

# Flüssigkeits- Neigungs-Sensor FNS 15

*Dieses Sensormodul ermöglicht die Umwandlung eines Neigungswinkels in eine dem Winkel proportionale Spannung. Durch den einfachen und verschleißarmen Aufbau kann dieses Modul in zahlreichen Bereichen Anwendung finden.*

## Allgemeines

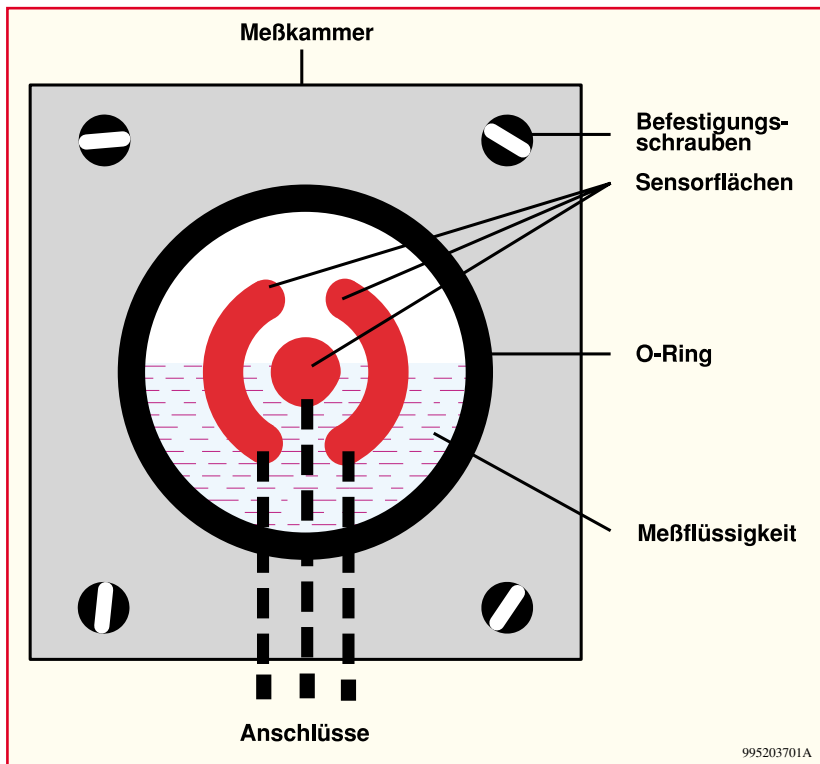
In einigen Anwendungen ist es notwendig, den Neigungswinkel eines Gegenstandes zur Auswertung in eine dem Neigungswinkel proportionale Spannung umzuwandeln. Die einfachste Möglichkeit einen Neigungssensor, auch Inclinometer (aus lat.: inclinare = neigen) genannt, aufzubauen, besteht in der Verwendung eines Pendels. Das Pendel, an einer Potentiometer-Achse gefestigt, konvertiert so die Winkeländerung in eine entsprechende Widerstandsänderung. Nachteil dieser Konstruktion ist der mechanisch empfindliche und vor allen Dingen verschleißbehaftete Aufbau.

Eine weitere Möglichkeit, wiederum in Verbindung mit einem Pendel, ergibt sich durch den Einsatz eines inkrementalen Drehgebers. Dieser Aufbau beinhaltet eine Lochscheibe mit zwei radial aufgebrachten Lochkreisen. Der Vorteil dieser Konstruktion ist die kontaktlose Abtastung der Position durch Gabellichtschranken, wodurch der Verschleißaspekt wesentlich reduziert ist. Nachteilig ist aber die aufwendige Auswertung der Position, da zwei Signale in bezug auf ihre Phasenlage ausgewertet werden müssen, um die Drehrichtung zu bestimmen. Weiterhin ist auch die Auswertung der Impulsmenge notwendig, um die absolute Position und somit auch den Winkel des Pendels festzustellen. Aufgrund der hohen Anforderungen an die

Auswerteeinheit kann hier sinnvollerweise nur ein Mikrocontroller eingesetzt werden. Der Aufbau einer diskreten Auswerteelektronik würde einen ungleich höheren Aufwand zur Folge haben. Außerdem liegt die Winkelinformation bei der Ver-

### Technische Daten: FNS 15

Wandlerkoeffizient:  
 $\approx 48 \text{ mV}/^\circ$  (@  $U_B = 8 \text{ V}$ )  
 Meßbereich: .....  $\pm 50^\circ$   
 Meßflüssigkeit:  
 1 mm<sup>3</sup> Isopropyl-Alkohol  
 Versorgungsspannung: .. 3,6 V - 12 V  
 Stromaufnahme: ..... 650  $\mu\text{A}$  @ 8 V  
 Abmessungen  
 (L x B x H): ..... 28 x 35 x 10 mm



**Bild 1: Skizze der Meßkammer**

wendung eines inkrementalen Drehgebers in digitaler Form vor, so daß zum einen die Auflösung begrenzt ist, zum anderen für eine analoge Winkelinformation noch eine separate Digital / Analog-Wandlung notwendig ist. Der Nachteil des Verschleißes an der Drehachse und der Trägheit aufgrund der Masse des Pendels bleibt aber auch bei dieser Konstruktion bestehen.

Um nun die Nachteile der bisher beschriebenen Neigungssensoren zu beseitigen, wurde der elektronische Neigungssensor FNS 15 entwickelt. Die wesentlichen Vorteile sind, daß der Meßwert als dem Winkel proportionale Ausgangsspannung, d. h. als Analogwert, vorliegt und der Verschleiß nahezu Null ist.

Die Funktion des FNS 15 beruht auf der Tatsache, daß viele Flüssigkeiten den Transport von Ladungsträgern ermöglichen, d. h. leitfähig sind. Diese Eigenschaft wird durch den Aufbau einer mit Flüssigkeit gefüllten Meßzelle ausgenutzt. Die Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Meßkammer. Diese Zelle ist bis zur Hälfte mit einer leitfähigen Flüssigkeit gefüllt. Die äußeren Sensorflächen, die als Kreisringausschnitte ausgeführt sind, werden in Abhängigkeit vom Neigungswinkel der Kammer (Platine) unterschiedlich stark mit Flüssigkeit benetzt. Auf diese Weise bilden sich, äquivalent zu einem herkömmlichen Spannungsteiler aus konzentrierten Widerständen, zwei Teilwiderstände aus, wobei das mittlere, zwischen den beiden äußeren Flächen gelegene Kon-

taktpad, einen gemeinsamen Anschluß beider „Widerstände“ darstellt. Die sich so ergebende Konstruktion kann mit einem hochohmigen Potentiometer verglichen werden.

Um nun eine dem Winkel proportionale Meßgröße zu erzeugen, wird eine der beiden äußeren Sensorflächen mit Signalmasse verbunden, während die andere äußere Sensorfläche mit einem definierten Meßsignal beaufschlagt wird. In der waagerechten Ruheposition sind die mit der Flüssigkeit in Kontakt stehenden Flächen gleich groß. In dieser Stellung sind die Spannungsabfälle von der mittleren Kontaktfläche zu den beiden äußeren identisch, es stellt sich ein bestimmter Pegel am Meßwertausgang ein. Neigt sich nun der Flüssigkeitspegel in der Meßkammer, ändert sich die Spannungsverteilung aufgrund der Widerstandsänderung und damit auch die Spannung am Meßwertausgang entsprechend dem Neigungswinkel.

Bei dem Prinzip, mittels einer Flüssigkeit die Winkeländerung zu ermitteln, ist zu beachten, daß chemische Reaktionen zwischen den beteiligten Komponenten nicht die Meßwertaufnahme angreifen und zerstören. Bei der Verwendung von Gleichstrom als speisendes Meßsignal für die Meßzelle besteht die Gefahr, daß chemische Prozesse (Elektrolyse) einsetzen und eine Zersetzung der Meßflüssigkeit und der Kontaktflächen zur Folge haben. Um diesen „Zerfall“ zu verhindern, wird im FNS 15 anstelle des Gleichstromes ein Wechselstrom zur Speisung des Meßwert-

aufnehmers benutzt. Diese Maßnahme schlägt sich zwar in einer etwas aufwendigeren Schaltung nieder, gewährleistet aber die Quasi-Verschleißfreiheit dieser universell einsetzbaren Schaltung.

Durch den kompakten Aufbau der Schaltung und vor allem durch die als Spannung vorliegende Winkelinformation gibt es für den Anwender unzählige einfache Möglichkeiten bezüglich der Signalauswertung. Durch den Einsatz eines Komparators ist beispielsweise die Grenzwertüberschreitung eines Winkels leicht detektierbar. So ist es mit diesem Neigungssensor möglich, neigungssensitive Alarmanlagen z. B. für Motorräder zu bauen. Hierzu wird in einer Auswerteschaltung die Neigung des abgestellten Motorrades als Ruhepunkt gewählt. Wird durch einen Diebstahl der Neigungswinkel des Motorrades verändert, kann diese Winkeländerung zur Alarmauslösung verwendet werden.

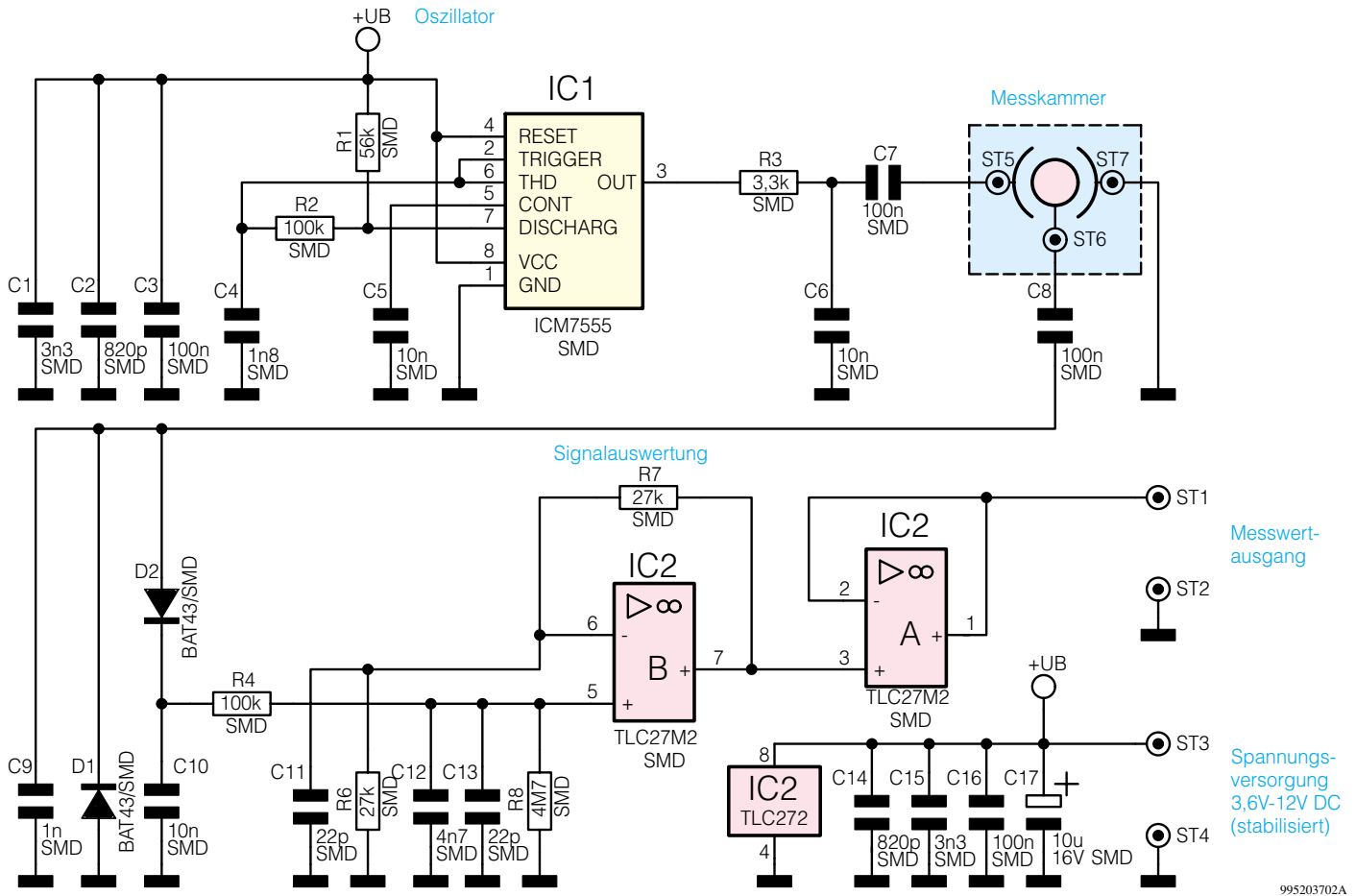
Für diese kleine Schaltung gibt es aber noch unzählige weitere Anwendungsfälle: So ermöglicht das Sensormodul auf einfache Weise den Aufbau einer elektronischen Wasserwaage. Die Konstruktion eines elektronischen Steigungs- und Querneigungs-Messgerätes für Geländefahrzeuge, das z. B. mit einfachen Zeigerinstrumenten realisiert werden kann, ist denkbar. An Bord eines Segelschiffes kann dieses Modul zum Auswerten der Krängung, also der durch den Winddruck verursachten Querneigung verwendet werden. Sinnvoll ist hier auch die Implementierung von einstellbaren Alarmwerten, um vor einer bevorstehenden Kenterung zu warnen.

Durch den einfachen Aufbau und durch die als Gleichspannung vorliegende Winkelinformation sind noch zahlreiche andere Anwendungsfälle dieser kompakten Schaltung denkbar, die im folgenden beschrieben wird.

## Schaltung

Wie aus dem in Abbildung 2 dargestellten Schaltbild ersichtlich, läßt sich die Schaltung in vier Gruppen aufteilen: Wechselspannungserzeugung (Oszillator), Meßkammer, Gleichrichtung und Signalverstärkung.

Der durch IC 1 gebildete Oszillator arbeitet mit einer Frequenz von ca. 3 kHz. Als frequenzbestimmende Bauteile wirken dabei R 1 und R 2 sowie der Kondensator C 4. Bei dem hier eingesetzten Timerbaustein handelt es sich um eine abgewandelte Version des Standardtimers NE 555. Der Timerbaustein in IC 1 beinhaltet im wesentlichen zwei Komparatoren, eine bistabile Kippstufe, einen Entladetransistor sowie ein Widerstandsnetzwerk. Werden hier der Trigger-Eingang Pin 2 und der Schwellwert-Eingang Pin 6 miteinander



995203702A

Bild 2: Schaltbild des Flüssigkeits-Neigungssensors FNS 15

verbunden, arbeitet der Timer im astabilen Modus. Zur Schwingungserzeugung wird über R 1 und R 2 der Kondensator C 4 aufgeladen. Ist der obere Schwellwert erreicht, so schaltet der Eingang „Discharge“ nach Masse durch und entlädt über R 2 den Kondensator C4. Ist eine untere Schaltschwelle erreicht, so wird der „Discharge“-Eingang wieder hochohmig und der Kondensator lädt sich wieder über R 1 und R 2 auf. Damit die Schwingungserzeugung weitgehend unabhängig von der Betriebsspannung ist, sind die Umschaltsschwellen direkt damit verknüpft. So liegt die untere Schwelle bei  $1/3$ -Betriebsspannung und die obere bei  $2/3U_B$ . Das so erzeugte Dreieckssignal wird mittels Schmitt-Trigger in eine zugehörige Rechteckform gewandelt.

Über den Tiefpaß aus R 3 und C 6 gelangt das Rechtecksignal auf den Koppelkondensator C7. Dieser sorgt dafür, daß das Signal, welches auf die Sensorflächen in der Meßkammer geführt wird, keine Gleichspannungskomponenten mehr besitzt. Aus gleichem Grunde erfolgt die Auskopplung der dem Neigungswinkel proportionalen Meßspannung über C 8. Die hier noch anliegende Wechselspannung wandelt der nachfolgende mit D 1, D 2, C 9 und C 10 aufgebaute Gleichrichter in eine entsprechende Gleich-

spannung um. Um hier auch noch mit kleinen Signalpegeln arbeiten zu können, kommen als Gleichrichterdioden Schottkytypen zum Einsatz. Die Diode D 1 klemmt das Signal während der negativen Halbwelle, während die Diode D 2 für die Gleichrichtung des Signales sorgt. Die anschließende Siebung mit C10 und die darauf folgende Filterung mittels R 4, R 8, C 12 und C 13 stellen dann die gesiebte Gleichspannung für die weitere Verarbeitung zur Verfügung.

Der als nicht-invertierender Verstärker beschaltete Operationsverstärker IC 2 B sorgt für die erforderliche Anhebung des Signalpegels. Als verstärkungsbestimmende Bauteile legen hier die Widerstände R 6 und R 7 die resultierende Verstärkung auf  $V = 2$  (entsprechend 6 dB) fest. Der nachfolgende Operationsverstärker IC 2 A wird als Impedanzwandler verwendet, um die Sensorausgangsspannung rückwirkungsfrei an den Ausgangspins ST 1 und ST 2 des FNS 15 zur Verfügung zu stellen.

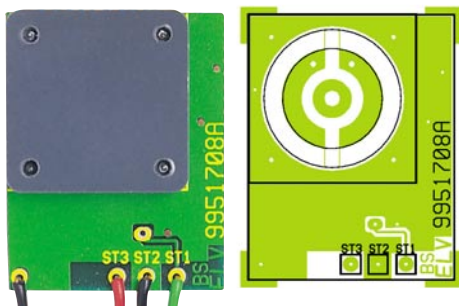
Über die Anschlüsse ST 3 und ST 4 erfolgt die Zuführung der Betriebsspannung. Dabei gewährleistet der große Eingangsspannungsbereich von 3,6 V bis 12 V eine universelle Einsetzbarkeit. Außerdem

sorgt die geringe Stromaufnahme von nur 650  $\mu A$  für eine lange Batterielebensdauer im mobilen Betrieb. Nach dieser ausführlichen Schaltungsbeschreibung wird im folgenden der Nachbau des Flüssigkeits-Neigungssensors beschrieben.

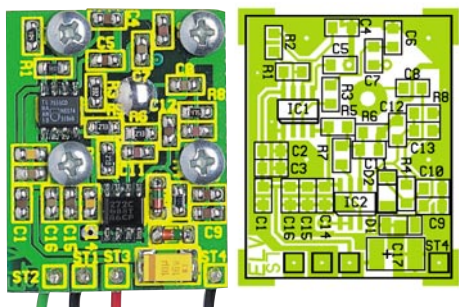
### Nachbau

Durch den Einsatz von SMD-Bauteilen ist die Baugröße des FNS 15 auf ein Minimum reduziert. So findet die gesamte Schaltung auf der dargestellten 28 x 35 mm messenden Platine Platz. Bei der Bestückung sind alle SMD-Bauteile auf der Lötseite zu bestücken. Lediglich die Meßkammer ist auf der Platinenoberseite zu befestigen.

Im ersten Schritt der Bestückungsarbeiten sind die Widerstände einzubauen. Da die im folgenden einzubauenden Kondensatoren im Vergleich zu Widerständen keinen Aufdruck haben, ist hier besondere Sorgfalt notwendig, um die Gefahr der Verwechslung auszuschließen. Dabei wird der Kondensator C5 zunächst noch nicht eingesetzt, da die Durchkontaktierung im Masseanschluß noch als Entlüftungsöffnung genutzt wird. Der SMD-Elektrolyt-Kondensator C 17 ist unter Beachtung der Polung zu



**Ansicht der fertig bestückten Platine mit zugehörigem Bestückungsdruck (oben: Bestückungsseite, unten: Lötseite)**



bestücken. Die Strichmarkierung auf dem Bauteil gibt dabei den Pluspol an.

Bei den nun einzulötenden Halbleitern ist die richtige Einbaulage von grundlegender Bedeutung. Bei den Dioden ist die richtige Polung durch den Katodenring vorgegeben, der mit der Kennzeichnung

### Stückliste: Flüssigkeits-Neigungs-Sensor FNS15

#### Widerstände:

3,3k $\Omega$ /SMD .....	R3
27k $\Omega$ /SMD .....	R6, R7
56k $\Omega$ /SMD .....	R1
100k $\Omega$ /SMD .....	R2, R4
4,7M $\Omega$ /SMD .....	R8

#### Kondensatoren:

22pF/SMD .....	C11, C13
820pF/SMD .....	C2, C14
1nF/SMD .....	C9
1,8nF/SMD .....	C4
3,3nF/SMD .....	C1, C15
4,7nF/SMD .....	C12
10nF/SMD .....	C5, C6, C10
100nF/SMD .....	C3, C7, C8, C16
10 $\mu$ F/16V/SMD .....	C17

#### Halbleiter:

ICM7555/SMD .....	IC1
TLC27M2/SMD .....	IC2
BAT43/SMD .....	D1, D2

#### Sonstiges:

- 1 Meßkammer
- 1 O-Ring
- 4 Knippingschrauben, 2,2 x 6,5mm

im Bestückungsdruck übereinstimmen muß. Die abgeflachte Seite des IC-Gehäuses (Pin 1) und/oder die Strich- oder Punktmarkierung auf dem Gehäuse geben die Orientierungshilfe bei der IC-Bestückung.

Vor der folgenden Montage der Meßzelle sollte die Platine auf Kurzschlüsse, Bestückungsfehler und kalte Lötstellen hin untersucht werden. In die Meßkammer muß zunächst der O-Ring eingelegt werden. Wichtig bei der Montage der Meßzelle ist, daß der O-Ring bündig auf dem Meßkammergehäuse aufliegt und die Montagefläche auf der Bestückungsseite sauber ist. Als dann kann die Meßkammer mittels der vier Knippingschrauben auf der den SMD-Bauteilen abgewandten Platinenseite befestigt werden.

Nachdem die Meßkammer richtig montiert ist, kann mit dem Einfüllen der Meßflüssigkeit begonnen werden. Zu diesem Zweck ist in der mittleren Sensorfläche eine Durchkontaktierung eingefügt, durch die die Meßflüssigkeit in die Meßkammer injiziert werden kann. Als sehr hilfreich hat sich hier die Verwendung einer Injektionsspritze aus dem medizinischen Bedarf herausgestellt. Aber auch jede Kanülenflasche mit einem Kanüledurchmesser  $\leq 0,8$  mm kann hierzu verwendet werden.

Um eine optimale Füllhöhe zu erreichen, muß der Sensor während der Befüllung so aufgestellt werden, daß sich die Anschlußpins unten befinden. So ist gewährleistet, daß die Meßkammer exakt zu 50% gefüllt wird, da die überschüssige Meßflüssigkeit wieder durch die Durchkontaktierung abläuft. Als Meßflüssigkeit wird Isopropyl-Alkohol verwendet, der zur Grundausstattung jeder Elektronik-Werkstatt gehört und sich in jeder Apotheke einfach beschaffen läßt. Nachdem sich die korrekte Menge von ca. 1 mm<sup>3</sup> in der Meßkammer befindet, kann die Durchkon-

taktierung mit Lötzinn verschlossen werden. Zum Verlöten muß der Sensor flach auf die Arbeitsunterlage gelegt werden. Dabei sollte die Lötzeit so kurz wie möglich sein, da sich die Flüssigkeit ansonsten sehr stark erwärmt und austritt. Nachdem die Befüllungsöffnung verschlossen ist, wird nach einer kurzen Abkühlphase die als Entlüftung dienende Durchkontaktierung unter C 5 durch die Bestückung des Kondensators verschlossen. Vor der nun folgenden Inbetriebnahme sollte die Bestückung nochmals geprüft werden.

### Inbetriebnahme und Bedienung

Die Inbetriebnahme gestaltet sich durch das Entfallen eines Abgleiches sehr einfach. Nach dem Anschließen der Betriebsspannung an die Lötstützpunkte ST 3 und ST 4, die im Bereich von 3,6 V bis 12 V liegen sollte, ist die Schaltung bereits betriebsbereit. Zur Kontrolle der Funktion kann die Kennlinie aufgenommen werden, die den Zusammenhang zwischen Neigung und Ausgangsspannung angibt. Da das Ausgangssignal von der Betriebsspannung abhängt, kann kein allgemeingültiger Verlauf angegeben werden. Auch die Füllhöhe der Meßflüssigkeit in der Meßzelle und die verwendete Meßflüssigkeit haben einen Einfluß auf die Spannung. Als Beispiel einer solchen Kennlinie ist in Abbildung 3 ein typischer Verlauf bei 8 V Betriebsspannung angegeben.

Nachdem die Inbetriebnahme erfolgreich abgeschlossen ist, steht dem Einsatz des universellen Flüssigkeits-Neigungs-Sensors FNS 15 nichts mehr im Wege. Der einfache und kompakte Aufbau und die leicht auswertbare, dem Neigungswinkel proportionale Spannung zeichnet diese Schaltung aus. So sind für den FNS 15 in vielen Bereichen interessante Anwendungen zu finden.

**Bild 3: Kennlinie Ausgangsspannung bei 8V-Betriebsspannung**

