

Effizientes Testen von Embedded Software auf

Systemprüfständen mit variabler Testumgebung



Whitepaper

KEBA®
Automation by innovation.

Inhalt

Seite 04-09 Pitch-Antriebe und die Notwendigkeit von Systemtests zum Erhalt der TÜV-Zertifikate

- Seite 04 // Pitch-Systeme in Windenergieanlagen: Funktion, Sicherheit und Testansätze
- Seite 06 // Wie wird das Pitch-System getestet?
- Seite 07 // Die Verifikationsebene im V-Modell
- Seite 08 // Drei Gründe für die Durchführung von Softwaretests

Seite 10 Prüfstandsherausforderungen

- // Raum, Kosten und Sicherheitsrisiken bei der Simulation von Pitch-Systemen

Seite 12-19 KEBAs Hardware in the Loop (HIL)-Testsystem

- Seite 12 // Hallen- und HIL-Prüfstand im direkten Vergleich
- Seite 13 // Vorteile des HIL-Testsystems im Überblick
- Seite 14 // Simulationsarchitektur und Aufbau des Prüfstands
- Seite 15 // Selektive Achsensimulation und Schnittstellenintegration
- Seite 16 // Durchführung manueller Tests und Parametersteuerung
- Seite 17 // Optimierung der Softwareverifikation durch automatisierte HIL-Testkampagnen – would you dare?
- Seite 18 // Testautomatisierung und Reproduzierbarkeit als Schlüssel zur Effizienzsteigerung
- Seite 19 // Kunden-HILs und Test austauschbarkeit
- Seite 19 // Grenzen und Fokus des HIL-Modells

Seite 20 Ausblick. Weiterentwicklung. Möglichkeiten.

- // Erhebliches Potential für Erweiterungen

Seite 20 Fazit

- // Wie kann die Verifikation sicherheitskritischer Pitch-Systeme in Windenergieanlagen effizienter, kostengünstiger und sicherer gestaltet werden?



Pitch-Systeme in Windenergieanlagen: Funktion, Sicherheit und Testansätze

Pitch-Antriebe und die Notwendigkeit von Sys- temtests zum Erhalt der TÜV-Zertifikate

Das Pitch-System steuert die Anstellwinkel der Rotorblätter einer Windenergieanlage und beeinflusst damit den Anströmwinkel des Windes an der Blattkante. Dadurch wird das auf den Rotor wirkende Drehmoment geregelt und die aus dem Wind entnommene Leistung entsprechend beeinflusst.

Das System fungiert als zentrales Stellglied im Regelkreis, das die Generatorleistung sowie die Rotordrehzahl steuert, wodurch die Drehzahl begrenzt und eine Überdrehzahl – und somit potenzielle Schäden – vermieden werden.

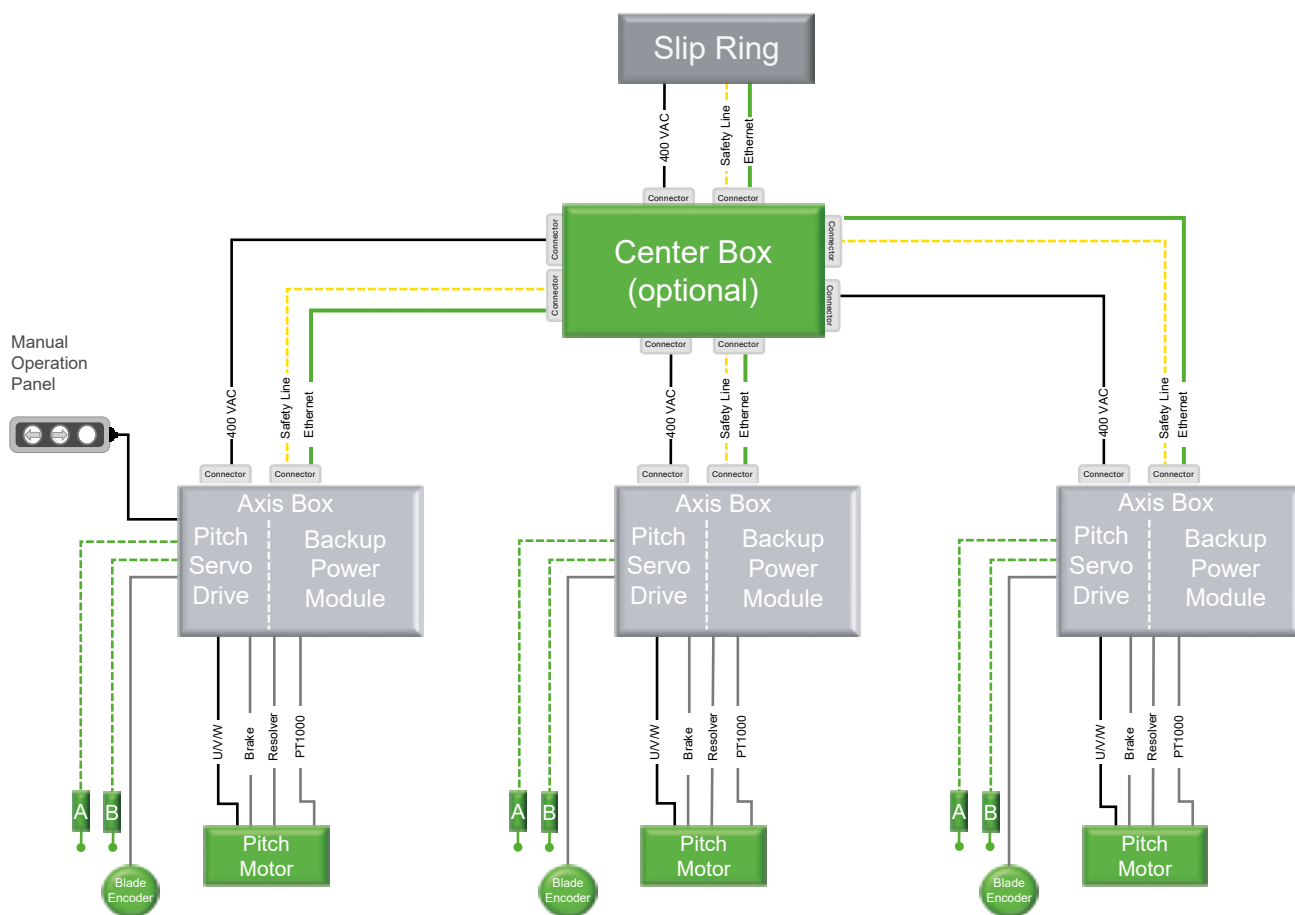
In kritischen Betriebssituationen, etwa bei plötzlichen Lastwechseln, führt das Pitch-System einen sogenannten „Safe Feathering Run (SFR)“ durch. Hierbei werden die Rotorblätter, teils nach individuellen Profilen, in Richtung der Fahnenstellung bewegt, um den Rotor sicher bis zum Stillstand abzubremesen.

Aufgrund dieser sicherheitsrelevanten Funktion muss der Pitch-Servoregler eine außergewöhnlich hohe Zuverlässigkeit aufweisen. Zudem muss die Verfügbarkeit des Pitch-Servoreglers im Normalbetrieb möglichst hoch sein, da jeder ungeplante Stopp zu zusätzlicher mechanischer Belastung und zu Ertragsausfällen führt.

Typischerweise besteht ein elektrisches Pitch-System aus drei unabhängigen Achsen. Jede Achse beinhaltet einen Pitch-

Servoregler, einen Motor, ein Getriebe, einen Motorgeber, einen Blattgeber sowie einen Energiespeicher, der den fortlaufenden Regelbetrieb bei Netzschwankungen (FRT¹) oder im Falle eines Netzausfalls sichert. Gegebenenfalls wird das System durch eine zentrale Steuerungseinheit ergänzt.

Die Pitch-Servoregler unterscheiden sich dabei von Standard-Servoreglern, da sie besonders hohe Anforderungen an Robustheit und Funktionalität unter extremen Umweltbedingungen erfüllen müssen. In den letzten Jahren hat vor allem die funktionale Sicherheit – also die Fähigkeit, dass sicherheitsrelevante Funktionen mit der benötigten Zuverlässigkeit durchgeführt werden – stark an Bedeutung gewonnen. Mit den zertifizierten Sicherheitsfunktionen des „PitchOne“ von KEBA lässt sich beispielsweise die Sicherheitsfahrt einer Windenergieanlage nach dem höchsten Performance Level (PL_e) realisieren.



Schematische Darstellung eines Pitch-Systems in einer Windenergieanlage

¹ „Die Begriffe englisch Low-Voltage Ride Through (LVRT), englisch Under-Voltage Ride Through (UVRT) oder englisch Fault Ride Through (FRT) (dt.: Durchfahren von Unterspannung bzw. Durchfahren von Fehlzuständen) beschreiben in elektrischen Netzen eine Mindesttoleranz von elektrischen Erzeugungseinheiten (EZE) wie Generatoren gegenüber kurzzeitigen Spannungseinbrüchen. Eine EZE darf sich bei Spannungseinbrüchen nicht unmittelbar vom Netz trennen, sondern muss eine bestimmte Zeit weiterarbeiten. Kurzzeitige Spannungseinbrüche können zum Beispiel infolge von Netzfehlern wie z. B. bei Kurzschlüssen, Erdschlüssen oder Blitzeinschlägen auftreten. Durch die FRT-Fähigkeit von dezentralen Erzeugungsanlagen soll ein großflächiger Verlust von Erzeugungsleistung durch einen Dominoeffekt von vielen kleineren Erzeugungsanlagen bei Fehlern im Übertragungsnetz verhindert werden.“ https://de.wikipedia.org/wiki/Low-Voltage_Ride_Through

Wie wird das Pitch-System getestet?

Die sicherheitstechnisch relevanten Funktionen des Pitch-Servoregler werden in einem durch den TÜV zertifizierten Prozess entwickelt und im Rahmen umfangreicher Tests verifiziert. Auf unterschiedlichen Ebenen des V-Modells kommen dabei diverse Testverfahren zum Einsatz:

1

Modul- und White-Box-Tests

Einzelne Softwaremodule werden offline oder direkt auf dem Zielprozessor getestet. White-Box-Tests bieten sich als eine Methode für den Modul-Test an. Hierbei werden Tests im bekannten Quellcode durchgeführt.

2

Integrationstests

Diese Tests überprüfen, wie gut die verschiedenen Software-Module zusammenarbeiten, indem die Schnittstellen der Module geprüft werden.

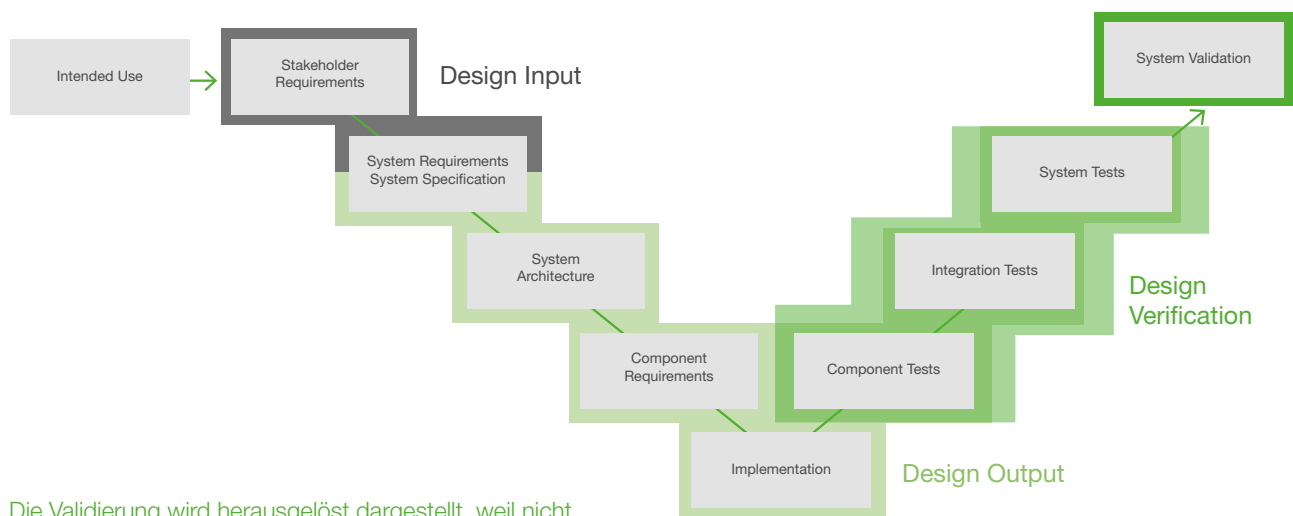
3

Systemtests

Die produktive Software und Hardware des Pitch-Servoregler werden in der typischen Systemumgebung, unterstützt durch zusätzliche externe Komponenten, getestet.

Abschließend wird auf der obersten Ebene des V-Modells, der Validierungsebene, geprüft, ob das entwickelte System für den vorgesehenen Anwendungsfall geeignet ist.

Die Verifikationsebene im V-Modell



Die Validierung wird herausgelöst dargestellt, weil nicht gegen spezifizierte Anforderungen geprüft wird, sondern ob das Produkt für den Anwendungszweck geeignet ist.

HIL als bevorzugter Testansatz

Zusätzlich zu den entwicklungsbegleitenden Tests ist es notwendig, Fehler, die im Feld auftreten, schnell zu analysieren. Da Windenergieanlagen weltweit installiert sind, können durch direkte Feldtests hohe Reisezeiten und -kosten entstehen. Hinzu kommt, da das Pitch-System in der rotierenden Nabe verbaut ist, dass ein Zugang im laufenden Betrieb ohnehin unmöglich ist. Messequipment müsste fest verbaut werden, um Daten aufzuzeichnen oder an Bediener zu übertragen.

In beiden Fällen wären längere Stopps der Anlage und implizierte Ertragsausfälle für den Betreiber die Folge. Somit werden Abnahmetests und Fehleranalysen überwiegend an Prüfständen durchgeführt. Dieses Whitepaper vergleicht Testmethoden und beweist, warum HIL der bevorzugte Testansatz ist.



3 Gründe für die Durchführung von Softwaretests

1

Sicherheitsrelevanz & Funktionale Sicherheit

Die wesentlichen Funktionen des Pitch-Servoregler sind sicherheitsrelevant, was eine sehr hohe Zuverlässigkeit und Funktionssicherheit erfordert. Der TÜV-zertifizierte Prozess impliziert, dass die Software umfassend getestet werden muss, um die Einhaltung der hohen Sicherheitsstandards (z. B. Performance Level PLe) nachzuweisen.



2

Komplexität & Integration mehrerer Komponenten

Neben Modul- und Integrationstests sind auch Systemtests notwendig, um sicherzustellen, dass alle Schnittstellen und Funktionen korrekt zusammenarbeiten.

3

Praktische Testbedingungen & Feldanalysen

Fehler im Feld können nur schwer analysiert werden, daher ist es notwendig, umfangreiche entwicklungsbegleitende Tests (White-Box-, Integrations- und Systemtests) an Prüfständen durchzuführen.

Prüfstandsherausforderungen

Raum, Kosten & Sicherheitsrisiken bei der Simulation von Pitch-Systemen

Ein Hallenprüfstand besteht in der Regel aus allen im Pitch-System verwendeten Komponenten, um eine möglichst realitätsnahe Prüfung zu gewährleisten. Zusätzlich werden Lastmaschinen zur Nachbildung von Lastdrehmomenten, eine einstellbare Netzspannungsversorgung und ggf. eine variable Umgebungstemperatur benötigt, um die Umgebungsbedingungen des Pitch-Systems nachzubilden.

Ein solcher Prüfstands Aufbau benötigt viel Platz, verursacht im Betrieb Lärm und Hitze und bringt aufgrund von beweglichen Teilen und gefährlichen Spannungen ein hohes Potenzial für gesundheitliche Gefährdungen des Bedienpersonals mit sich, die mit aufwändigen Sicherheitsmaßnahmen minimiert werden müssen. Die Anschaffungskosten für einen Hallenprüfstand fallen oft hoch aus.

Da in der Regel jeder Windanlagenhersteller ein eigenes Design für das Pitch-System vorsieht, muss der Prüfstand individuelle, an den Servoregler angeschlossene Komponenten verwenden, damit gleiche Bedingungen wie in der Anlage geprüft werden können. Hier steigen die Kosten direkt proportional zu den möglichen Varianten. Es treten Rüstzeiten für den Umbau auf, und Lagerfläche für die Komponenten wird ebenfalls benötigt.

Es müssen ggfs. auch Extrembedingungen geprüft werden, die die Geräte stark belasten oder zerstören könnten. Diese Tests können Kosten für neue Hardware erzeugen oder ggf. sogar eine zusätzliche Gefährdung des Bedienpersonals darstellen.

Ein weiterer Aspekt bei Prüfstandtests sind die Bedienerkosten. Bei manuellen Tests, die mehrfach wiederholt werden müssen, entstehen für jeden Testdurchlauf Lohnkosten. Die Protokollierung der Tests ist ebenfalls ein kostenrelevanter Faktor. Werden die Tests manuell durchgeführt, ist außerdem nicht garantiert, dass sie jedes Mal gleich ablaufen. Hierdurch können unterschiedliche Ergebnisse entstehen, und Prüfende müssen sich ggf. neu einarbeiten.

Was gegen einen Hallenprüfstand spricht

- // Hoher Platzbedarf
- // Hohe Anschaffungs- und Betriebskosten
- // Sicherheitsrisiken
- // Komplexität durch Variantenvielfalt der Geräte

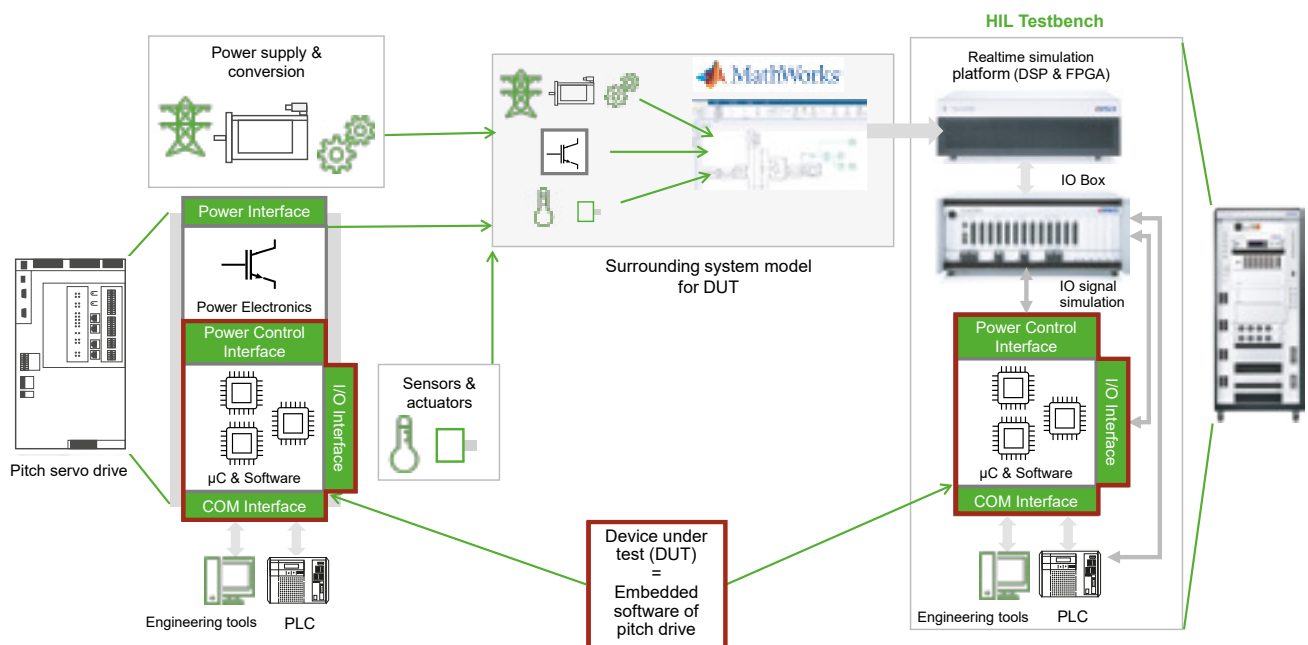
Bei fehlender Testautomatisierung

- // Manueller Aufwand und mögliche Inkonsistenz der Ergebnisse
- // Hoher Protokollierungsaufwand



KEBAs Hardware-in-the-Loop (HIL)-Testsystem

Hallen- und HIL-Prüfstand im direkten Vergleich



Die Abbildung zeigt auf der linken Seite die Komponenten eines Hallenprüfstands. Die rechte Seite zeigt den HIL-Prüfstands Aufbau. Die Komponenten des PitchOne, die entfallen (Power Electronics, Sensors & actuators) sowie die externen Komponenten (Power supply & conversion), werden im Modell simuliert.

In Anbetracht der oben genannten Bedingungen hat sich KEBA für das folgende Konzept entschieden:

Um ein Maximum an Flexibilität hinsichtlich der Umgebung des Servoreglers zu haben, werden alle im Pitch-System verwendeten und am Servoregler angeschlossenen Komponenten mit Hilfe eines Umgebungsmodells simuliert. Das Modell läuft hierfür auf einem HIL²-Simulator der Firma dSpace. Die Simulations-Hardware zur Echtzeitsimulation der Modelle auf FPGAs³ bzw. digitalen Signalprozessoren ist „Off The Shelf“ verfügbar. Die Anbindung der Steuerelektronik des Servoreglers an die Simulator-Hardware erfolgt über einen spezifischen Adapter, mit dem die einzelnen Steuer- und Messsignale des Prüflings über einen Kabelbaum auf das Anschlussfeld der Simulator-Hardware geführt werden.

² „Die HIL-Simulation (Hardware-in-the-Loop) ist eine Technik für die Validierung Ihres Regelungsalgorithmus, der auf einem bestimmten Zielregler ausgeführt werden soll, indem eine virtuelle Echtzeitumgebung erstellt wird, die das zu regelnde physische System darstellt.“ <https://de.mathworks.com/discovery/hardware-in-the-loop-hil.html>

³ „Ein Field Programmable Gate Array (FPGA) ist eine vielseitige Art von integriertem Schaltkreis, der im Gegensatz zu herkömmlichen Logikgeräten, wie anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen (ASICs) so konzipiert ist, dass er programmierbar (und oft umprogrammierbar) ist, ...“ <https://www.ibm.com/de-de/think/topics/field-programmable-gate-arrays>

Der Prüfling wird ohne gefährliche Bewegungen oder Spannungen betrieben. Sämtliche Eingangs- und Ausgangsgrößen der Steuerelektronik des Servoreglers werden auf Kleinspannungsniveau mit dem HIL-Simulator verbunden. Hierdurch wird sichergestellt, dass beim Anfahren kritischer Betriebspunkte keine Beschädigung der Hardware oder Gefährdung der Nutzer stattfinden kann.

Mit Hilfe der Simulation können so Tests durchgeführt werden, die bei Hallenprüfständen beaufsichtigt werden müssten (Übertemperatur führt zu Brandgefahr, Gefahr durch rotierende Teile bei Überdrehzahl etc.) oder teilweise gar nicht prüfbar sind, weil die notwendigen Bedingungen für den Test nicht dauerhaft erzeugt oder nicht wiederholt werden können. Der Prüfstand benötigt durch das Design auf Kleinsignalebene deutlich weniger Platz⁴ und verursacht weniger Kosten für die Hardware. Aufgrund dieses Konzepts müssen die Komponenten, die eingespart werden – wie das Netz, der Eingangsgleichrichter, der Zwischenkreis, der Bremschopper, die Motorendstufe und die Energiespeicherendstufe – mit in das Simulationsmodell integriert werden.

Vorteile des HIL-Testsystems im Überblick

Diese Vorteile machen das HIL-Testsystem zu einer sicheren, flexiblen und kosteneffizienten Alternative zu herkömmlichen Prüfstandsverfahren.

- // Flexibilität
- // Sicherheit und Schutz
- // Prüfung extremer Szenarien
- // Kosteneffizienz und Platzersparnis
- // Echtzeitsimulation mit Standardhardware

⁴ So benötigt der KEBA-Motorenprüfstand ca. 50 qm, während der HIL-Prüfstand in einen fahrbaren 19 Zoll- Schaltschrank integriert ist.

Simulation. Aufbau. Integration.

Simulationsarchitektur und Aufbau des Prüfstands

Das Simulationsmodell besteht aus vier modular aufgebauten Modellteilen (EPSS Prozessormodell, EPSS FPGA Modell, XSG FPGA Modell, XSG Prozessormodell), die jeweils mit unterschiedlichen Zykluszeiten betrieben werden. Alle Simulationswerte, die sehr schnell berechnet werden müssen, wurden in FPGAs implementiert. Die übrigen Modellteile laufen in Prozessor-simulationen. Zwischen allen Simulationen werden die notwendigen Daten ausgetauscht.

Die Modellierung wurde komplett in [Matlab Simulink](#) durchgeführt, einem etablierten Programm für die Modellierung von Systemen mit einer umfangreichen Bibliothek von Standardblöcken. Die Code-Generierung für die Echtzeitplattform erfolgt in Kombination mit dem Tool [ConfigurationDesk](#) von dSpace. Dadurch wird eine flexible und effiziente Implementierung erreicht.

// XSG FPGA Modell: Die PWM-Erfassung der Motorendstufe, das Motormodell, die Mechanik mit Getriebe sowie die Blatt- und Motorgeber werden in einem FPGA mit vorgefertigten [dSpace/Xilinx FPGA-Modellen](#) berechnet. Durch den Einsatz von Standardbibliotheken lässt sich der Implementierungsaufwand minimieren. Eine Schnittstelle ermöglicht den Datenaustausch ausgewählter Istwerte und Parameter mit den Modellteilen der Prozessorplattform. Dieses FPGA arbeitet mit einem Takt von 8 ns.

// XSG Prozessormodell: Dieses Prozessormodell enthält die Parameter- und Signal-Schnittstellen zum dSpace/Xilinx FPGA und simuliert zusätzlich den Feldbus. Es läuft mit einer Zykluszeit von 1 ms.

// EPSS Prozessormodell: Hier werden die Netzsimulation, der interne Gleichrichter sowie die Energiespeichersimulation in einem Modell mit 50 μ s Zyklus berechnet. Die Modellierung der Leistungselektronik erfolgt in Matlab Simulink mithilfe der [Simscape Electrical-Bibliotheken](#), was die Realisierung eines zuverlässigen Modells auf hoher Abstraktionsebene ermöglicht.

// EPSS FPGA-Modell: Der Zwischenkreis, die energiespeicherseitige Endstufe (DC/DC-Wandler), der Bremschopper sowie der Energiespeicherstrom werden in einem FPGA berechnet, das mit einem Takt von 2,5 μ s arbeitet. Auch das FPGA-Teilmodell der Leistungselektronik wurde auf Basis von Simscape Electrical-Bibliotheken implementiert.

Ein wesentlicher Vorteil dieses HIL-Simulationsansatzes liegt in der Möglichkeit, unterschiedliche Varianten von Pitch-Systemen durch Parametrierung zur Laufzeit anzupassen. Alternative Modellkompile können schnell in den Prüfstand integriert werden, sodass Tests unter variablen Umgebungsbedingungen und für diverse Systemkonfigurationen mit minimalem Zeit-, Kosten- und Personalaufwand durchgeführt werden können.



Selektive Achsensimulation und Schnittstellenintegration

Im Rahmen eines innovativen HIL-Simulationskonzepts wird zur Kostenreduktion von den drei symmetrisch aufgebauten Achsen des Pitch-Systems lediglich Achse 1 (SUT) vollständig mit Modellsignalen versorgt. Die beiden übrigen Achsen dienen primär dazu, die im Betrieb über die sichere Querkommunikation (SCC) übertragenen Daten zu generieren. Dementsprechend werden diese Achsen nur in einem begrenzten Umfang mit ausgewählten Signalen stimuliert, sodass das System die notwendigen Freigaben für den Regelbetrieb erhält und zugleich Fehler simuliert, die durch unerwartete Messwerte benachbarter Achsen ausgelöst werden können.

Für die zusätzlichen Servoregler-Achsen wird eine modifizierte Firmware implementiert, die erweiterte Stimulationsmöglichkeiten, wie beispielsweise die Simulation von Netz- und Zwischenkreisbedingungen, bietet. Die generierten Werte werden dabei über die SCC an Achse 1 übermittelt.

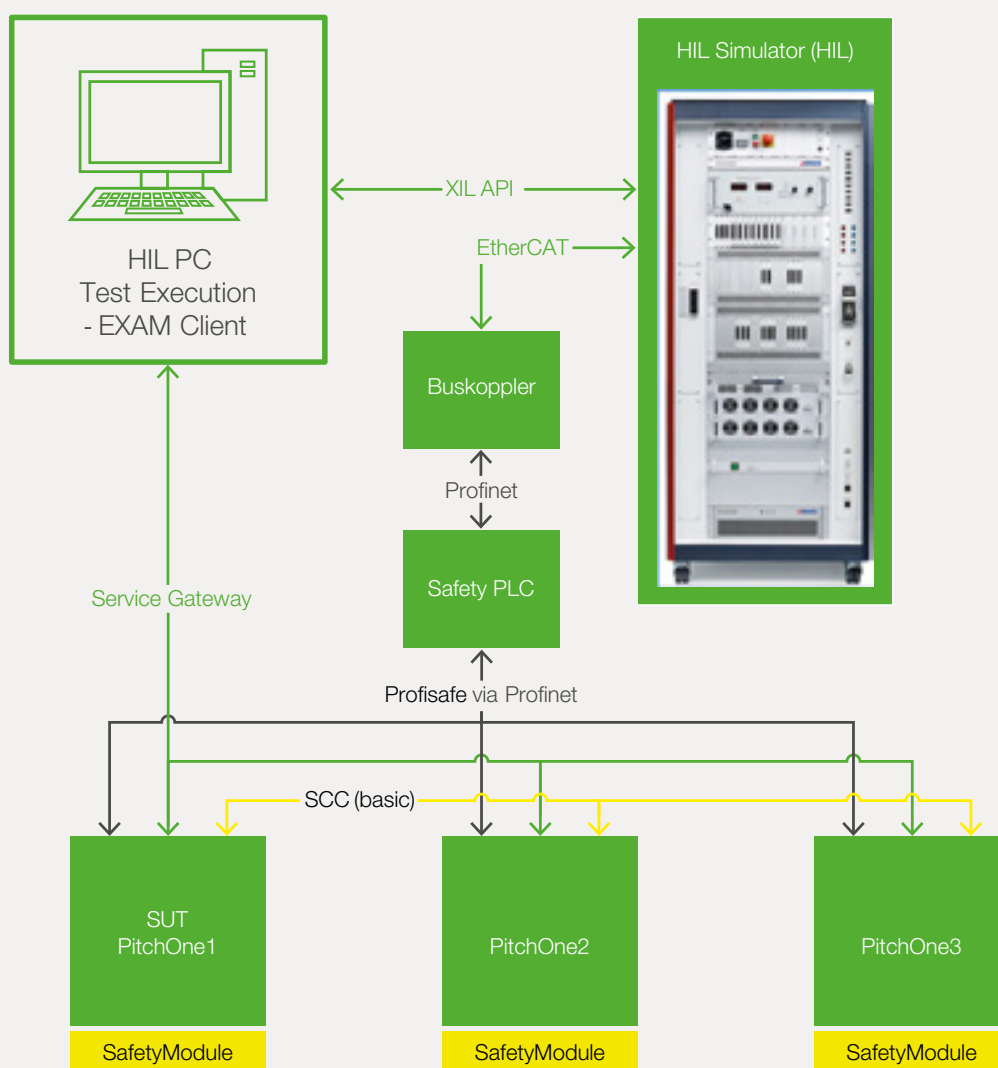
Die Kommunikation mit den Achsen sowie mit dem HIL-Simulator erfolgt über eine Ethernet-Parameterschnittstelle, die von einem Bediener-PC aus angesteuert werden kann. Über diese Schnittstellen können verschiedene Modellvarianten und Firmware-Images heruntergeladen, Parameter angepasst und Messwerte in Echtzeit ausgelesen werden.

Darüber hinaus kann der PitchOne auf die PROFIsafe/PROFINET-Schnittstelle aus dem Simulationsmodell heraus zugreifen. Diese ermöglicht das Senden von Kommandos sowie das Einlesen von Istwerten, um im Simulationstakt Werte zu schreiben und Verläufe zu protokollieren.

Durch den Einsatz dieser integrierten Schnittstellen wird gewährleistet, dass alle testrelevanten Daten effizient und zuverlässig erfasst und verarbeitet werden können – ein entscheidender Faktor für die Validierung und Optimierung sicherheitskritischer Systeme im industriellen Einsatz.

Durchführung manueller Tests und Parametersteuerung

Mit dem entwickelten Aufbau können bereits manuelle Tests realisiert werden. Über das hauseigene Tool KeStudio DriveManager wird der Servoregler parametrisch angesteuert, wobei ein interner Scope die Aufzeichnung von Istwertverläufen ermöglicht. Gleichzeitig kann der HIL-Simulator über das Tool ControlDesk von dSpace parametrisch bedient werden, sodass auch hier die Verläufe von Istwerten dokumentiert werden können. Diese Kombination aus manueller Steuerung und synchroner Datenaufzeichnung bildet die Grundlage für reproduzierbare Testszenarien und erste Verifizierungen im Simulationsumfeld.



Optimierung der Softwareverifikation durch automatisierte HIL-Testkampagnen – would you dare?

Der Prüfstand ist primär für die Durchführung von Systemtests ausgelegt, wobei der Fokus auf der Verifikation der Softwarefunktionalität des Servoreglers liegt. Sämtliche Softwaretests werden als Regressionstests bei jedem neuen Major Release der Gerätesoftware durchgeführt. Mit jeder neuen Softwareversion wächst der Testumfang, da zusätzliche Funktionen geprüft werden müssen. Dadurch entstehen enorme Testaufwände, insbesondere aufgrund der häufigen Wiederholung derselben Tests.

Der Zeitaufwand für eine Firmware-Releasetest-Kampagne beträgt aktuell etwa eine Woche Volleinsatz – das entspricht $7 \times 24 \text{ h} = 168$ Stunden reiner Maschinenlaufzeit, ohne den zusätzlichen Aufwand für die Testauswertung zu berücksichtigen. Würden diese Tests manuell durchgeführt, vorausgesetzt, dies wäre aufgrund der Timinganforderungen überhaupt möglich, würde sich der Zeitaufwand signifikant vervielfachen. Selbst bei einer konservativen Abschätzung mit dem Faktor 4 würde der Personalaufwand auf rund 672 Stunden (entsprechend 84 Mannwochen) ansteigen. Ohne eine umfassende Testautomatisierung wäre ein solches Szenario schnell unwirtschaftlich und würde die Software-release-Zyklen erheblich verzögern.

Um Tests in gleichbleibender Qualität und mit reduziertem Personalaufwand zu ermöglichen, wurde eine Testautomatisierungsumgebung für den HIL-Prüfstand entwickelt. Diese Umgebung ermöglicht die parametrische Ansprache sämtlicher über die Service-Schnittstelle (ComLib) des Servoreglers so-

wie über die XIL API⁵ der Simulator-Schnittstelle bereitgestellten Parameter. Die Automatisierung basiert auf Python-Skripten, die mittels EXAM-TA, einem im Automotive-Bereich weit verbreiteten Testautomationsprogramm, erzeugt werden.

EXAM-TA verwendet einen zentralen Server, auf dem die Testprojektdaten in einer Datenbank hinterlegt sind, sodass die Testimplementierung und die Ausführung des Codes parallel auf unterschiedlichen PCs erfolgen können. Dadurch wird eine hohe Auslastung des Prüfstands erreicht und der Implementierungsaufwand für neue Tests kann effizient verteilt werden. Zudem ermöglicht diese Architektur eine klare Trennung zwischen Testfall-Implementierern und Testern. Fein einstellbare Zugriffsrechte, die an Rollenzuweisungen im Testprojekt gebunden sind (z. B. Tester, Testfall-Implementierer, Bibliotheksentwickler, Administrator), minimieren potenzielle Schäden durch fehlerhafte Nutzungen.

Zusammenfassung

Dieses Konzept der Testautomatisierung sichert nicht nur die kontinuierliche Qualität der Software, sondern reduziert auch den Personalaufwand und die Release-Zeiten signifikant – ein entscheidender Vorteil in der wettbewerbsintensiven Entwicklung sicherheitskritischer Systeme.

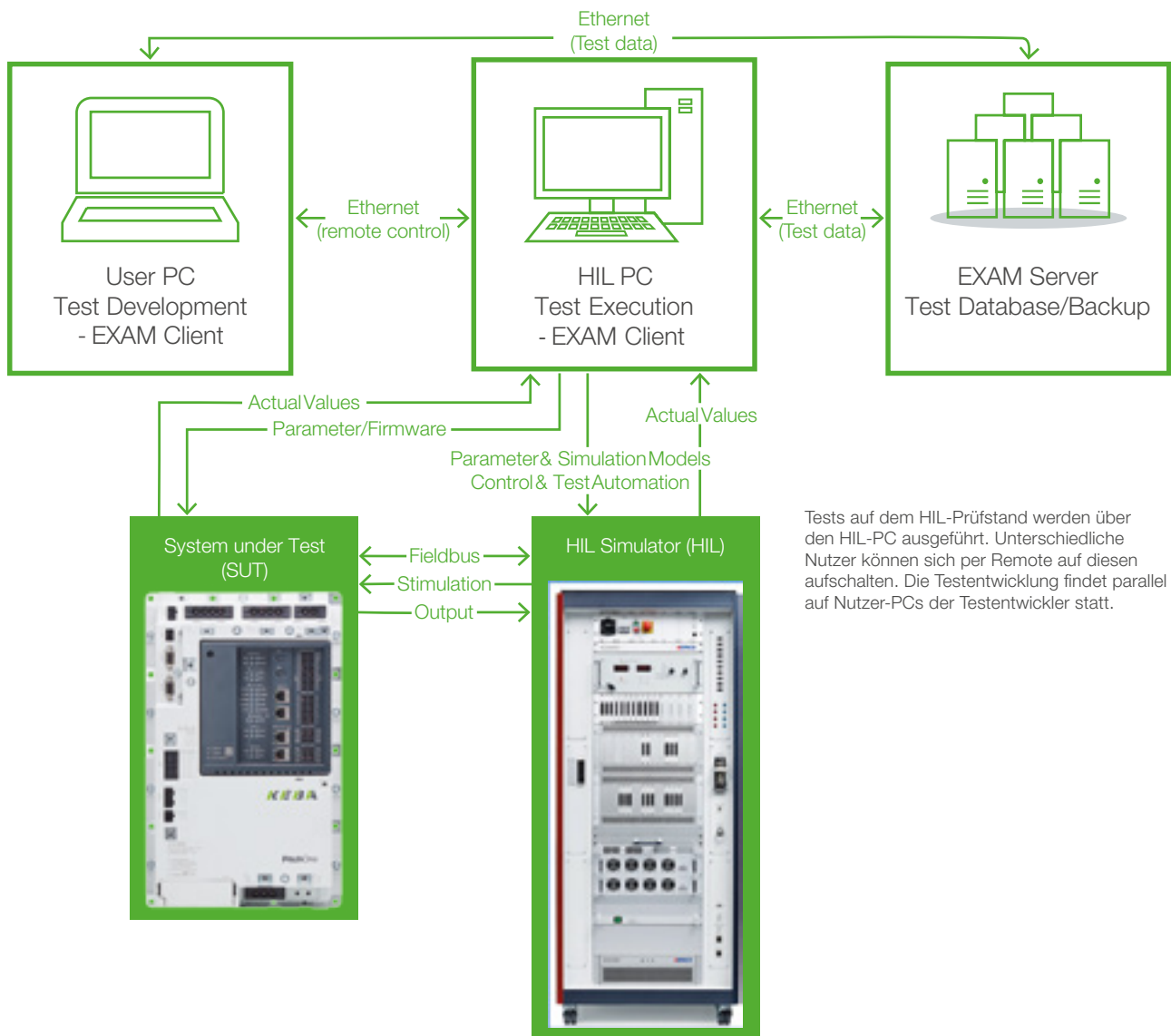
⁵ "ASAM XIL is an API standard enabling communication between test automation tools and test benches." <https://www.asam.net/standards/detail/xil/>

Testautomatisierung und Reproduzierbarkeit als Schlüssel zur Effizienzsteigerung

In modernen Testumgebungen werden Testprotokolle direkt durch ein spezialisiertes Testautomatisierungsprogramm generiert – ein Ansatz, der den manuellen Aufwand erheblich reduziert. Diese Protokolle werden zentral in einer Datenbank auf einem Server abgelegt, was den Austausch von Testergebnissen zwischen verschiedenen Nutzern erleichtert und die Zusammenarbeit optimiert.

Für die Zertifizierung der funktionalen Sicherheit ist es unerlässlich, dass Tests jederzeit in gleichbleibender Qualität reproduzierbar sind. Ein dediziertes Testautomatisierungstool gewährleistet die Konsistenz der Testabläufe, während eine Versionsverwaltung der Testdatenbank die Reproduktion alter Testprojektstände ermöglicht.

Da die Parameterschnittstelle des PitchOne-Servoreglers bereits vollständig in die Testautomatisierung integriert ist – und dank des Einsatzes von Python auch schnell weitere Dritthersteller-Schnittstellen eingebunden werden können – wächst der Nutzerkreis dieses Programms stetig innerhalb der KEBA. Dadurch werden zunehmend vielfältige Testabläufe, wie beispielsweise Smoketests und Hardware-Abnahmetests, auf weiteren Prüfständen (z. B. Hallenprüfständen, Motorenprüfständen) realisiert. Diese flexible und skalierbare Lösung trägt wesentlich zur Optimierung der Testprozesse und zur Steigerung der Effizienz in der Entwicklung sicherheitskritischer Systeme bei.



Kunden-HILs und Testaustauschbarkeit

Um eine höhere Testtiefe und eine verbesserte Softwarequalität zu erreichen, wurde der Teststand nicht ausschließlich bei KEBA implementiert, sondern auch in Form von Kopien bei Kunden des neuen Servoreglers bereitgestellt. Da bei allen Kunden dieselbe Toolchain zum Einsatz kommt, können Tests problemlos zwischen den Kundentestprojekten und KEBA ausgetauscht und unabhängig voneinander reproduziert werden. Dies ermöglicht es, Testfälle zum Nachweis bestimmter Verhaltensweisen ortsunabhängig zu reproduzieren und zu analysieren. Zudem lässt sich die Prüfstandskapazität bei Bedarf flexibel erhöhen.

Grenzen und Fokus des HIL-Modells

Das HIL-Modell bildet lediglich einen Teilaspekt des realen Systems ab und kann nicht sämtliche Umwelteinflüsse⁶ vollständig simulieren. Es konzentriert sich ausschließlich auf jene Verhaltensaspekte, die für die Softwaretests des PitchOne als relevant erachtet werden. Der PitchOne-HIL von KEBA wird ausschließlich zur Verifikation der Software auf der Zielhardware eingesetzt. Die umfassende Prüfung der Gerätehardware erfordert den Einsatz eines vollständigen Systems, weshalb ergänzende Hallenprüfstände eingerichtet wurden, um etwa die Leistungs- und thermischen Grenzen der Hardware zu testen. Auf dem HIL-Modell werden hingegen primär die umfangreichen Einstellmöglichkeiten der Gerätesoftware geprüft.



PitchOne

⁶ „Eine Umweltsimulation basiert immer nur auf den vorliegenden Erkenntnissen, erhobenen Mess- und Erfahrungswerten, welche in vereinfachte mathematische Formeln überführt werden und sich dann als Modelle im HiL-Simulator wiederfinden. Auf Grund dessen und trotz der Fortschritte in der Umweltsimulation kann der HiL-Simulator nur in einem begrenzten Rahmen den Test in der realen Welt ersetzen.“ https://de.wikipedia.org/wiki/Hardware_in_the_Loop#Luft-_und_Raumfahrt

Ausblick. Weiterentwicklung. Möglichkeiten.

Erhebliches Potential für Erweiterungen

Das aktuelle Simulationsmodell wurde gemäß den KEBA-Anforderungen speziell für den Softwaretest des PitchOne entwickelt. Es bietet jedoch erhebliches Potenzial für Erweiterungen, um zusätzliche Aspekte der Kundensysteme abzubilden und die Simulationsgenauigkeit zu erhöhen. Beispielsweise könnte das Verhalten der Steuerung der Windenergieanlage sowie der angeschlossenen Komponenten detaillierter definiert werden. Die simulierten Blattlasten ließen sich so an reale Lastdaten aus dem Feld anpassen, und die Netzfehlersimulation könnte um FRT-Szenarien, das Verhalten des Hauptgenerators sowie zertifizierungsrelevante Szenarien erweitert werden.

Auch im Bereich der Testautomatisierung besteht noch erhebliches Potenzial für den Ausbau weiterer Testaufbauten mit KEBA-Produkten. Da die Service-Schnittstelle aller KEBA-Servoregler über die ComLib adressierbar ist, können zukünftig zusätzliche Testumgebungen automatisiert integriert werden. Darüber hinaus lassen sich alle KEBA-Steuerungen bereits heute über EXAM in die Testautomatisierung einbinden. Diese Erweiterungsmöglichkeiten bieten eine flexible, skalierbare Testinfrastruktur, die den steigenden Anforderungen der Kunden gerecht wird.

Fazit

Wie kann die Verifikation sicherheitskritischer Pitch-Systeme in Windenergieanlagen effizienter, kostengünstiger und sicherer gestaltet werden?

Das HIL-Testsystem von KEBA bietet eine zukunftsweisende Lösung, indem es reale Systembedingungen für das Testobjekt präzise in Echtzeit simuliert und dadurch den Aufwand im Vergleich zu herkömmlichen Prüfstandtests drastisch reduziert. Durch die Verwendung von Simulationsmodellen für die Umgebung wird nicht nur die Anwendersicherheit erhöht – es wird darüber hinaus die Automatisierung und die unüberwachte Durchführung von Testkampagnen in EXAM ermöglicht. Dies führt zu schnelleren, reproduzierbaren Testergebnissen, geringeren Kosten und einer beschleunigten Zertifizierung.

Dieses Konzept beantwortet somit direkt die zentralen Fragen von Entwicklern und Betreibern: Wie können wir komplexe und sicherheitskritische Systeme testen, ohne auf eine Vielzahl teurer, zeitaufwändiger und risikobehafteter Hallenprüfstände angewiesen zu sein? Und wie können Fehleranalysen in Bestandsanlagen kostengünstig und sicher durchgeführt werden? Die Antwort liegt in der intelligenten Kombination von moderner Simulationstechnologie und automatisierter Testumgebung – ein entscheidender Wettbewerbsvorteil im Bereich der Windenergieanlagen.

Werden Sie unsere nächste Success Story!



Lassen Sie uns gemeinsam Ihre Erfolgsgeschichte in der Industrieautomation schreiben.
Unser Team freut sich darauf, von Ihnen zu hören und Ihre Vision in die Realität umzusetzen.

[JETZT KONTAKTIEREN](#)

News & Blog

Außerdem finden Sie aktuelle News, Presseaussendungen
und Wissenswertes zur Industrieautomation in unserem Blog.

[ZUM BLOG](#)

KEBA Industrial Automation Germany GmbH

Gewerbestraße 5-9, 35633 Lahnau/Germany, Telefon +49 6441 966-0, info@keba.de

KEBA Industrial Automation GmbH

Reindlstraße 51, 4040 Linz/Austria, Telefon +43 732 7090-0, keba@keba.com

KEBA Group weltweit

China / Deutschland / Großbritannien / Indien / Italien / Japan / Niederlande / Österreich
Rumänien / Schweiz / Serbien / Südkorea / Taiwan / Tschechische Republik / Türkei / USA

www.keba.com

