit hoher Wahrscheinlichkeit an dieser Stelle ändern können.

Schritt 5a – Teststufe

Die Teststufen werden anhand der Vernetzung bestimmt. Dabei werden nur die Teststufen ausgewählt, bei denen auf der entsprechenden Systemebene eine hohe bzw. mittlere Vernetzung zu anderen Funktionen besteht. Eine niedere Vernetzung wird dagegen nicht betrachtet. Die Auswahl der Teststufen zeigt **Tabelle 3**.

Schritt 5b – Erweiterte Klassifizierung

Die erweiterte Klassifizierung fokussiert sich auf Funktionstypen und Reifegrade. Die Sortierung nach Funktionstypen wird benötigt, um später für jede Funktion geeignete Testentwurfsverfahren bestimmen zu können. Die Funktionstypen werden nach Art der verarbeiteten Signale und nach Zustandsverhalten klassifiziert. Daraus ergibt sich die Unterscheidung zwischen zustandslosen und zustandsbehafteten Funktionen, sowie zwischen booleschen, diskreten und kontinuierlichen Funktionen. **Tabelle 4** fasst die Funktionsklassifizierung zusammen.

Die Reifegrade werden im Rahmen der funktionalen Reifegradplanung festgelegt und bestimmen, welche Funktionen in welchem Release welche Realisierungsreife haben sollen. Die teilimplementierten Funktionen mit niedrigem

Auszug aus Testentwurfsverfahren und Überdeckungsgraden*) .		Teststufe				Funktionstypen				Kritikalitätsstufe				
*) Für die Überdeckungsgrade „mittel“ und „hoch“ existieren Richtwerte in %.		Software	EA-Teilsystem	Antriebssystem	Fahrzeug	zustandslos (logisch)	zustandslos (kontinuierlich)	zustandsbehaftet (kontinuierlich)	zustandsbasiert (diskret)	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
		Komponente (Steuergerät)												
<b>Black-Box</b>														
Äquivalenzklassenbildung	Gültige Klassen	■	■	■	■	■	■	■	■	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch
	Ungültige Klassen	■	■	■	■	■	■	■	■		mittel	mittel	hoch	hoch
Grenzwertanalyse	Exakte Grenzwerte	■	■	■	■	■	■	■	■		mittel	mittel	hoch	hoch
	Benachbarte Werte	■	■	■	■	■	■						mittel	mittel
Zustandsbezogener Test	Zustände	■	■	■	■				■	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch
	Übergänge/ Zweige	■	■	■	■				■		mittel	hoch	hoch	hoch
	Ungültige Übergänge	■	■	■	■				■			mittel	hoch	hoch
Weitere Black-Box-Verfahren ...														
<b>White-Box</b>														
Anweisungsüberdeckungstest	Anweisungen	■				■	■	■	■	100%	100%	100%	100%	100%
Zweigüberdeckungstest	Zweige	■				■	■	■	■			100%	100%	100%
Bedingungsüberdeckung	MC/DC	■				■	■	■	■			mittel	mittel	100%
weitere White-Box-Verfahren ...														

Tabelle 5: Testentwurfsverfahren und Überdeckungsgrade.

© automotive

Reifegrad müssen nicht so intensiv getestet werden wie die vollimplementierten mit hohem Reifegrad. Dies spiegelt sich bei der Festlegung der Überdeckungsgrade wider. Durch niedrigere Reifegrade kann die maximale Intensität eines Testentwurfsvorgangs, die ursprünglich aus der Kritikalität der Funktion abgeleitet wurde, wesentlich reduziert werden.

*Schritt 6 – Testentwurfsvorgang und Überdeckungsgrad*

Der letzte Schritt der Teststrategie umfasst anwendbare Testentwurfsvorgänge und Überdeckungsgrade. **Tabelle 5** beschreibt, wie Black-Box- und White-Box-Verfahren anhand der Teststufe, der Funktionstypen und der Kritikalitätsstufe ausgewählt werden. Die Überdeckung wird hierbei als quantitatives Testenkriterium betrachtet. Die Kritikalitätsstufe 5 entspricht der höchsten Testintensität. In den Spalten zu jeder Kritikalitätsstufe sind die Überdeckungsgrade abhängig von den Testentwurfsvorgängen festgelegt. Bei Testentwurfsvorgängen, die keine Maßzahl vorgeben, wird die Anwendung des Verfahrens als Testenkriterium betrachtet.

Die Logik zur Auswahl von Testentwurfsvorgängen ist wie folgt: Quadrate oder Überdeckungsgrade kennzeichnen, dass eine Methode für eine ausgewählte Kombination aus Teststufe bzw. Funktionstyp und Kritikalitätsstufe anzuwenden ist. Mindestens eine fehlende Markierung pro Kombination schließt das Testentwurfsvorgehen der jeweiligen Zeile, in der die Markierung nicht auftaucht, für genau diese Kombination aus.

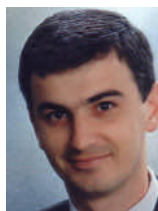
Beispiel: Für zustandslose kontinuierliche Funktionen mit der Kritikalitätsstufe 4 ist

Grenzwertanalyse mit mittlerem Überdeckungsgrad von benachbarten Werten in allen Teststufen vorgegeben. Für zustandsbehaftete kontinuierliche Funktionen und Kritikalitätsstufe 4 reicht zum Testfallentwurf die Betrachtung der exakten Grenzwerte aus.

Die Anwendung der Tabelle 5 erfolgt nach folgenden Schritten: Zunächst werden alle Spalten mit nicht-relevanten Teststufen, Funktionstypen und Überdeckungsstufen weggestrichen, ausgeblendet oder gelöscht. Danach werden alle Zeilen weggestrichen, bei denen für die übriggebliebenen Überdeckungsstufen oder Funktionstypen keine Anwendung von Testentwurfsvorgängen gefordert bzw. möglich ist, also dort wo die Zellen leer sind. Als Ergebnis bleiben Testentwurfsvorgänge und Überdeckungsgrade mit entsprechender Zuordnung zu den Teststufen übrig, die systematisch von der anforderungsbasierten Teststrategie abgeleitet sind.

**Zusammenfassung**

Die anforderungsbasierte Teststrategie beschreibt eine Methodik zur Auswahl von Teststufen, Testentwurfsvorgängen und Testenkriterien. Den Kern der Teststrategie bilden die Risikobewertung und die erweiterte Klassifizierung von Funktionen. Die typischen Anwender der Teststrategie sind Testmanager und Testingenieure, die sich mit der Testplanung und Testvorbereitung beschäftigen. Die Anwendung der Teststrategie findet bereits bei in der Entwicklung Antrieb (EA) der BMW Group statt und kann auf andere E/E-Komponenten bzw. mechatronische Systeme übertragen werden. (oe)



**Dipl. Ing. Alexander Siller** ist Mitarbeiter der BMW AG. In der Softwareentwicklung von Antriebssteuergeräten ist er zuständig für die Qualitätssicherung und die Festlegung von Testprozessen.



**Dr. Dmitry Korotkiy** ist Consultant der Sogeti Deutschland GmbH. Mit seiner Erfahrung im Testmanagement, Testprozessberatung und Testautomatisierung unterstützt er Automotive OEMs, deren Qualitätssicherung und Testprozesse zu verbessern.