

Brennstoffzellen-Antrieb Funktionsprüfung



HV Strom- und Spannungsmessung

Brennstoffzellenfahrzeuge sind ein wesentlicher Bestandteil der Elektromobilität. Die Kernkomponente des Antriebs ist der elektrochemische Reaktor, der Brennstoffzellen-Stack. Auf Prüfständen wird die Inbetriebnahme durchgeführt und alle wesentlichen Funktionen getestet. Danach werden die Anforderungen an den gesamten Brennstoffzellen-Antrieb mit einer System-Validierung überprüft. Alle Grunddaten des Brennstoffzellen-Antriebs werden hochgenau gemessen und die Leistungsparameter nachgewiesen.

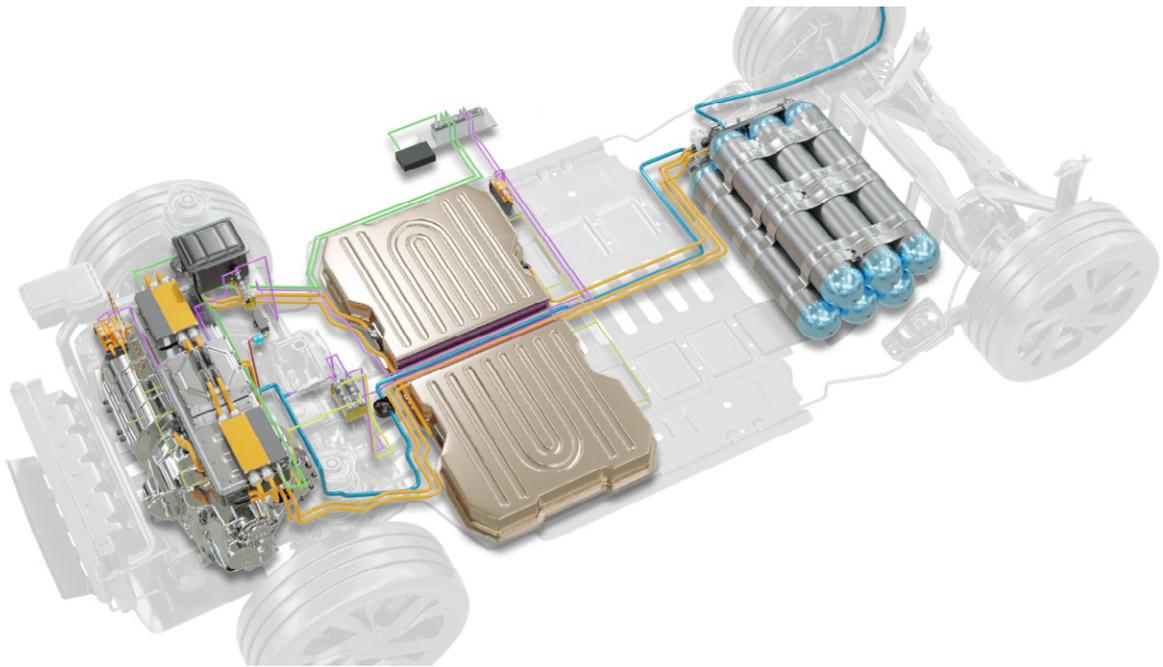


Abb. 1: Brennstoffzellenfahrzeug ausgerüstet mit CSM HV Messtechnik und HV Breakout-Modulen

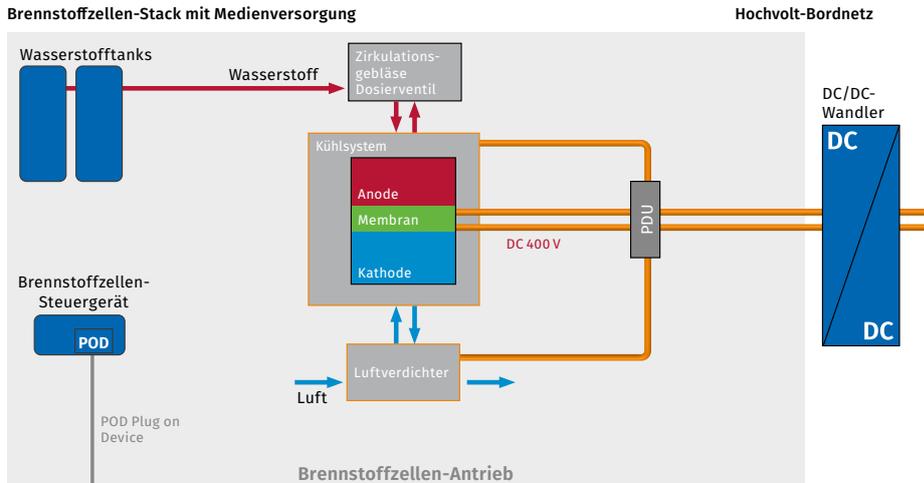


Hintergrund

Der Brennstoffzellen-Stack besteht aus einem Stapel von einzelnen Brennstoffzellen. In jeder dieser in Serie geschalteten Zellen wird in einer sogenannten „kalten Verbrennung“ die chemische Reaktionsenergie des kontinuierlich zugeführten Wasserstoffs und Luftsauerstoffs in elektrische Energie umgewandelt.

Dazu bedarf es eines genau arbeitenden Versorgungs-Systems, das Wasserstoff, Luftsauerstoff und Feuchtigkeit fein geregelt zuführt. Der Stack wird über ein Kühlsystem, das auch eine Heizung enthält, konditioniert.



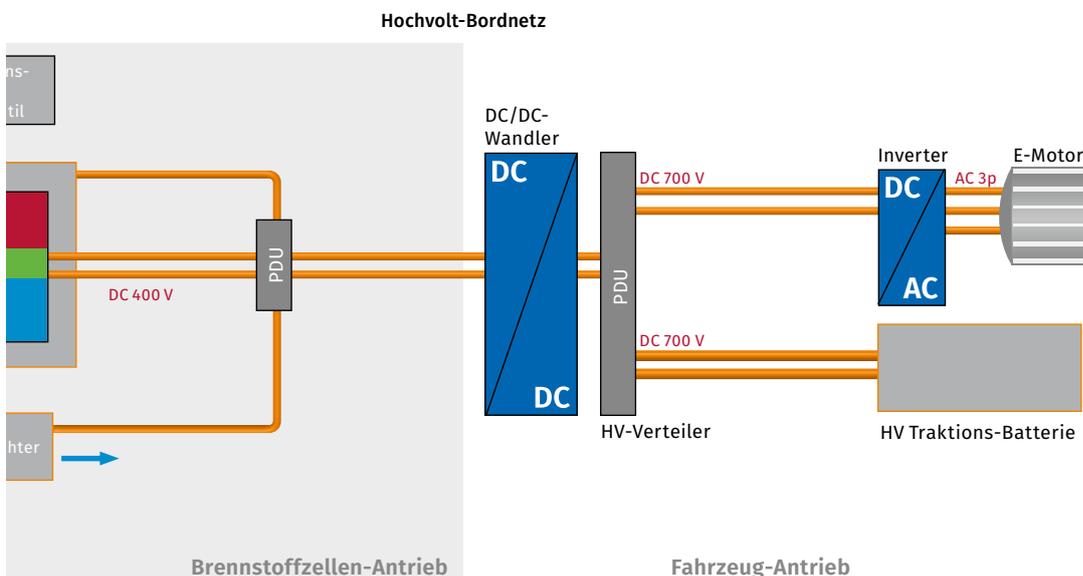


Der Brennstoffzellen-Strom ist ein Maß für die auftretende Stromdichte im Stack. Je nach Charakteristik der Brennstoffzelle führt der Ausgangsstrom der Brennstoffzelle zu einer aktuellen Brennstoffzellenspannung die synchron gemessen werden muss. Diese sogenannte Stapelspannung setzt sich aus der Anzahl der Brennstoffzellen im Stack zusammen. Ohne Leistungsabgabe hat der Brennstoffzellen-Stack eine bestimmte Leerlaufspannung die ebenfalls in allen Testabläufen kontrolliert wird.

Die Energie wird an den DC/DC-Wandler abgegeben, der alle weiteren Hochvolt-Aggregate und Komponenten eines Fahrzeuges bedient. Sie sind über das Hochvolt-Bordnetz miteinander verbunden. Die Leistungselektronik des DC/DC-Wandlers enthält ebenfalls wichtige Funktionen, wie die Einstellung des Stack-Sollstromes für den jeweiligen Betriebsmodus. Der DC/DC Wandler enthält weiterhin einen Hochsetzsteller, beispielsweise auf 700 V für den Motor-Antriebsstrang (Inverter und E-Motor) und die Traktionsbatterie.

Der Brennstoffzellen-elektrische Antrieb ist meist eine eigene komplette Zulieferkomponente eines Fahrzeugs. Im Verbund mit den anderen Komponenten des Fahrzeug-Antriebsstranges ergibt sich die Gesamt-Fahrzeugleistung und -dynamik. Die Kenndaten, Funktionen und Eigenschaften des Brennstoffzellen-Antriebs werden auf Prüfständen bis zur Auslieferung mit unterschiedlichen Tests nachgewiesen.

Brennstoffzellen-elektrische Fahrzeuge verfügen in der Regel über diverse Betriebsmodi, je nach der gewählten Betriebsstrategie und der gewählten Fahrdynamik. Der Brennstoffzellen-Stack liefert die notwendige elektrische Energie sowohl für den Fahrtrieb als auch das Aufladen der Batterie.





Herausforderung

Die Funktionstests umfassen alle Betriebsfunktionen wie Kühlkreislauf, Kühlregelung, Heizung, Wasserstoffpfade (Anodenpfad), Luftpfade (Kathodenpfad), Hochvoltpfade, Sensorik und Brennstoffzellensteuergerät. Zur Funktionsprüfung und Validierung des Brennstoffzellen-Antriebssystems ist die hochgenaue Messung von unterschiedlichsten physikalischen Parametern erforderlich. Neben Temperaturen, Volumenströmen, Feuchte und Drücken sind Hochvolt-sichere Messungen von hohen Strömen, Spannungen in den Hochvoltpfaden notwendig. Daraus werden die abgegebene Energie, die Leistung und der Wirkungsgrad berechnet.

Die einzelnen Subsysteme für Wasserstoff, Luft und Kühlkreislauf werden einzeln in Betrieb genommen und appliziert. Für den Start des Brennstoffzellen-Systems wird ein definierter Anfahrprozess durchgeführt. Danach werden die spezifischen Systemfunktionen getestet: Kaltstartverhalten, Warmlaufphasendauer, Betriebspunkte, Thermomanagement oder die Kühlkreisläufe. Eine Funktionsprüfung weist nach, ob sich das System so verhält wie es sollte, beispielweise ob alle Regelungsparameter richtig eingestellt sind.

Mit der Validierung werden die System-Anforderungen wie Leistungsparameter, Reaktionsgeschwindigkeit bei Laständerungen oder Lebensdauer mit Versuchen und Dauerläufen nachgewiesen.

Durch die Strom- Spannungs-, und Leistungsmessung wird der korrekte Betrieb in den verschiedenen Betriebsphasen geprüft. Beispielsweise der Kennlinienverlauf der Leistung während der Warmlaufphase, für Anfahren, Lastwechsel, Teillast- und Spitzenlast sowie verschiedener anderer markanter Betriebspunkte.

Die auftretende Spannungswelligkeit im HV-DC-Kreis muss überprüft werden, denn für Größe und Steilheit sind Grenzen definiert. Auch die erlaubte Ripplestrombelastung beispielweise im Spitzenlastbetrieb muss verifiziert werden.

Mit der Messung von Strömen, Spannungen und Leistungen in den Hochvoltpfaden werden auch alle transienten Vorgänge überprüft. Beispielsweise beim Einschalten des Brennstoffzellenstacks oder dem Zuschalten von Aggregaten wie dem Luftverdichter oder der Kühlsystemheizung. Hier müssen die Strom- und Spannungskurven mit einer hohen Abtastrate von 1 MS/s betrachtet werden um Spannungseinbrüche, Amplitudenflanken, Ripplegrößen und störende subharmonische Frequenzanteile zu bewerten.

Letztlich werden die spezifizierten Wirkungsgradkennlinien des Brennstoffzellen-Antriebs nachgewiesen. Der Wirkungsgrad ist die abgegebene Energie im Verhältnis zum verbrauchten Wasserstoff. Er ist abhängig vom Lastpunkt und der optimalen Versorgung mit den unterschiedlichen Medien: Wasserstoff, Luftsauerstoff, Feuchtigkeit und Kühlung. Eine nichtoptimale Versorgung, beispielweise der Stackbefeuchtung, führt zu einem Abfall der Stapelspannung.

Durch die genaue Messung und Analyse von Strom, Spannung, Leistung und Wirkungsgrad werden alle systemrelevanten Performance-Parameter des Brennstoffzellen-Antriebs verifiziert und nachgewiesen.

 CSM Messtechniklösung

Zur direkten Strom-, Spannungs-, und Leistungsmessung wird ein **Breakout-Modul HV BM 1.2** in die HV+ und HV- Leitungen zum DC/DC Wandler und zur Batterie eingesetzt. Weitere Breakout-Module HV BM 1.1 messen die Ströme des Luftverdichters und des Kühlsystems. Die einfache Strommessung kann über CAN Abtastwerte von beispielsweise 1 kHz durchgeführt werden. Für schnelle Messungen von Strom, Spannung und Leistung bis 1 MS/s sind die HV BM ebenfalls über EtherCat vernetzt. Für die Strommessungen innerhalb von Nebenaggregaten können **CSM LEM-Sensorkpakete** verwendet werden, die über **AD4 ECAT MiniModule** anzuschließen sind (In Abbildung 3 nicht dargestellt).

Die Abtastwerte der Breakout-Module und der LEM-Sensorkpakete und AD4 ECAT Module werden mit einem **XCP Gateway** gebündelt und über



Abb. 3: HV Breakout-Modul 1.2 für die Messung von Strom, Spannung und Leistung in den getrennten HV+ und HV- Leitungen zwischen Brennstoffzellen-Stack und DC/DC Wandler.



Abb. 2: Mit einem XCP-Gateway 4S pro werden die EtherCAT-Daten synchronisiert und erfasst sowie die CAN-Daten gebündelt.

XCP-on-Ethernet (XCPoE) an die Prüfstandssoftware übertragen.

Mit den AD4 ECAT MiniModulen werden gleichzeitig alle weiteren Spannungen gemessen die für die Verifizierung notwendig sind. An der Stackversorgung werden mit weiteren CSM Nieder- und Hochvolt-Modulen alle wichtigen physikalischen Parameter der Medienversorgung gemessen. Die Sensoren zur Messung von Volumenströmen, Druck und Feuchtigkeit sind an konventionelle AD4 und HV AD CAN MiniModule angeschlossen. Temperaturen werden an hochvoltkritischen Stellen über **HV TH8 evo** Module gemessen. An Hochvolt-unkritischen Stellen wird mit **THMM 16** MiniModulen gemessen.

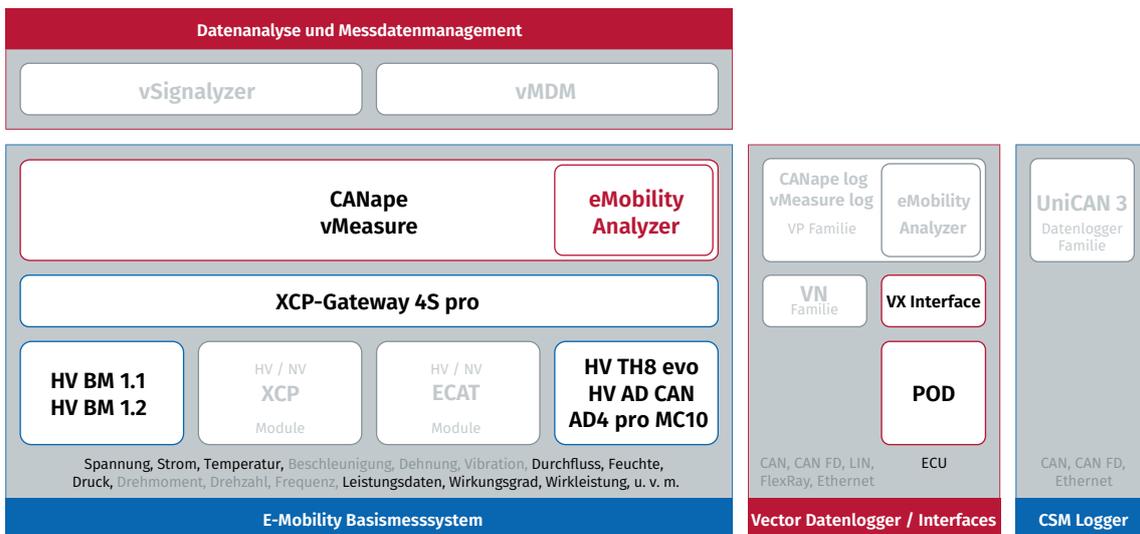


Abb. 4: Die Brennstoffzellen-Antrieb Funktionsprüfung in der Systematik des Vector CSM E-Mobility-Messsystems

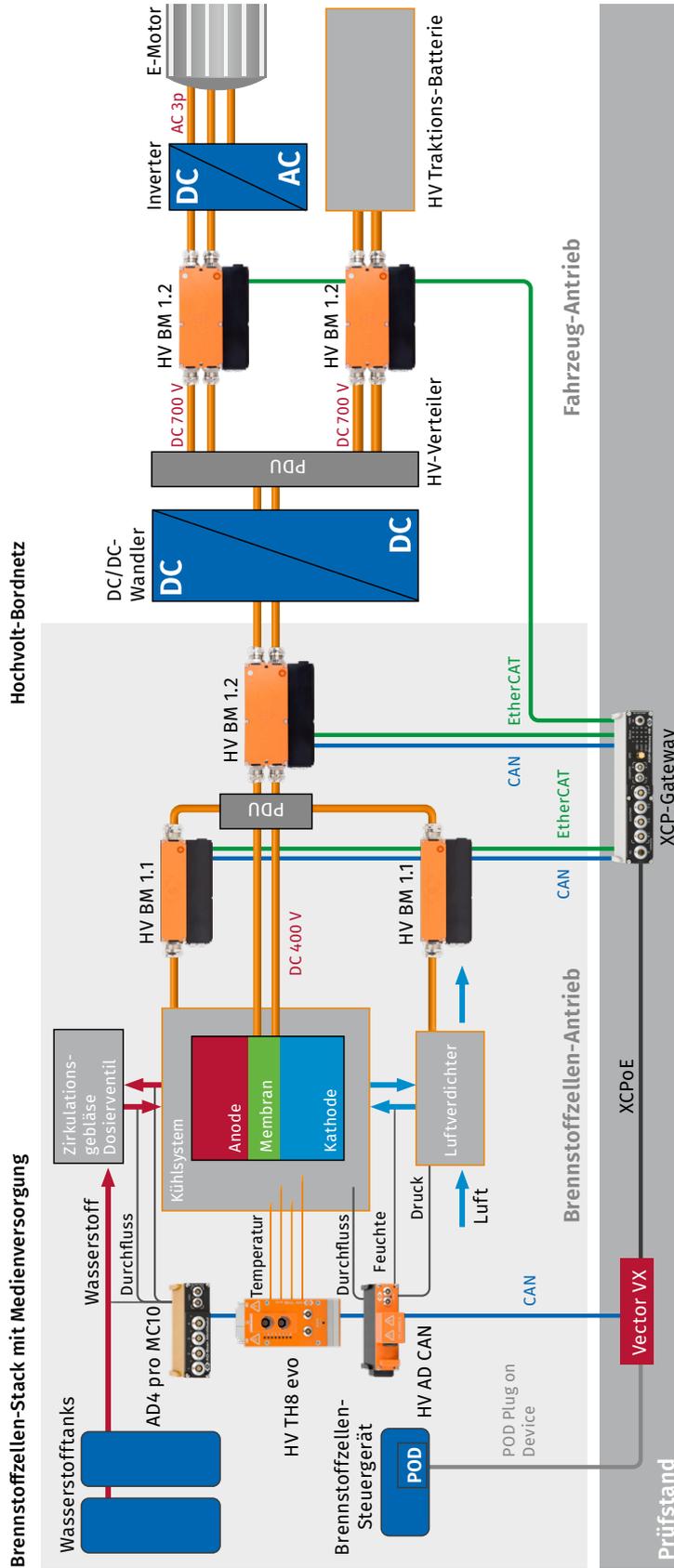


Abb. 5: Brennstoffzellen-Antrieb auf dem Prüfstand. Der Brennstoffzellen-Stack liefert den notwendigen Strom über einen HV Stromverteiler (PDU, Power Distribution Unit) für alle anderen Komponenten. Verbraucher sind die HV Aggregate für die Medienversorgung des Stacks: HV Kühlsystem, HV Luftverdichter und weitere für Tests angeschlossene Komponenten. CAN Mini Module messen Volumenströme, Drücke und Temperaturen der unterschiedlichen Medienpfade: Wasserstoffpfad, Luftpfad, Kühlmittelpfad. Die HV Verbraucherströme der Kühlmittelpumpe, Heizung und des Luftverdichters werden mit HV Breakout-Modulen gemessen. Ein HV Breakout-Modul misst Strom und Spannung zum DC/DC-Wandler, mit denen die abgegebene Energie berechnet wird.

An den Brennstoffzellen-Antrieb sind im Fahrzeug sowohl der DC/DC Wandler, die Traktionsbatterie als auch die Elektromotoren (E-Achse) angeschlossen. Er versorgt die jeweiligen HV Komponenten mit Energie entsprechend dem Betriebsmodus. In der obigen Abbildung auf der rechten Seite ist der gesamte Fahrzeug-Antriebsstrang für Versuche angeschlossen. Mit weiteren Breakout-Modulen werden die jeweiligen HV Pfad-Ströme und Spannungen gemessen.



Vorteile

Mit den konventionellen- und Hochvolt-Messmodulen von CSM kann der Prüfstand genau nach den Mess-Anforderungen ausgerüstet werden. Hochvolt-Messmodule werden an HV Komponenten eingesetzt, in denen an Hochvolt-kritischen Stellen gemessen wird. Schnelle EtherCAT Messmodule erlauben eine hohe Abtastrate.

Hochvolt-Breakoutmodule ermöglichen die direkte Messung von hohen Strömen, Spannungen und der Leistung in der HV-Leitung. Die Abtastwerte werden über CAN oder für schnelle Messungen bis 1 MS/s über EtherCAT an den Prüfstand gesendet.

Für Strommessungen an Bauraum-Engstellen werden CSM LEM Sensorpakete eingesetzt. Diese

Stromwandler sind über ein CSM ADMM4 Messmodul angeschlossen, das ebenfalls die gleichzeitige Spannungsmessung ausführt.

Die Einbindung in eine Prüfstandssoftware wie ETAS INCA zur schnellen Messung ist denkbar einfach: Die Software-Ergänzung CSM INCA AddOn ETH ermöglicht eine einfache Integration der CSM Messmodule in die Mess- und Verstellsoftware INCA von ETAS. Die Konfiguration erfolgt dabei über eine angepasste Oberfläche.

Für die genaue Leistungsanalyse ist die Vector Software vMeasure mit dem eMobilityAnalyzer ideal.



Verwendete Produkte

HV Breakout-Modul – Typ 1.2

Das HV Breakout-Modul (BM) Typ 1.2 wurde für einphasige Messungen von Strom, Spannung und Leistung konzipiert. Es ist ideal geeignet für die Messung an großen Verbrauchern wie Elektromotoren, die mit separaten Kabeln für HV+ und HV- ausgestattet sind. Das HV Breakout-Modul 1.2 ist in zwei Versionen zum Anschluss über Kabelverschraubungen oder PL500 Stecksystem (HV BM 1.2C) verfügbar.



AD4 ECAT MM-Serie - Typ IE1000

Das Messmodul AD4 IE1000 ist optimal für genaueste Analysen von hochfrequenten Signalen mit Messdatenraten von bis zu 1 MHz pro Kanal geeignet. Es bietet eine hochgenaue, unipolare und kanalweise einstellbare Sensorversorgung von 5 bis 24 V DC für eine Vielzahl an Sensoren.



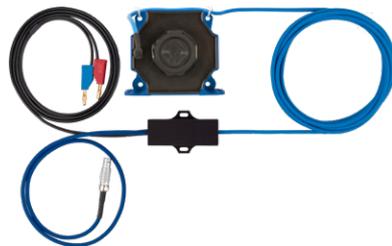
XCP-Gateway-Serie

Die Protokollumsetzer der XCP-Gateway-Serie wurden speziell für die CSM EtherCAT®-Messmodule und für Messaufgaben mit vielen Messkanälen und hohen Messdatenraten entwickelt. Das XCP-Gateway ist in den Versionen „Basic“ und „pro“ erhältlich. Letztere verfügt über zwei CAN- Schnittstellen, über die CAN-basierte CSM Messmodule angeschlossen und in das Messdatenprotokoll XCP-on-Ethernet eingebunden werden können. Zudem können in der "pro"-Version Temperaturdaten aus den HV Breakout-Modulen direkt über EtherCAT® übertragen werden.



LEM-Sensorpaket

Das LEM-Sensorpaket ermöglicht eine schnelle und synchrone Strommessung. Mit diesem anschlussfertigen Sensorpaket lassen sich in Verbindung mit den EtherCAT®-basierten AD4 ECAT Messmodulen hochdynamische Strommessungen (z. B. auch alle drei Phasen an einem Inverter) mit einer Grenzfrequenz von bis zu 200 kHz in einem Messbereich von bis zu ± 1.250 A durchführen.



HV TH8 evo

Das Thermo-Messmodul HV TH8 evo erlaubt sichere Temperaturmessungen mit Thermoelementen an Hochvolt-Komponenten. Mit seinem 19-Zoll-Einschub-Gehäuse und der verstärkten Isolierung bis 1.000V RMS eignet es sich besonders für den Einsatz in Prüfständen.



Komplettlösungen aus einer Hand:

CSM stellt Ihnen umfangreiche Komplettpakete aus Messmodulen, Sensoren, Verbindungskabeln und Software zur Verfügung - zugeschnitten auf Ihre individuellen Bedürfnisse.

Weitere Informationen zu unseren Produkten erhalten Sie auf www.csm.de oder per E-Mail unter sales@csm.de.



CSM GmbH Zentrale (Deutschland)

Raiffeisenstraße 36 • 70794 Filderstadt
☎ +49 711-77 96 40 ✉ sales@csm.de

CSM Büro Südeuropa (Frankreich, Italien)

Site d'Archamps
178, rue des Frères Lumière • Immeuble Alliance – Entrée A
74160 Archamps France
☎ +33 450-95 86 44 ✉ info@csm-produits.fr

CSM Products, Inc. USA (USA, Kanada, Mexiko)

1920 Opdyke Court, Suite 200 • Auburn Hills, MI 48326
☎ +1 248 836-4995 ✉ sales@csmproductsinc.com

CSM (RoW)

Vector Informatik (China, Japan, Korea, Indien, Großbritannien)
ECM AB (Schweden)
DATRON-TECHNOLOGY (Slowakei, Tschechien)
Unsere Partner garantieren Ihnen eine weltweite
Verfügbarkeit. Sprechen Sie uns einfach an.

Unser Unternehmen ist zertifiziert.



Alle erwähnten Marken- und Warenzeichen sind Eigentum ihrer jeweiligen Besitzer.
Irrtum und Änderungen jederzeit ohne Ankündigung vorbehalten.
CANopen® und CiA® sind eingetragene Warenzeichen der Gemeinschaft CAN in Automation e.V.
EtherCAT® ist eine eingetragene Marke und patentierte Technologie, lizenziert durch die
Beckhoff Automation GmbH, Deutschland.