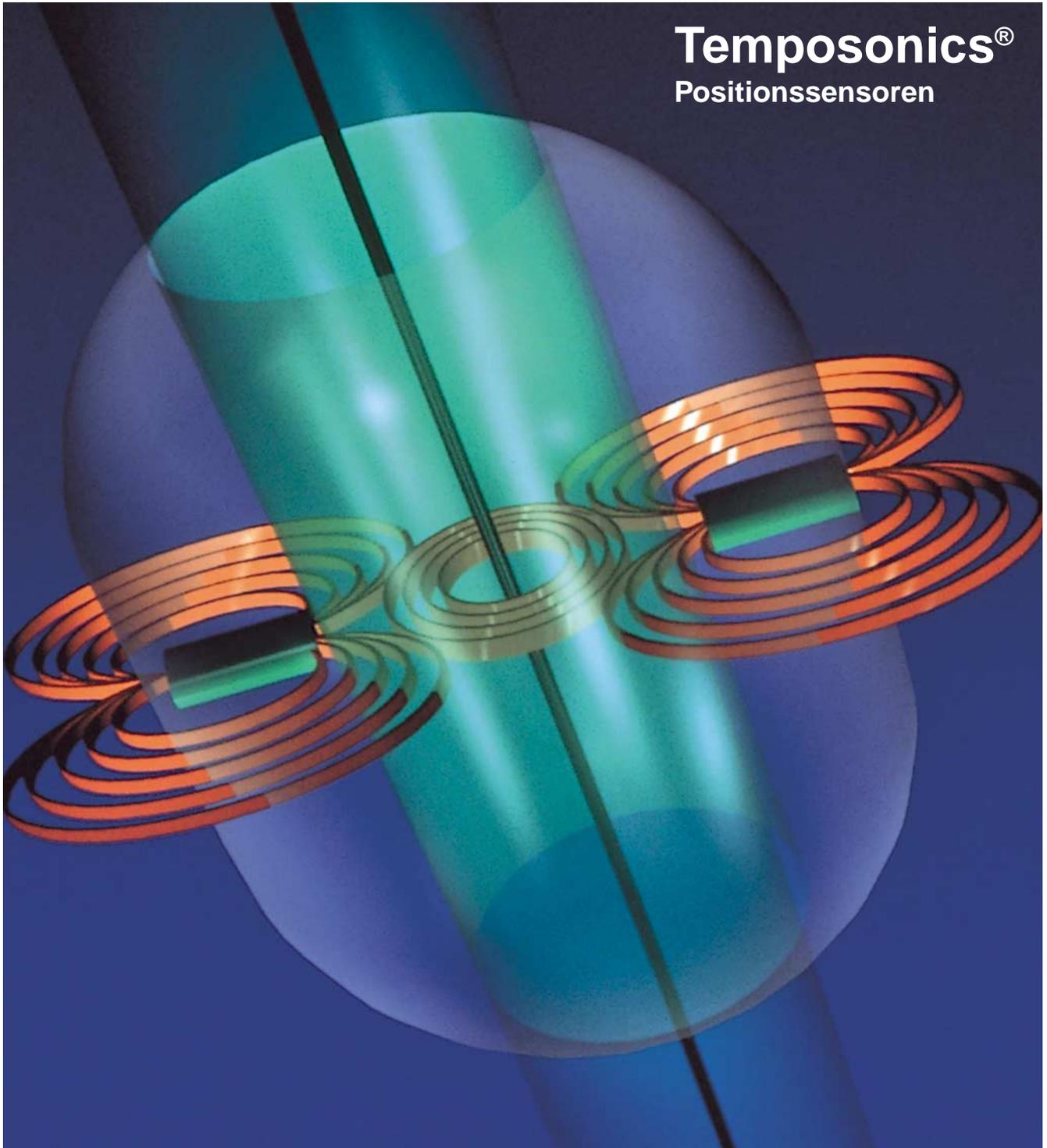


# Magnetostriktion

## *Physikalische Grundlagen*



### **Industrielle Messtechnik**

stellt besondere Anforderungen an die Robustheit und Messgenauigkeit der eingesetzten Sensoren. Eine steigende Verbreitung der Magnetostriktion in anspruchsvollen und intelligenten industriellen Applikationen erhebt Fragen nach den physikalischen Grundlagen.

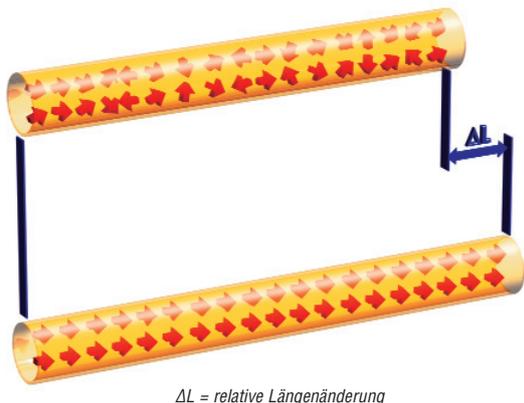
# Temposonics®

## Berührungsloser absoluter Linearwegsensor nach dem magnetostriktiven Messprinzip.

Historisch reicht das allen magnetostriktiven Längenmesssystemen zugrunde liegende Prinzip zurück in das vorige Jahrhundert. Die Erforschung des Elektromagnetismus offenbarte physikalische Prinzipien, von denen einige vom hier vorgestellten Messverfahren genutzt und in seiner industriellen Realisierung in einem hochgenauen Positionssensor vereint werden.

### Die Theorie

Die Magnetostraktion findet man nur bei ferromagnetischen Materialien wie Eisen, Nickel, Kobalt und deren Legierungen. Basis des magnetostriktiven Prinzips sind bestimmte magnetomechanische Eigenschaften dieser Materialien. Werden Ferromagnetika in den Bereich eines magnetischen Feldes gebracht, so zeigt sich eine mikroskopische Verformung ihrer Molekularstruktur, die eine Änderung ihrer Dimensionen bewirkt. Dieses physikalische Verhalten erklärt sich aus der Existenz unzähliger kleiner Elementarmagnete, aus denen ferromagnetisches Material besteht. Diese sind bestrebt, sich innerhalb abgegrenzter räumlicher Bereiche schon ohne äußeres Magnetfeld parallel zu stellen. In diesen sogenannten Weiß'schen Bezirken weisen alle Elementarmagnete in die gleiche Richtung. Aufgrund der zunächst willkürlichen Verteilung der Weiß'schen Bezirke erscheint ein ferromagnetischer Körper nach außen unmagnetisch. Bei Einwirkung eines äußeren Magnetfeldes klappen die Bezirke nun als Ganzes in Richtung dieses Magnetfeldes um und richten sich parallel zueinander aus. Hierdurch ergeben sich magnetische Eigenfelder, die das äußere magnetisierende Feld um das hundert- bis tausendfache übertreffen können. Bringt man z.B. einen Stab aus ferromagnetischem Material in ein Magnetfeld, das parallel zur Längsrichtung des Stabes verläuft, so erfährt dieser Stab eine mechanische Längenänderung. Die relative Verlängerung, die durch einen magnetostriktiven Effekt, den Joule-Effekt, erzielt werden kann, ist in der Realität sehr klein und beträgt ca.  $10^{-6}$  (Fig. 1).



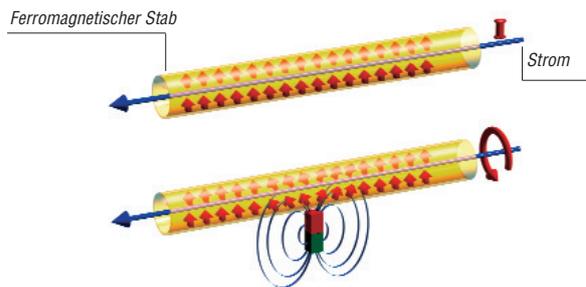
(Fig. 1) Der magnetostriktive Effekt ( $\Delta L$ ) entsteht durch die Ausrichtung der Weiß'schen Bezirke unter der Einwirkung eines externen parallelen Magnetfeldes.

Der magnetostriktive Effekt - als Interaktion der magnetischen und der mechanischen Parameter ferromagnetischer Werkstoffe - ist beherrschbar und optimierbar durch die geeignete Auswahl und Behandlung spezieller Metall-Legierungen und läßt sich durch die Gestaltung der einwirkenden, äußeren Magnetfelder exakt kontrollieren.

Das industriell realisierte Messprinzip nutzt als weiteren magnetostriktiven Effekt den Wiedemann-Effekt. Er beschreibt die mechanische Torsion eines langen, dünnen ferromagnetischen Stabes, der sich in einem externen longitudinalen Magnetfeld befindet und gleichzeitig von einem elektrischen Strom durchflossen wird, welcher ein konzentrisches Magnetfeld erzeugt.

Bei den MTS-Sensoren wird das longitudinale Magnetfeld durch einen Positionsmagneten partiell in dem stabförmigen Messelement erzeugt, und beim Auftreten eines Stromflusses entsteht eine partielle Verdrehung im Messelement (Fig. 2).

Als magnetoelastischer Effekt findet der Villary-Effekt Anwendung im MTS-Messverfahren. Er behandelt die Änderung der longitudinalen magnetischen Eigenschaften, z.B. der Permeabilität eines ferromagnetischen Stabes, die durch seine Verformung in Längsrichtung hervorgerufen werden. In einem Magnetfeld kann eine solche Permeabilitätsänderung mit Hilfe des Induktionsprinzips in ein elektronisches Messsignal umgeformt werden.



(Fig. 2) Der Wiedemann-Effekt bewirkt durch das Aufeinandertreffen zweier Magnetfelder die mechanische Verdrehung (Torsion) eines ferromagnetischen Stabes, der von einem elektrischen Strom durchflossen wird.

### Die Praxis

Um die geschilderten physikalischen Grundlagen in ein zuverlässig arbeitendes Weggeber umzuwandeln, wurde ein Sensoraufbau wie in Fig. 3 gewählt. Danach besteht der MTS-Sensor aus fünf wesentlichen Bestandteilen

- Messelement (Wellenleiter)
- Sensorelektronik
- Positionsgebender Permanentmagnet
- Torsionsimpulswechsler
- Dämpfung am Ende des Wellenleiters

Kernstück des Systems ist das ferromagnetische Messelement, für gewöhnlich als Wellenleiter bezeichnet, weil es für die torsionale Körperultraschallwelle als Leiter zum Impulswechsler fungiert. Die zu messende Position wird durch einen beweglichen Dauermagneten, der den Wellenleiter umschließt, markiert. Dieser Positionsmagnet erzeugt im Wellenleiter das magnetische Längsfeld und ist starr mit dem Objekt verbunden, dessen Position bestimmt werden soll.

Hervorzuheben ist hierbei, dass zwischen Positionsgeber (Magnet) und Messelement (Wellenleiter) eine völlige mechanische Entkopplung besteht. Dieses berührungslose Messprinzip garantiert Verschleißfreiheit über der damit gegebenen langen Lebensdauer der Sensoren.

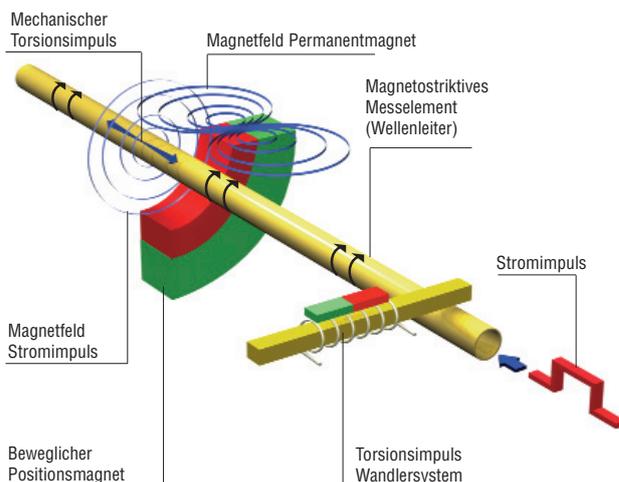
Zur eigentlichen Messung wird ein kurzer Stromimpuls aus der Sensorelektronik durch den Wellenleiter geschickt. Dadurch entsteht ein mit dem Impuls laufendes, örtlich veränderliches zweites Magnetfeld radial, um den Wellenleiter herum (Fig. 3).

Im Bereich des Positionsmagneten findet gemäß des Wiedemann-Effekts eine elastische, torsionale Verformung des magnetostriktiven Wellenleiters statt, die aufgrund des Zeitverlaufs des Stromimpulses ein hochdynamischer Vorgang ist. Dadurch entsteht im wirksamen Feld des Positionsmagneten eine Torsionswelle.

Als Körper-Ultraschallwelle läuft sie vom Entstehungsort zu den Enden des Wellenleiters und wird am unteren Ende vollständig absorbiert; störende Einflüsse auf die Signalerfassung werden somit sicher ausgeschlossen. Die Detektion der Torsionswelle geschieht am oberen Ende des Wellenleiters

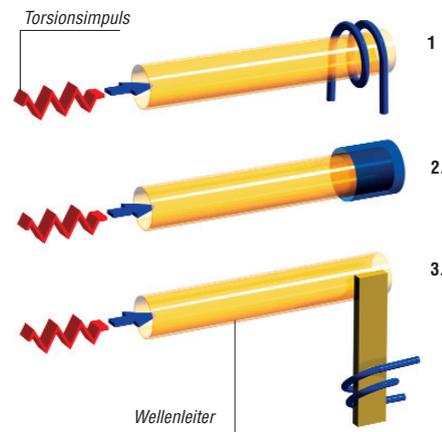
in einem speziellen Impulswandler-System. Dieses besteht aus einem quer mit dem Wellenleiter verbundenen, ebenfalls magnetostruktiven Metallstreifen, einer induktiven Detektionsspule und einem weiteren, ortsfesten Permanentmagneten. Im Torsionsimpulswandler bewirkt die Körperschallwelle eine Permeabilitätsänderung des Metallstreifens nach Villary. Die daraus resultierende zeitliche Änderung des Permanentmagnetfeldes induziert in der Abtastspule einen elektrischen Strom. Dieses nun elektrische Antwortsignal verarbeitet die nachgeschaltete Elektronik. Die torsionale Körperschallwelle läuft mit konstanter Ultraschallgeschwindigkeit durch den Wellenleiter. Die genaue Ortsbestimmung ergibt sich durch eine Laufzeitmessung, bei der die Magnetposition aus der Zeit zwischen dem Start des Stromimpulses und dem Eintreffen des elektrischen Antwortsignals, der im Torsionswandler detektierten Körperschallwelle, bestimmt wird.

Das an sich kompliziert anmutende Prinzip zur Wegmessung basiert auf einigen vorteilhaften Merkmalen, die MTS-Sensoren zu ihren anerkannten Vorzügen verhelfen. So lassen sich bekanntermaßen Laufzeitmessungen mit höchster physikalischer Präzision vornehmen. Die metallischen, magnetostruktiven Werkstoffe verfügen über langzeitstabile, bekannte Parameter. Und durch das besondere konstruktive Design - dem speziellen MTS Know-How - arbeitet das Sensorprinzip ungestört von äußeren Einflüssen wie z.B. Vibrationen von Maschinen. Aus der Summe dieser Merkmale entstehen die präzisen Positionssensoren von MTS, die sich durch hohe Messwiederholungsgenauigkeit und eine große Zuverlässigkeit auszeichnen.



(Fig. 3) Prinzipieller Aufbau einer magnetostruktiven Messung mit einem Temposonics Sensor mit den Elementen: Elektronik, Wellenleiter, positionsgebender Dauermagnet und Torsionsimpulswandler.

Die Umsetzung des magnetostruktiven Messprinzips in einen, den rauen industriellen Anforderungen genügenden Positionssensor, stellt hohe Anforderungen an die Kompetenz des Herstellers. MTS beherrscht die schnelle Erfassung und Verarbeitung von Messdaten und besitzt die nötigen, fundamentalen Kenntnisse der physikalischen Grundlagen. Bei magnetostruktiven Materialien haben MTS-Ingenieure jahrzehntelange Erfahrungen und ein umfassendes, werkstoffkundliches Wissen. So wurde z.B. die Umformung der torsionalen Körperschallwelle in ein elektronisch auswertbares Messsignal von MTS an verschiedenen Varianten von Torsionsimpuls-Wandlersystemen, wie sie in Fig. 4 dargestellt sind, untersucht.



(Fig. 4) Vergleich von Torsionsimpulswandler-Systemen

1. Der Torsionsimpuls auf dem Wellenleiter wird durch eine axiale Spule direkt erfasst.
2. Der Torsionsimpuls wird durch ein piezoelektrisches Messelement mechanisch erfasst.
3. Der Torsionsimpuls wird über ein senkrecht eingebautes Band, eingebettet in einer Spule, registriert und umgewandelt.

Dabei zeigte sich: Um die physikalische Kerntechnologie am effektivsten zu nutzen, muss ein Sensorelement wie in Fig. 4, Version 3 gewählt werden. Hier ist die Wirkung der magnetostruktiven Effekte am größten und sichersten, da nur der torsionale Anteil der mechanischen Welle registriert wird, während longitudinale Schwingungen keinen Einfluss auf die Messung haben. Die Verwendung von Torsionswellen und eines nur auf Torsionsimpulsen reagierenden Empfängersystems bringt den Vorteil einer großen Vibrationsunempfindlichkeit. Torsionswellen lassen sich kaum durch äußere mechanische Störungen erzeugen.

Damit die vielen physikalischen Vorgänge des Messprinzips ungestört, zuverlässig und reproduzierbar ablaufen können, hat MTS spezielles Know-How in der mechanischen Konstruktion und der elektronischen Signalverarbeitung parat, auf dem jeder Positions-sensor und jede Sensorentwicklung basiert. Kontinuierlich wird dieses Wissen weiter ausgebaut und auf modernstem technischen Stand gehalten.

Temposonics Wegsensoren haben direkte Ausgänge d.h. sie werden ohne zusätzliche externe Auswerteeinheiten betrieben. Neben allen marktgängigen analogen Ausgängen und den digitalen Punkt-zu-Punkt Schnittstellen parallel (BCD, Binär, Gray) und seriell (SSI); gibt es sie auch mit direktem Anschluss an die Feldbuss-varianten (CANopen, CANbasic, DeviceNet, Profibus-DP und InterBus-S, die sich als Standards durchgesetzt haben, sowie mit kundenspezifischen Ausgängen.

Temposonics Positionssensoren weisen alle Vorzüge des magnetostruktiven Sensorprinzips auf. Sie messen berührungslos und damit verschleißfrei, äußerst wiederholgenau und besitzen eine hohe Langzeitstabilität. Sie arbeiten linear und müssen bei Betriebsstörungen als absolute Positionssensoren nicht oft umständlich und zeitaufwendig Referenzmarken anfahren. Jeder Temposonics Sensor durchläuft strengste Prüfprogramme, die seine Qualität garantieren. So benötigt ein Temposonics z.B. während seiner gesamten Nutzungsdauer keine Nachkalibrierung.

## Zertifikate:

---



Reg. No. 30095-01



**CIA**



**SI**  
MEMBER



**CE**



[www.mtssensor.de](http://www.mtssensor.de)

[www.temposonics-shop.de](http://www.temposonics-shop.de)

**Service Hotline: 01805 - mtssensor**

© MTS Magnetostriktion 102005d Angaben ohne Gewähr, Irrtümer und Änderungen vorbehalten.

**MTS**  
SENSORS

**Deutschland**  
**MTS Sensor Technologie**  
**GmbH & Co. KG**  
Auf dem Schüffel 9  
D-58513 Lüdenscheid  
Tel. + 49 - 2351 - 9587 - 0  
Fax: + 49 - 2351 - 56491  
eMail: [info@mtssensor.de](mailto:info@mtssensor.de)  
[www.mtssensor.de](http://www.mtssensor.de)

**USA**  
**MTS Systems Corporation**  
**Sensors Division**  
3001 Sheldon Drive  
Cary, NC 27513, USA  
Tel. + 1 - 919 - 677 - 0100  
Fax: + 1 - 919 - 677 - 0200  
eMail: [info@mtssensors.com](mailto:info@mtssensors.com)  
[www.mtssensors.com](http://www.mtssensors.com)

**Japan**  
**MTS Sensors Technology Corp.**  
Ushikubo Bldg.  
737 Aihara-cho, Machida-shi  
Tokyo 194 - 0211, Japan  
Tel. + 81 - 42 - 775 - 3838  
Fax: + 81 - 42 - 775 - 5516  
eMail: [info@mtssensor.co.jp](mailto:info@mtssensor.co.jp)  
[www.mtssensor.co.jp](http://www.mtssensor.co.jp)