

## Aufnehmer mit Ladungsausgang

Sensoren mit Ladungsausgang weisen einige Besonderheiten im Vergleich zu anderen Sensoren auf, deren Beachtung unbedingt erforderlich ist, um exakte Messergebnisse zu erhalten:

- Verwenden Sie immer störarme („low noise“) Kabel.
- Die Kabellänge sollte nicht über 10 m betragen.
- Das Kabel sollte so verlegt werden, dass es beim Messen nicht bewegt wird.
- Alle Steckverbindungen müssen fest angezogen sein.
- Vorzugsweise sollten Ladungsverstärker zur Signalverarbeitung eingesetzt werden. Alternativ sind auch Wechselspannungsverstärker mit hochohmigem Eingang geeignet. Beide Prinzipien werden im Folgenden erläutert.

## Ladungsverstärker

Aufnehmer mit Ladungsausgang erzeugen ein Ausgangssignal in der Größenordnung von einigen Picocoulomb ( $1 \text{ pC} = 1000 \text{ fC}$ ) mit einer sehr hohen Ausgangsimpedanz. Um Standardmesstechnik zur Weiterverarbeitung nutzen zu können, muss es in ein niederimpedantes Signal umgewandelt werden.

Zu diesem Zweck setzt man vorzugsweise Ladungsverstärker ein. Deren Eingangsstufe besteht aus einem kapazitiv rückgekoppelten Differenzverstärker. Das Ladungssignal am Eingang wird durch das rückgekoppelte Ladungssignal kompensiert. Die am Ausgang anliegende Spannung ist ein Maß für die eingespeiste Ladung. Bild 1 zeigt schematisch den Aufbau einer solchen Ladungsverstärkerstufe:

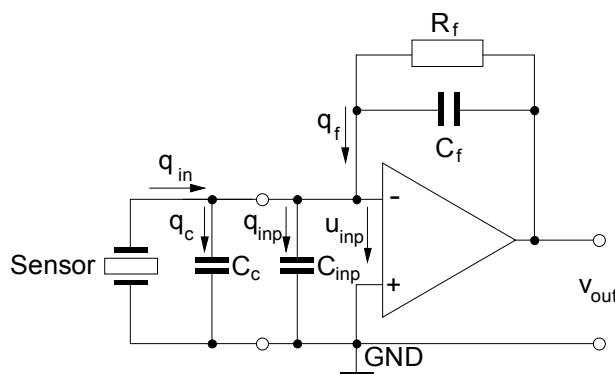


Bild 1: Ladungsverstärker

Die Eingangsladung  $q_{in}$  liegt am Summenpunkt, dem invertierenden Eingang des Differenzverstärkers. Diese Ladung verteilt sich auf die Kabelkapazität  $C_c$ , die Eingangskapazität des Verstärkers  $C_{inp}$  und den Rückkoppelkondensator  $C_f$ . Die Knotengleichung für den Eingang lautet demzufolge:

$$q_{in} = q_c + q_{inp} + q_f$$

Unter Verwendung der elektrostatischen Gleichung:

$$q = u \cdot C$$

und Ersetzen von  $q_c$ ,  $q_{inp}$  und  $q_f$  erhält man:

$$q_{in} = u_{inp} \cdot (C_c + C_{inp}) + u_f \cdot C_f$$

Da die Spannungsdifferenz am Eingang eines Differenzverstärkers unter normalen Betriebsbedingungen Null wird, kann man davon ausgehen, dass die Eingangsspannung  $u_{inp}$  gleich Massepotenzial (GND) ist. Mit  $u_{inp} = 0$  lässt sich die Gleichung wie folgt vereinfachen:

$$q_{in} = u_f \cdot C_f$$

und nach der Ausgangsspannung  $u_{out}$  auflösen:

$$u_{out} = u_f = \frac{q_{in}}{C_f}$$

Das Ergebnis zeigt, dass die Ausgangsspannung eines Ladungsverstärkers lediglich von der eingespeisten Ladung und der Rückkoppelkapazität abhängt. Eingangs- und Kabelkapazitäten bleiben ohne Einfluss. Dies ist interessant zu wissen, wenn ein Beschleunigungsaufnehmer mit unterschiedlichen Kabeln eingesetzt wird.

Der Rückkoppelwiderstand  $R_f$  in Bild 1 hat die Aufgabe, den Verstärker gleichspannungsmäßig zu stabilisieren und den Ausgang driftfrei zu machen. Gleichzeitig bestimmt  $R_f$  die untere Grenzfrequenz des Verstärkers.

Die Prinzipschaltung in Bild 1 stellt nur die Eingangsstufe eines üblichen Ladungsverstärkers dar. Weitere Stufen, wie Spannungsverstärker, Filter und Integratoren, sind nicht gezeigt

Typische Ladungsverstärker sind zum Beispiel die Geräte der Reihe **M68** oder der Ladungsvorverstärker **ICP100** von Metra.

## Spannungsverstärker mit hoher Eingangsimpedanz

Anstelle von Ladungsverstärkern eignen sich für Ladungsaufnehmer auch Wechselspannungsverstärker mit sehr hoher Eingangsimpedanz. Im Gegensatz zum Ladungsverstärker müssen in diesem Fall jedoch die Kapazitäten von Sensor, Kabel und Verstärkereingang berücksichtigt werden (Bild 2).

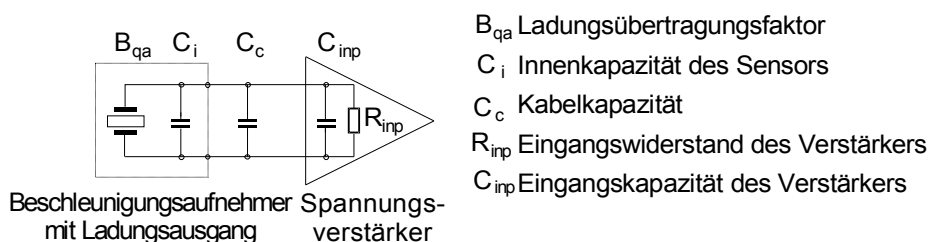


Bild 2: Ladungsaufnehmer an Wechselspannungsverstärker

Der Spannungsübertragungsfaktor  $B_{ua}$  eines Sensors mit bekanntem Ladungsübertragungsfaktor  $B_{qa}$  und der Innenkapazität  $C_i$  kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$B_{ua} = \frac{B_{qa}}{C_i}$$

Die Werte für  $B_{qa}$  und  $C_i$  findet man im Datenblatt.

Berücksichtigt man die Kapazität des verwendeten Sensorkabels  $C_c$  und die Eingangskapazität des Spannungsverstärkers  $C_{inp}$ , ergibt sich der korrigierte Spannungsübertragungsfaktor  $B'_{ua}$  wie folgt:

$$B'_{ua} = B_{ua} \frac{C_i}{C_i + C_c + C_{inp}}$$

Der korrigierte Spannungsübertragungsfaktor  $B'_{ua}$  ist kleiner als  $B_{ua}$ . Ein typisches Anschlusskabel vom Typ 009 mit 1,5 m Länge hat eine Kapazität von ca. 135 pF.

Die untere Grenzfrequenz  $f_l$  wird von  $C_c$ ,  $C_{inp}$  und  $R_{inp}$  bestimmt:

$$f_l = \frac{1}{2 \pi R_{inp} (C_i + C_c + C_{inp})}$$

Die untere Grenzfrequenz steigt mit sinkendem Verstärkereingangswiderstand.

Beispiel: An einen typischen Oszilloskopeingang mit 10 M $\Omega$  Eingangswiderstand und 20 pF Eingangskapazität soll ein Beschleunigungsaufnehmer vom Typ KS50 mit einer Innenkapazität von 1,4 nF angeschlossen werden. Das Sensorkabel vom Typ 009 hat eine Kapazität von 135 pF.

Ergebnis: Die untere Grenzfrequenz ist ca. 10 Hz.

## IEPE-Aufnehmer

Die Besonderheit IEPE-kompatibler Sensoren liegt in der Übertragung von Messsignal und Versorgungsenergie über ein gemeinsames Kabel. Daher kommen Aufnehmer dieses Typs, ebenso wie Ladungsaufnehmer, mit nur einem massebezogenen Koaxialkabel aus. Bild 3 zeigt das Prinzip der IEPE-Versorgung.

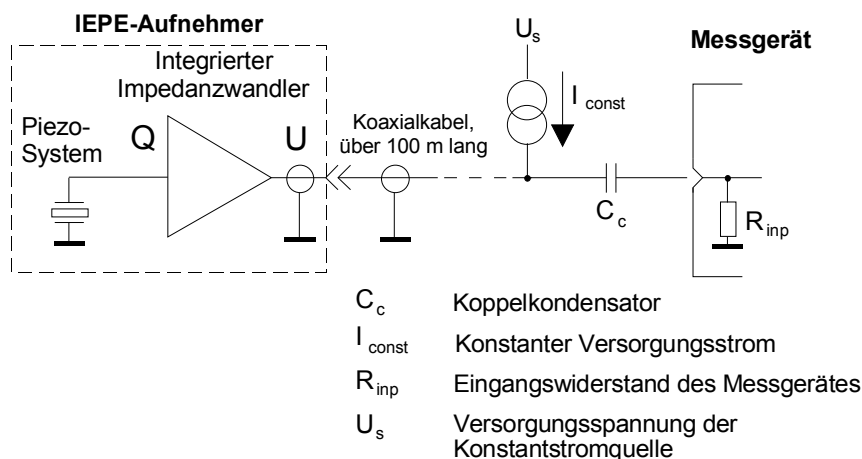


Bild 3: IEPE-Prinzip

Der im Sensor integrierte Impedanzwandler oder Verstärker wird mit Konstantstrom zwischen 2 und 20 mA versorgt. Typisch ist ein Strom von 4 mA. Einige batteriebetriebene Geräte arbeiten auch mit 1 mA Konstantstrom.

Der Konstantstrom  $I_{const}$  wird in das Signalkabel eingespeist.

Die Höhe des Konstantstromes und die Kabellänge können unter Umständen die obere Grenzfrequenz beeinflussen.

Der Entkoppelkondensator  $C_c$  hält Gleichspannungsanteile vom nachfolgenden Messgerät fern. Die RC-Kombination aus  $C_c$  und  $R_{inp}$  wirkt als Hochpassfilter. Die Zeitkonstante muss ausreichend hoch dimensioniert sein, um alle relevanten Signalanteile durchzulassen.

### Wichtig:

- An einen IEPE-Aufnehmer darf unter keinen Umständen eine Spannungsquelle ohne Strombegrenzung angeschlossen werden. Dies würde die Sensorelektronik sofort zerstören.
- Falschpolung des Sensorkabels führt ebenfalls zur Zerstörung der Elektronik.

Aus Bild 4 ist ersichtlich, dass IEPE-Beschleunigungsaufnehmer eine einfache Selbsttestmöglichkeit über ihre Arbeitspunktspannung haben.

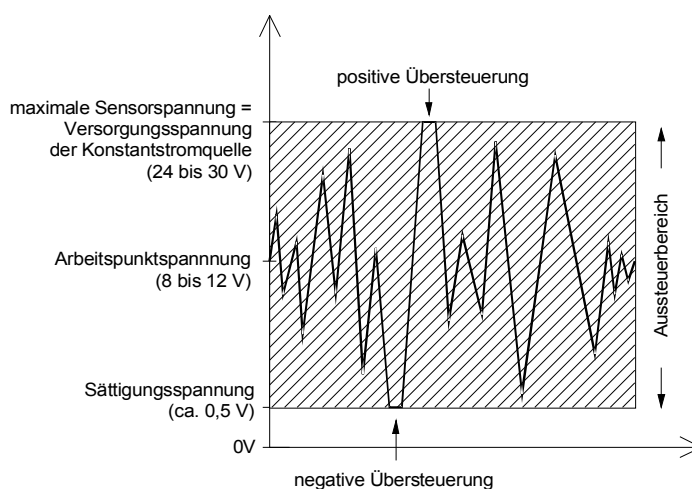


Bild 4: Aussteuerbereich IEPE-kompatibler Aufnehmer

Manfred Weber

**Metra Mess- und Frequenztechnik Radebeul**

Meißner Str. 58

D-01445 Radebeul

Tel. +49-351-836 21 91

Fax +49-351-836 29 40

Seite 3

Mai 08

Internet: [www.MMF.de](http://www.MMF.de)

Email: [Info@MMF.de](mailto:Info@MMF.de)

Mit Hilfe der am Messgeräteeingang anliegenden Arbeitspunktspannung lassen sich folgende Informationen über den Sensorzustand gewinnen:

- $U_{\text{BIAS}} < 0.5$  bis  $1$  V: Kurzschluss (bzw. negative Übersteuerung)
- $1$  V  $< U_{\text{BIAS}} < \approx 18$  V: O.K., Betrieb im Normalbereich
- $U_{\text{BIAS}} > 18$  V: Messeingang offen, z.B. Kabelbruch oder Stecker locker

Eine Vielzahl von Messgeräten ist mit eingebauter IEPE-Versorgung ausgestattet. Beispiele von Metra sind die Messverstärker der Serie **M68**, **M108**, **M116** und **M32**, der Schwingungswächter **M12** oder das Kalibriersystem **VC110**. Die IEPE-Versorgung kann auch eine separate Einheit sein, wie z.B. das Gerät **M28**.

## Elektronisches Datenblatt nach IEEE 1451.4

Der kürzlich verabschiedete Standard IEEE 1451 kommt der wachsenden Bedeutung digitaler Messwerterfassungssysteme entgegen. IEEE 1451 definiert hauptsächlich Protokolle und Netzwerkstrukturen für Sensoren mit rein digitalem Ausgang. Der Teil IEEE 1451.4 beschäftigt sich hingegen mit "Mixed Mode" Sensoren, die zwar einen herkömmlichen Analogausgang besitzen, zusätzlich aber einen Speicher für ein "Elektronisches Datenblatt" enthalten. Dieser Datenspeicher wird auch "TEDS" (Transducer Electronic Data Sheet) genannt. In einem 256 Bit großen Speicher sind alle für den Anwender relevanten Sensordaten abgelegt:

- Typenbezeichnung, Versionsnummer
- Seriennummer
- Hersteller
- Sensorart, physikalische Einheit
- Empfindlichkeit
- Letztes Kalibrierdatum

Über die genannten, vom Hersteller programmierten Daten hinaus kann der Anwender selbst noch zusätzliche Informationen zur Identifikation der Messstelle speichern.

Das Elektronische Datenblatt eröffnet dem Anwender eine Reihe von Vorteilen:

- Bei Messaufgaben mit einer hohen Anzahl von Sensoren wird die Zuordnung eines Sensors zum zugehörigen Messeingang vereinfacht. Das Messsystem identifiziert den Sensor selbst und ordnet ihn einem bestimmten Kanal zu. Es entfällt die zeitaufwändige Verfolgung und Markierung von Kabeln.
- Das Messsystem liest die Kalibrierdaten selbständig ein. Bisher war es erforderlich, manuell eine Datenbank mit Sensordaten (Seriennummer, Messgröße, Empfindlichkeit etc.) zu führen.
- Der Austausch eines Sensors innerhalb eines komplexen Messsystems ist mit minimalem Aufwand verbunden ("Plug & Play"), da sich der Sensor selbst identifiziert.
- Sensorkennblätter gehören zu den am häufigsten vermissten Dokumenten. Da der TEDS-Sensor selbst alle relevanten Daten enthält, kann die Messung auch durchgeführt werden, wenn das Kennblatt gerade einmal nicht auffindbar ist.

Der Standard IEEE 1451.4 baut auf dem bekannten IEPE-Prinzip auf. TEDS-Sensoren sind daher abwärtskompatibel zu üblichen IEPE-Sensoren. Bild 5 erläutert das Prinzip.

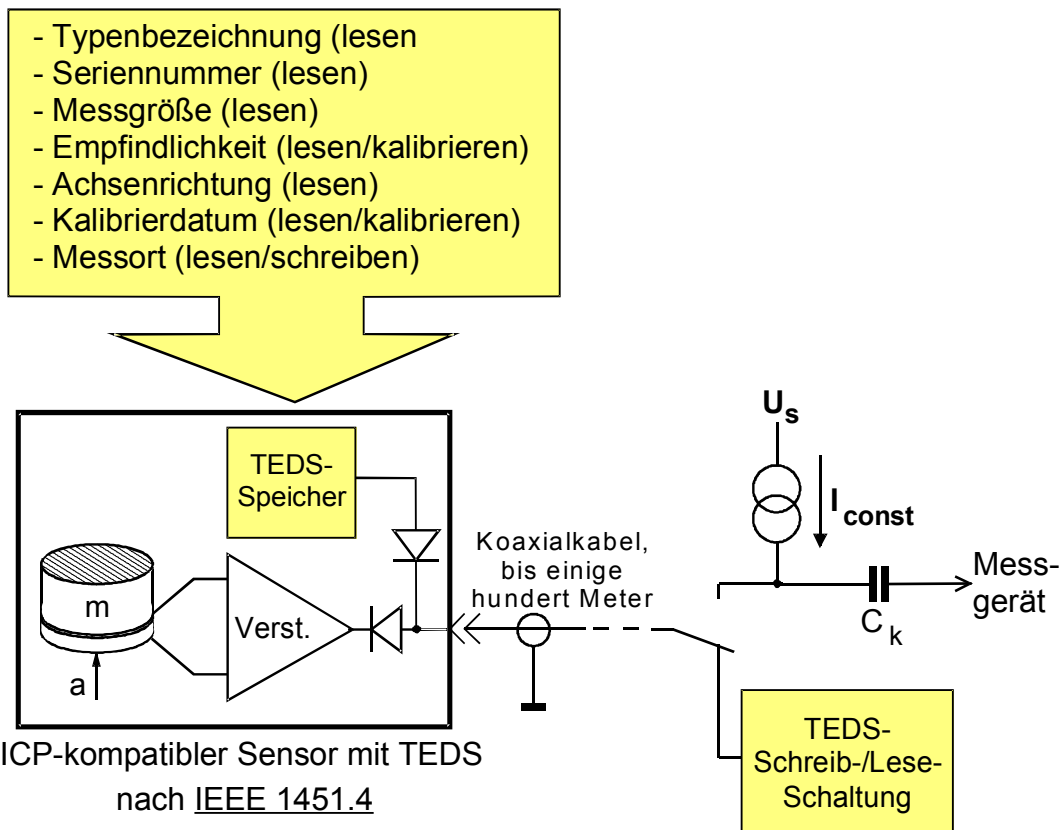


Bild 5: TEDS-Beschleunigungsaufnehmer

Beim Anschließen einer Konstantstromquelle verhält sich der TEDS-Sensor wie ein normaler IEPE-kompatibler Sensor. Das Programmieren und Lesen des integrierten 256 Bit großen nichtflüchtigen Speichers vom Typ DS2430 erfolgt ebenfalls über die Sensorleitung. Die Kommunikation basiert auf dem 1-Wire<sup>®</sup>-Protokoll von Dallas Semiconductor. Der Datenaustausch erfolgt mit TTL-Pegel, wobei die Polarität umgekehrt zur Konstantstromquelle ist. Im Sensor werden Analog- und Digitaldaten mittels Dioden getrennt.