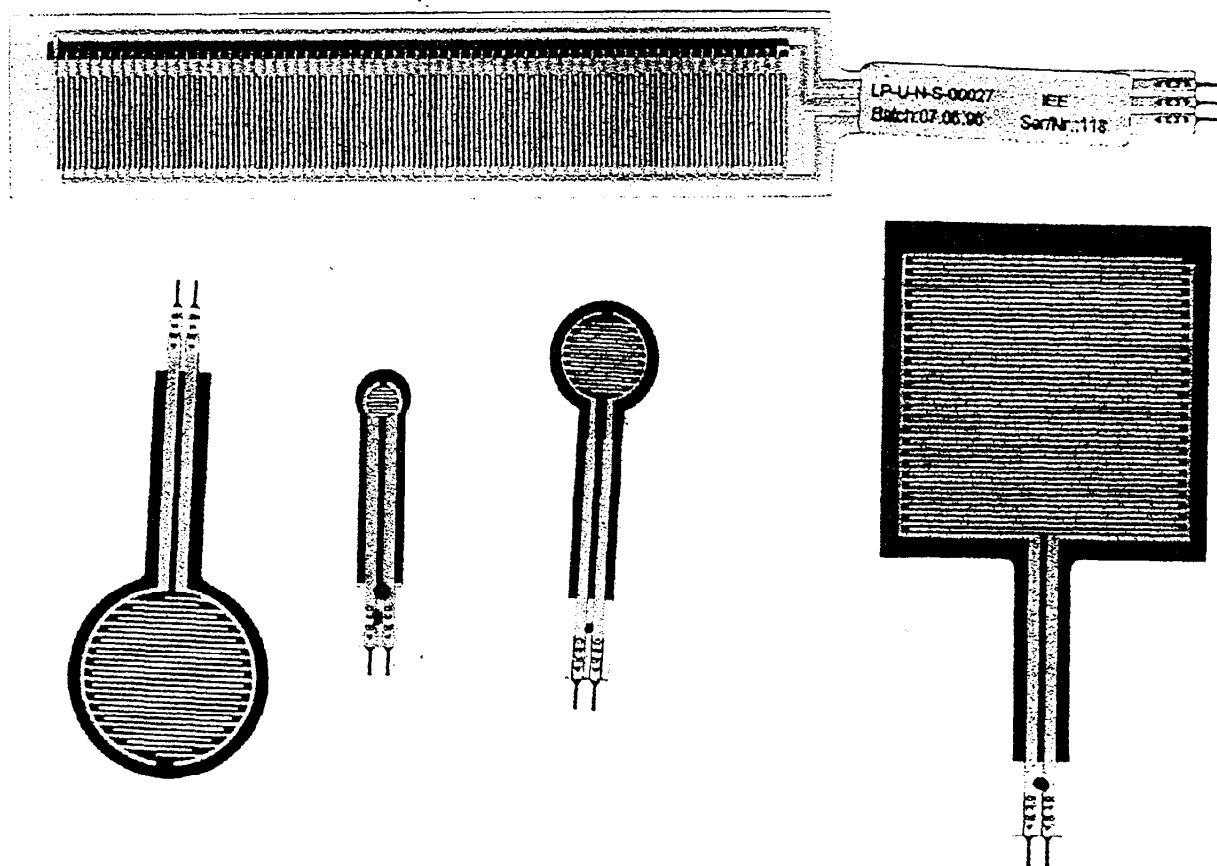


# **IEE** FSR™ - Sensoren

INTERNATIONAL  
ELECTRONICS  
ENGINEERING

Daten, Eigenschaften und Hinweise zur Handhabung

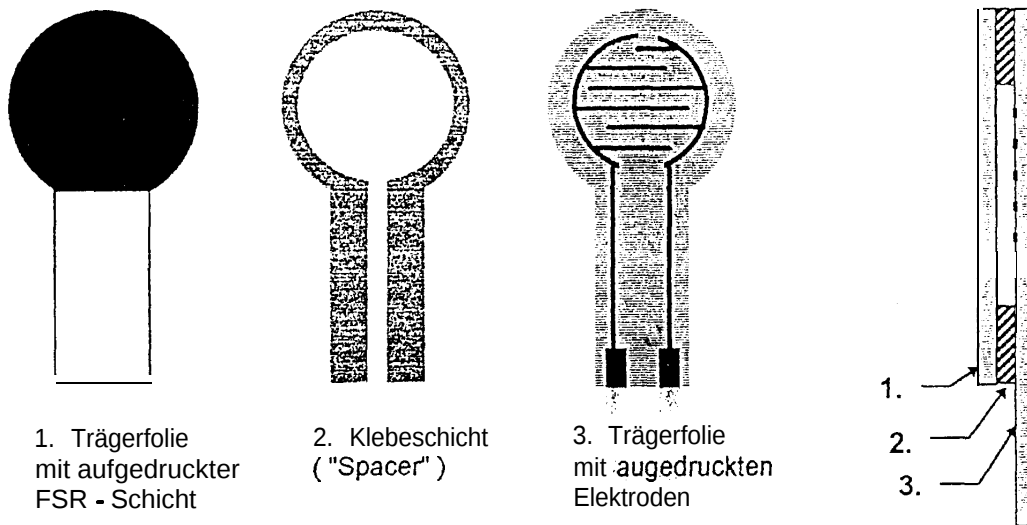


Anleitung zum Umgang mit einem innovativen Produkt.

# Der FSR- Sensor

## Ein Überblick über die FSR - Technologie

Der Force Sensing Resistor ( = Kraftabhängiger Widerstand ) FSR- Sensor besteht aus drei Komponenten, die in Bild 1 gezeigt sind



1. Die Trägerfolie für die FSR - Schicht. Auf ihrer Innenseite ist die schwarze FSR- Schicht aufgedruckt, ein halbleitendes Polymer.
2. Die Klebeschicht, eine doppelseitig klebende Folie genau definierter Dicke. Ihre Aufgaben bestehen darin, die Komponenten des Sensors fest miteinander zu verbinden und einen konstanten Abstand zwischen den Trägerfolien sicherzustellen.
3. Die Trägerfolie für die Elektroden. Auf ihrer Innenseite sind die Elektroden aufgedruckt, deren Finger ineinander verschachtelt sind, sich aber nicht berühren.

Ein FSR- Sensor ändert seinen elektrischen Widerstand in Abhängigkeit von der auf die aktive Oberfläche eingeleiteten Kraft. Die Elektroden kontaktieren dann die FSR- Schicht und zwischen den Kontaktfingern werden Widerstandsbrücken aufgebaut. Je höher die eingeleitete Kraft ist, desto mehr Widerstandsbrücken werden geschlossen und parallel geschaltet. Der FSR- Sensor ist keine Wägezelle und kein Dehnungsmeßstreifen, obwohl er ähnliche Eigenschaften aufweist. FSR - Sensoren sind keine nochgenauen Meßwandler, sie eignen sich eher als Wandler für Bediengeräte.

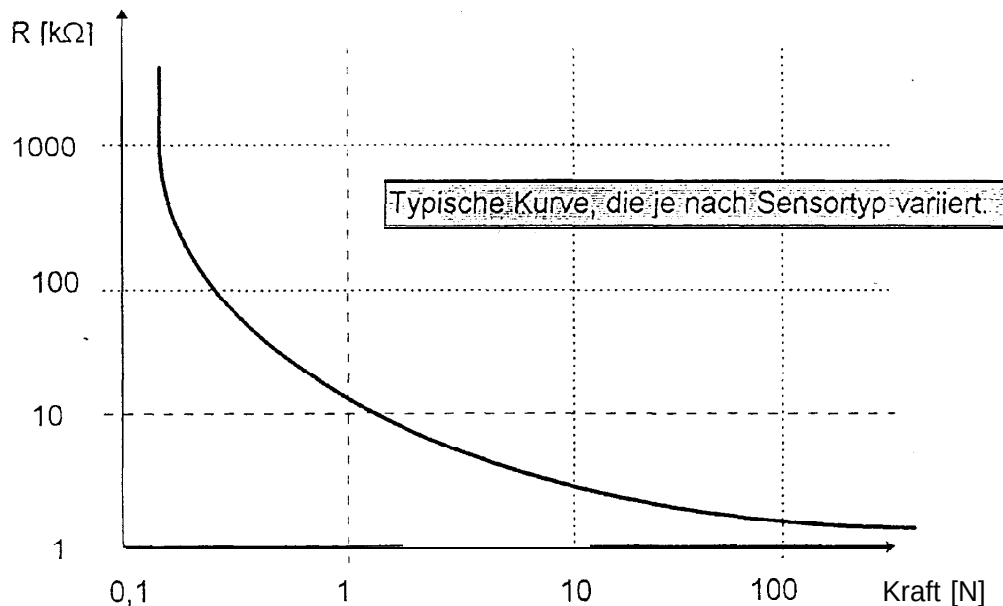
## Kraft und Widerstand

Die Kraft- Widerstandskennlinie in Bild 1 verdeutlicht das grundsätzliche Verhalten des FSR- Sensors. Um den Kurvenverlauf besser interpretieren zu können, ist die Kurve im doppelt logarithmischen Maßstab gezeichnet.

Die gezeigten Werte stammen von unserem FSR- 152 (Aktive Fläche  $\approx 12,15$  mm Durchmesser). Zur Einleitung der Kraft wurde eine Sonde aus Edelstahl mit 10 mm Durchmesser verwendet. An ihrer Spitze befindet sich eine Halbkugel aus Polyurethan mit einer Shorehärte von 60. Generell gesprochen, ist die Kennlinie eines FSR- Sensor ähnlich einer invertierten Exponentialfunktion.

Sehen Sie dazu die Kurve in Bild 1 :

Bild 1



Im Bereich niedriger Kräfte verhält sich der FSR- Sensor fast wie ein Schalter.

Die Einschaltswelle ist dadurch gekennzeichnet, daß der Widerstand ziemlich rasch von über 1  $M\Omega$  auf ca. 100  $k\Omega$  abfällt. Das ist der Beginn des dynamischen Bereichs, der ähnlich einer Exponentialkurve verläuft.

Sie wird von folgenden Parametern bestimmt :

- \* Material, Dicke und Flexibilität der Trägerfolien für das FSR- Substrat
- \* Breite der Leiterbahnen
- \* Dicke der Klebeschicht.

Die Einschaltswelle steigt mit wachsender Stärke der Folien, sowie der Dicke der Klebeschicht. Wenn man die Klebeschicht wegläßt oder wenn diese weit entfernt vom Punkt der Krafteinleitung ( das ist z.B. der Mittelpunkt der aktiven Fläche eines großflächigen FSR- Sensors ) endet, so hat der FSR- Sensor einen niedrigeren Nullastwiderstand.

Dies entspricht praktisch einer Vorlast auf dem FSR- Sensor.

Im Bereich hoher Kräfte verläßt die Kennlinie die Exponentialkurve und nähert sich der Sättigung, wo eine Erhöhung der Kraft nur noch eine sehr geringe oder gar keine Änderung des Widerstands mehr zur Folge hat.

Für den in Bild 1 vermessenen FSR- Sensor ( und auch die anderen ) liegt diese Kraft jenseits von 100N.

Im Bereich niedriger Lasten verhält sich der FSR eher wie ein Kraftsensor, im Bereich hoher Lasten, nahe der Sättigung, entspricht sein Verhalten einem Drucksensor.

In Bild 1 liegt der tatsächlich gemessene Druckbereich bei 0,1 bis 100N, bezogen auf eine Fläche von 1  $cm^2$ .

Wenn Kräfte gemessen werden sollen, die über dem Sättigungspunkt liegen, so muß die Kraft über eine größere Fläche eingeleitet werden, damit der dynamische Bereich nicht verlassen wird.

Natürlich gilt hier auch der Umkehrschluß :

Kleinere Aktuatoren werden den FSR- Sensor früher in die Sättigung führen, da der zur Sättigung notwendige Druck bei einer niedrigeren Kraft erreicht wird.

# FSR- Sensoren richtig einsetzen

Wichtige Schritte zum optimalen Ergebnis

## 1. Beginnen Sie mit realen Erwartungen.

Machen Sie sich mit den Eigenschaften Ihres Sensors vertraut

Ein FSR- Sensor ist keine Wägezelle, kein Dehnungsmeßstreifen und kein Druckwandler. Er eignet sich am besten für dynamische Messungen mit recht guten Ergebnissen.

Die Genauigkeit der Sensoren liegt üblicherweise im zweistelligen Prozentbereich, Details entnehmen Sie bitte den Datenblättern.

Wenn Sie mit einem FSR- Linearpotentiometer oder einem XYZ- Pad Positionen messen wollen, so können Sie Genauigkeiten von  $\pm 1\%$  erreichen.

Genauigkeit sollte nicht mit Auflösung verwechselt werden.

Die Auflösung der Kraft eines FSR- Sensors ist besser als  $\pm 5\%$ .

Die Auflösung der Position liegt bei ca. 0,5 mm.

## 2. Wählen Sie den Sensor aus, der am besten zu ihrer Applikation **paßt**.

Einschränkungen bei der Integration eines FSR- Sensors sind nur Gestalt und Größe. Der Sensor sollte also so ausgewählt werden, daß er optimal zum mechanischen Element paßt, das ihn betätigen wird. FSR- Sensoren besitzen praktisch identische elektrische Eigenschaften und spezielle Ausgangssignale können nur durch mechanische Maßnahmen erreicht werden ( Abdeckungen, Mechanik und Größe des Bedienelements ).

## 3. Entwerfen Sie ein reproduzierbares mechanisches Bedienelement ( Aktuator ).

Folgen Sie den folgenden Richtlinien, um das optimale Ergebnis zu erzielen:

- \* Stellen Sie eine gleichmäßige Krafteinleitung sicher. Der FSR- Sensor reagiert sehr feinfühlig auf die Verteilung der eingeleiteten Kraft. Es ist schwieriger, eine konstante Einleitung der Kraft zu realisieren, als nur die Kraft konstant zu halten. Aber nur, wenn die Verteilung der Kraft über den Sensor bei jedem Zyklus gleich ist, wird das Meßergebnis gut reproduzierbar sein.  
Die Beschichtung des Aktuators mit einer dünnen Elastomerschicht kann dabei sehr hilfreich sein, da sie Inhomogenitäten der Oberflächen ausgleichen kann.
- Wie Sie wissen, ist der FSR- Sensor mittels eines doppelseitigen Klebers zur Erreichung eines definierten Abstands verklebt. Achten Sie bitte darauf, daß diese Verklebung nicht die Einleitung der Kraft behindert oder gar unmöglich macht.  
Wenn Sie beispielsweise den Sensor mittels einer großen starren Fläche bedienen möchten, würden Sie kein sinnvolles Meßergebnis erzielen.  
Der Aktuator muß also immer geometrisch kleiner sein, als die aktive Fläche des Sensors.
- Der FSR- Sensor hat ein definiertes Setzverhalten. Das Ausgangssignal wird also variieren, wenn der Gradient der Krafteinleitung variiert.

#### 4. Verwenden Sie nur die empfohlenen **Interfaceschaltungen**

In den meisten Anwendungen soll eine Spannung in Abhängigkeit von der Kraft als Ausgangssignal gemessen werden. Ausführliche Unterlagen zur Schaltungstechnik erhalten Sie auf Wunsch von uns.

Wir empfehlen, einen Strom / Spannungswandler einzusetzen. Dieser gibt Ihnen ein Ausgangssignal, das umgekehrt proportional zur gemessenen Kraft ist.

Dieses in etwa lineare Signal bietet optimale Auflösung und erleichtert die Signalaufbereitung.

#### 5. Kalibrieren Sie das System für höchste Genauigkeit

Die bestmögliche Genauigkeit der Kraftmessung wird durch Kalibrierung erreicht. Dazu gibt es zwei Möglichkeiten.

- \* Einstellung von Verstärkung und Offset der Elektronik.  
Die Referenzspannung und der Rückkopplungswiderstand des Strom / Spannungswandlers werden an das Ausgangssignal jedes einzelnen FSR- Sensors angepaßt.
- Ablegen der Fehlerkurve.  
Eine parametrische Fehlerkurve wird in Ihrem System abgelegt.  
Durch Messen der Ausgangssignale mehrerer FSR- Sensoren erhalten Sie eine typische Kennlinie. Danach vermessen Sie jeden einzelnen FSR- Sensor und speichern Sie dessen Fehlerkurve ab.  
Falls notwendig, können Sie auch noch eine Temperaturkompensation in Ihr System einfügen.

### Der Umgang mit dem FSR- Sensor

Was Sie tun und was Sie nicht tun sollten

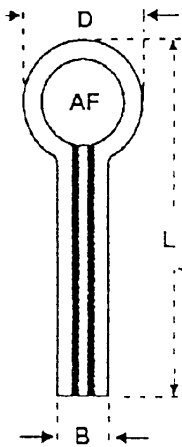
Was Sie tun sollten

- \* Befolgen Sie die 5 Hinweise unter "FSR- Sensoren richtig einsetzen"
- \* Montieren Sie den FSR- Sensor auf einer ebenen und glatten Fläche
- \* Vorsicht bei Anbringung eines FSR- Sensors auf einer gekrümmten Oberfläche.  
Dies kann zu einer Vorlast führen, d.h. der Sensor liefert durch die Berührung und Verspannung der beiden Trägerfolien bereits ein Ausgangssignal, obwohl noch keine Kraft eingeleitet wird.  
Der Sensor funktioniert zwar noch, aber er kann driften und der Dynamikbereich wird eingeschränkt.  
Die Stärke der Krümmung, die man einem FSR- Sensor zumuten kann, ist eine Funktion der Größe der aktiven Fläche. Je kleiner der Sensor ist, desto geringer wird die Auswirkung einer Krümmung sein.
- Vermeiden Sie Luftblasen beim Aufkleben des Sensors. Verwenden Sie einen dünnen homogenen doppelseitigen Kleber oder bestellen Sie das Teil gleich mit Kleberückseite.

- Vermeiden Sie Knicke oder Beschädigungen im aktiven Bereich. Diese können falsche Ausgangssignale zur Folge haben.
- \* Schützen Sie den Sensor vor scharfen und spitzen Gegenständen ( Kugelschreiber auf der aktiven Fläche ) mittels einer Deckschicht aus Polycarbonat oder Elastomer.
- Setzen Sie weiches Gummi oder eine Feder ein, wenn Sie einen bestimmten Weg zur Betätigung des Sensors benötigen.

### Was Sie nicht tun sollten

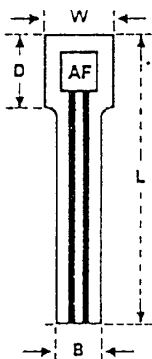
- \* Verdrehen oder knicken Sie die Anschlußfahnen des FSR- Sensors nicht.  
Die kann zum Bruch der gedruckten Silberbahnen führen. Eine Biegung darf nur zum Silberdruck hin erfolgen, muß diesen also komprimieren. Der minimale Biegeradius von 2,5 mm darf nicht unterschritten werden. Biegen Sie den Sensor nicht in der aktiven Fläche, das kann zu einer Vorlast führen und das Ausgangssignal verfälschen.
- \* Blockieren Sie nicht die Ventilationsöffnung. Diese befindet sich üblicherweise zwischen den beiden Silberbahnen der Anschlußfahnen. Sie dient dazu, atmosphärische Luftdruckschwankungen auszugleichen. Wenn Sie Drücke messen möchten, muß sich der aktive Bereich des FSR- Sensors innerhalb der Druckkammer, die Ventilationsöffnung außerhalb befinden.
- \* Versuchen Sie nicht, direkt an den gedruckten Anschlüssen zu löten. Die Lötverbindung wird nicht dauerhaft fest sein und Sie könnten die Trägerfolie beschädigen.  
Bestellen Sie den FSR - Sensor mit angecrimpten Anschluß oder verwenden Sie einen Nulllaststecker.
- \* Verwenden Sie keinen aggressiven Kleber ( Cyanacrylat ), er könnte die Trägerfolien beschädigen.
- \* Vermeiden Sie Einwirkung von Scherkräften auf den Sensor.
- \* Vermeiden Sie höhere Ströme als 1 mA pro cm<sup>2</sup> aktivierter Fläche, dies kann den Sensor zerstören.
- \* Verwenden Sie den FSR nicht als Meßelement für statische Lasten.  
Aufgrund seiner Konstruktion hat der FSR - Sensor ein "Kriechverhalten", das heißt, sein Widerstand ändert sich kontinuierlich bei konstanter Belastung.  
Je nach Höhe der Last kann dieses Kriechen einige Stunden dauern und der Widerstandswert bis zu 20% absinken.
- \* Setzen Sie den Sensor nicht ungeschützt konstanter Feuchtigkeit aus, vermeiden Sie vor allem, daß Feuchtigkeit in die Ventilationsöffnung eindringen kann.  
Die Trägerfolien des FSR bestehen zwar aus widerstandsfähigem Kunststoff, sind aber dennoch hygroskopisch. Feuchtigkeit im Sensor kann zu Korrosion führen.



Maße der FSR- Sensoren mit runder aktiver Fläche [ mm ]

| TYP     | D     | L     | B    | OAF   | Dicke |
|---------|-------|-------|------|-------|-------|
| FSR-149 | 7,62  | 38,10 | 6,35 | 4,03  | 0,34  |
| FSR-151 | 15,23 | 51,65 | 6,20 | 9,55  | 0,43  |
| FSR-152 | 18,30 | 54,15 | 7,60 | 12,15 | 0,49  |
| FSR-174 | 27,40 | 63,75 | 7,62 | 21,20 | 0,49  |

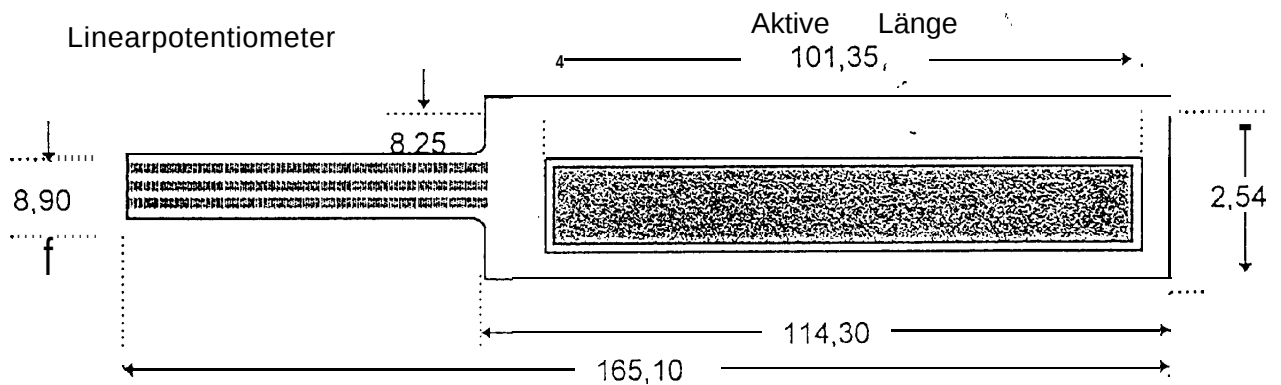
Die angegebene Dicke beinhaltet die 0,09 mm starke Kleberückseite



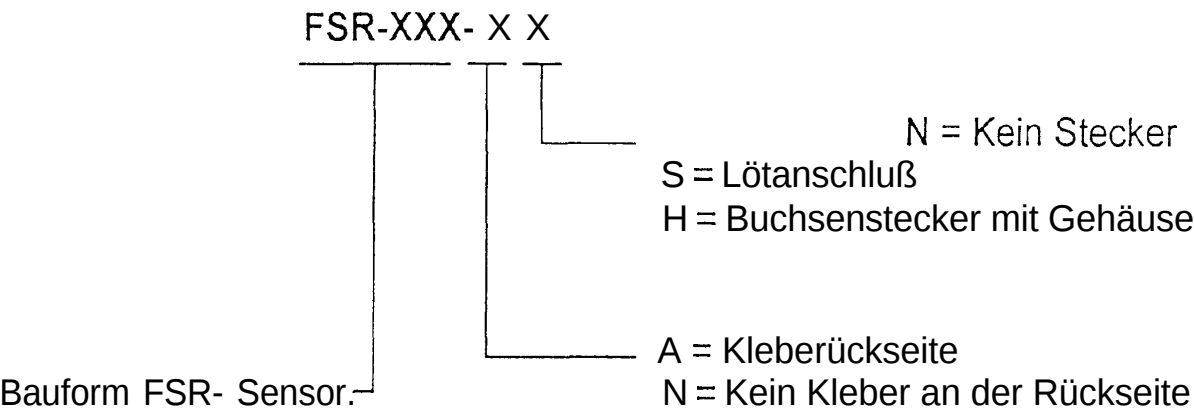
Maße der FSR- Sensoren mit quadratischer aktiver Fläche [ mm ]

| TYP     | D     | W     | L     | B    | AF (□) | Dicke |
|---------|-------|-------|-------|------|--------|-------|
| FSR-150 | 11,94 | 11,68 | 48,77 | 7,62 | 6,10   | 0,43  |
| FSR-153 | 26,35 | 27,50 | 64,09 | 6,95 | 19,00  | 0,49  |
| FSR-154 | 45,70 | 45,70 | 83,55 | 7,60 | 37,70  | 0,49  |

Die angegebene Dicke beinhaltet die 0,09 mm starke Kleberückseite



Bestellbezeichnungen:



| Bauform                  | Teile Nr. alt | Teile Nr. neu  | Bauform                          | Teile Nr. alt | Teile Nr. neu  |
|--------------------------|---------------|----------------|----------------------------------|---------------|----------------|
| FSR-149XX<br>FSR- Sensor | FSR-149 NN    | SS-S-N-N-00003 | FSR-154XX<br>FSR- Sensor         | FSR-154NN     | SS-U-NN-00044  |
|                          | FSR-149 N S   | SS-S-N-S-00001 |                                  | FSR-154NS     | SS-U-N-S-00045 |
|                          | FSR-149 NH    | SS-S-N-H-00002 |                                  | FSR-154NH     | SS-U-N-H-00046 |
|                          | FSR-149AN     | SS-SS-N-00005  |                                  | FSR-154AN     | SS-U-S-N-00047 |
|                          | FSR-149AS     | SS-S-S-S-00006 |                                  | FSR-154 AS    | SS-U-S-S-00048 |
|                          | FSR-149AH     | SS-S-S-H-00007 |                                  | FSR-154AH     | SS-U-S-H-00049 |
| FSR-150XX<br>FSR- Sensor | FSR-150 NN    | SS-U-N-N-00008 | FSR-174XX<br>FSR- Sensor         | FSR-174NN     | SS-U-N-N-00036 |
|                          | FSR-150 NS    | SS-U-N-S-00009 |                                  | FSR-174NS     | SS-U-N-S-00039 |
|                          | FSR-150 NH    | SS-U-N-H-00010 |                                  | FSR-174NH     | SS-U-N-H-00040 |
|                          | FSR-150 A N   | SS-U-S-N-00011 |                                  | FSR-174AN     | SS-US-N-00041  |
|                          | FSR-150 AS    | SS-US-S-00012  |                                  | FSR-174 AS    | SS-U-S-S-00042 |
|                          | FSR-150 AH    | SS-U-S-H-00013 |                                  | FSR-174AH     | SS-U-SH-00043  |
| FSR-151XX<br>FSR- Sensor | FSR-151 NN    | SS-U-N-N-00014 | FSR-6016XX<br>16er - Matrix      | FSR-6016AN    | RK-S-S-N-00078 |
|                          | FSR-151 NS    | SS-U-NS-00016  |                                  | FSR-6016 AS   | RK-S-S-S-00079 |
|                          | FSR-151 NH    | SS-U-N-H-00016 |                                  | FSR-6016AH    | RK-S-S-H-00080 |
|                          | FSR-151AN     | SS-U-S-N-00017 |                                  |               |                |
|                          | FSR-151 AS    | SS-U-S-S-00018 |                                  |               |                |
|                          | FSR-151 A H   | SS-U-S-H-00019 |                                  |               |                |
| FSR-152XX<br>FSR- Sensor | FSR-152 NN    | SS-U-N-N-00020 | FSR-155XX<br>Linearpotentiometer | FSR-155 NN    | LP-U-N-N-00026 |
|                          | FSR-152 NS    | SS-U-N-S-00021 |                                  | FSR-155NS     | LP-U-N-S-00027 |
|                          | FSR-152 NH    | SS-U-N-H-00022 |                                  | FSR-155NH     | LP-U-N-H-00031 |
|                          | FSR-152 AN    | SS-U-S-N-00023 |                                  | FSR-155 AN    | LP-U-S-N-00028 |
|                          | FSR-152 AS    | SS-U-S-S-00024 |                                  | FSR-155AS     | LP-U-S-S-00029 |
|                          | FSR-152 AH    | SS-US-H-00025  |                                  | FSR-155 AH    | LP-US-H-00030  |
| FSR-153XX<br>FSR- Sensor | FSR-153 NN    | SS-U-N-N-00032 |                                  |               |                |
|                          | FSR-153 N S   | SS-U-N-S-00033 |                                  |               |                |
|                          | FSR-153 NH    | SS-U-N-H-00034 |                                  |               |                |
|                          | FSR-153 AN    | SS-US-N-00035  |                                  |               |                |
|                          | FSR-153 AS    | SS-U-S-S-00036 |                                  |               |                |
|                          | FSR-153AH     | SS-US-H-00037  |                                  |               |                |

Hinweis :  
Aufgrund der Verwendung organischer Werkstoffe unterliegen FSR - Sensoren sehr großen Fertigungstoleranzen. Wenn Sie FSR - Sensoren für Meßzwecke einsetzen möchten, so empfehlen wir Ihnen diese für einen bestimmten Arbeitspunkt zu spezifizieren.  
Sprechen Sie mit uns, wir sind Ihnen gerne behilflich.

Technische Daten von FSR - Sensoren

|                                              |                                                                                            |                                                                                                                   |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Substrat                                     | Polyätherimid<br>Polyäthersulfon<br>Polyester                                              |                                                                                                                   |
| Baugröße                                     | 8 x 8 mm² bis<br>350 x 350 mm²                                                             | Jede beliebige flache Form                                                                                        |
| Dicke                                        | 200 bis 750 µm                                                                             |                                                                                                                   |
| Wiederholbarkeit<br>(Sensor zu Sensor)       | + 300% bis - 60 % bei 0,3N<br>+ 90% bis - 35% bei 1 N<br>± 30% bei 1 ON<br>± 20% bei 1 OON | Typische Werte, abhängig<br>vom mech. Aufbau.<br>Alle Messungen bei 23°C und mit einer<br>Sonde von 1 cm² Fläche. |
| Wiederholbarkeit<br>(eines einzigen Sensors) | + 70% bis - 35 % bei 0,3N<br>+ 70% bis - 35% bei 1 N<br>± 15% bei ION<br>± 3% bei 1 OON    | Typische Werte, abhängig<br>vom mech. Aufbau<br>Alle Messungen bei 23°C und mit einer<br>Sonde von 1 cm² Fläche.  |
| Einschaltkraft                               | 0,2 bis 1N                                                                                 | Typischer Wert                                                                                                    |
| Nenn kraft                                   | 1 00N                                                                                      | Maximalwert nahe der Sättigung<br>Aktuator: Sonde von 1 cm² Fläche.                                               |
| Widerstand                                   | > 1 MΩ                                                                                     | unbelasteter Sensor                                                                                               |
| Betätigungsweg                               | vernachlässigbar                                                                           |                                                                                                                   |
| Mech. Ansprechzeit                           | < 2 ms                                                                                     | mechanisch                                                                                                        |
| El. Ansprechzeit                             | 0,1 bis 10 ms                                                                              | elektrisch                                                                                                        |
| Hysterese                                    | ca. 20%                                                                                    | bezogen auf Widerstandswert                                                                                       |
| Kapazität                                    | 10 pF bis 10 nF                                                                            | Abhängig vom Aufbau                                                                                               |
| Lebensdauer                                  | > 10 Mio. Schaltzyklen                                                                     | bei 35 N                                                                                                          |
| Betriebstemperatur                           | - 40°C c Temp < + 85°C                                                                     | negativer Temp. Koeffizient                                                                                       |
| Temp. Koeffizient                            | - 0,8 % / K                                                                                |                                                                                                                   |
| Feuchtigkeit                                 | 85% RF max.                                                                                | Widerstandsanstieg möglich<br>Kondensation vermeiden                                                              |
| Strom                                        | max. 1 mA                                                                                  | pro cm² <u>aktivierter</u> Fläche                                                                                 |
| Spannung                                     | 1 bis 5 V                                                                                  |                                                                                                                   |
| Verlustleistung                              | 1 mW max.                                                                                  |                                                                                                                   |

Hinweis :

Die in diesem Papier gezeigten Kennlinien und Angaben dienen zur Veranschaulichung der Funktionsweise der FSR - Sensoren. Genau Technische Daten einzelner Typen sind auf Anfrage verfügbar

Irrtümer und technische Änderungen vorbehalten.

**Elektronische**  
**Interfaceschaltungen**  
**für FSR<sup>TM</sup> - Sensoren**

## Grundlegendes (Basis-Beschaltung)

Der FSR<sup>TM</sup> ist ein kraftabhängiger Widerstand, der eine eingeleitete Kraft in ein Widerstandssignal umwandelt. Durch die Serienschaltung von einem FSR<sup>TM</sup> und einem Festwiderstand ( $R_1$ ) wird ein Spannungsteiler gebildet. Wenn man diesen Spannungsteiler mit konstanter Spannung versorgt, ist seine Ausgangsspannung eine Funktion der auf den Sensor aufgebrachten Kraft.

Durch diese Beschaltung addiert sich eine weitere Nichtlinearität zur ursprünglichen Kennlinie des FSR<sup>TM</sup> mit (Bild 1).

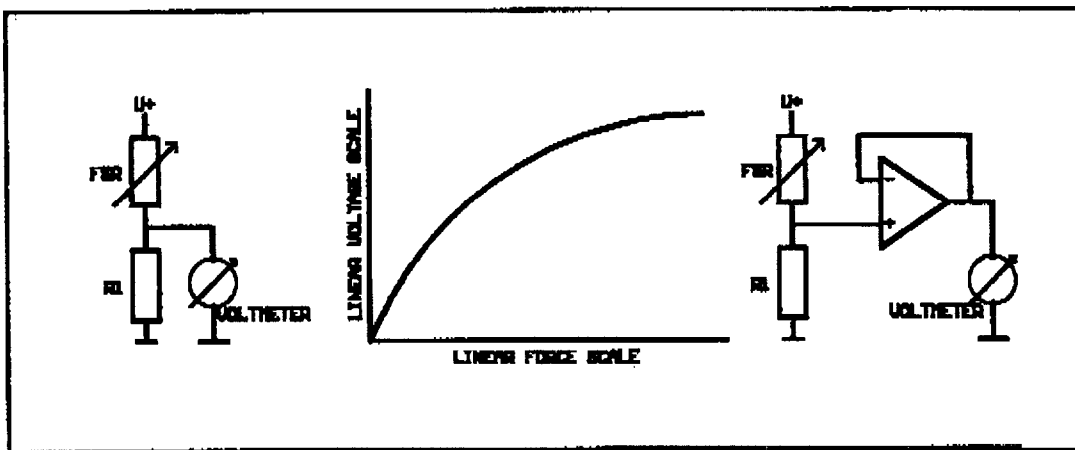
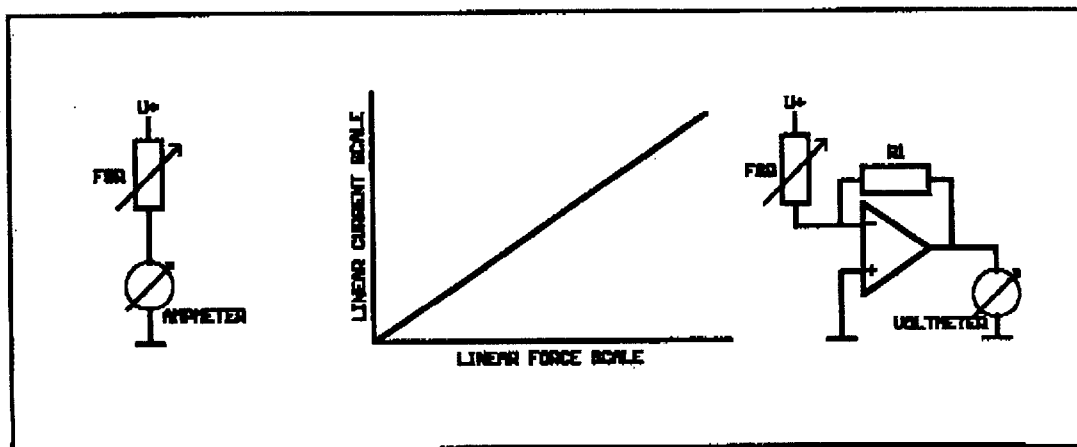


Bild 1

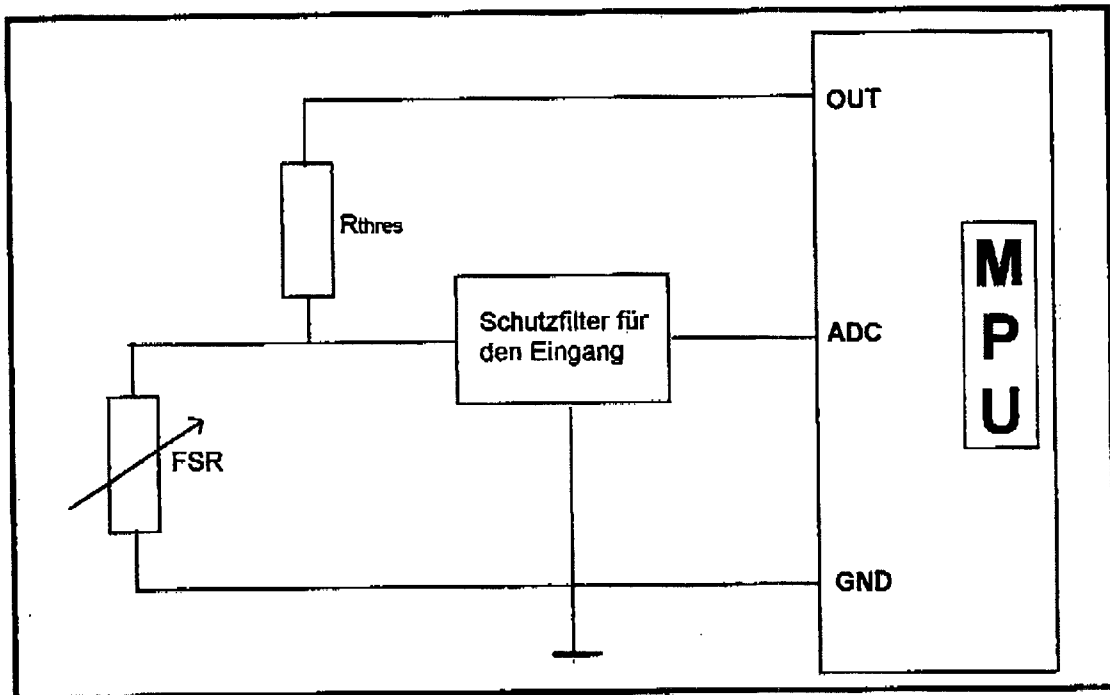
Wird aber eine konstante Spannung direkt an den FSR<sup>TM</sup> angelegt, so erzeugt der durch den FSR<sup>TM</sup> fließende Strom keine zusätzliche Nichtlinearität.

Mittels eines Operationsverstärkers kann die Strom- in eine Spannungsmessung umgewandelt werden (Bild 2).



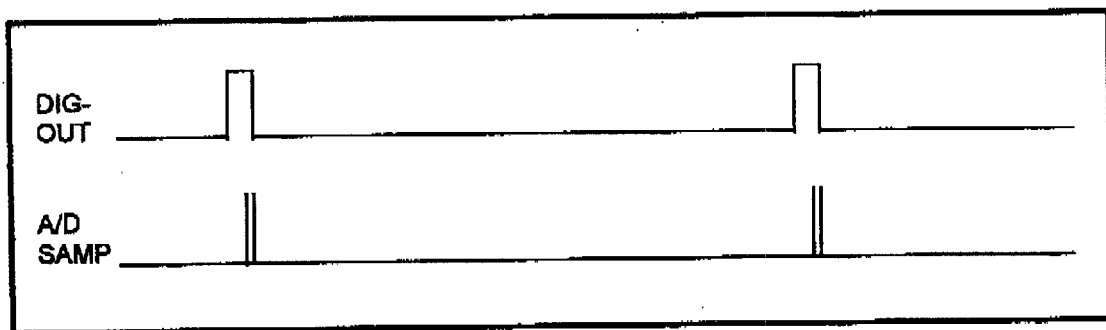
## Diskrete Sensoren

Basierend auf der Schaltung in Bild 1 kann die resultierende Ausgangsspannung im Analog-Digitalwandler-Eingang (ADC) des Prozessors ausgewertet werden. Ein einziger digitaler Ausgang kann dabei gleichzeitig mehrere Spannungsteiler versorgen. Für die Auswertung eines jeden FSR<sup>TM</sup>-Sensors wird aber ein eigener ADC oder Multiplexeingang benötigt.



**Bild 3**

Der Spannungsteiler wird bestromt, kurz bevor die A/D-Wandlung startet. Wegen der RC- Zeitkonstanten dauert es typischerweise ca. 0,1 bis 1 msec, bis sich die Ausgangsspannung eingestellt hat. Das Ausgangssignal kann aus mehreren kurz aufeinanderfolgenden A/D- Wandlungen bestehen, aus denen man einen Durchschnittswert ermitteln kann. Die Versorgungsspannung wird unmittelbar nach den letzten Samseln abgeschaltet. Die Meßzyklen können bis zu zehn Mal pro Sekunde wiederholt werden, passend zur Reaktionszeit des Systems, die durch die Art der Anwendung vorgegeben wird.



**Bild 4**

## **Sensor - Matrix**

Um höhere Dichten aktiver Sensorflächen zu erreichen, werden FSR<sup>TM</sup> - Sensoren normalerweise in Matrixform angeordnet. Zu deren Auswertung müssen jeweils Zeilen und Spalten abgefragt werden.

In Bild 5 sind alle Leitungen der Zeilen - gemäß der Basisbeschaltung in Bild 2 - angeschlossen.

Die Ausgangsspannungen der Zeilen - Verstärker werden im A/D - Wandler digitalisiert und im Prozessor ausgewertet.

Die Abfrage der Spalten geschieht mittels "Durchschieben" einer >Logischen 1< durch eine Reihe von >Logischen Nullen<, so daß jeweils immer nur eine einzige Spalte angesprochen wird.

Nach dem Anwählen einer neuen Spalte muß etwa 0,1 bis 1 msec gewartet werden, bis sich das Ausgangssignal stabilisiert hat; der Grund dafür liegt in elektrischen Kapazitäten innerhalb des Systems.

Danach können alle Zeilen gleichzeitig oder nacheinander mit hoher Geschwindigkeit abgefragt werden.

Abhängig von der Anzahl von Zeilen und Spalten muß ein passender Prozessor ausgewählt werden, der die geforderte Geschwindigkeit der Abfrage auch erzielen kann.

Der Meßstrom durch einen einzelnen Sensor darf nie 1 mA/cm<sup>2</sup> überschreiten.

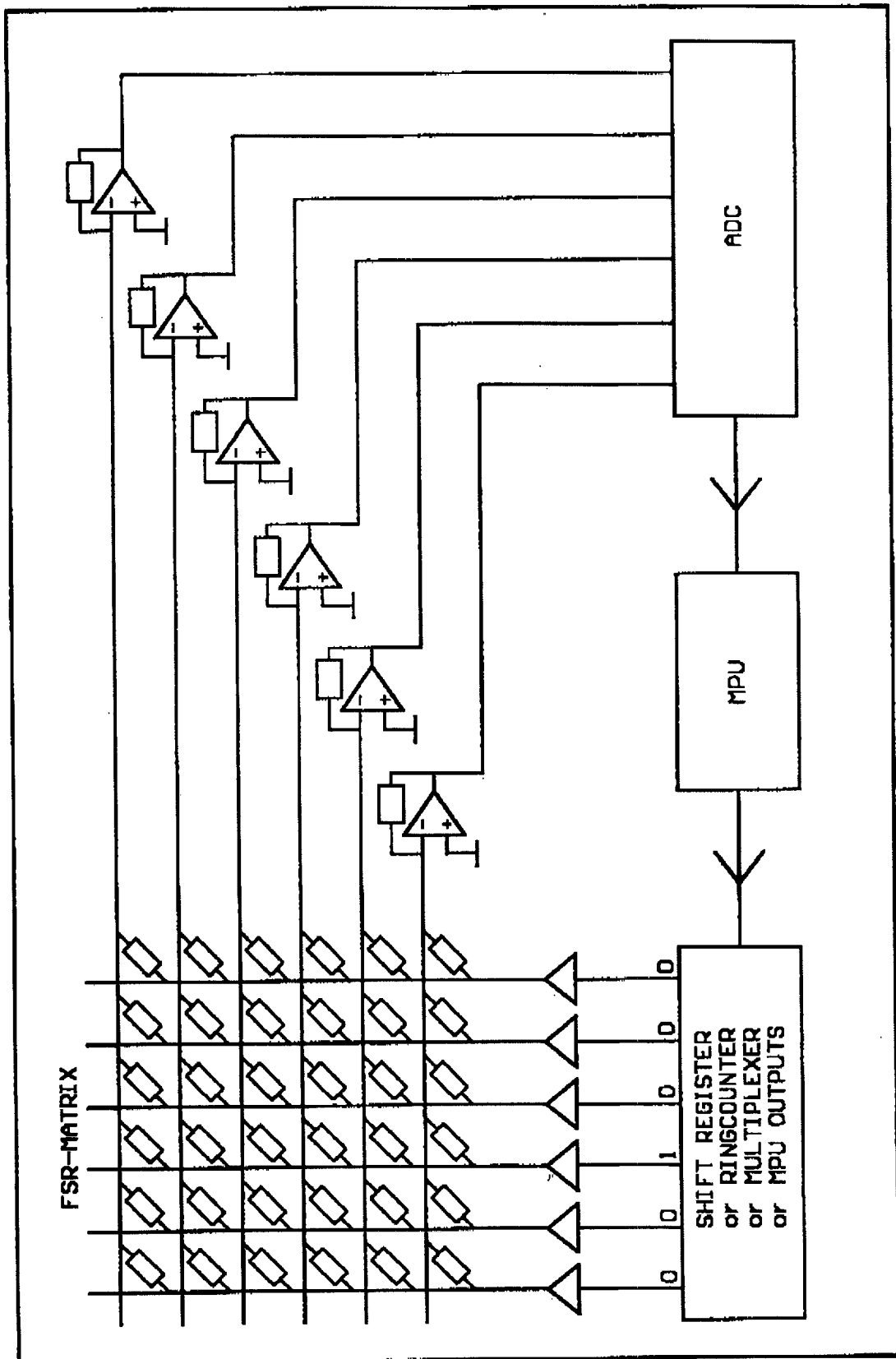
Für große Matrizen empfiehlt sich ein Pufferverstärker für jede Spalte. Wenn sehr viele Sensoren pro Spalte gleichzeitig aktiviert werden, kann nämlich sonst die Ausgangsspannung des Treibers zusammenbrechen.

Beim Einsatz unter rauen Bedingungen sollten die Eingänge schaltungstechnisch mittels antiparalleler Dioden geschützt werden.

Parallel - Kondensatoren zu den Rückkopplungswiderständen der Zeilenverstärker sorgen für niedriges Rauschen und Stabilität der Schaltung.

Die Zeitkonstante der elektrischen Schaltung muß bei der Berechnung der maximal möglichen Abfragefrequenz berücksichtigt werden.

Andere Parameter, wie Hysterese, Durchschnittswerte, Kalibrierung einzelner Sensoren oder die Kompensation von mechanischen Vorlasten können per Software eingestellt werden.



**Bild 5**

## Linearpotentiometer

Das Linearpotentiometer kann Positionen und Kräfte messen.

Die am Schleifer gemessene Spannung ist proportional zu der Position, wo Kraft in den Sensor eingeleitet wird. Zusätzlich dazu sinkt der Widerstand im Schleifer - Kreis ab, wenn diese Kraft erhöht wird.

Eine Kraft sollte nur jeweils an einer einzigen Stelle oder einem eng umgrenzten Bereich eingeleitet werden, um ein eindeutiges Ausgangssignal zu erhalten.

Wenn nämlich an mehreren Stellen gleichzeitig Kraft eingeleitet wird, so entspricht das Ausgangssignal am Schleifer praktisch dem gemeinsamen "Schwerpunkt" der eingeleiteten Kräfte.

In Bild 6 ist der Festwiderstand (FR) des Linearpotentiometers an die Referenzspannungen ( $V_{ref+}$ ) und ( $V_{ref-}$ ) des A/D - Wandlers angeschlossen.

Die Spannungsversorgung über den Digitalausgang 1 (OUT1) erfolgt nur kurzzeitig, für den Zeitraum der für eine Meßsequenz notwendig ist. Der Schleifer - Ausgang des Linearpotentiometers ist mit dem Eingang des A/D - Wandlers verbunden.

Ein hochohmiger Pufferverstärker (B1) stellt sicher, daß die Eingangsimpedanz, die Eingangskapazität und der Bias - Strom des A/D - Eingangs die Meßgenauigkeit nicht beeinflussen.

Die Ausgangsspannung ist proportional zur Position der Kraft, die in das Linearpotentiometer eingeleitet wird.

Um den  $FSR^{TM}$  - Widerstand zu messen, wird dem Schleifer über den Widerstand (R1) Strom eingeprägt, und zwar abwechselnd in positiver und negativer Richtung. Über den A/D - Eingang werden jeweils diejenigen Spannungen gemessen, die bei der Einprägung des positiven und des negativen Stroms auftreten. Die Differenz dieser beiden Spannungen ist proportional dem  $FSR^{TM}$  - Widerstand.

(R1) kann entweder über analoge Multiplexer oder einfach über die Digitalausgänge (OUT2 und OUT3), wie in Bild 6 gezeigt, geschaltet werden.

Wenn der Prozessor einen hochohmigen Ausgang mit sehr niedrigen Leckströmen hat, benötigt man die Dioden D1 und D2 nicht - der Widerstand (R1) wird direkt mit dem Digitalausgang verbunden.

Die Messung findet also in drei Schritten statt :

1. (R1) nicht eingeschaltet, um hochohmig die Position zu messen
2. Einprägung eines positiven Stroms, um den  $FSR^{TM}$  - Widerstand zu messen
3. Einprägung eines negativen Stroms, um den  $FSR^{TM}$  - Widerstand zu messen

Ein XYZ-Sensor, der auf dem Prinzip des Linearpotentiometers basiert, wird wie zwei separate, um 90° verdrehte Linearpotentiometer ausgewertet, eines für die X- und das andere für die Y- Richtung.

Das bedeutet, daß man für das X- und Y- Feld zwei identische Interface - Schaltungen benötigt.

Der FSR<sup>TM</sup> - Widerstand wird dabei in jedem Feld getrennt gemessen.

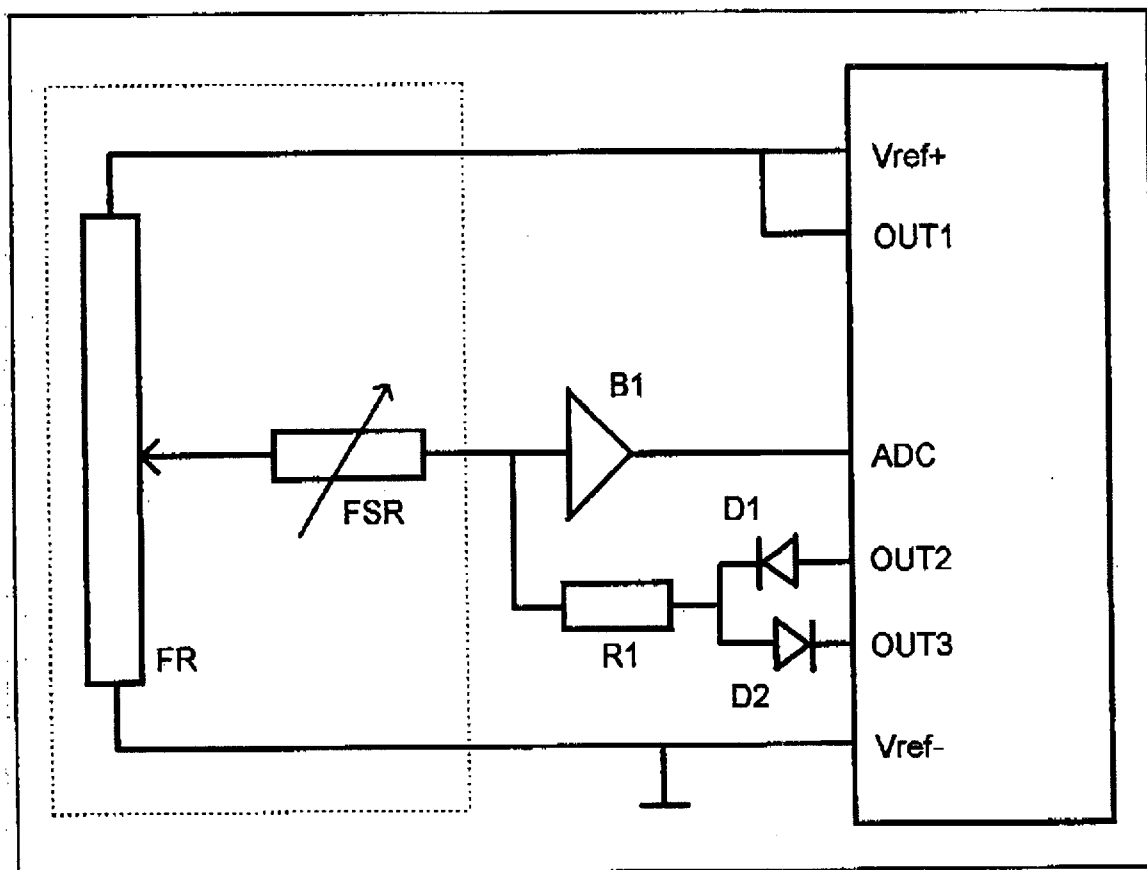
Wegen der Kapazitäten der Schaltung muß die Zeit zwischen dem Umschalten und dem Sampeln des A/D - Wandlers lange genug sein, damit sich die Ausgangsspannung aufbauen und stabilisieren kann.

Nach dem Meßvorgang wird die an den Sensor angelegte Spannung sofort abgeschaltet.

In jedem Feld muß eine minimale Kraft bestehen bleiben, um eine gute Positionsangabe zu erhalten.

Ihre Genauigkeit steigt mit der Höhe der Kraft.

Wenn diese Kraft schwankt, so sollte die daraus resultierende Schwankung des FSR<sup>TM</sup> - Widerstands beobachtet werden. Notfalls muß das Signal für die Position entsprechen korrigiert werden.



**Bild 6**