



Custom
Engineered
Solutions for
Tomorrow

Reed Technologie



standexmeder.com

Grundlagen der Reedtechnik

Allgemeine Beschreibung des Reed Schalters	7
Die Funktion des Reed Schalters	8
Magnetische und elektrische Parameter für Reed-Bauelemente	10
Wie arbeiten Reed Schalter und Magnete zusammen	18
Reedsensoren im Vergleich zu Halleffektsensoren	25
Reed Schalter im Vergleich zu mechanischen Mikroschaltern	28

Magnete

Magnete und deren Eigenschaften	29
Handhabungshinweise für Magnete	34
Magnetisierung	35

Vorsichtsmaßnahmen

Mechanische und elektrische Schutzmaßnahmen für Reed Schalter in Relais- und Sensorapplikationen	37
Kontaktschutz – Elektrische Schutzbeschaltung	41
Kontaktschutz – Schutzbeschaltungen der Reed Schalter	43

Ampere-Turns (AT) versus Millitesla (mT)

Vergleich zwischen Amperewindungen (AW, AT) und Millitesla (mT)	45
---	----

Anwendungsbeispiele

Applikationen für Reed Schalter und Reedsensoren	51
Anwendungen für Automotive und Transport	53
Marine und Bootsanwendungen	56
Intelligente Anwendungen für Zuhause	57
Schutz und Sicherheit	60
Medizin	61
Test- und Messtechnik	62
Telekommunikation	63
Weitere Applikationen	64

Reedrelais

Der Reed Schalter als Schaltelement in einem Reedrelais	65
Applikationen für Reedrelais	66
Magnetische Interaktion in Reedrelaisanwendungen	67
Reedrelais im Vergleich zu Solid-State und mechanischen Relais	73
7 GHz HF-Reedrelais – Applikationen	74
Applikationshinweis für Messungen im Frequenz- und Zeitbereich an HF-Relais	76

Lebensdauer

Anforderungen an die Lebensdauer	85
--	----

Schaltabstand	86
-------------------------	----

Glossar	90
-------------------	----



PRODUKTE UND LÖSUNGEN –
SO UNTERSCHIEDLICH
WIE DIE MÄRKTE,
DIE WIR BEDIENEN.





DAS UNTERNEHMEN

Standex-Meder Electronics ist weltweiter Marktführer in Design, Entwicklung und Produktion von Standardversionen und Sonderanfertigungen elektromagnetischer Bauteile und Innovationen auf der Basis von Reed Schaltern.

Unser Produktangebot magnetisch betätigter Bauelemente umfasst Planar Transformatoren, Rogowski-Spulen, Stromwandler, Nieder- und Hochfrequenztransformatoren sowie induktive Bauelemente. Unsere auf Reed-Technologie basierenden Produktlösungen beinhalten Reed Schalter der Marken Meder, Standex und OKI, sowie den kompletten Produktbereich Reed Relais. Ferner ein umfassendes Spektrum von Level-, Näherungs-, Strömungs-, Klimaanlagekondensat-, hydraulischen Differenzdruck-, kapazitiven, leitfähigen und induktiven Sensoren

MARKTÜBERSICHT

Wir bieten technische Produktlösungen für ein breites Spektrum von Produktenanwendungen in einer Vielzahl von Märkten:

- Allgemeine Industrie
- Alternative Energien
- Automatisierung
- Automotive/Verkehr
- Beleuchtungstechnik
- Energieversorgung
- Haushaltsgeräte
- Hobby und Freizeit
- Hydraulik und pneumatische Antriebe
- Intelligente Netzsysteme
- Kommunikations-technik
- Lebensmitteltechnik
- Luft- und Raumfahrt
- Lüftungs- und Klimatechnik
- Medizin
- Mess- und Regeltechnik
- Messgeräte
- Nutzfahrzeuge
- Offroad
- Rüstungsindustrie
- Sicherheitstechnik
- Strömungstechnik
- Test- und Messtechnik





KUNDENORIENTIERTE INNOVATIONEN. TECHNISCHE FÄHIGKEITEN AUF WELTWEIT ERSTKLASSIGEM TOPNIVEAU.

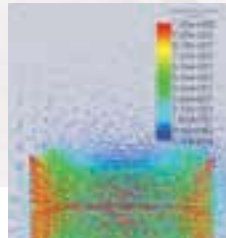
ENGAGEMENT & KERNKOMPETENZ

Standex-Meder Electronics hat sich der absoluten Kundenzufriedenheit und der kundengesteuerten Innovation verpflichtet und bietet im Rahmen einer globalen Organisation weltweite Vertriebsunterstützung, Entwicklungskapazitäten und technische Ressourcen.

Neben dem Hauptsitz in Cincinnati, Ohio, USA verfügt Standex-Meder Electronics über acht Produktionsstätten in sechs Ländern (USA, Deutschland, China, Mexiko, Großbritannien und Kanada).

PRODUKTION

- Automatische Reed Schalterprüfung und -sortierung
- Spulenkörper- und Ringkernbewicklung
- Umspritzen und Einhausen von Spulen
- Transfermoulding
- Hot Melt Niederdruckspritzguss Verfahren
- Automatische SMD-Bestückung mit optischer Inspektion
- Plasmaoberflächenbehandlung
- Kunststoffspritzguss und Einlegespritzguss
- Zwei Komponenten Verguss
- Folgeverbund Stanzen
- Reflow-, Selektiv- und Wellenlöttechnologie
- Reed Schalterproduktion
- Automatische Sensormontage
- Entwicklung und Produktion von Transformatoren
- Edelstahlbearbeitung und präzises Laserschweißen





ENTWICKLUNG

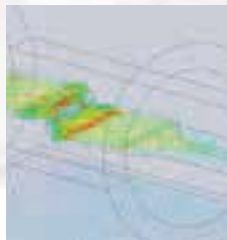
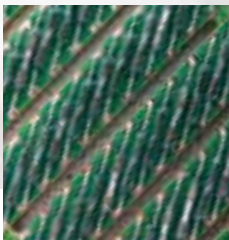
- Entwicklung elektronischer und magnetischer Sensoren
- Schaltungsentwicklung und Leiterplattendesign
- Patentierte Leitwert-Sensoren
- Patentierte induktive Sensoren
- 3-D CAD Darstellungen
- 3-D Scanning von Schaltpunkten
- EMS Software für magn. Simulationen
- PCB Prototypenherstellung
- Schnelle Prototypenanfertigung mit 3-D Drucker

TEST- & MESSTECHNIK

- Automatische Bestückungs- und Prüfsysteme
- Umwelt- und Beständigkeitstests
- Lebensdauertest
- Fluxmeter
- Nanovoltmeter
- Picoamperemeter
- Abreißkraft-Prüfstand
- Gauss- / Teslameter
- Hochspannungs- und Isolationsprüfgeräte

QUALITÄTS- / LABORMERKMALE

- Zertifizierung nach AS9100, ITAR, DIN EN ISO9001, ISO/TS16949
- Voll ausgestattete und zertifizierte Testlabore
- Burn-In und Lebensdauertest
- Eigene mechanische Bearbeitung (Werkzeugbau)
- Corona Entladungs Testgerät
- Mikroskopische Untersuchung/DPA
- Dichtigkeitsprüfung
- Schichtdicken Messgerät
- Salzsprühnebel und Lötbarkeitstest
- Auszugskraftmessung
- Temperaturwechsel- und Klimatest
- Mechanische Schock- und Vibrationstests



Notizen

Allgemeine Beschreibung des Reedschalters

Der Reedschalter hat seinen Ursprung in den USA und wurde dort von Bell Labs Ende 1930 entwickelt. Ab 1940 gab es bereits erste Industrieanwendungen für Reedsensoren und Reedrelais – hauptsächlich in einfachen, magnetisch ausgelösten Schaltfunktionen und ersten Modellen von Testgeräten. Ende der 40er Jahre war es die Firma Western Electric, die Reedschalter in Telefonsysteme einführte. Selbst heutige Designs nutzen die Vorteile der Reedschalter in derartigen Anwendungen immer noch.

Während dieser Zeit gab es ein Kommen und Gehen von Herstellern. Die meisten haben es geschafft, mit modernen Produktionsmaschinen eine sehr hohe Zuverlässigkeit zu erreichen. Einige wenige machen weiter wie früher, was dem Ansehen des Reedschalters sicherlich nicht positiv zuträgt.

Der weltweite Bedarf an Reedschaltern pro Jahr wächst stetig: Einsatzgebiet ist das gesamte Spektrum der Elektrotechnik und Elektronik wie Automobilmarkt, Alarmanlagen, Test- und Messgerätemarkt, Hausgeräte, Medizintechnik, Industrieanwendungen.

Beim Reedschalter handelt es sich um ein kleines, aber feines Bauteil. Aufgrund der verwendeten Materialien und hermetisch geschlossenen Bauweise, lassen sich Schaltfunktionen in fast allen denkbaren Umweltbedingungen realisieren. Trotzdem sind einige Punkte zu beachten, die auf die Langzeitstabilität eine gravierende Wirkung haben können. So ist die Glas-Metall-Einschmelzzone aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten für die Dichtheit verantwortlich. Ansonsten besteht die Gefahr von Haarrissen mit all den bekannten Konsequenzen. Beim Auftragen des Kontaktmaterials gilt dasselbe: Rhodium oder Rhutenium wird entweder gesputtert oder galvanisch abgeschieden. Ganz egal wie, aber dieser Prozess ist extrem von den äußeren Umweltbedingungen abhängig und sollte am besten in einem Reinraum stattfinden. Genau wie in der Halbleiterindustrie sind fremde Partikel, auch bereits in kleinster Ausprägung, die Quelle für Zuverlässigkeitsprobleme. Um den Qualitätsanspruch unserer Kunden gerecht zu werden, entschloss man sich die Fertigung der Reedschalter

selbst in die Hand zu nehmen. Reedschalter werden seit 1968 in England und seit 2001 in Deutschland gefertigt.

Im Laufe der Zeit konnten die Abmessungen von 50 mm Länge auf 3,7 mm geschrumpft werden. Dadurch wurden eine Vielzahl neuer Anwendungen entwickelt, die technisch realisiert, besonders im Bereich der Hochfrequenztechnik und Impulsschaltungsanwendungen.

Hier eine Aufstellung über die wichtigsten Merkmale:

1. Fähigkeit zum Schalten bis 10.000 Volt
2. Schaltströme bis 5 A möglich
3. Minimalspannungen von 10 Nanovolt können ohne Verluste geschaltet oder transportiert werden
4. Ströme von 1 Femtoampere können ohne Verluste geschaltet oder transportiert werden
5. Fähigkeit, Signale bis 7 GHz ohne nennenswerte Verluste zu schalten
6. Isolationsspannung über den geöffneten Kontakt bis 10^{15} Ohm
7. Kontaktwiderstand im geschlossenen Zustand typ. 50 mOhm
8. Verharrt im geöffneten Zustand ohne jegliche externe Leistung
9. Bistabile Schaltfunktion möglich
10. Schließzeit ca. 100 bis 300 μ sec
11. Fähigkeit, auch in extremen Temperaturschwankungen zwischen -55°C und $+200^{\circ}\text{C}$ zu schalten
12. Elemente wie Wasser, Vakuum, Öl, Fett und sonstige aggressive Umwelteinflüsse beeindrucken das Bauteil aus Glas nur in ganz seltenen Fällen
13. Schockresistenz bis 200 g
14. Einsetzbar bei Vibrationen von 50 Hz bis 2.000 Hz bei 30 g
15. Lange Lebensdauer – bei Schaltspannungen unter 5 V (Lichtbogen-Grenze) sind Schaltspiele weit über 10^9 hinaus erreichbar
16. Kein Stromverbrauch, daher ideal für transportable und batteriebetriebene Geräte
17. Kein Schaltgeräusch

Die Funktion des Reedswitchers

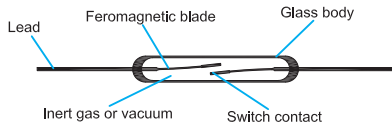


Abb. # 1 Zeigt den prinzipiellen Aufbau eines 1Form A-Schalters (NO).

Ein Reedswitcher besteht aus zwei ferromagnetischen Schaltungen (normalerweise Nickel/Eisenlegierung), die hermetisch dicht verschlossen in ein Glasröhrchen eingeschmolzen werden. Die beiden Schaltungen überlappen. Wirkt ein entsprechendes Magnetfeld auf den Schalter, bewegen sich die beiden Paddel aufeinander zu – der Schalter schließt. Der Kontaktbereich der beiden Schaltungen ist mit einem sehr harten Metall beschichtet, meist Rhodium oder Ruthenium. In Frage kommen aber auch Wolfram, Iridium oder ähnlich strukturierte Metalle. Aufgetragen werden diese entweder galvanisch oder durch einen Sputterprozess (bekannt aus der Halbleiterindustrie). Diese hart beschichteten Kontaktflächen sind der Garant für die sehr lange Lebensdauer eines Reedswitchers. Vor dem Einschmelzen wird die vorhandene Luft evakuiert. Dies geschieht mittels Unterdruck. Während des Einschmelzvorganges füllen wir den Schalter mit Stickstoff oder einer Inertgasmischung mit hohem Stickstoffanteil. Zur Erhöhung der Schaltspannungsgrenze besteht aber auch die Möglichkeit, den Schalter vor dem Verschließen zu evakuieren. Durch das erzeugte Vakuum sind diese Schalter für den Einsatz in Hochspannungsanwendungen bestens geeignet und können bis zu 10kV schalten.

Das, durch Permanentmagnet oder Spule erzeugte, Magnetfeld ist gegenpolig gerichtet, die Paddel ziehen sich an. Übersteigt die magnetische Kraft die Federwirkung des Paddel, schließen die beiden Kontakte. Beim Öffnen geschieht dasselbe: Ist die Magnetkraft geringer als die Federkraft der Schalter, so öffnet der Reedswitcher wieder.

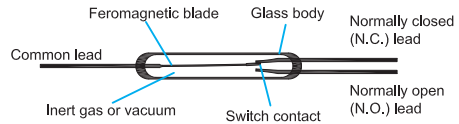


Abb. # 2 Der 1Form C-Schalter (SPDT) hat drei Anschlüsse.

Der beschriebene Ablauf gilt für den 1Form A-Schalter, auch bekannt als NO (Normally Open), Schließer oder SPST (Single-Pole-Single-Throw) Reedswitcher. Man findet aber auch Mehrfachbelegung wie 2Form A (2 Schließer), 3Form A etc.

Ist der Schalter in Ruhestellung geschlossen spricht man von 1Form B-Funktion. Vielleicht besser bekannt als Öffner.

Möchte man Strom- oder Signalpfade wechseln, kommt der 1Form C-Schalter in Frage, auch bekannt als Wechsler. Die internationale Bezeichnung ist SPDT (Single-Pole-Double-Throw). In Ruhestellung und ohne anliegendes Magnetfeld wird der so genannte Ruhekontakt hergestellt. Beaufschlagt man den Wechsler mit einem entsprechend starken Feld, so wechselt der Kontakt vom Ruhe- auf den Arbeitskontakt. Ruhe- und Arbeitskontakte sind unbewegte Kontakte. Alle drei Paddel sind ferromagnetisch leitend; lediglich der Kontaktbereich des Ruhekontakts (Öffners) ist mit einem nicht leitenden Plättchen versehen. Wird ein Magnetfeld in der Form angelegt, dass die beiden Anschlüsse NO und NC eine Polarität erfahren und der Common-Anschluss die andere Polarität erfährt, so bewegt sich das Paddel in Richtung Schließeranschluss.

Vergleich zwischen Amperewindungen (AW, AT) und Millitesla (mT)

Seit der Erfindung des Reedschalters in den 30er Jahren, wurde für die Bestimmung der magnetischen Empfindlichkeit die Einheit Amperewindungen (AW, AT) eingeführt. Aufgrund der zylindrischen Bauform lassen sich, in einer meist vom Reedschalterhersteller selbst bestimmten Spule, die Werte wie Anzugsempfindlichkeit, Abfallempfindlichkeit und Übergangswiderstand leicht messen. Dies ist kein Problem, solange alle Beteiligten mit dieser Messeinheit vertraut sind und dieselben Spulen verwenden.

Es wird dann zum Problem wenn man bedenkt, dass es bis heute keine Vereinheitlichung der Messverfahren gibt. Tatsächlich wenden die meisten Hersteller von Reedschaltern ihr eigenes Messverfahren an. Den Endanwendern gegenüber ergibt sich gerade deshalb ein diffuses Bild.

Anwender verschwenden viel Zeit, Geld und Energie, um für Ihre eigenen Entwicklungen die Teile zu kategorisieren. Es kann leicht in Frustration enden, wenn aufgrund unterschiedlicher Messtechniken Produkte nicht fertig gestellt werden können oder langwierige Diskussionen das wirkliche Bild verzerren.

Wir präsentieren eine Möglichkeit, bei allen Anwendern von Reedsensoren oder Reedschaltern einen gemeinsamen Nenner zu finden. Wir zeigen einfache Wege auf, um die magnetische Empfindlichkeit von Reedschaltern und Reedsensoren in Ihrer Anwendung zu bestimmen.

Zuvor müssen wir aber gemeinsam noch einige wichtige Punkte betrachten, die generellen Einfluss auf Reed-schalterapplikationen haben:

1. Die Initialmessung eines Reedschalters erfolgt normalerweise mit seiner ursprünglichen Paddellänge. Diese Länge hängt wesentlich vom Produktionsprozess der einzelnen Hersteller ab, soll aber dem Anwender die größtmögliche Flexibilität zur weiteren Verarbeitung geben. Schneidet man den Reedschalter auf eine, der Spezifikation angepass-

te Länge, so ändert sich die Ansprechempfindlichkeit (AWan). Gemessen in derselben Spule wie bei der Initialmessung, wird sich ein anderer Wert ergeben. Wird eine signifikante Längenreduzierung vorgenommen, so kann sich der Wert sehr stark verändern. Die Reedpaddel sind aus ferromagnetischem Material, und je mehr davon vorhanden ist, um so empfindlicher (aus magnetischer Sicht gesehen wirken die langen Paddel wie magnetische Antennen) ist der Schalter. Durch Kürzen der Paddel reduziert sich die magnetische Empfindlichkeit des Reedschalters. Beim Spezifizieren der Empfindlichkeit geben manche Lieferanten bearbeitete und unbearbeitete Werte im Datenblatt an. In den meisten Fällen kann der Endanwender die Messung aber nicht mehr nachvollziehen.

2. Auch beim Biegen von Reedschaltern verändert sich die Ansprechempfindlichkeit. Wann immer sich der Magnetpfad ändert, ist mit einer Veränderung des AW-Wertes in der Applikation zu rechnen und diese ist dann auch in die Designüberlegung mit einzubeziehen.
3. Beim Bearbeiten eines Reedschalters kann nicht nur das Schneiden die magnetische Empfindlichkeit beeinflussen. Auch das Biegen, besonders wenn es unfachmännisch durchgeführt wird, hat einen gravierenden Einfluss. Alle Reedschalter sind etwas anfällig bei Einwirkung von mechanischem Stress auf die Einschmelzzone, egal an welcher Seite des Schalters. Sicherlich gibt es Unterschiede bei den verschiedenen Modellen, in jedem Falle wirkt sich mechanischer Stress aber auf die Ansprechempfindlichkeit (AWan) besonders aus. Der Paddelabstand eines Reedschalters ist nicht größer als 25 µm. Jede mechanische Belastung, ob axial oder als Drehbewegung beeinflusst die AWan und den Kontaktwiderstand.

Da die meisten Endanwender mit der Messung der magnetischen Empfindlichkeit in Amperewindungen (AW, AT) nicht vertraut sind, bietet sich eine Spezifizierung in Millitesla (mT) oder Gauss (alte Bezeichnung) an. Ein Millitesla entspricht 10 Gauss, die Umrechnung ist deshalb denkbar einfach. Millitesla ist eine anerkannte und genormte physikalische Größe und in vielen Entwicklungsabteilungen bekannt.

Die Brücke von Amperewindungen (AW) zu Millitesla (mT)

Auf den kommenden Seiten versuchen wir eine Brücke zwischen der AW-Spezifizierung und der mT-Welt zu bauen. Um dies zu erreichen, benutzen wir einen Standard-AINiCo 5-Magnet mit festgelegtem magnetischem Moment. Die AW's werden mit den spezifizierten Standardspulen gemessen.

Wir denken, dass folgender Weg der überschaubarste ist, um die Messreihen und Tabellen zu erstellen:

1. Messung der festgelegten Probanden in unserer Standardspule KMS und Aufzeichnung der Messwerte.
2. Ein AINiCo-5-Magnet mit 120 mT und den Abmessungen 4x19 mm wird auf einem linearen Messtisch mit Messeinrichtung angebracht. Die Achse wird linear bewegt, der mT-Wert an den entsprechenden Punkten festgehalten (siehe Abb. # 1). Wichtig ist dabei, dass alle ferromagnetischen Teile entsprechend weit von der Messeinrichtung entfernt sind.
3. Mit demselben Messaufbau werden nun die Schließ- und Öffnungspunkte der gewünschten Reedschalter im mm aufgenommen und festgeschrieben.
4. Der gemessene Abstand in mm ist gleichzusetzen mit dem mT- Wert an den entsprechenden Schließ- und Öffnungspunkten.

Wie schon beschrieben: Die nachfolgenden Schaubilder wurden wie oben beschrieben aufgenommen. Die Reedschalter hatten die Originallänge, waren ungekürzt und ungebogen. Die Daten der gekürzten Schalter wurden mit unterschiedlichen Empfindlichkeitsklassen und unterschiedlichen Beschneidlängen aufgenommen. Die prozentuale Änderung kann rechnerisch auch für Werte angenommen werden, die nicht in den Tabellen enthalten sind.

Mit Hilfe der in Abbildung 5ff dargestellten Tabellen lassen sich die Werte AW zu mT umrechnen.

An einem Beispiel möchten wir die Schaubilder erklären:

1. In Ihrer Applikation haben Sie sich für den Reedschalter KSK-1A85 entschieden, die Beschneidlänge ist 30 mm.
2. Der Reedschalter soll in einem Abstand von 15 mm zum Magneten schalten.
3. Mit einem einfachen Gaussmeter sind Sie in der Lage, die magnetische Kraft an den gewünschten Schaltpunkten zu messen. Nehmen wir an, Sie haben ein Feld von 2,2 mT, gemessen im Abstand von 15 mm zum Magneten .
4. Schauen Sie sich Abb. # 7 an. Die Kurve repräsentiert die entsprechende Umrechnung für den KSK-1A85. Da der Reedschalter aber auf 30 mm geschnitten ist, muss die erwartete Zunahme bei dieser Länge bestimmt werden. Für einen 20 AW-Schalter, gekürzt auf 30 mm, beträgt die Erhöhung ungefähr 30% oder 6 AW, also auf 26 AW (siehe Abb. # 3). Diese 26 AW entsprechen etwa 1,7 mT.
5. Der Originalschalter mit 20 AW wird mit einem Feld von 2,2 mT sehr zuverlässig arbeiten, etwas Reserve schon eingerechnet. Somit können Sie recht einfach auf den möglichen AW-Bereich zurückrechnen.

Es ist zu beachten, dass eine Hallsonde nur die Feldstärke an einem bestimmten Punkt misst, während ein Reedschalter die magnetischen Feldlinien über seine gesamte Länge aufnimmt. Daher kann dieses Verfahren nur für eine grobe Annäherung verwendet werden.

Es ist aber ein guter Weg für Ihre Entwicklungsingenieure einfach, schnell und kostengünstig eine Vorauswahl für benötigte und funktionsfähige Reedschalter für Ihre Applikation zu treffen. Bei der Feinabstimmung sind wir gerne behilflich, rufen Sie uns einfach an.

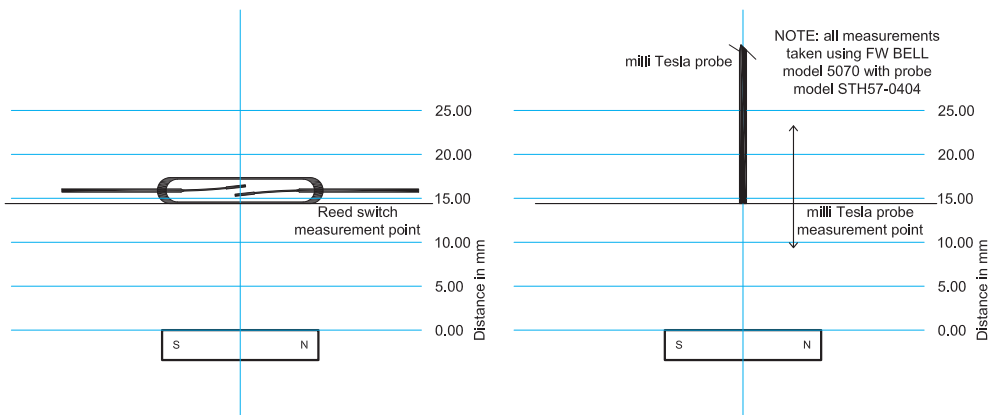


Abb. # 1 Testaufbau zur Aufnahme der magnetischen Werte auf einem linearen Schiebetisch.

Ampere-Turn (AT) vs. Millitesla (mT)

Die nachfolgenden Tabellen beschreiben die Ansprechempfindlichkeit bezogen auf die geschnittene Längen von Reedschaltern.

AWan vs Beschneidelänge

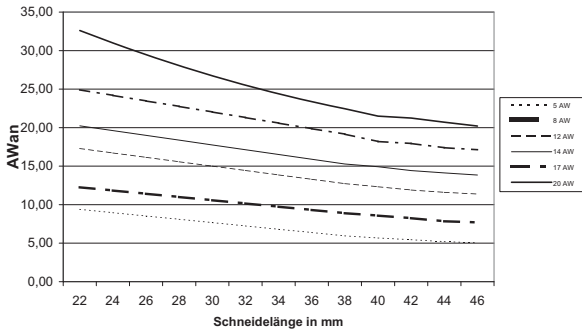


Abb. # 2 Zeigt die Veränderung der Ansprechempfindlichkeit AWan beim Kürzen auf die gemessenen Längenmaße.

AWan vs Beschneidelänge

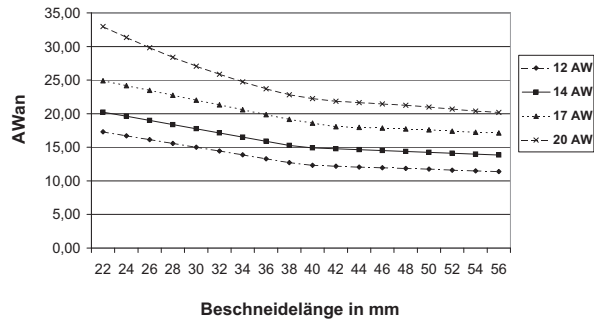


Abb. # 3 Zeigt die Veränderung der Ansprechempfindlichkeit AWan beim Kürzen auf die gemessenen Längenmaße.

AWan vs Beschneidelänge

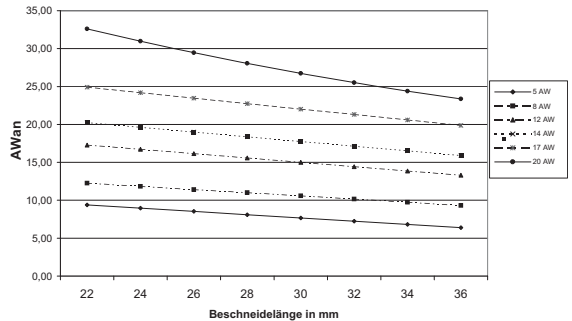


Abb. # 4 Zeigt die Veränderung der Ansprechempfindlichkeit AWan beim Kürzen auf die gemessenen Längenmaße.

Für das bessere Verständnis haben wir sogar Tabellen entwickelt, die AW und mm miteinander ins Verhältnis setzen – für den Fall dass kein Gaussmeter zur Verfügung steht. Wenn Sie den von uns vorgeschlagenen Magneten 4x19 mm verwenden, können Sie schnell und einfach die Auswahl treffen.

AWan vs Anzug in mT

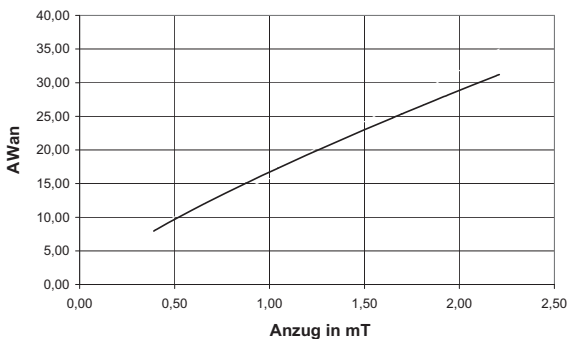


Abb. # 5 Die Anzugserregung AW wird in mT dargestellt.

AWan vs Anzug in mT

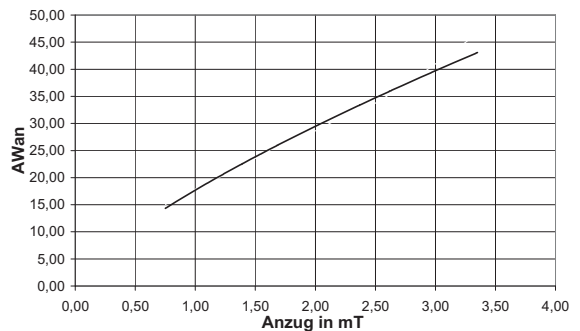


Abb. # 7 Die Anzugserregung in AW wird in mT dargestellt.

AWan vs Anzug in mm

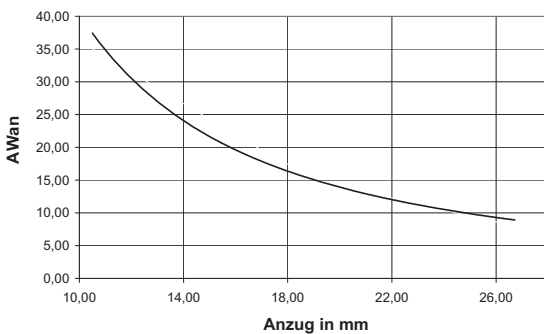


Abb. # 6 Die Anzugserregung AW wird in den Abstand vom Magneten in mm umgerechnet.

AWan vs Anzug in mm

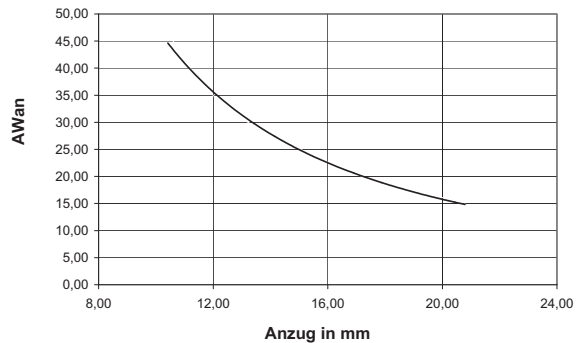


Abb. # 8 Die Anzugserregung AW wird in den Abstand vom Magneten in mm umgerechnet.

AWan vs Anzug in mT

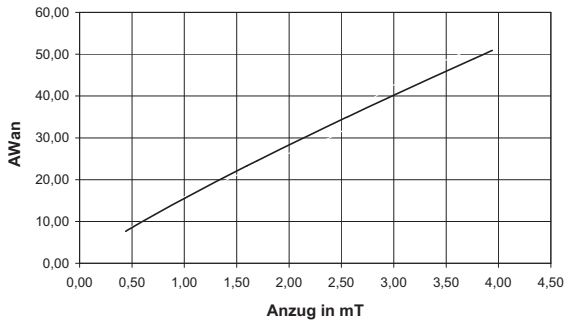


Abb. # 9 Die Anzugserregung AWan wird in mT dargestellt.

AWan vs Anzug in mm

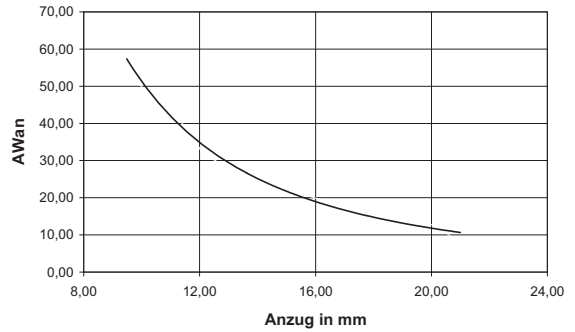


Abb. # 10 Die Anzugserregung AWan wird in den Abstand vom Magneten in mm umgerechnet.