



## Prüfsystem für Test und Absicherung von 48-V-Riemenstartergeneratoren

AUTOR



**Dipl.-Ing. Heiko lamandi** ist Abteilungsleiter Entwicklung elektrifizierter Antrieb bei der Bertrandt Ingenieurbüro GmbH in München.

Die Einhaltung der EU-Gesetzgebung hinsichtlich zulässiger CO<sub>2</sub>-Emissionen für Kraftfahrzeuge erfordert einen flächendeckenden Einsatz von voll- und teilelektrifizierten Antriebssträngen sowohl für Pkw als auch für Nutzfahrzeuge. Bertrandt hat einen cloudbasierten Prüfstand entwickelt, um 48-V-Startergeneratoren abzusichern.

### WEG ZUR ELEKTRIFIZIERUNG

Ein essenzieller Zwischenschritt auf dem Weg zur Vollelektrifizierung ist das 48-V-Bordnetz, das ab 2019 schrittweise bei vielen europäischen Fahrzeugherstellern eingeführt wird. Die meisten 48-V-Systeme werden dabei in der sogenannten P0-Konfiguration, also mit einem riemengetriebenen Startergenerator (CRSG), in Serie gehen [1]. Mit dieser

kostengünstigen Lösung kann eine Vielzahl von wirksamen Hybridfunktionen realisiert werden. Dazu gehören Systeme zur Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes wie Start-Stopp-Funktion, Rekuperation, elektrisches Segeln und Kriechfahrten. Darüber hinaus können eine Vielzahl von Assistenz- und Komfortfunktionen sowie Fahrdynamikunterstützungen eingeführt werden [2]. Die Firma Continental prognostiziert zum Beispiel durch



**BILD 1** Riemenstartergenerator (© Tectos)

den Einsatz effizienter Betriebsstrategien für seinen 48-V-RSG-Eco-Drive (CR) eine Kraftstoffersparnis im zweistelligen Bereich [3].

Ein weiterer Grund für die Einführung des Mehrspannungsbordnetzes, bestehend aus 12-V- und 48-V-Ebene, ist die Sicherstellung der Bordnetzstabilität vor dem Hintergrund autonomer Fahrfunktionen mit einer Vielzahl von zusätzlichen, elektronischen Komponenten. Ein redundantes Energiesystem ist eine Grundvoraussetzung für die Sicherheit des autonomen Fahrens. Eine zentrale Komponente des 48-V-Bordnetzes ist dabei der RSG.

Bertrandt hat Anfang 2017 beschlossen, sein Leistungsspektrum hinsichtlich E/E-Komponenten-Test zu erweitern und in die Absicherung von 48-V-Startergeneratoren zu investieren. In Eigenregie wurde ein Prüfstand spezifiziert und entwickelt, der den Stand der Technik sowie zusätzliche Funktionen wie Cloudfähigkeit abbildet, **BILD 1**.

## AUFBAU UND TECHNISCHE ECKDATEN DES PRÜFSTANDS

Der Prüfstand ist für riemen- oder direktgetriebene 48-V-RSG mit einer Grenzleistung von 30 kW und einem maximalen Drehmoment von 100 Nm bei einer Spannungslage von wahlweise 14, 24 oder 48 V ausgelegt. Die Lastmaschine verfügt über einen Vier-Quadrantenbetrieb mit Grenzleistung von 94 kW, ein maximales Drehmoment von 120 Nm und eine maximale Drehzahl von 20.000 1/min.

Der Prüfstand kann mit 14 V-, 48 V-, optional auch mit 24-V-Spannungslage betrieben werden. Bei Bedarf sind auch

höhere Spannungen bis 60 V abbildbar. Der Prüfstand verfügt über einen wahlweise drehzahl- oder drehmomentgeregelten Betrieb. Die bidirektionale Quelle/Senke-Einheit hat eine Maximalspannung von 62 V, einen Maximalstrom von 600 A und kann eine maximale Leistung von 32 kW darstellen.

Zur Erweiterung des Spektrums für die Nutzung als Systemtestplatz verfügt der Prüfstand über die optionale Anbindung einer 14-V- und einer 48-V-Fahrzeugsbatterie sowie eines 48-V-Supercaps. Die Anbindung von DC/DC-Wandlern ist ebenfalls möglich.

Der Temperaturbereich der integrierten Klimakammer reicht von -30 bis +130 °C. Der Kühlkreislauf für flüssigkeitsgekühlte Prüflinge verfügt über einen Temperaturbereich von +10 bis +120 °C.

## MECHANISCHER AUFBAU

Für den mechanischen Aufbau des Prüfstands konnte Bertrandt das Grazer Unternehmen Tectos als Partner gewinnen. Um den besonderen schwingungstechnischen Herausforderungen zu begegnen, wurde ein zweigeteiltes Konzept entwickelt, das den Anforderungen, den Prüfstand in eine Klimakammer zu integrieren, mehr als gerecht wurde.

Wegen der mechanischen und galvanischen Entkopplung besteht der Aufbau aus zwei Teilen: der Aufnahme der Belastungseinheit und der Prüflingsaufnahme in die Klimakammer. Die High-

Speed-Gelenkwelle ist mit der Belastungseinheit verbunden und sorgt für eine entkoppelte Prüflingsaufnahme in der Klimakammer. Für diesen Zweck wurde eine speziell entwickelte, schwingungstechnisch, elektrisch und thermisch entkoppelte Gleichlaufgelenkwelle mit einem Mittelelement aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) verwendet. Die Aufnahme der Belastungseinheit besteht aus einem schwingungsoptimierten, auf Luftfedern gelagerten Rahmen, der den sogenannten Dynamometer, ein Highspeed-Zwischenlager und den Messflansch trägt. Um Messfehler zu minimieren, wurde der Messflansch zwischen dem Prüfling und dem Zwischenlager positioniert. Die Verbindung von Zwischenlager und Dynamometer erfolgt ebenfalls mit einer Gleichlaufgelenkwelle. Die Prüflingsaufnahme ist elektrisch von der Klimakammer isoliert und sitzt auf einem massiven, in der Klimakammer verspannten Rahmen. Dieser Aufbau, kombiniert mit eigens entwickelten Hochdrehzahlgelenken, gewährleistet einen optimalen Betrieb bis 20.000 1/min, **BILD 2**.

Trotz schwingungsoptimiertem Rahmen und Belastungsstrang stellen die Vibrationen des Gesamtsystems in Kombination mit dem Prüfling bei höheren Drehzahlen eine große Herausforderung dar. Kritische Schwingungsresonanzen können auch durch den Prüfling selbst, bedingt durch Toleranzketten in der geometrischen Bauform, statische und dynamische Unwuchten sowie unzurei-



**BILD 2** Gleichlaufgelenkwelle mit GFK-Element (© Tectos)



**BILD 3** Schnittdarstellung Prüfstandmechanik  
(© Bertrand)

chender Wuchtgüte hervorgerufen werden. Sind Schwingungsresonanzen zu erwarten, besonders bei der Erstinbetriebnahme von Prototypen, dann ist die erste Maßnahme, eine Schwinguntersuchung des Gesamtsystems mittels am Prüfling und Antriebsstrang angebrachten 3-D-Beschleunigungssensoren durchzuführen. Dadurch werden die Resonanzfrequenzen des Systems identifiziert. Durch Betriebswuchten des Belastungsstrangs, zusammen mit angeschlossener Prüfling und der Verwendung eines gewichtsoptimierten Adapters zum Anschluss des Prüflings an die Antriebswelle, kann den identifizierten Eigenresonanzen entgegengewirkt werden. Wenn das nicht möglich ist, werden die den Resonanzfrequenzen entsprechenden Drehzahlen bei Prüfungen nicht angefahren und Ausfälle können somit zuverlässig vermieden werden, **BILD 3**.

## SOFTWARE

Die Software ist eine Eigenentwicklung auf Basis von Labview. Bei der Programmierung wurde besonderen Wert auf

einen modularen Aufbau gelegt. Der Vorteil dieses Konzepts liegt in der schnellen und passgenauen Umsetzbarkeit von kundenspezifischen Wünschen oder Adaption an neue Funktionen, Prüflinge oder Komponenten einerseits und in der effizienten und automatisierten Abarbeitung von Testfolgen andererseits.

Das Programm besteht aus zwei Teilen. Der Mess- und Steuerungskern ist auf dem Echtzeit-Messsystem von National Instruments implementiert und übernimmt die Datenerfassung sowie Steuerung und Überwachung der Prüfstandskomponenten. Der zweite Teil läuft auf dem Kontrollrechner in der Leitwarte. Hier können Konfiguration und Bedienung des Prüfstands über eine grafische Benutzeroberfläche umgesetzt werden. Das Programm ist sowohl für den Handbetrieb als auch für den automatisierten Abruf von definierten Testfällen ausgelegt. Alle Testfälle wurden gemäß vorliegenden Standards und Kundenanforderung eigenständig programmiert und umgesetzt. Die Auswertung und Visualisierung der Messdaten sowie die automatisierte Generierung der Prüfberichte

erfolgen skriptgesteuert über das Programm DIAdem.

Eine Herausforderung für die Funktionalität der Prüfstandssoftware stellt die Integration der RSG-Prüflinge in den Nachrichtenkatalog der Bordnetzkommunikation dar. Diese Komponenten benötigen über CAN-Schnittstellen bestimmte Signale aus dem Sicherheits- und Energiemanagement des jeweiligen Fahrzeugherstellers und besitzen eine OEM-spezifische CAN-Checksumme. In den meisten Fällen lassen sich solche Prüflinge nur mithilfe von OEM-Vector-CANoe-Konfigurationen in Betrieb nehmen und ansteuern. Um diese Prüflinge dennoch im automatisierten Testbetrieb einzusetzen, wird an den Prüfstand die CANoe-Software mit der Prüfstandssoftware über einen internen CAN-Bus verbunden und angesteuert.

## LEISTUNGSUMFANG

Der Prüfstand ist für Dauerläufe, Funktionsprüfungen, Sonder- und Missbrauchstests sowie für klassische Standardversuche für E-Maschinen konzipiert. Dazu gehören unter anderem Leistungskennlinien, Wirkungsgradkennfelder, Dauerlauf- und Funktionsprüfungen nach Motor- oder Fahrzeugdauerlaufversuchen, **BILD 4**. Weiterhin ist der Prüfstand in der Lage, spezielle Versuche durchzuführen, die das Regelverhalten der RSG-Leistungselektronik überprüfen. Hier können frei wählbare, charakteristische Elektronik- und Funktionsparameter ermittelt werden.

Ein besonders sinnvoller und notwendiger Einsatzbereich des RSG-Komponentenprüfstands sind sogenannte Benchmarkuntersuchungen. Dazu werden unter definierten und wiederholbaren Bedingungen Tests durchgeführt, um die technisch physikalischen Eigenschaften von Komponenten verschiedener Hersteller untereinander vergleichen zu können. Alle Prüfungen erfolgen nach der Norm VDA320 [4].

## WIRKUNGSGRADAUSLEGUNG

Durch die Anbindungsmöglichkeit von 48-V-Energiespeichern (Li-Ionen-Batterie oder Supercap) und Wandlern können über den klassischen Komponentenversuch hinaus auch Systemfunktionen im Mehrspannungsbordnetz abgesichert werden. Dazu gehören besonders Start-

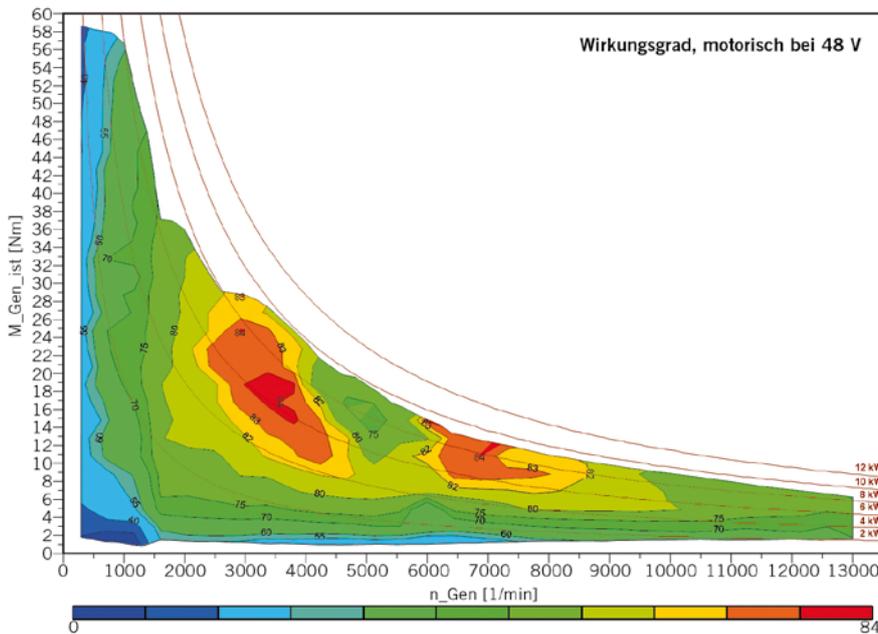


BILD 4 Standardmessung Wirkungsgradkennfeld (© Bertrandt)

und Rekuperationsfunktionen. Auch hier spielt die Vergleich- und Wiederholbarkeit der Messungen eine große Rolle. So können zum Beispiel für Startversuche Originalkabelsätze und -starterbatterien von den zu untersuchenden Fahrzeugkonstellationen in den Aufbau integriert werden, um hochgenaue Wirkungsgradaussagen zu Maschine und Wandler über das gesamte Temperaturspektrum zu generieren.

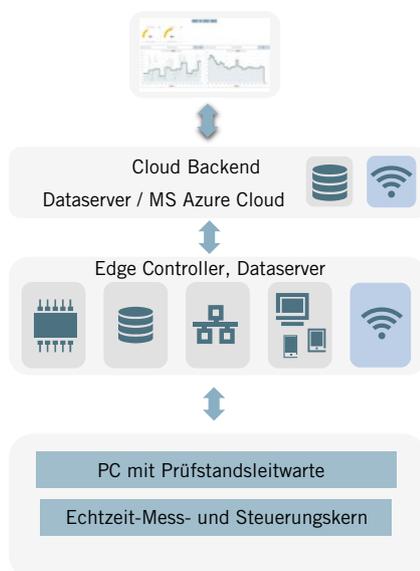


BILD 5 Cloud-Architektur des Prüfstands (© Bertrandt)

## CLOUD-ARCHITEKTUR UND REMOTE-FUNKTIONEN

Bertrandt nutzt MS-Azure-Cloud-Dienste. Im Zuge der Digitalisierung der Geschäftsprozesse sind bereits mehrere Anwendungsfälle in die Cloud integriert worden. Dazu gehört das Energiemanagement für den Komponentenversuch sowie das elektrische Laden von Fahrzeugen.

Die Integration einer Monitoring-Funktion für den 48-V-RSG-Prüfstand in die Cloud bietet Testingenieuren und Kunden Einblicke in die Verläufe der beauftragten Messungen. Ergänzt um eine Webcam, können konkrete Eindrücke zum Status der Messungen eingesehen werden. Für Kunden werden „Nur-Lese-Cloud-Dienste“ bereitgestellt. Ein aktiver Eingriff in den Verlauf der Messungen ist nicht vorgesehen.

Am Prüfling applizierte Sensoren liefern Signale an die Realtime-Umgebung der Messsoftware LabView, die wiederum den Prüfstand steuert. Über Ethernet werden die Messdaten an einen Windows-PC gesendet, wo sie aufbereitet und dargestellt werden. Die Aktualisierung der grafischen Darstellungen und statistischen Auswertungen geschieht im Sekundentakt.

Vom PC erfolgt die weitere Übertragung im XML-Format und sicher verschlüsselt in eine virtuelle Maschine in

der Azure-Cloud. Hier sind die notwendigen Vorkehrungen für die IT- und Datensicherheit implementiert. Aus der virtuellen Maschine werden die Daten wieder im XML-Format an den Webbrowser gesendet.

Das Login zum Prüfstand-Monitoring im Internet erhält der Kunde über einen QR-Code auf sein Smartphone. Der Zugang zum Monitoring ist zeitlich eingeschränkt gültig und kann per Ticketabruf verlängert werden, BILD 5.

## AUSBLICK

Dem Trend Elektrifizierung des Antriebsstrangs folgend investiert Bertrandt in den Aufbau eines neuen Prüfzentrums, das nach heutigem Planungsstand im Jahr 2020 nutzbar sein wird. Dort werden künftig auch die 48-V-RSG-Prüfstände als Teil der Testaktivitäten rund um die Hybrid- und Elektromobilitätsaktivitäten angesiedelt sein.

## LITERATURHINWEISE

- [1] McCay, B.: 48 V Architectures for Enabling High Efficiency. Online: [https://www.theicct.org/sites/default/files/Panel%20-%20Brian%20McKay\\_48V.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/Panel%20-%20Brian%20McKay_48V.pdf), aufgerufen am 14.01.2019
- [2] ZVEI. Online: [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2015/dezember/48-Volt-Bordnetz\\_-\\_Schlüsseltechnologie\\_auf\\_dem\\_Weg\\_zur\\_Elektromobilitaet/ZVEI-Leitfaden-48-Volt-Bordnetz-2015.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2015/dezember/48-Volt-Bordnetz_-_Schlüsseltechnologie_auf_dem_Weg_zur_Elektromobilitaet/ZVEI-Leitfaden-48-Volt-Bordnetz-2015.pdf), aufgerufen am 14.01.2019
- [3] Continental. Online: <https://www.continental-corporation.com/de/produkte-und-innovationen/innovationen/elektromobilitaet/48volt-eco-drive-114908>, aufgerufen am 14.01.2019
- [4] Hier werden Anforderungen und Prüfungen für elektrische und elektronische Komponenten im Kraftfahrzeug, im 48-V-Bordnetz, beschrieben. VDA. Online: <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/vda-320---komponenten-f-r-die-entwicklung-eines-48v-bordnetzes.html>, aufgerufen am 14.01.2019



DIESER BEITRAG IST IM E-MAGAZIN VERFÜGBAR UNTER:

[www.emag.springerprofessional.de/atz](http://www.emag.springerprofessional.de/atz)