

## Positionsänderungen schnell und einfach erfassen

Positioniersysteme in Bearbeitungsmaschinen, genauen Messeinrichtungen oder Handhabungsautomaten erfordern die schnelle Erfassung der Positionsdaten, bzw. auch ein schnelles Erkennen von Änderungen. Hochauflösende Encoder oder Linearmaßstäbe liefern die Positionsdaten über eine Encoderschnittstelle zur zentralen Steuerung. Diese muss so gewählt werden, dass sie die gestellten Zeitanforderungen der Regelung erfüllt. Durch die Vielzahl der angebotenen Schnittstellen hat der Anwender oft „die Qual der Wahl“. Neben einer großen Vielfalt von proprietären digitalen Schnittstellen gibt es auch offene Standards, wie z.B. die [SSI/BiSS-Schnittstelle\[1\]](#). Die Klassiker unter den offenen Encoderschnittstellen übertragen die Position als analoge Sinus/Cosinus-Signale oder Änderungsinformation durch inkrementelle A/B-Signale. Bei einer schnellen Erfassung von Richtungsänderungen und/oder gleichzeitig sehr hoher Wegauflösung und Dynamik stoßen serielle digitale Schnittstellen jedoch an ihre Grenzen. Dieses Whitepaper zeigt die Anforderungen, Alternativen und Lösungsmöglichkeiten auf.

### Inhaltsverzeichnis

- 1) [Auswahl der Encoderschnittstelle](#)
- 2) [Schnelle Regelung mit aktuellen Werten](#)
- 3) [Nur Zählen reicht nicht!](#)
- 4) [Realisierung einer schnellen inkrementellen Schnittstelle](#)
- 5) [Zusammenfassung](#)
- 6) [Literaturhinweise](#)



## 1) Auswahl der Encoderschnittstelle

Der Anschluss von linearen oder rotativen Encodern erfordert auf der PLC-Seite ein Schnittstellenmodul, welches die gewählte Schnittstelle bedienen kann (Bild 1). Viele Steuerungshersteller müssen hier eine Vielzahl von proprietären und offenen Schnittstellen anbieten. Der Klassiker unter den offenen Schnittstellen ist eine analoge Übertragung der Position. Entweder als Sinus/Cosinus-Wert, welcher auf der Empfängerseite durch Interpolation (Sinus zu Digital-Wandlung) die absolute Position ermittelt, oder aber als eingepprägter Strom- (z.B. 0-20mA), bzw. ein Spannungswert (z.B. 0-10V). Letzteres ist meist bei einfachen Positionsgebern weit verbreitet. Eine analoge differenzielle Sinus/Cosinus-Übertragung bietet in Sicherheitsanwendungen den Vorteil, dass Fehler erster Ordnung erkannt werden [2] und dadurch für [Safety-Anwendungen](#) geeignet sind.

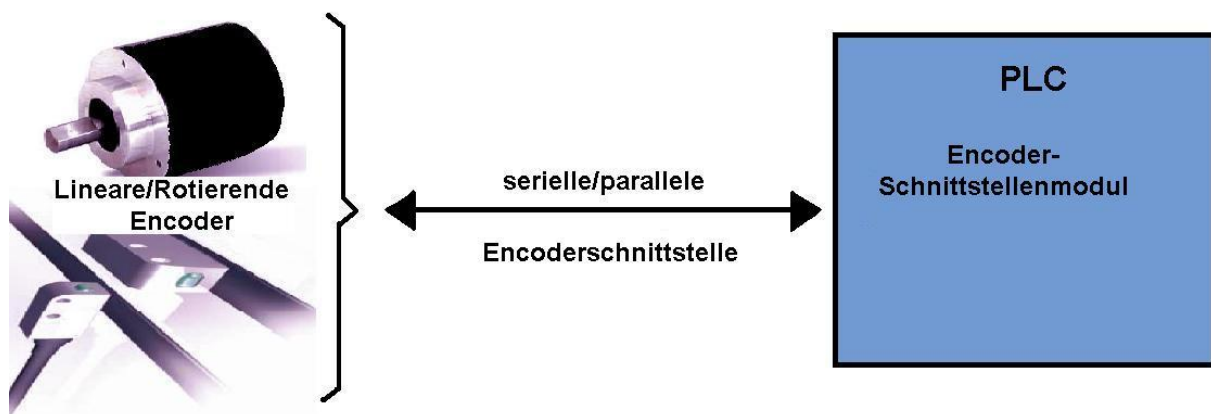


Bild 1: Encoder-Schnittstelle zur Steuerung/Regelung

Die schnellste Art digitale Positionsdaten zu übertragen ist parallel und erfolgt meist mit TTL-Treibern. Der Leitungsaufwand ist jedoch erheblich und daher die Verwendung nicht sehr verbreitet. Bei einer seriellen Übertragung kommen zunehmend offene Standard-Feldbusse (z.B. CAN-Open und Ethernet), oder die offene digitale SSI/BiSS-Schnittstelle zum Einsatz [1]. Ein weiterer Klassiker unter den seriellen Encoder-Schnittstellen ist die inkrementelle Übertragung der Positionänderung mit zwei um 90° verschobenen Signalen, dem A- und B-Signal. Zusätzlich liefert ein Z-Impuls die Nullposition zur Nullpositionsbestimmung. Die Richtungsänderung ist gekennzeichnet durch die Änderung der Phasenlage des A- zum B-Signals. Bild 2 zeigt das Zeitdiagramm einer Richtungsänderung um die Nullposition mit allen Signalen. Die gezeigte Auflösung für eine rotierenden Bewegung beträgt ein Winkelgrad. Richtungsänderungen werden mit einer Hysterese von 1,4° weitergegeben. In einer Umdrehung liefern die A/B-Signale 360 Flanken (H→L oder L→H). Diese müssen von einem Richtungsdiskriminator ausgewertet werden und steuern direkt einen Vorwärts-/Rückwärtszähler an. Er beinhaltet dann die absolute Position des Encoders.

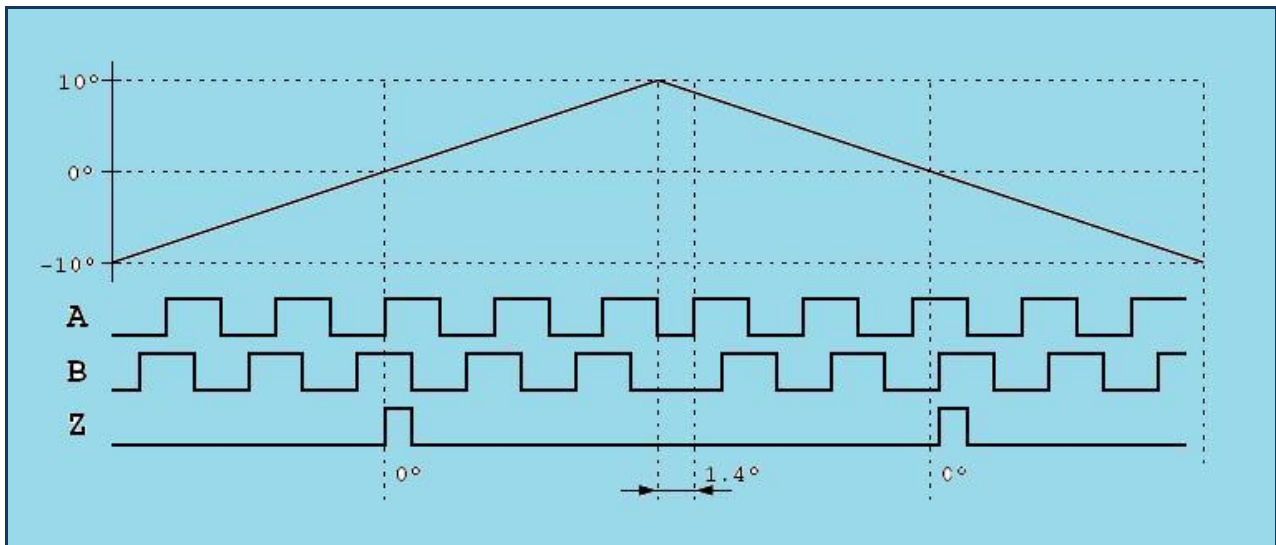


Bild 2: Zeitdiagramm der inkrementellen Encoderschnittstelle mit A-, B- und Z-Signal

Der Vorteil der inkrementellen Schnittstelle ist der geringe Leitungs- und Kostenaufwand. Auch Richtungsänderungen können schnell erkannt werden, bzw. Geschwindigkeiten lassen sich einfach über eine Messung des Flankenabstandes oder z.B. zweier Z-Impulse ermitteln. Eine absolute genaue Position liegt allerdings erst nach dem Erreichen eines Nullimpuls vor. Bei rotierenden Bewegungen ist dies spätestens nach einer Umdrehung erreicht. Lineare Meßsysteme benötigen hierzu vor dem Regelbetrieb eine Referenzfahrt. Bei hohen Genauigkeitanforderungen und schnellen Bewegungen entstehen sehr hohe Taktfrequenzen, die vom Schnittstellenmodul verarbeitet werden müssen. Die Störsicherheit und Verlustleistung bei der schnellen seriellen Übertragung kann durch eine differenzielle Übertragung, z.B. mittels [spezieller RS422 Treibern/Empfängern](#), deutlich verbessert werden [5].

## 2) Schnelle Regelung mit aktuellen Werten

Bei schnellen Drehzahl- oder Positionsregelungen ist der erreichbare Regelzyklus von dem Regelalgorithmus selbst und den Verzögerungszeiten in der Hardware abhängig. Bild 3 zeigt die Komponenten am Beispiel einer Motorregelung. Neben den Ausführungszeiten in der Software sind hardwareseitig folgende Zeiten speziell zu berücksichtigen:

- a. Latenzzeit im Encoder: Verarbeitungszeit mit Interpolation und Ausgabe der A/B-Signale
- b. Übertragungszeit zwischen Encoder und Steuerung/PLC
- c. Auslesezeit im Encoderschnittstellenmodul der Steuerung/PLC

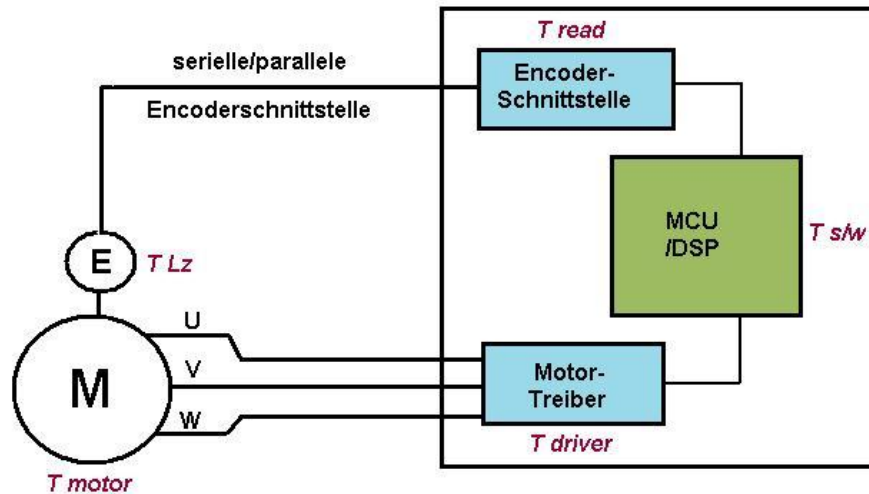


Bild 3: Zeitkomponenten eines Motor-Regelkreises

Die Latenzzeit ( $T_{Lz}$ ) des Encoders hängt von der Bandbreite des Analogverstärkers [2], vom internen Verfahren der Interpolation, der Auflösung und der verwendeten Encoderschnittstelle ab. Erfolgt die Interpolation durch eine MCU/DSP-basierte Lösung, so kann die Latenzzeit 200  $\mu$ s und mehr betragen. Dies ist speziell bei Mehrachsensteuerungen und redundanten Systemen kritisch zu betrachten. Die ausgelesenen Daten sind dann nicht aktuell, bzw. nicht zeitsynchron. Bei einer schnellen Flash-Konvertierung im Interpolator (z.B. iC-NV) und paralleler interner Verarbeitung erreicht man weniger als 1  $\mu$ s Latenzzeit. Die Datenübertragungszeit spielt im wesentlichen nur bei seriellen Schnittstellen eine Rolle. Bei der inkrementellen Schnittstelle kann man sie in der Gesamtbetrachtung quasi vernachlässigen. Bei Richtungsänderungen wirkt die eingestellte Hysterese (siehe Bild 2) auch als Latenzzeit. Die Auslesezeit  $T_{read}$  der Position vom Schnittstellenmodul zur MCU/DSP hängt davon ab, ob eine Word-, Byte oder Bitweise (z.B. SPI) Anschlussart gewählt wurde. Bei einem SPI-Anschluss mit 10 MHz und 32-Bit Format ergibt dies 3,2  $\mu$ s als reine Übertragungszeit. Danach folgt die Verarbeitungszeit ( $T_{s/w}$ ) des Softwarealgorithmus. Diese Zeit wird wesentlich durch die Taktraten der eingesetzten MCU, bzw. des DSP, bestimmt. Bei der Ansteuerung des Motors kommt die Zeit  $T_{driver}$  und die Reaktionszeit  $T_{Motor}$  hinzu. Alle diese Verzögerungszeiten haben einen direkten Einfluss auf die mögliche Dauer des gesamten Regelzyklus. Damit auch auf die Produktivität und Genauigkeit der gesamten Maschinen- oder Robotersteuerung.

### 3) Nur Zählen reicht nicht!

Die Motordrehzahl und die Encoderauflösung bestimmen die zu verarbeitende Impulsfolgefrequenz. Magnetische Encoderlösungen, wie z.B. der [iC-MH](#), lassen Motordrehzahlen bis zu 480.000U/min bei einer Auflösung von 10 Bit zu und liefern dazu auch gleich die Kommutierungssignale UVW [\[4\]](#). Ist eine Auflösung der Winkelposition von 12-Bit gewünscht, so sind 120.000 U/min erreichbar. Die A/B-Signale haben dann eine Flankenfolgefrequenz von 8 MHz. Der minimale Abstand zwischen zwei Flanken der A/B-Signale ist dabei garantiert größer als 125 ns (siehe Bild 4a: Kenndaten verschiedener [Interpolatoren/Encoder](#)). Beim [iC-MH](#) handelt es sich um einen 1-Chip-Absolutencoder, der sowohl über eine SSI/BISS-, wie auch eine inkrementelle Schnittstelle zur Auswertung anbietet. Typische Motordrehzahlen sind meist im Bereich von 500 bis 15.000 U/Min, jedoch sind dann oft Auflösungen von mehr als 12 Bit gefordert.

Parameter	iC-NV	iC-NQC	iC-MH/MH8	iC-TW9*
<b>Auflösung max.</b>	6-Bit	13-Bit	12-Bit	16-Bit
<b>Interpolationsfaktor</b>	x2 - x16 x1 - x10	x2 - 2048 x10 - x500	x1 - x1024	x1 - x16384
<b>Geschwindigkeit U/min maximal</b>	12.000.000 @ 6-Bit	9.600 @ 13-Bit 76.200 @ 10-Bit	120.000 @12-Bit 480.000 @10-Bit	7.500 @ 16-Bit
<b>A/B-Frequenz max.</b>	3,2MHz	2,1MHz	8MHz	8 MHz
<b>Min. Flankenabstand</b>	30ns	120ns	125ns	31ns

\*Vorproduktion

Bild 4a: Kenndaten verschiedener Interpolatoren /Encoder

Bild 4b zeigt die Zahl der Encoderimpulse pro Umdrehung, in Abhängigkeit von der Umdrehungszahl. Bei einer Auflösung von 15 Bit und 10.000 U/min wird eine Impulsfolgefrequenz von fast 5,5 MHz erreicht. Gängige Encoder erreichen diese Auflösung bei meist nur bei geringeren Drehzahlen. Bei Richtungsänderungen ist der minimale Flankenabstand ebenso ein wichtiger Faktor der berücksichtigt werden muss. Schnelle Interpolatoren, wie z.B. der [iC-NV](#), weisen hier 30 ns aus. Die AB-Auswerteschaltung muss dann Grenzfrequenzen von 30 MHz und mehr ohne Probleme verarbeiten können.

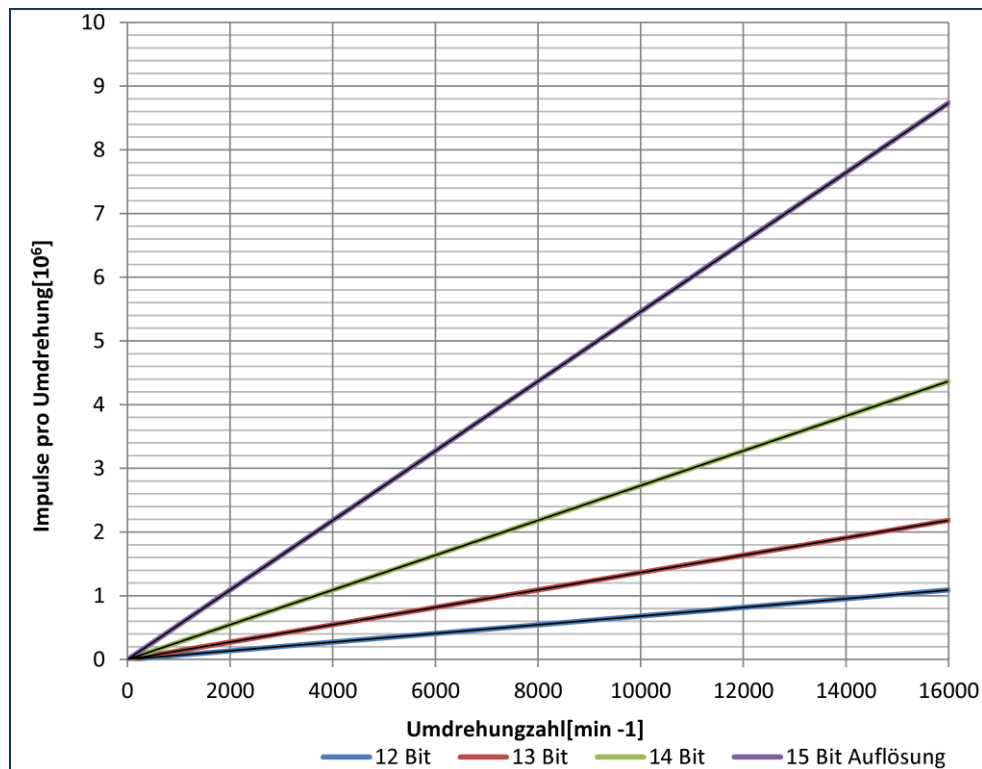


Bild 4b: Impulsfolgen in Abhängigkeit von der Umdrehungszahl und Auflösung

Kommen Linearmotoren zum Einsatz, so sind Geschwindigkeiten von einigen Metern pro Sekunde durchaus üblich. Bei eisenlosen Linearmotoren werden sogar Geschwindigkeiten von bis zu 7 m/s erreicht. Bei einem Linearmaßstab, welcher z.B. ein Sinus/Cosinus-Signal für eine Teilungsperiode von 20 µm liefert, kann ein nachgeschalteter [Interpolator](#) (z.B. [iC-NQC](#)) mit einem Auflösungsfaktor von 16 dann 1,3 µm erreichen. Bei einer Lineargeschwindigkeit von 2 m/s ergibt dies eine Impulsfolgefrequenz von 1,6 MHz. Ausser der Impulsfolgefrequenz und dem minimalen Flankenabstand der A/B-Signale ist bei der Entwicklung noch folgendes zu beachten:

- Sychrone Speicherung der Positionen mehrerer Achsen zum Zeitpunkt  $t_x$
- Einfache Geschwindigkeitsmessung
- Erkennung von Störungen/Fehlern bei der A/B-Signalübertragung.
- Programmierbare Zählerlängen um unterschiedliche Genauigkeiten abzudecken.
- Single-Ended und differenzielle Auswertung der A-, B- und Z-Signale.

#### 4) Realisierung einer schnellen inkrementellen Schnittstelle

Der Anschluss von inkrementellen Encodern kann auf viele Arten erfolgen. Bei ganz langsamen Bewegungen reicht die Flankenauswertung per Interrupt und MCU-Software aus. Wird ein externer, oder ein auf der MCU integrierter Richtungsdiskriminator verwendet lassen sich mit den meist zahlreich vorhandenen Timer-Ports von Mikrocontrollern A/B-Frequenzen von einigen kHz abtasten. Bei industriellen Steuerungen/Motorregelungen

werden zur Realisierung der Encoderschnittstellen oft FPGAs verwendet. Diese Lösungen stoßen dann an ihre Grenzen, wenn es um die Integration der differentiellen Leitungsempfänger geht, bzw. wenn sehr hohe Impulsfrequenzen vorliegen.

Die neueste integrierte Lösung mit dem [iC-MD](#) ist in Bild 5 gezeigt. Es handelt sich hier um eine komplette inkrementelle Encoderschnittstelle mit integrierten differentiellen RS422 Leitungsempfängern. Der Anschluss des [iC-MD](#) kann entweder an eine SPI-Schnittstelle oder aber an einer SSI/BiSS-Schnittstelle erfolgen. Der integrierte Richtungsdiskriminator steuert einen synchronen Vor-/Rückwärtszähler von programmierbarer Länge. Es lassen sich so bis zu 3 Kanäle zu je 16-Bit, oder zwei zu je 24-Bit, oder auch ein 32-Bit, bzw. 48-Bit Zähler, konfigurieren. Ein 24-Bit Referenzzähler zählt die Anzahl der A/B-Flanken zwischen zwei Nullimpulsen. Er dient zusammen mit zwei 24-Bit Registern zur Auswertung abstandskodierter Referenzmarken. Für die Berechnung der Geschwindigkeit oder der Beschleunigung in der Steuerung, bzw. der lokalen MCU/DSP, kann der ermittelte Wert des Referenzzähler auch verwendet werden. Die maximale Zählfrequenz ist mit 40 MHz ausreichend um einen Flankenabstand von minimal 25ns zu erlauben. Über ein externes Ereignis am Touch Probe-Anschluss(TP) oder über die SPI/BiSS-Schnittstelle des iC-MD, lässt sich die Position des ersten 24-Bit Zählers abspeichern und auslesen. Diese Funktion dient in einer Steuerung mit mehreren Achsen dazu, alle Positionen zum Zeitpunkt  $t_x$  synchron abzuspeichern und Zeitverzögerungen durch ein sequenzielles Auslesen zu entschärfen.

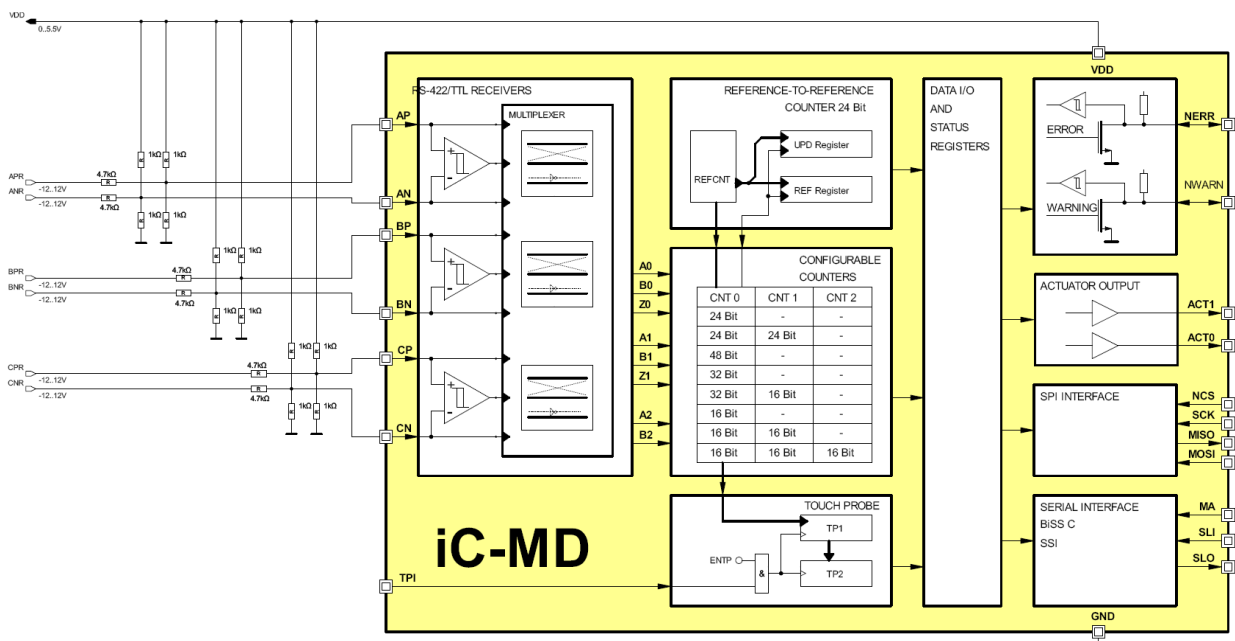


Bild 5: Dreikanalige inkrementelle Encoderschnittstelle mit differentiellen RS422 Empfängern

Die A/B-Phasenlogik wird vom [iC-MD](#) überwacht und mit anderen Fehlern, wie z.B. Unterspannung, über einen Fehlerausgang (NERR) an die MCU/DSP gemeldet. Warnmeldungen, wie z. B. Zählerüber- oder Unterlauf, kennzeichnet der [iC-MD](#) über einen Low-Pegel am Ausgang NWARN. Diese Ausgänge sind bidirektional ausgelegt und werden vom [iC-MD](#) auch als externe Meldung gespeichert und den Status zum Auslesen über die SPI/BiSS-Schnittstelle verfügbar gemacht. Zwei Aktuatorausgänge (ACT1/2) sind per Software von der MCU/DSP als Signalausgänge (z.B. LED Statusanzeigen) oder als Schaltfunktionen verwendbar.

## 5) Schlussbemerkungen

Die Anforderungen nach kürzeren Maschinentaktzeiten und Energie effizienteren Positionier- und Antriebssystemen werden auch in den kommenden Jahren eine wichtige Herausforderung in der Entwicklung von schnellen Wegsensoren sein. Gezielte Integration hilft hier, wie am Beispiel einer inkrementellen Encoderschnittstelle gezeigt wurde, die hohen Anforderungen kosteneffektiv zu erfüllen. Zukünftige iC-Entwicklungen zielen auf Taktraten von 100 MHz ab, um so noch höhere Genauigkeiten sicher und schnell zu erfassen.

## 6) Literaturhinweise

- [1] BiSS-Webseite: <http://www.biss-interface.com/>
- [2] Sensorsignale einfach konditionieren und sicher übertragen, Marko Hepp, [EI 4/2010, Seite 48-50](#)
- [3] Offene, digitale Schnittstelle für Antriebssystem, Joachim Quasdorf, [A&DNewsletter Juli/August 2004](#)
- [4] Drehzahlen einfach erfassen, Dr. David Lin, [Elektronik Industrie 7/2008, Seite 30-32](#)
- [5] Energieeinsparung bei Übertragung auf Leitungen, Dr. David Lin, [Green Engineering 2009, Seite 27-28](#)

## Über iC-Haus

iC-Haus GmbH ist ein führender, unabhängiger deutscher Hersteller von Standard-iCs (ASSP) und kundenspezifischen ASiC-Halbleiterlösungen. iC-Haus entwickelt, produziert und vertreibt seit über 25 Jahren anwendungsspezifische iCs für die Industrie-, Automobil- und Medizintechnik und ist weltweit vertreten. Die iC-Haus Zellbibliotheken in CMOS-, Bipolar- und BCD-Technologie sind u.a. für die Realisierung von Sensor-, Laser/Opto- und Aktuator-ASiCs ausgelegt.

Die Assemblierung der iCs erfolgt in Standard Plastikgehäusen oder nutzt die iC-Haus Chip-on-Board Technik auch für komplette Mikrosysteme, Multi-Chip-Module oder mit Sensoren als optoBGATM.

Weitere Informationen sind unter <http://www.ichaus.de> zu finden.