



# TECHNOLOGIEVORSPRUNG DURCH WISSEN - MAGNETISCH INDUKTIVE KRAFTSENSOR- EN



MagneticSense

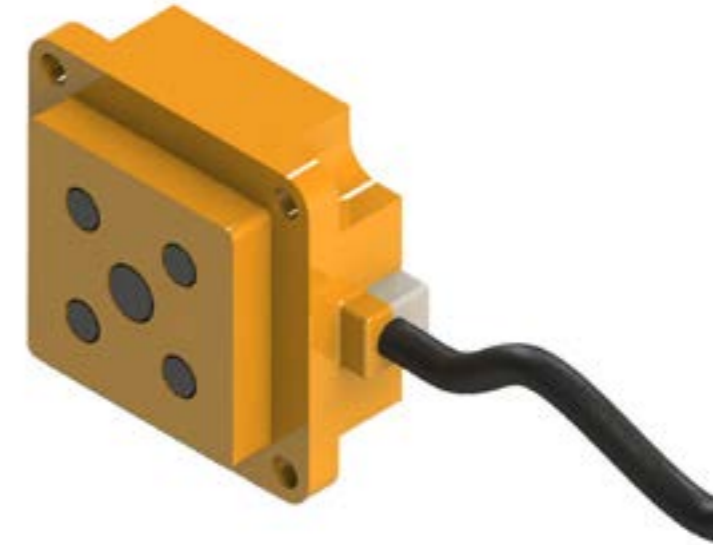
"Es sind (...) keine wirklichen Produkte entstanden."

## Die Entwicklung der Kraftsensoren

Warum haben es magnetisch induktive Kraftsensoren erst in den letzten Jahren geschafft ihre volle Stärke zu entfalten? Die ersten Entdeckungen zu Induktionssensoren und die damit verbundenen Patente gehen auf die sechziger Jahre zurück. Die Firma ABB war damals sehr aktiv, um mit dieser Technologie Drehmomentsensoren für Schiffsantriebe zu entwickeln. Zu dieser Zeit ist auch ein erstes Produkt entstanden, welches bis heute eingesetzt wird - der Torqueduktor von ABB. Das sollte aber für einige Jahrzehnte die einzige Innovation in diesem Bereich sein, die es von der Technologie zum Produkt geschafft hat.

Jahrzehnte lang haben sich verschiedene große OEM im Bereich Automobil und Maschinenbau in der Technologie versucht. Es sind zahlreiche Patente entstanden und neue Ideen kreiert worden, wie der Sensoraufbau seine maximale Performance entfalten kann. Es sind jedoch keine wirklichen

Produkte entstanden. Erst seit einigen Jahren gibt es punktuell Produkte von verschiedenen Herstellern in diesem Bereich. Wenn man sich den Drehmomentsensor der Firma Magnetic Sense genauer anschaut, werden die Gründe dafür auch ersichtlich.



Die Kompetenzen bei der Entwicklung eines magnetisch induktiven Kraftsensors oder Drehmomentsensors, beschränken sich nicht alleine auf die Elektronik und die Signalauswertung, sondern auch auf das notwendige Wissen über die Interaktion von Magnetfeldern und Materie. Die Signale, die ein magnetisch induktiver Drehmomentsensor aufnimmt, hängen in erster Linie von der Permeabilität der Messwelle und deren Änderung unter Last ab. Diese Änderung ist sehr materialspezifisch und muss für jede Anwendung speziell charakterisiert werden. Das vorhandene Wissen über den Magnetismus von Metallen hat sich aber erst in den letzten Jahren durch die Weiterentwicklungen von Elektromotoren aufgebaut. Dies war mit Sicherheit einer der wichtigsten Gründe. Ein weiterer Grund ist die notwendige Rechenleistung der Elektronik, um aus den hochfrequenten angeregten Induktivitäten die wichtigen Signale in

das Digitale zu wandeln und die zur Linearisierung notwendiger Rechnungen durchzuführen. Induktivitäten haben ihre Eigenheiten bzgl. dem Verhalten unter Temperatur und Änderung der Umgebungsbedingungen. Diese Änderungen müssen in komplexen Kompensationsalgorithmen mit einer hohen Messbandbreite verarbeitet und ausgegeben werden. Diese notwendige Rechenleistung war vor einigen Jahren noch gar nicht vorhanden. D.h. es war fast unmöglich vor ca. 15 Jahren mit den vorhandenen Mitteln die notwendige Signalverarbeitung zu betreiben, um ein stabiles Sensorsignal zu erzeugen.

Die Firma Magnetic Sense hat es durch Kombination der wichtigsten Kernelemente geschafft für einen magnetisch induktiven Kraftsensor ein hoch integriertes Produkt für Serienanwendungen herzustellen.

Das Herzstück jeder Sensorik, die nur sehr kleine Messsignale liefert, ist es eine Anordnung zu finden, die es erlaubt, den Sensor in einer differentiellen Messung zu betreiben. Dieses ist die Basis für möglichst kleine Messfehler, aufgrund der oben beschriebenen Einflüsse auf den Sensor.

Die Wheatstonebrücke hat sich als optimale Einsatzmöglichkeit sowohl für die Differentielle Messung als auch für die Messung bei Dehnungsmessstreifen etabliert.

Das bedeutet, dass Sensoren die Potentiell den Dehnungsmessstreifen ersetzen können, in der Lage sein müssen, mit einer ähnlichen Signalgüte d.h. einer differentiellen Messung betrieben zu werden.

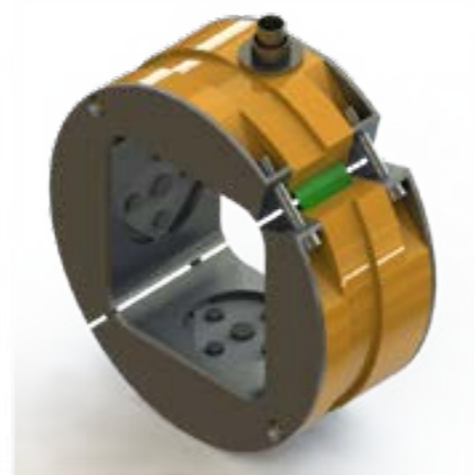
Wenn sich eine Technologie in einer Anwendung durchgesetzt hat, d.h. absolut etabliert und akzeptiert ist, dann fällt es jeder neuen Technologie schwer, sich gegen diese zu behaupten.

## Die Probleme bzw. Nachteile des Dehnungsmessstreifen

Der Dehnungsmessstreifen hat (neben seinen sehr guten Eigenschaften bzgl. genauer Messung) auch seine Nachteile. Wie oben beschrieben muss der Dehnungsmessstreifen auf das Messstück aufgebracht werden, d.h. er muss eine sehr gute mechanische Kopplung an der Messstelle aufweisen die nicht nur während der Herstellung diese Eigenschaften erfüllt, sondern auch noch nach mehreren Jahren in der Anwendung. Um das zu realisieren, haben viele Hersteller Klebstoffe entwickelt, die für diese Anwendung optimiert sind. Diese müssen aber in den meisten Anwendungen manuell aufgebracht werden. Die manuelle Aufbringen ist allerdings immer ein Risikofaktor für die Qualität der Klebung und ein entsprechender Kostenfaktor der beachtet werden muss.

Weiterhin ist es so, dass kleinste Winkel in der Ausrichtung des DMS auf dem Messobjekt einen Fehler verursachen können, da die Krafteinwirkung nicht nur in der Messachse des DMS wirkt, sondern auch mit einem Kraftvektor in die andere Achse. Das Verhältnis der einzelnen Kraftvektoren ist der potentielle Messfehler den der DMS sieht.

Abschließend ist es jetzt noch notwendig, den DMS der an das Messobjekt angebracht wurde, zu kontaktieren um sowohl die Versorgungsspannung aber auch die Signalführung anzubringen. Bei hochvolumigen Serienbauteilen, kann das mit einem Drahtbinder passieren, bei kleineren Produktionsvolumen werden oft Drähte angelötet. Diese Drahtführung und die Lötstelle stellt bzgl. Qualitätsanforderungen eine Schwachstelle dar.



## Die magnetisch induktive Kraftmessung als Revolution in der Kraftmessung

Die Industrie und damit die Sensorhersteller haben sich damit zufrieden gegeben, dass es eine etablierte Technologie gibt und diese stetig optimiert wird.

Bereits in den 60er Jahren gab es allerdings schon erste Bemühungen, neben der reinen Dehnungsmessung über die Widerstandsänderung, welche im Grunde genommen eine Sekundärgröße ist, eine direkte Messgröße zu etablieren um eine direkte Krafteinwirkung in das mechanische Messobjekt zu messen.

Der Effekt der Magnetostraktion ist dabei zum Objekt der Begierde geworden. Die Magnetostraktion basiert darauf, dass sich bei ferromagnetischen Metalllegierungen die magnetischen Eigenschaften unter Kraftbeeinflussung verändern. D.h. die magnetische Permeabilität oder auch Suszeptibilität des Materials sich ändert, wenn eine Kraft auf diese einwirkt.

Verschiedene Namen dieser direkten mechanischen Kraftmessung sind seitdem

entstanden wie z.B. die Magnetoelastische Kraftmessung oder die Magnetostruktion. Es findet sich aber auch oft der Begriff der inversen Magnetostruktion. Im Grunde genommen beschreiben alle dasselbe Verhalten.

Um eine Magnetostruktive Kraftmessung umzusetzen, sind allerdings deutlich komplexere Sensoraufbauten notwendig. Für diese Messung muss der Sensor eine Möglichkeit haben, ein Magnetfeld zu erzeugen, um einen magnetischen Fluss im Messobjekt zu erzeugen und zusätzlich Magnetfeldsensoren um eine Änderung dieses magnetischen Flusses zu messen. Dies in reiner diskreter Elektronik umzusetzen ist nahezu unmöglich und war daher der "Show Stopper" für die Magnetostruktive Kraftmessung in den frühen 60er Jahren. Es gab verschiedene weitere Versuche in den 80er Jahren und um die Jahrtausendwende die sich alle im Sande verlaufen haben.

Heute sieht diese Bild komplett anderes aus!

## Die Revolution der Kraftmessung durch Magnetisch Induktive

### Sensoren

Die heutigen Möglichkeiten Induktivitäten herzustellen die notwendig sind um die Magnetfelder zu erzeugen haben sich radikal verändert. So ist es z.B. möglich dass in ein herkömmliches PCB welches für die Elektronische Schaltungsentwicklung verwendet wird Spulen einzulassen. Das ermöglicht es sehr reproduzierbar Induktivitäten herzustellen die sowohl für die Erzeugung eines magnetischen Wechselfeldes verwendet werden können, aber auch um die

resultierenden Felder für einen Sensor zurück zu messen.

Weiterhin hat sich die Möglichkeit der integrierten Schaltungsentwicklung so verändert dass heutzutage genügend Rechenleistung vorhanden ist um die komplexesten Signalverarbeitungen zu realisieren - bis hin zu einer Fourieranalyse von Wechselfeldern.

Weiterhin ist das Wissen über den Magnetismus und das Verhalten von Metalllegierungen unter dem Einfluss von Magnetfeldern heute - getrieben durch die elektrischen Maschinen und E-Mobilität - auf einem ganz anderen Niveau, so dass man z.B. auch Simulationen zur Magnetostraktion durchführen kann. Diese Simulationen helfen das Verhalten der Materialien deterministisch vorherzusagen.

Die Kombination aus den heute zur Verfügung stehenden Technologien zur Herstellung von Spulen, der notwendigen Rechenleistung in Mikrocontrollern und das Wissen über den Magnetismus von Materialien ist die Basis für die Kraftsensoren von Magnetic Sense.

## Magnetisch induktive Kraftmessung heute

Die Firma Magnetic Sense hat es durch Kombination der wichtigsten Kernelemente geschafft für einen magnetisch induktiven Kraftsensor ein hoch integriertes Produkt für Serienanwendungen herzustellen. Mit einem modularen Baukasten ist es heute möglich an nahezu jedem Ferromagnetischen Werkstoff durch das Parametrieren des Sensors eine sehr genaue Kraft- oder Drehmomentmessung zu realisieren.

Durch eine Patentierte Methode den Sensoraufbau zu realisieren ist es möglich eine Differentielle Messung an nahezu jeder Messstelle durchzuführen. Dafür ist sowohl der Sensoraufbau d.h. die Art und Weise wie die Magnetfelder erzeugt und zurück-detektiert werden patentiert als auch die Schaltungsmethode die notwendig ist um die resultierenden Signale zu digitalisieren und ein der Kraft proportionales Signal zu berechnen.

Mit diesen Bausteinen hat es Magnetic Sense geschafft eine Performance zu erreichen die der eines DMS in einer Kraft- oder Drehmomentenanwendung entspricht.

Dadurch dass die Magnetfelder über eine gewisse Distanz in das Messobjekt eingekoppelt werden können ist es nicht

notwendig dass der Sensor eine mechanische Kopplung mit der Messstelle hat, d.h. ein Klebprozess ist

nicht notwendig. Eine abgeschlossene Sensorkomponente kann direkt auf das Messobjekt aufgebracht werden um dort Messungen durchzuführen.

Magnetische Sensoren sind bekannt als sehr robust und stabil über die Dauer zu funktionieren, das liegt zum einen daran dass das magnetische Wechselfeld welches erzeugt wird sehr genau bekannt ist und entsprechend bei Abweichungen detektiert und korrigiert werden kann, aber auch daran dass die Magnetfelder sich nicht durch Staub, Rost oder andere Verschmutzungen der Messstelle beeinflussen lassen.

Der Modulare Baukasten den die Firma Magnetic Sense entwickelt hat lässt sich sehr einfach in Bezug auf Bauraum, mechanische und elektrische Schnittstellen auf verschiedene Kundenspezifische Bedürfnisse anpassen.

Diese technologischen Möglichkeiten finden in verschiedenen Industriebereichen Anwendungsmöglichkeiten.

## Welche Anwendungen für magnetisch induktive Kraftsensoren gibt es?

### Kraftmessung in der Agrarindustrie

Hydraulische Zylinder werden in verschiedenen Agrarmaschinen eingesetzt um Lasten anzuheben oder konstante Aufpresskräfte für Maschinen zur Bodenbearbeitungen zu realisieren. Diese Zylinder sind heute in der Regel durch ihren Hydraulischen Druck geregelt. Diese Regelung ist aufgrund Reibungsverluste des Kolben mit dem Zylinder fehlerbehaftet. Eine direkte Kraftmessung am hydraulischen Zylinder kann dazu dienen diese Kräfte deutlich genauer zu messen und damit die Anwendung exakter einzustellen.

### Kraftmessung an Kränen

An Baukränen gibt es verschiedene Stellen an denen heute Kräfte gemessen werden. Eine wichtige Anwendung für Kraftsensoren sind die Abstützkräfte in den Hydraulischen Stützen. Die Kraft in diesen Stützen kann verwendet werden um den Schwerpunkt des Kranes zu ermitteln und entsprechend zu verhindern dass dieser Gefahr läuft zu kippen und damit Meschen zu gefährden. Weiterhin können Kraftsensoren die Aufliegergewichte messen und damit die Zulässige Beladung des Kranauslagers definieren. Eine weitere Anwendung ist die direkte Kraftmessung im Kranausleger um die vom Kran angehobenen Bauteile zu wiegen.

### Kraftmessung im Automobil

Im Automobil gibt es verschiedene Stellen an denen heute bereits Kraftmessungen umgesetzt werden. Zum einen können Kraftsensoren an der Anhängerkupplung messen mit welcher Belastung ein Anhänger auf dieser aufliegt, aber auch die Zugkraft die das Auto aufbringen muss um einen Anhänger zu ziehen. Diese statische Information gepaart mit Informationen zum dynamischen Verhalten auf der Straße können verwendet werden um gefährliche Fahrmanöver zu detektieren und entsprechen Regelungstechnisch zu verhindern.

### Kraftmessung an Brücken

Lasten und Laständerungen an Brücken sind wichtige Informationen für eine Beurteilung zur Langzeitstabilität und deren Degenerationsfaktoren. Kraftsensoren können diese Informationen erfassen und entsprechend Wartungsmaßnahmen an der Brücke definieren.

### Kraftmessung in der Bahn

Aufliegerkräfte der Waggons können mit Kraftsensoren erfasst werden und somit eine direkte Information geben mit welchem Gewicht sowohl der Personenwagen als auch der Güterwagen beladen ist. Zugkräfte in der Deichsel können verwendet werden um zu plausibilisieren wie viele Wagen an der Zugmaschine hängen und ob alle noch vorhanden sind. Messungen an Gleisabschnitten direkt am Gleis können verwendet werden um die Räder die über eine bestimmte Stelle fahren zu zählen um festzustellen ob alle Waggons die in ein Gleisabschnitt gefahren sind dieses auch wieder verlassen haben.

## Kraftmessung am LKW

EU Richtlinien zwingen die LKW Industrie in der Zukunft dazu einer Kontrollbehörde direkte Informationen zu liefern welche Achslasten sie geladen haben. Das kann mit Kraftsensoren auf der Achse realisiert werden. Diese Information soll zum einen verhindern dass die Straßen in Europa durch zu schwer beladene LKWs überlastet werden aber auch gefährliche Situationen auf der Straße zu vermeiden. Auch am LKW können die Kräfte der gezogenen Anhänger ermittelt werden um zu plausibilisieren welche Gewichte diese geladen haben.

## Kraftmessung in der Industrie

Überall wo Gewichtsmessungen zum Einsatz kommen, sei es das Gewicht eines Tanks oder eines Silos können Magnetisch Induktive Kraftsensoren eingesetzt werden.

## Kraftsensor in der Theorie

Jahrzehnte lang haben sich verschiedene große OEM im Bereich Automobil und Maschinenbau in der Technologie versucht. Es sind zahlreiche Patente entstanden und neue Ideen kreiert worden, wie der Sensoraufbau seine maximale Performance entfalten kann. Es sind jedoch keine wirklichen Produkte entstanden. Erst seit einigen Jahren gibt es punktuell Produkte von verschiedenen Herstellern in diesem Bereich. Wenn man sich den Drehmomentsensor der Firma Magnetic Sense genauer anschaut, werden die Gründe dafür auch ersichtlich.

## Diese Art von Know How brachte die Induktionssensor Entwicklung weiter

Die Kompetenzen bei der Entwicklung eines magnetisch induktiven Kraftsensors oder Drehmomentsensors, beschränken sich nicht alleine auf die Elektronik und die Signalauswertung, sondern auch auf das notwendige Wissen über die Interaktion von Magnetfeldern und Materie. Die Signale, die ein magnetisch induktiver Drehmomentsensor aufnimmt, hängen in erster Linie von der Permeabilität der Messwelle und deren Änderung unter Last ab. Diese Änderung ist sehr materialspezifisch und muss für jede Anwendung speziell charakterisiert werden. Das vorhandene Wissen über den Magnetismus von Metallen hat sich aber erst in den letzten Jahren durch die Weiterentwicklungen von Elektromotoren aufgebaut. Dies war mit Sicherheit einer der wichtigsten Gründe.

## Wie komplexe Rechenleistung Kraftmessung optimiert

Ein weiterer Grund ist die notwendige Rechenleistung der Elektronik, um aus den hochfrequenten angeregten Induktivitäten die wichtigen Signale in das Digitale zu wandeln und die zur Linearisierung notwendiger Rechnungen durchzuführen. Induktivitäten haben ihre Eigenheiten bzgl. dem Verhalten unter Temperatur und Änderung der Umgebungsbedingungen. Diese Änderungen müssen in komplexen Kompensationsalgorithmen mit einer hohen Messbandbreite verarbeitet und ausgegeben werden. Diese notwendige Rechenleistung war vor einigen Jahren noch gar nicht vorhanden. D.h. es war fast unmöglich vor ca. 15 Jahren mit den vorhandenen Mitteln die notwendige Signalverarbeitung zu betreiben, um ein stabiles Sensorsignal zu erzeugen.

