

Wasserstoff im Tank: Viele Messgrößen in einem System auswerten



Brennstoffzellenantrieb

Wenn von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen gesprochen wird, ist meistens ein Brennstoffzellenantrieb gemeint. Dieser erzeugt direkt im Fahrzeug aus dem getankten Wasserstoff den nötigen Strom, um den Elektromotor anzutreiben. Obwohl die chemische Reaktion mit wenigen Stoffen abläuft, müssen für ein ideales Ergebnis bestimmte Bedingungen gegeben sein. Diese betreffen unter anderem die Temperatur, aber auch die Qualität der zugeführten Reaktionsbestandteile. Damit ein maximal effizienter und sicherer Betrieb des Brennstoffzellenantriebs möglich ist, müssen umfassende Messungen – teils Hochvolt-sicher – durchgeführt werden.



Nicht überall konventionelle E-Mobilität passend

Die Wende zur elektrifizierten Mobilität gilt als eine der Hauptmaßnahmen für eine umweltfreundlichere Fortbewegung von Personen und Gütern. Zumeist wird der Elektromotor mit elektrischer Energie, die von einer Batterie als Speicher bereitgestellt wird, angetrieben. Dieses Konzept stößt allerdings in gewissen Kontexten an seine Grenzen – unter

anderem, wenn größere Lasten auf weiteren Strecken in einem engen Zeitrahmen bewältigt werden müssen, für die eine einzelne Batterieladung nicht ausreicht oder wenn für das Laden der Batterie keine Möglichkeit vorhanden ist. Beispiele hierfür sind die Warenlogistik, der öffentliche Personennahverkehr oder auch maritime Anwendungen sowie

die Luftfahrt. Zunehmend in den Fokus rückt daher die brennstoffzellenbetriebene Mobilität. Die im Antriebsstrang verbaute Batterie ist hier vergleichsweise deutlich kleiner und leichter, da sie nicht als primäre Energiequelle, sondern nur als

Zwischenspeicher fungiert. Dieser Aufbau sichert, dass die Brennstoffzelle kontinuierlich Strom produzieren und dadurch langfristig effizient arbeiten kann, während gleichzeitig eine dynamische Fahrweise möglich ist.



Andere Technik, andere Herausforderungen

Da der im Fahrzeug verbaute Brennstoffzellenstack direkt aus der chemischen Reaktion von Wasserstoff und (Luft-) Sauerstoff den benötigten Strom erzeugt, der für den Antrieb des E-Motors benötigt wird, müssen weitreichendere Tests durchgeführt werden als bei reinen batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen. Für eine ideale Versorgung des Fahrzeugs mit Strom, muss die Energie aus der chemischen Reaktion in verschiedensten Fahrsituationen und unter wechselnden Umgebungsbedingungen optimal genutzt werden. Neben der Temperatur

von Wasserstoff und der zugeführten Luft spielen auch Feuchte, Druck und Durchfluss eine wichtige Rolle. Durch die genaue Messung dieser Größen kann untersucht werden, ob die Komponenten zur Anpassung von Luft und Wasserstoff wie gewünscht funktionieren oder bestimmen, wie stark die Werte abweichen dürfen, bevor ein einwandfreier Betrieb des Brennstoffzellenantriebs nicht mehr möglich ist. Darüber hinaus müssen die Messungen zum Teil wegen der hohen Systemspannungen von elektrischen Antrieben Hochvolt-sicher ausgeführt werden.



Komplexe Komponenten erfordern viele Messungen

Beim Brennstoffzellenantrieb handelt es sich um ein technisch komplexes System mit vielen Komponenten. Im vorliegenden Beispiel soll dabei der Fokus auf der messtechnischen Untersuchung des Brennstoffzellensystems liegen. Man unterscheidet analog zur chemischen Reaktion die Bestandteile des Systems, die der Wasserstoff- oder der Luftzufuhr dienen: Die Komponenten des Wasserstoffpfades werden auch Anodenpfad, die

des Luftpfades Kathodenpfad genannt. Ein zusätzliches kombiniertes Kühl- und Heizsystem sorgt für ideale Temperaturen der Reaktionsbestandteile, während im elektrischen Pfad die erzeugte Energie an den Antrieb beziehungsweise direkt an den Elektromotor oder auch an die Puffer-Batterie weitergegeben wird.

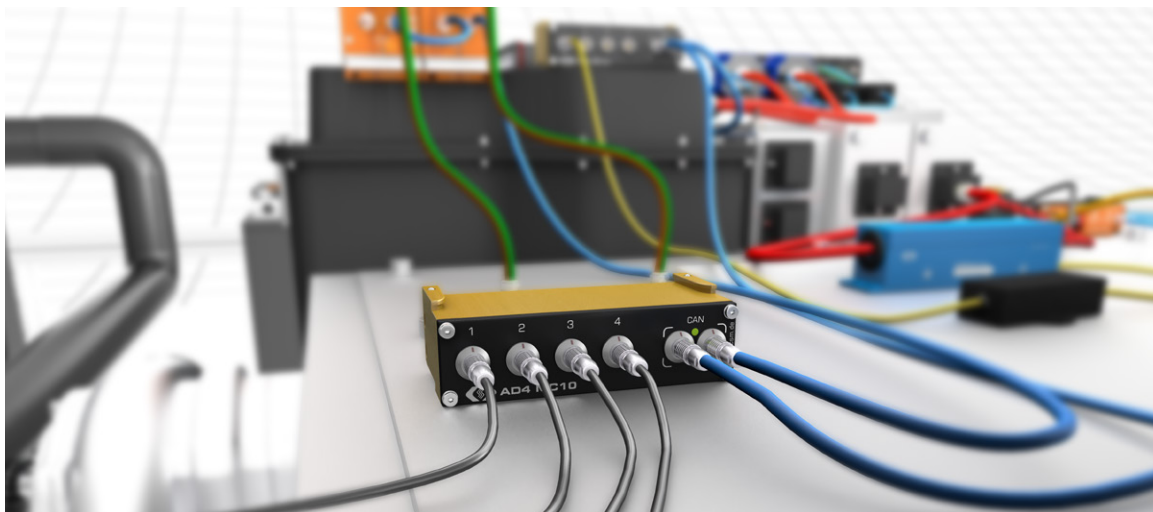
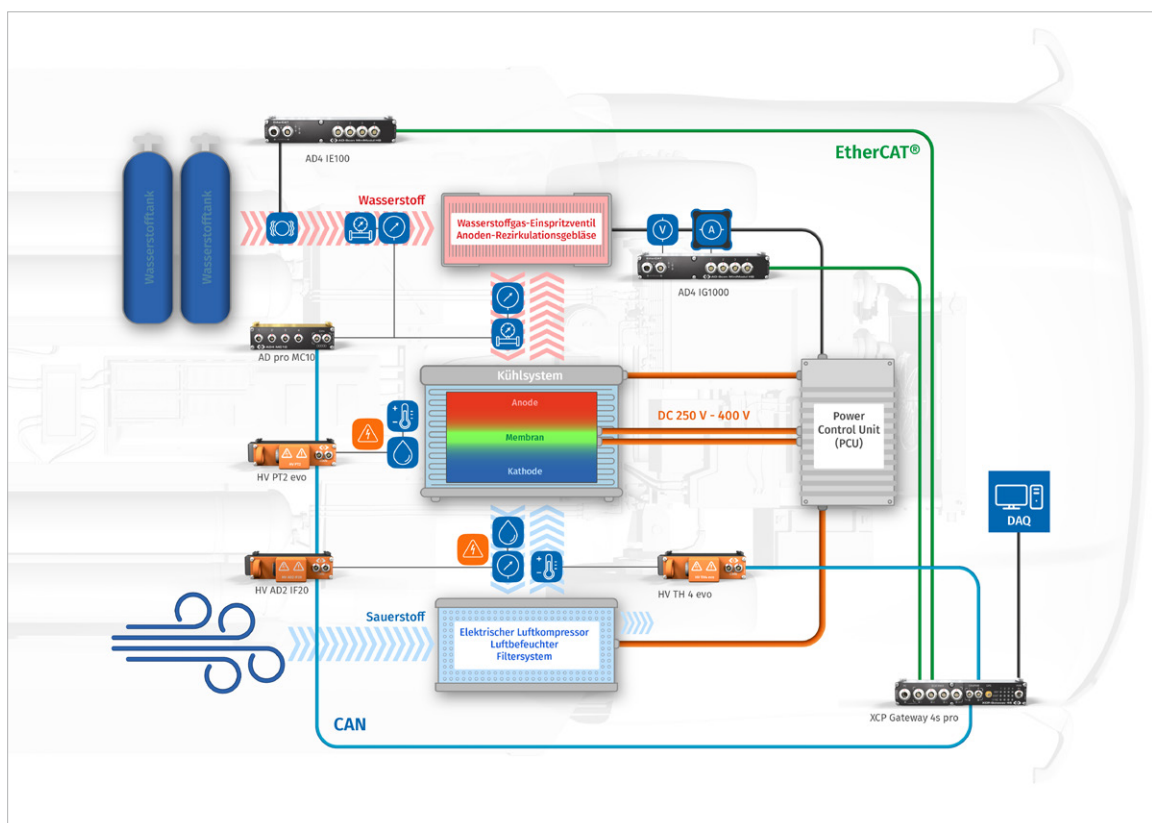


Abb. 1: AD Messmodul für die Erfassung von Druck und Durchfluss im Anodenpfad.

Wie muss der Wasserstoff idealerweise im System ankommen?

Beim Wasserstoff-/Anodenpfad werden die Bedingungen der Wasserstoffzufuhr ins System untersucht. Dazu gehören der Druck, der Durchfluss sowie daraus resultierend die Menge des flüssigen Wasserstoffs über den betrachteten Zeitraum. Gemessen wird dafür mit geeigneten Sensoren in der Zuleitung aus dem Tank zum Zirkulationsgebläse und am Dosierventil. Die Messwerte werden mit einem AD Messmodul erfasst und über den CAN-Bus weitergegeben. Die Druck- und Durchflusssensoren werden hierbei direkt vom AD Messmodul mit der passenden Sensorspeisung versorgt, sodass keine separate Spannungsversorgung für die Sensoren notwendig ist. Mit einem LEM-Sensorkpaket und einem weiteren ECAT AD Modul wird zudem die Leistungsaufnahme des Zirkulationsgebläses gemessen. Der LEM-Stromwandler eignet sich aufgrund seiner

hohen Grenzfrequenz von bis zu 200 Kilohertz auch dafür, mögliche hochfrequente Störungen im Bordnetz zuverlässig zu erfassen – und dass bei einer sehr hohen Messgenauigkeit. Das ECAT AD Messmodul stellt hierbei die entsprechend hohe Abtastfrequenz von bis zu 1MHz pro Kanal zur Verfügung. Um festzustellen, welche mechanischen Belastungen durch Vibrationen im realen Betrieb an der Wasserstoffzuleitung herrschen, werden an dieser Stelle IEPE-Beschleunigungssensoren und ein ECAT AD Modul zur Messdatenerfassung angebracht. Dabei stellt die Lösung von CSM auch hier die spezielle Sensorversorgung von IEPE-Beschleunigungsaufnehmern und die benötigte hohe Nutzbandsbreite für die Messungen zur Verfügung. Beide Messwerte werden mit EtherCAT® übertragen.



Hochvolt-sicher messen im Kathodenpfad

Im Luft- oder Kathodenpfad werden entsprechende Komponenten wie der elektrische Luftverdichter in der Regel mit Hochvolt-Spannung betrieben. Die nötigen Messungen müssen dort aus Sicherheitsgründen für Anwender und Geräte mit HV-sicherer Messtechnik durchgeführt werden. Ideale Bedingungen der Luft für die chemische Reaktion sind essenziell, besonders wenn es um die Leistungsfähigkeit der Brennstoffzelle geht. Daher werden mit HV AD Modulen und analogen Druck- und Feuchtigkeitssensoren der Luftdruck und die Luftfeuchte, sowie mit Temperatursensoren (Typ K) und HV TH Modulen die Temperatur der Luft gemessen.

Die speziell für den Einsatz bei hohen Systemspannungen ausgelegten HV-Messmodule stellen hierbei – genau wie ihre Standard-Varianten – die Sensorspeisespannungen für die Sensoren zur Verfügung, isolieren aber zusätzlich sowohl Speisespannung als auch Messsignale galvanisch. Damit lassen sich Standard-Sensoren sicher im Hochvolt-Umfeld einsetzen. Für die Leistungsaufnahme des elektrischen Luftverdichters werden Strom- und Spannung direkt mit den HV Split-Breakout-Modulen erfasst und mittels EtherCAT® weitergegeben. Die kompakten Sensor-Module der HV BM-Split führen hierbei die Strommessung mit dem präzisen Shunt-Verfahren durch und sind darüber hinaus auf Arbeitsspannungen von bis zu 1.000 Volt ausgelegt.

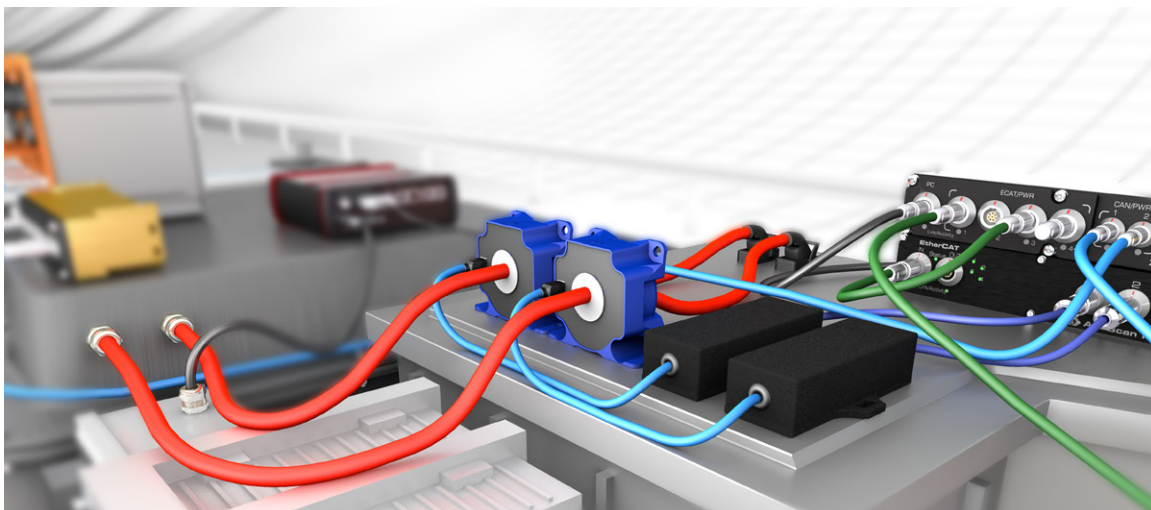


Abb. 2: Mit LEM-Sensorkpaketen und ECAT AD Messmodulen werden Ströme an verschiedenen Aggregaten der Versorgung gemessen.

Kühlsystem und elektrische Leistung des Gesamtsystems betrachten

Auch im Kühlsystem wird auf diese Weise mit weiteren HV Split-Breakout-Modulen die elektrische Leistungsaufnahme gemessen. Da Temperaturen im Kühlmittel sehr präzise erfasst werden müssen, werden an acht Messpunkten mit PT1000 Widerstandssensoren Temperaturveränderungen im Kühlmittel HV-sicher gemessen. Die Kombination aus Hochvolt-sicheren und kompakten PT-Elementen mit schnellen Ansprechzeiten sowie den speziell für PT-Sensoren entwickelten HV PT Messmodulen von CSM, stellt eine hoch präzise Temperaturerfassung unter Hochvolt-Bedingungen

mit einer Genauigkeit von ca. 0,3 Kelvin sicher. Um die Fluktuation des Kühlmittels zu prüfen, werden zusätzlich Messdaten von im Kühlmittel platzierten Drucksensoren mit einem HV AD Modul erfasst. Mit einem HV Breakout-Modul 1.2 werden darüber hinaus Strom- und Spannung im HV-elektrischen Pfad gemessen, um in der weiteren Analyse die Leistung und den Wirkungsgrad des Antriebs auszuwerten.

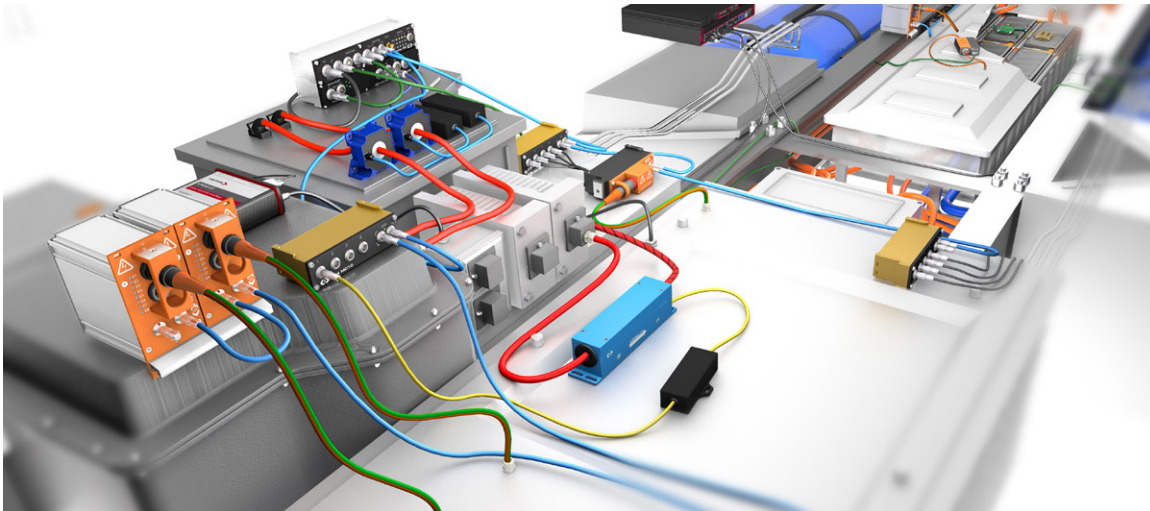


Abb. 3: Mit HV-sicheren Messmodulen und Sensorleitungen können weitere Messgrößen, wie beispielsweise Temperatur, HV-sicher erfasst werden.

Software zur Auswertung als ideale Ergänzung

Für die Analysen der Daten werden die Messwerte aus der CAN- und aus der EtherCAT®-Messkette über XCP-Gateways gebündelt, zeitlich synchronisiert und an einen Messrechner zur Analyse übertragen. Die XCP-Gateways fungieren hierbei als Protokollumsetzer, mit denen sich große Datenströme von vielen Messmodulen auf eine Zeitbasis kanalisieren lassen. Auf diese Weise stehen der Messdatenerfassung alle relevanten Messdaten in einer einzigen Messung zur Verfügung. Mit Softwarelösungen des Vector CSM E-Mobility Messsystems können die gemessenen Daten mathematisch ausgewertet, grafisch dargestellt und unter Berücksichtigung

der jeweiligen Fragestellung geprüft werden. Als maßgeschneiderte Software für CAN- und EtherCAT®-Messmodule von CSM können mit vMeasure direkt verschiedene Untersuchungen, wie die Berechnung des Wirkungsgrads und anderer relevanter Größen für die Auswertung der Leistung durchgeführt werden. Insgesamt bietet die umfassende Datenerfassung unterschiedlichster physikalischer Größen die Möglichkeit für vielseitige Untersuchungen, zum Beispiel, um Korrelationen von elektrischen, thermischen, chemischen und auch digitalen Steuergeräte-Daten zu erkennen.



Skalierbares Messsystem aus Hard- und Software

Mit dem HV- und NV-Messmodulen können alle für die Entwicklung einer Brennstoffzelle relevanten Größen, wie Temperaturen, Ströme, Spannungen, Durchflüsse, Feuchte und Vibrationen präzise, simultan und synchronisiert erfasst werden. Die XCP-Gateways übersetzen die CAN- und EtherCAT®-Daten auf das Standardprotokoll XCP-on-Ethernet: Auf diese Weise können alle Messdatenströme mit gleichem Zeitbezug mit der passenden Vector Software ausgewertet werden. Daneben eignet sich

die verwendete Hardware sowohl für den Einsatz am Prüfstand als auch für den rauen Einsatz im mobilen Fahrversuch. Dafür kann statt eines Messrechners auch ein UniCAN 3 Datenlogger oder ein leistungsstarker Smart-Logger von Vector in den Messaufbau integriert werden. Eine messtechnische Untersuchung des elektrischen Antriebsstrangs inklusive Leistungs- und Wirkungsgradanalysen mit weiteren CSM Messmodulen, wie den HV Breakout-Modulen, ist ebenso denkbar.



Verwendete Produkte

AD pro CAN MM-Serie

Die AD pro CAN MiniModule (MM) erlauben breite Einsatzmöglichkeiten beim Erfassen von Signalen von Sensoren mit analogen Spannungsausgängen (Spannung, Strom, Druck, Durchfluss, etc.). Mit einer Status-LED für jeden Kanal kann der ordnungsgemäße Betrieb leicht überprüft werden. Eine erweiterte Skalierung mit 32 Stützstellen pro Kanal erleichtert die Linearisierung von Sensoren.



AD4 ECAT MM-Serie – Typ OG1000

Das Messmodul AD4 OG1000 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 ± 15 V DC für eine Vielzahl an Sensoren.



HV TH4 evo

Das Thermo-Messmodul HV TH4 evo erlaubt sichere Temperaturmessungen mit Thermoelementen an Hochvolt-Komponenten. Durch seine kompakte Bauform und verstärkte Isolierung bis 1.000 V RMS eignet es sich besonders für den dezentralen Einsatz im Fahrversuch.



HV AD2 evo IF20

Das Messmodul HV AD2 evo IF20 wurde für die Erfassung analoger Spannungssignale im Hochvolt-Umfeld konzipiert. Mit zwei analogen Messeingängen, die jeweils über eine galvanisch getrennte Sensorversorgung verfügen, ist das HV AD2 evo IF20 für ein großes Anwendungsspektrum geeignet.



HV PT Messmodule

Die HV PT Messmodule erlauben hochpräzise Temperaturmessungen mit PT100- und PT1000-Widerstandssensoren im HV-Umfeld. Sie sind ideal für Temperaturmessungen in Batterien, in der Leistungselektronik und in anderen Komponenten von Elektro- und Hybrid-Fahrzeugen. Zusätzlich zur höheren Genauigkeit bieten die PT-Sensoren erweiterte Einsatzmöglichkeiten. Durch den sehr dünnen Aufbau von Folien-PT-Sensoren können beispielsweise Temperaturen besser als mit Thermoelementen direkt zwischen Batteriezellen gemessen werden.



HV BM-Split

Die HV Split-Breakout-Module nutzen die bewährte Technik der HV Breakout-Module und erlauben die Erfassung von Strom, Spannung und Leistung in sehr beengten Bauräumen. Die Komponenten der HV Breakout-Module wurden auf einzelne Sensor- und Messmodule aufgeteilt, die über geschirmte, HV-sichere Sensorleitungen verbunden werden. So können Ströme bis $\pm 2.000\text{ A}$ (Peak) und Spannungen bis $\pm 2.000\text{ V}$ sicher und präzise direkt in den Leitungen und Stromschienen gemessen werden.



HV Breakout-Modul – Typ 1.2

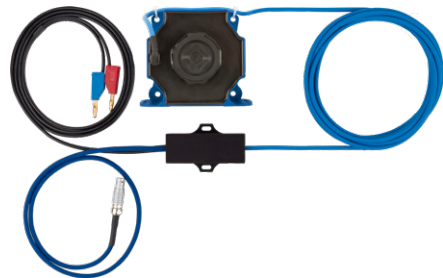
Das HV Breakout-Modul (BM) Typ 1.2 wurde für einphasige Messungen von Strom, Spannung und Leistung konzipiert. Es ist ideal geeignet für die Messung an großen Verbrauchern wie Elektromotoren, die mit separaten Kabeln für HV+ und HV- ausgestattet sind.

Das HV Breakout-Modul 1.2 ist in zwei Versionen zum Anschluss über Kabelverschraubungen oder PL500 Stecksystem (HV BM 1.2C) verfügbar.



LEM-Sensorkpaket

Das LEM-Sensorkpaket ermöglicht eine schnelle und synchrone Strommessung. Mit diesem anschlussfertigen Sensorkpaket 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 $\pm 1.250\text{ A}$ durchführen.



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.



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)

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

CSM Büro Südeuropa (Frankreich, Italien)

ArchParc • Immeuble ABC 1 • Entrée A
60, rue Douglas Engelbart • 74160 Archamps, France
☎ +33 4 50 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.