

White Paper

Ultraschallsensoren

Autoren: Dipl.-Ing. Christian Fiebach
Geschäftsführer ipf electronic gmbh

und

Dipl.-Ing. Volker Grefe
Leitung Unternehmensbereich PM/PR

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Einteilung von Ultraschallsensoren	3
3. Funktionsprinzip verschiedener Ultraschallsensoren	4
3.1 Funktionsweise von Ultraschalltastern	4
3.2 Funktionsweise von Ultraschallreflexschranken	9
3.3 Funktionsweise von Ultraschallschranken	11
3.4 Funktionsweise von Ultraschallgabeln	12

1. Einleitung

Ultraschall ist ein Begriff aus dem Bereich der Akustik und bezeichnet einen Schall, dessen Frequenzen sich oberhalb des Hörfrequenzbereichs des Menschen befinden. Ultraschall umfasst Frequenzen über 16 kHz und ist somit vom menschlichen Gehör auditiv nicht mehr wahrnehmbar. Schall mit einer Frequenz ab zirka 1 GHz bezeichnet man hingegen als Hyperschall.

Ultraschallsensoren erfassen über Schallwellen berührungslos und verschleißfrei Objekte, die Schall reflektieren. Die mögliche Bandbreite solcher Objekte ist somit äußerst vielfältig, da sie transparent, undurchsichtig, metallisch, nicht-metallisch, fest, pulverförmig, fest oder flüssig sein können, wobei insbesondere Flüssigkeiten und feste Materialien den Schall sehr gut reflektieren.

Aus den vorangegangenen Ausführungen resultiert, dass die Objektfarbe keinerlei Einfluss auf das Schallverhalten und somit die Funktionsweise von Ultraschallsensoren hat. Jedoch können schallabsorbierende Materialien wie Watte oder weiche Schaumstoffe die Betriebsweite dieser Sensoren reduzieren. Darüber hinaus sind bei der Montage von solchen Geräten Einbaulagen zu vermeiden, die zu starken Schmutzablagerungen oder Wassertropfen auf der Sensoroberfläche bzw. dem sogenannten Schallwandler führen.

Dieses White Paper gibt einen Überblick über verschiedene Ultraschallsensoren, beschreibt deren Funktionsweise und liefert Beispiele für deren Einsatz in der Praxis.

2. Einteilung von Ultraschallsensoren

Ultraschallsensoren lassen sich gemäß ihrer Funktionsweise in folgende Kategorien einteilen:

- Ultraschalltaster
- Ultraschallreflexschranken
- Ultraschallschranken
- Ultraschallgabeln

3. Funktionsprinzip verschiedener Ultraschallsensoren

Ganz gleich nach welchem Funktionsprinzip Ultraschallsensoren arbeiten, sie eignen sich generell für den Einsatz in Umgebungen mit hoher Staubentwicklung bzw. hoher Schmutzbelastung, sofern es zu keinen „schalldämpfenden“ Ablagerungen im Bereich der Sensorfläche kommt. In der Regel sind sie optischen Sensoren in solchen Einsatzbereichen überlegen.

Im Folgenden wird die Funktionsweise der unter 2. genannten Ultraschallsensoren beschrieben und ergänzend hierzu mögliche Einsatzfelder dieser Geräte dargestellt.

3.1 Funktionsweise von Ultraschalltastern

Ein Ultraschalltaster sendet zyklisch einen kurzen, hochfrequenten Schallimpuls aus, der sich mit Schallgeschwindigkeit¹ in der Luft fortpflanzt. Trifft dieser Schallimpuls auf ein Objekt, wird er von dessen Oberfläche reflektiert und gelangt als Echo zurück zum Empfänger des Ultraschalltasters. Dabei übernimmt der im Gerät integrierte sogenannte Schallwandler gleichzeitig die Funktion des Senders und Empfängers. Aus der Zeit, die der Schallimpuls vom Aussenden bis zum Empfang des Echos benötigt, lässt sich die Entfernung eines Objektes zum Taster bestimmen. Dieses Prinzip wird auch Laufzeitmessung genannt (Abb. 1).

Bei Ultraschalltastern unterscheidet man zwischen Geräten mit Analogausgang oder Schaltausgang.

Bei Geräten mit analogem Ausgang wird ein Strom- bzw. Spannungssignal ausgegeben, das proportional zur gemessenen Laufzeit ist. Bei Ultraschallsensoren mit Schaltausgang wird über ein Potenziometer oder durch eine Teach-In-Prozedur eine Schaltschwelle festgelegt.

¹ Die Schallgeschwindigkeit in der Luft beträgt bei einer Lufttemperatur von +20° C 343 m/s.

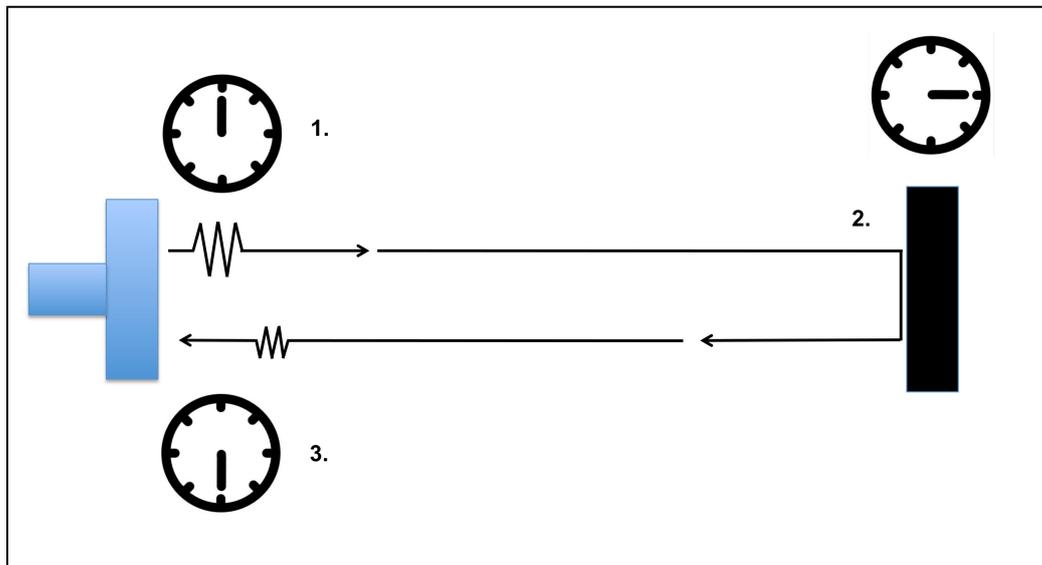


Abb. 1: Über die Laufzeitmessung des Schallimpulses lässt sich die Entfernung eines Objektes zum Sensor bestimmen: 1. Schallimpuls wird gesendet.
 2. Schallimpuls wird vom Objekt reflektiert.
 3. Das Echo des Schallimpulses wird empfangen.

Ultraschalltaster haben eine sogenannte Blind- oder Totzone, die sich in einem Bereich unmittelbar vor dem Gerät befindet. Die Ursache für diese Totzone liegt im Schallwandler, der einerseits zur Erzeugung des Schallimpulses dient und andererseits als Empfänger einen Objektechos herangezogen wird. Naturgemäß kann in der Zeit, in der der Wandler als Sender fungiert, kein Echosignal empfangen werden. Sehr nahe Objekte, die sich quasi im Empfangsschatten des Sensors befinden, können daher nicht erfasst werden. Allerdings kann es aufgrund der sehr hohen Signaldichte vor dem Gerät zu Mehrfachreflexionen zwischen Sensor und Objekt kommen, was unter Umständen doch zu einem Schaltsignal im Nahbereich führt. Aus diesen Gründen kann innerhalb der Blind- oder Totzone keine reproduzierbare Funktion des Gerätes gewährleistet werden. Durch den Einsatz von Umlenkspiegeln bzw. Reflektoren lässt sich allerdings diese Zone in die Raumachse zwischen Sensor und Umlenkspiegel verlegen, wodurch nach dem Reflektor reproduzierbare Signale im Nahbereich ermöglicht werden.

Werden mehrere Ultraschalltaster in unmittelbarer Nähe zueinander eingesetzt, kann ein gegenseitiges Übersprechen der Geräte durch deren Synchronisation verhindert werden, d. h. alle Geräte senden zur gleichen Zeit bzw. im selben Augenblick.

Die Abbildungen 3 bis 9 auf den Seiten 7 und 8 vermitteln einen Eindruck, wie groß das potenzielle Einsatzspektrum von Ultraschalltastern ist.

In diesem Zusammenhang ist jedoch einschränkend zu sagen, dass eine ganze Reihe an äußeren Faktoren die Funktionsweise von Ultraschallsensoren beeinflussen kann. Sämtliche potenziellen Einflüsse lassen sich an dieser Stelle sicherlich nicht beleuchten. Stellvertretend sollen hier jedoch zwei Beispiele genannt werden.

So sind Abfragen mit tastenden Systemen auf heißen Objekten (z. B. beheizte Becken, heiße Bauteile) bedingt oder gar nicht möglich. Der Grund: Die Geschwindigkeit, mit der sich der Schall ausbreitet, ist von der Lufttemperatur abhängig. In der Konvektion über warme bzw. heiße Teile können somit keine reproduzierbaren Ergebnisse erzielt werden.

Ein weiteres Beispiel ist der Einsatz von Druckluftdüsen in unmittelbarer Nähe der Geräte. Hier besteht die Problematik, dass der starke Luftstrom der Düsen das Schallsignal ablenken kann und somit die Abfrage von Objekten erschwert, wenn nicht gar gänzlich unmöglich macht.

ipf electronic offeriert Ultraschalltaster in Baugrößen von M12x1 bis 80x80mm, wobei sowohl Gewinde als auch quaderförmige Geräte zur Auswahl stehen, die sich in einem Temperaturbereich von -25°C bis $+70^{\circ}\text{C}$ einsetzen lassen (Abb. 2). Die maximalen Schaltabstände der Ultraschalltaster reichen von 200mm bis 6m. Die aktive Sensorfläche besteht aus Kunststoff.



Abb. 2: Ultraschalltaster der Reihen UT12, UT30 und eine Ultraschallreflexschranke der Reihe UT21 (von links)

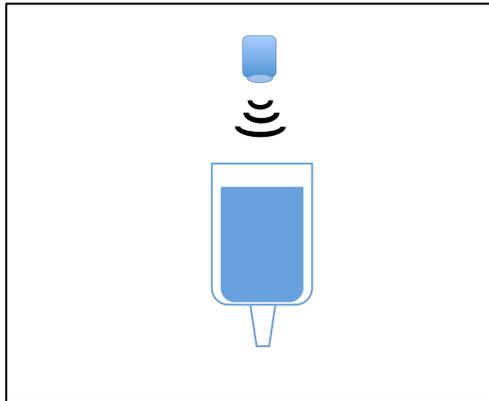


Abb. 3: Füllstandüberwachung von pastösen, festen und flüssigen Medien, z. B. in Silos

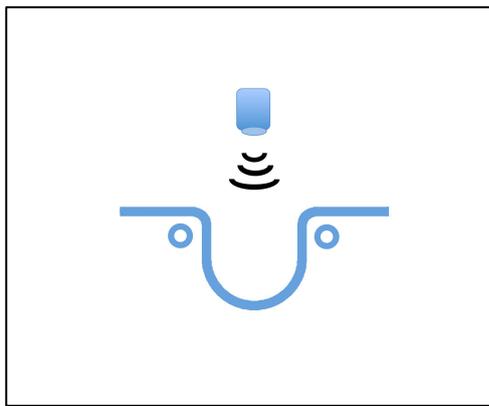


Abb. 4: Schlaufenregelung von Folien, Metallbändern, etc. z. B. zur Steuerung oder Regelung der Materialmenge bzw. Materialspannung

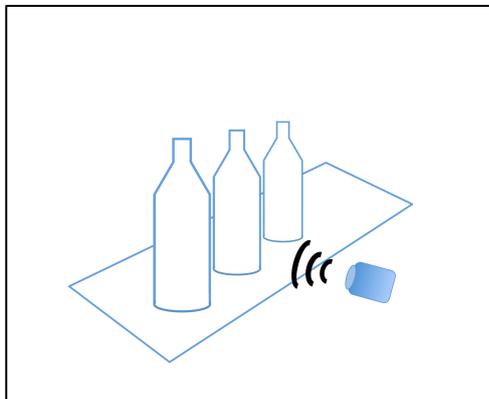


Abb. 5: Erfassung von durchsichtigen Glasbehältern

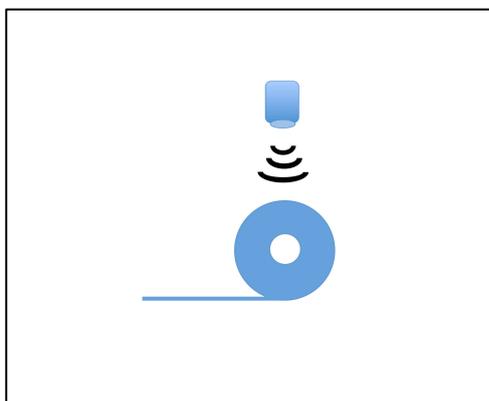


Abb. 6: Durchmessererfassung von Coils in der Metallverarbeitung sowie in der Kunststoff-, Papier- und Textilindustrie, etc.

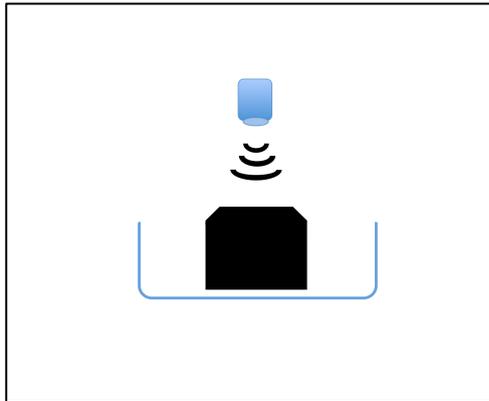


Abb. 7: Anwesenheitskontrolle, z. B. im Bereich der Verpackungsindustrie

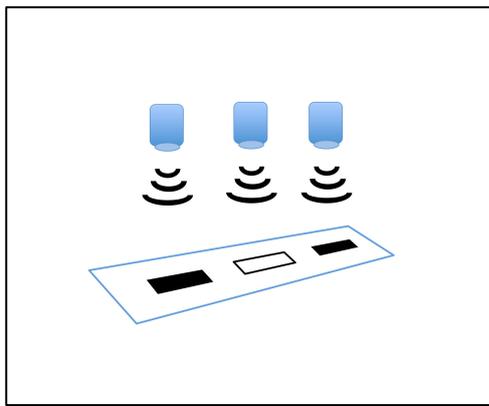


Abb. 8: Vollständigkeitskontrolle von Objekten in Gebinden.

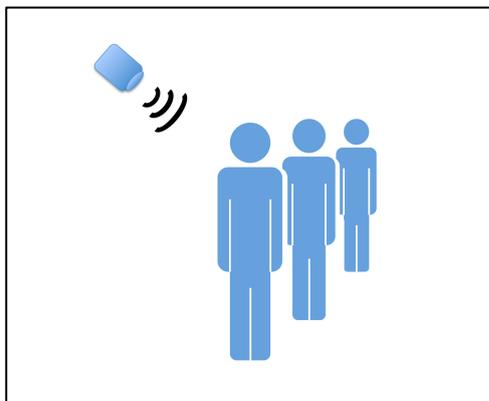


Abb. 9: Personenerkennung (kein Personenschutz), z. B. in öffentlichen Gebäuden oder Sportstätten etc.

3.2 Funktionsweise von Ultraschallreflexschranken

Ultraschallreflexschranken arbeiten mit einer sogenannten Referenzfläche (ein beliebiger schallreflektierender Gegenstand, zumeist ein Maschinenteil), die als ortsunveränderlicher Reflektor dient und sich innerhalb der Reichweite des Sensors befinden muss. Der Sensor wird auf den Abstand zu diesem Reflektor eingestellt (Abb. 10). Sobald sich ein Objekt zwischen Sensor und Reflektor befindet, ändert sich die Laufzeit des Schalls in Bezug auf das zuvor für den Reflektor definierte Schallsignal (Abb. 11). Der Schaltausgang des Sensors wechselt daraufhin sein Signal.

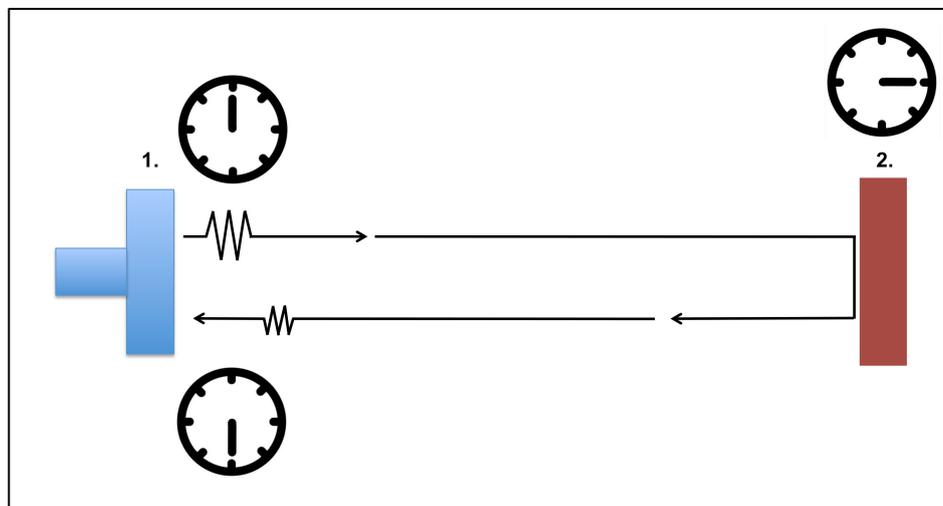


Abb. 10: 1. Sensor, 2. Reflektor

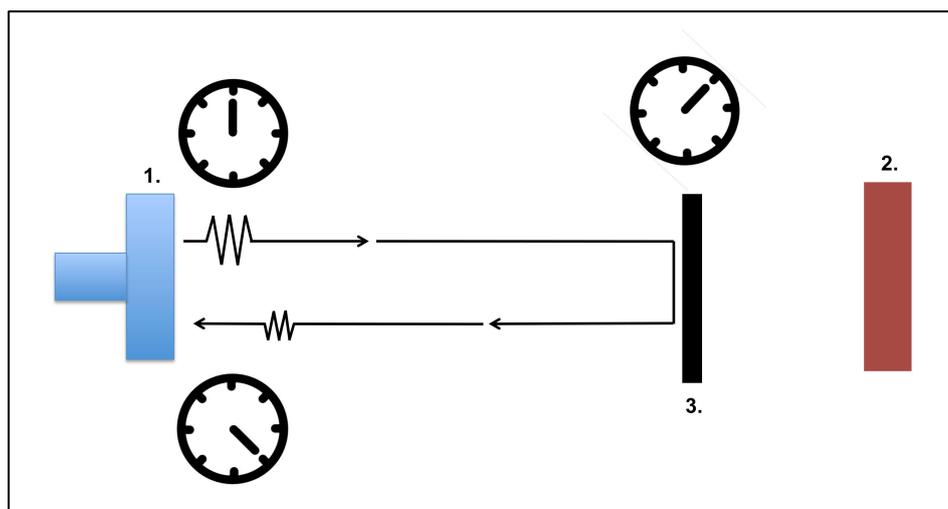


Abb. 11: Befindet sich ein Objekt (3.) zwischen Sensor (1.) und Reflektor (2.), ändert sich die Laufzeit des Schallsignals

Ultraschallreflexschranken haben im Gegensatz zu Ultraschalltastern keine Totzone (siehe Kapitel 3.1). Somit können zu detektierende Objekte auch sehr nahe den Erfassungsbereich des Sensors passieren. Ultraschallreflexschranken empfehlen sich daher für alle Anwendungen, in denen man nicht so genau weiß, an welcher Stelle ein Objekt in den Erfassungsbereich des Sensors gelangt. Außerdem bietet das Funktionsprinzip auch in Anwendungen Vorteile, in denen zylindrische Gegenstände oder Objekte erfasst werden müssen, die in ihrer Winkellage stark differieren (Abb. 12 und 13). Voraussetzung für den Einsatz der Geräte ist eine Referenzfläche, die als Reflektor genutzt werden kann. Solche Geräte eignen sich daher z. B. zur Montage an Transportbändern mit Führungsschienen (etwa in der Getränke- oder Verpackungsindustrie), wobei die Schiene, die dem Sensor gegenüberliegt, als Referenzfläche dient. Steht keine Referenzfläche zur Verfügung, bietet sich der Einsatz von Ultraschallschranken an.

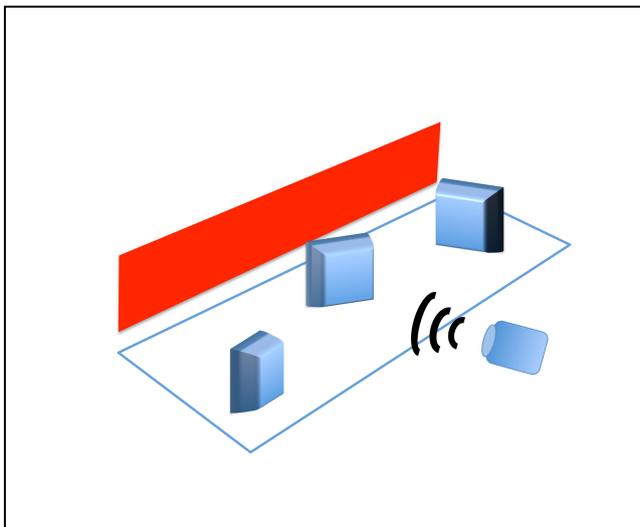


Abb. 12: Schlechte oder fehlende Schallreflexionssignale von den ungünstig positionierten Objekten oder Objektgeometrien haben keinen negativen Einfluss auf die Funktionsweise bei Reflexsystemen

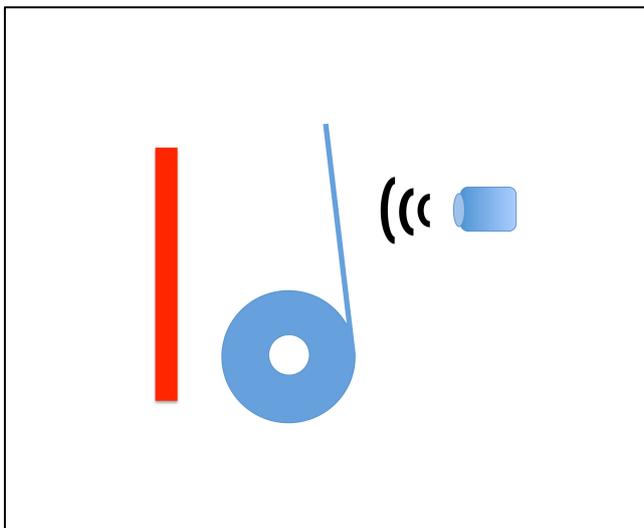


Abb. 13: Schlechte oder fehlende Schallreflexionssignale bei ungünstiger Winkellage von Objekten haben keinen negativen Einfluss auf die Funktionsweise bei Reflexsystemen

3.3 Funktionsweise von Ultraschallschranken

Als Einweg-Schrankensystem bestehen Ultraschallschranken aus einem Sender und Empfänger. Wird der Schallweg zwischen Sender und Empfänger durch ein Objekt unterbrochen, wechselt der Schaltausgang im Empfänger sein Signal (Abb. 14).

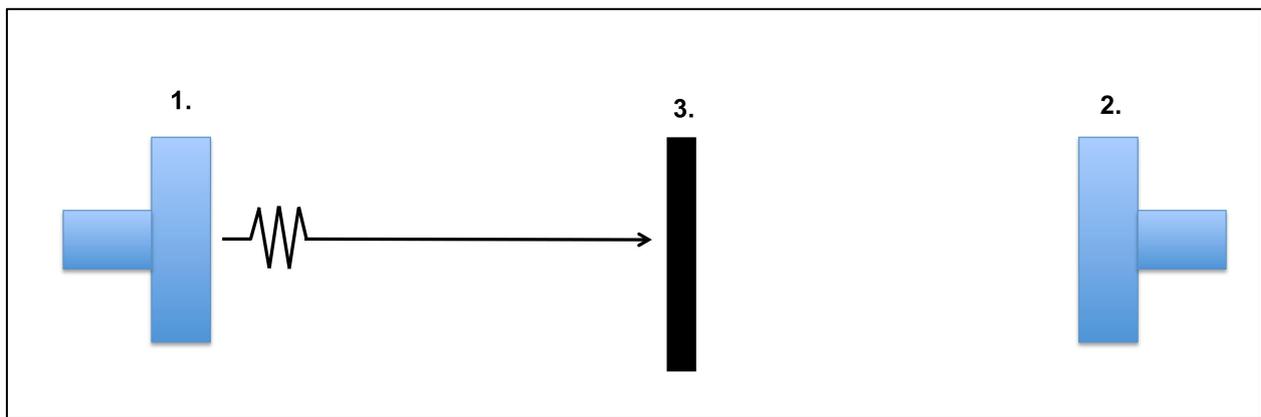


Abb. 14: Der Schaltausgang des Empfängers (2.) einer Ultraschallschranke wechselt sein Signal, sobald sich zwischen ihm und dem Sender (1.) ein Objekt (3.) befindet, das den Schallweg unterbricht.

Ultraschallschranken (Abb. 15) werden aufgrund ihrer hohen Schaltfrequenz von 150kHz bevorzugt in Applikationen mit schnell laufenden Prozessen genutzt, also zumeist dort, wo Objekte den Erfassungsbereich des Ultraschallsystems sehr schnell passieren. Einer der häufigsten Anwendungsbereiche für Ultraschallschranken findet sich daher insbesondere in der Getränkeindustrie zur Erfassung transparenter Flaschen aus Glas oder PET.

Darüber hinaus werden solche Systeme auch für die Detektion sehr dünner Materialien wie z. B. Folien eingesetzt. In solchen Applikationen ist darauf zu achten, dass das Material gespannt ist, wenn es in den Erfassungsbereich des Ultraschallsystems gelangt. Ist dies nicht der Fall, erzeugt das Schallsignal Schwingungen im Material. Eine Folie gibt somit quasi das auf einer Seite empfangene Signal auf der anderen Seite wieder ab. Dies kann bei Einwegsystemen, Ultraschallgabeln (siehe Kapitel 3.4) sowie bei den Systemvarianten mit Reflektoren unter Umständen zu Problemen bei der Objekterfassung führen.

Abb. 15: Ultraschallschranken wie die Geräte vom Typ UY210100 in IP67 haben eine hohe Schaltfrequenz von 150Hz. Die Geräte sind mit Reichweiten bis 300mm und 1100mm erhältlich.



Ultraschallschranken von ipf electronic in den Baugrößen 20mm x 30mm x 12mm bzw. 24mm x 50mm x 12mm (Stand 6/2016) verfügen über eine aktive Fläche aus Kunststoff und lassen sich in einem Temperaturbereich von -15° C bis +60° C einsetzen.

Der Aufwand für die Montage von Einweg-Schrankensystemen ist im Vergleich zu Ultraschallreflexschranken etwas höher, da sowohl ein Sender als auch ein Empfänger mit separater Energieversorgung zu installieren ist. Außerdem müssen Sender und Empfänger zueinander ausgerichtet werden. Eine Aufgabe, die bei Ultraschallgabeln indes entfällt.

Anwendungstechnisch ergeben sich bei Einwegsystemen die gleichen Vorteile im Vergleich zu Tastern, wie sie bereits bei den Reflexschranken beschrieben wurden.

3.4 Funktionsweise von Ultraschallgabeln

Ultraschallgabeln (Abb. 16) sind Sonderbauformen von Ultraschall-Einwegschranken, da sie Sender sowie Empfänger in einer kompakten Einheit integrieren. Ihre Funktionsweise unterscheidet sich nicht wesentlich von Ultraschallschranken. Wird der Schallweg zwischen Sender und Empfänger durch ein Objekt unterbrochen, wechselt der Schaltausgang im Empfänger sein Signal. Ein besonderer Vorteil von Ultraschallgabeln besteht darin, dass Sender und Empfänger nicht zueinander ausgerichtet werden müssen. Die Gabelweiten schränken jedoch mit Blick auf Ultraschallschranken den möglichen Erfassungsbereich ein. Die Geräte von ipf electronic im robusten Aluminiumgehäuse (IP67) sind mit Gabelweiten von 74mm bzw. 114mm erhältlich (Stand 6/2016).



Abb. 16: Ultraschallgabeln UG800170 (oben) mit einer Gabelweite von 74mm und UGKB0170 mit einer Gabelweite von 114mm.

Ultraschallgabeln eignen sich für alle Applikationen, in denen auch Ultraschallschranken einsetzbar sind. Sender und Empfänger müssen jedoch nicht, wie bereits beschrieben, zueinander ausgerichtet werden. Aufgrund ihrer ebenfalls hohen Schaltfrequenz von 150kHz und einer Ansprechzeit von 1ms ergeben sich für solche Geräte vielfältige Einsatzgebiete in der Getränkeindustrie, z. B. zur Erfassung transparenter Flaschen (Abb. 17). Die Ultraschallgabeln werden hierbei so positioniert, dass der Flaschenhals durch den Erfassungsbereich von Sender und Empfänger läuft. Sind die Geräte aus mechanischen Gründen, bspw. aufgrund der Öffnungsweiten der Gabeln, in einer Anwendung nicht einsetzbar, empfehlen sich als Alternative Ultraschallschranken.

Ultraschallgabeln sind äußerst kompakt gebaut. ipf electronic hat die Bauformen dieser Lösungen bewusst an optische Gabelschranken angelehnt, um solche Systeme bei Bedarf durch Ultraschallgeräte austauschen zu können. So ist es bspw. durchaus denkbar, dass sich in einer Anwendung, in denen bislang optische Gabelschranken eingesetzt wurden, die Materialeigenschaften ändern und Teile bzw. Objekte im Vergleich zu vorher transparenter werden. In solchen Fällen können dann optische Gabellichtschranken sehr einfach und problemlos durch ein Ultraschallsystem ersetzt werden.

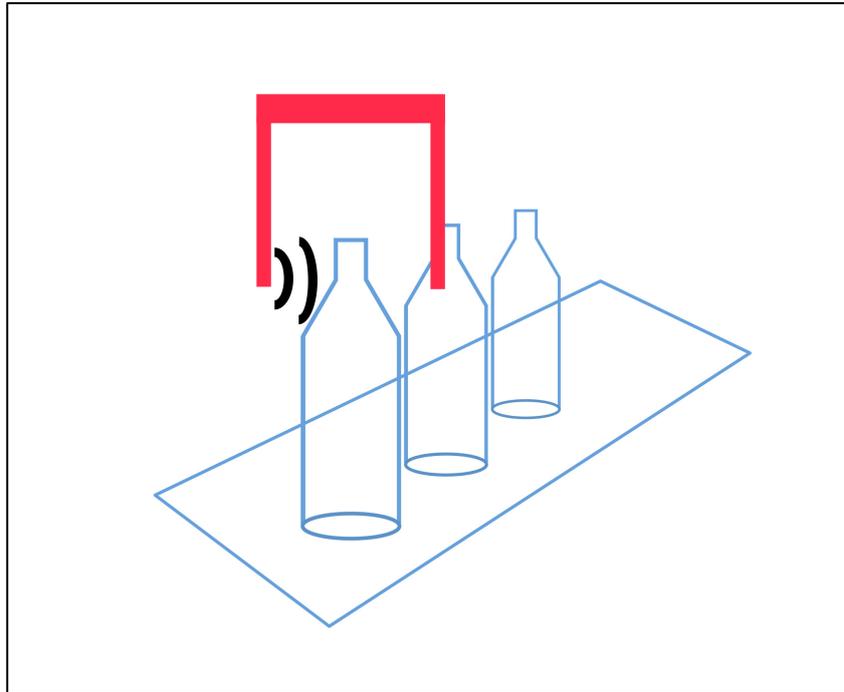


Abb. 17: Ultraschallgabeln eignen sich für vielfältige Einsatzgebiete in der Getränkeindustrie, z. B. zur Erfassung transparenter Flaschen.

Dieses White Paper ist urheberrechtlich geschützt. Die Verwendung des Textes (auch in Auszügen) sowie der Bildmaterialien in diesem Dokument ist nur mit schriftlicher Genehmigung der ipf electronic gmbh gestattet. Änderungen vorbehalten.