



© Foto: U.S. Navy

Abbildung 1: Flugdeckschiffe wie die Makin Island besitzen im Gegensatz zu klassischen Flugzeugträgern kein Startkatapult. Sie dienen als Basis für Hubschrauber, Senkrechtstarter und Landungsboote.

Die „USS Makin Island“ ist das erste Flugdeckschiff der U.S. Navy, das als Antrieb eine Kombination aus Gasturbinen und Elektromotoren nutzt. Im Vergleich zu den bisher bei dieser Schiffsklasse eingesetzten dampfturbinenbasierten Antrieben reduziert der neue Antrieb den Kraftstoffverbrauch und die Wartungskosten erheblich, und das ohne Abstriche an der Leistung. Für die Tests der Steuerungssoftware des Gasturbinenantriebs nutzte der Hersteller des Systems, Northrop Grumman, ein dSPACE System direkt an Bord des Schiffes.

Gasturbine spart Kraftstoff

Als General Electric in den späten 1990er Jahren die Gasturbine LM2500+ mit 35.000 PS Leistung auf den Markt brachte, war es für die U.S. Navy ein logischer Schritt, zukünftige Schiffe mit dieser Antriebsmaschine auszurüsten, denn Gasturbinen besitzen gegenüber den vorher verwendeten Dampfturbinen prinzipielle Vorteile: Sie sind bei gleicher Leistung nicht nur kompakter, leichter und wartungsärmer, sondern auch schneller betriebsbereit, und sie benötigen weniger Bedienpersonal. Das neueste, 2009 in Dienst gestellte Flug-

deckschiff „Makin Island“ (benannt nach einem Atoll im Pazifik) wird daher von zwei LM2500+ Gasturbinen angetrieben. Bei Geschwindigkeiten unter 12 Knoten (gut 22 km/h) übernehmen zwei 5000-PS-Elektromotoren den Antrieb, was bis zu 25 % Betriebszeit der Gasturbinen und damit ca. 1,5 Mio. Liter Kraftstoff pro Jahr spart. Weil die Makin Island das erste Schiff der U.S. Navy ist, auf dem die LM2500+ Turbine zum Einsatz kommt, musste die zugehörige Steuerungssoftware komplett neu angepasst und getestet werden. Für diese Arbeiten, bei denen der gesamte Sig-



Die 2009 in Dienst gestellte „USS Makin Island“ ist das erste Flugdeckschiff der U.S. Navy, das Gasturbinen als Antrieb nutzt.

Simulation eines Gasturbinen-Schiffsantriebs

Turbine an Bo(a)rd



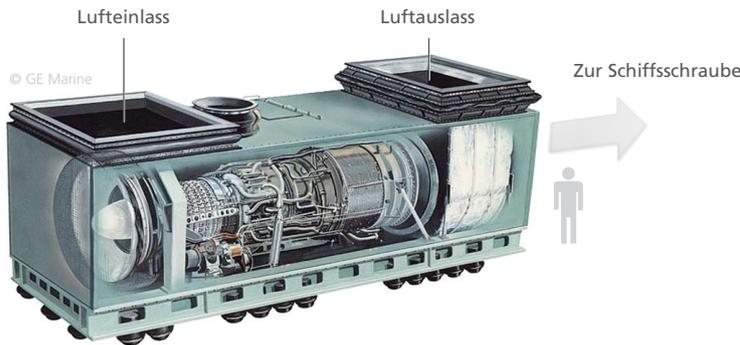


Abbildung 2: Die Makin Island besitzt zwei General-Electric-Gasturbinen vom Typ LM2500+, die zusammen 70.000 Wellen-PS erzeugen. Für die Tests des zugehörigen MicroNet™-Steuergerätes von Woodward Governor Company kam ein dSPACE System zum Einsatz.

nalverkehr zwischen Steuergerät und Gasturbine an Bord des Schiffes simuliert werden musste, bedurfte es eines leistungsfähigen, simulationsbasierten und besonders flexiblen Echtzeittestsystems.

Simulation des Signalverkehrs

Die Ingenieure von Northrop Grumman standen vor der paradox klingenden Aufgabe, speziell die Turbinen-Notabschaltungs- und Alarmfunktionen des Steuergerätes zu testen, ohne

dafür die Turbine zuvor überhaupt hochzufahren, denn dies war eine Auflage des Vertrags mit der U.S. Navy. Das Steuergerät unterschied sich deutlich von denen anderer Schiffsklassen, denn es musste zunächst ein reguläres Hochfahren der Turbine durchlaufen, bevor es die Notabschaltfunktionen überhaupt ausführen konnte.

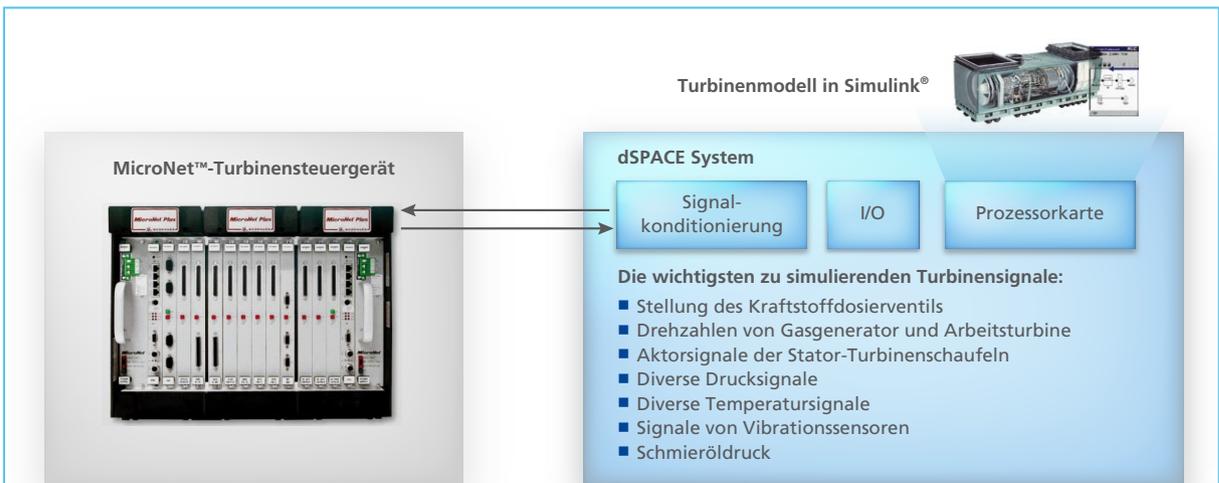
So blieb nur die Möglichkeit, dem Steuergerät durch das Simulieren der Turbinensignale eine Turbine im

Betrieb vorzutäuschen. Eine große Herausforderung für das Testsystem bestand dabei vor allem darin, das Hochfahren der Turbine zu simulieren. Denn während dieser Startsequenz erwartet das Steuergerät zu ganz bestimmten Zeitpunkten von der Turbine eine Vielzahl von Signalen mit bestimmten Werten und Änderungen (u.a. Temperatur-, Druck- und Geschwindigkeitssignale) als Rückmeldung. Entsprechen diese Rückmeldungssignale nicht den erwarteten Richtwerten, bricht das Steuergerät die Startsequenz sofort ab. „Über manuelle Einstellungen lässt sich das Steuergerät leider nicht überlisten, um es in den Zustand jenseits der Startsequenz zu bringen“, so James Turso, Ingenieur bei Northrop Grumman. „Die erfolgreiche Simulation der komplexen Startsequenz war also eine unbedingte Voraussetzung, um anschließend die Turbinen-Notabschaltungs- und Alarmfunktionen des Steuergerätes überhaupt testen zu können.“

Auswahl des Testsystems

Für die Simulation der Gasturbine spezifizierten die Ingenieure von Northrop Grumman einen Hardware-

Abbildung 3: Für die Tests des MicroNet™ -Steuergerätes simuliert ein dSPACE System den kompletten Signalverkehr zwischen Turbine und Steuergerät. Das Turbinenmodell wurde in MATLAB®/Simulink® entwickelt.



in-the-Loop (HIL)-Simulator, der eine Reihe von Anforderungen erfüllen musste:

- Echtzeitfähigkeit mit einer Modell-durchlaufzeit von maximal 5 ms (das Turbinenmodell wurde in MATLAB®/Simulink® entwickelt)
- Möglichkeit zur Signalkonditionierung (zum Austausch von Signalen mit dem MicroNet-Steuergerät von Woodward Governor Company)
- Kontrollmöglichkeit aller Abläufe per Software
- Unkomplizierte, flexible Anschlussmöglichkeit der Test-Hardware an das Schiffsbordnetz, d.h. ohne Umbauten am Steuergerät, der Gasturbine oder den Kabelsträngen
- Ausfallsicherheit eines industrieprobten Systems

Northrop Grumman entschied sich für die modularen Hard- und Software-Komponenten aus der dSPACE Werkzeugkette, um dieses Anforderungsprofil sicher zu erfüllen.

dSPACE System simuliert Gasturbine

Um dem Steuergerät mit Hilfe des dSPACE Systems eine reale Gasturbine im Betrieb vorzutäuschen, mussten unterschiedlichste Turbinensignale simuliert werden (Abbildung 3), beispielsweise Druck-, Temperatur- und Beschleunigungssignale, Drehzahlen von Gasgenerator und Arbeitsturbine, Schmieröldruck etc. „Die größte Herausforderung war aber die Simulation der Signale des Kraftstoffdosierventils, das nach dem Prinzip eines LVDTs arbeitet“, erläutert James Turso. Bei einem LVDT (Linear-variabler Differential-Transformator) handelt es sich um einen induktiven Sensor, der ein hochfrequentes Wechselspannungssignal mit variabler Amplitude erzeugt. Im Beispiel der Gasturbine der Makin Island hängt die Signalform vom aktuellen Öffnungsgrad des Kraftstoffventils ab, der sich während der Startsequenz ständig ändert (Abbil-

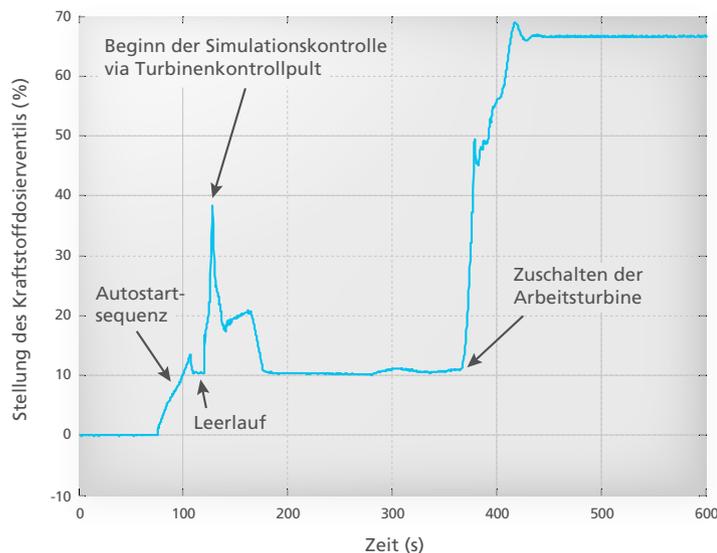


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der Stellung des Kraftstoffdosierventils (das vom dSPACE System stammende und vom Steuergerät verarbeitete Signal) während des Hochfahrens des Schiffsantriebs. Die Simulation der zugehörigen LVDT-Signale war die größte Herausforderung während der Tests.

„Das dSPACE System machte es möglich, innerhalb des engen Zeitrahmens die Vorgaben der U.S. Navy für die Tests der Gasturbinensteuergeräte zu erfüllen.“

James A. Turso, Northrop Grumman

dung 4). „Mit dem dSPACE HIL-System funktionierte die Simulation dieses komplexen Signals tadellos“, so das Fazit von James Turso.

Alle Tests erfolgreich absolviert

Mit Hilfe der Gasturbinensimulation durch das dSPACE HIL-System konnten die Ingenieure von Northrop Grumman alle von der U.S. Navy geforderten Tests der verschiedenen Sicherheits- und Notabschaltfunktionen erfolgreich absolvieren. Das dSPACE HIL-System bewies bei all diesen Aufgaben eine hohe Flexibilität und wird auch bei zukünftigen Inbetriebnahmetests zum Einsatz kommen. Weil in allen Bereichen des Schiffbaus die Komplexität stetig zunimmt, ist ein

derartiges HIL-System auch beim Test von Regelsystemen anderer Komponenten unverzichtbar. Es wird in Zukunft also immer seltener möglich sein, die Tests so wie früher einfach durch manuelles Verändern verschiedener Regler und Schalter durchzuführen. ■

James A. Turso Ph.D., P.E.
ist Ingenieur bei Northrop Grumman,
USA.

Quelle: Proceedings of ASME Turbo Expo
2010: Power for Land, Sea and Air
GT2010
June 14-18, 2010, Glasgow, UK
GT2010-223050