



# DER DREHMOMENTSENSOR: VIELFÄLTIG IM EINSATZ



MagneticSense

## DER DREHMOMENTSENSOR: VIELFÄLTIG IM EINSATZ

Drehmomentsensoren sind in vielen Bereichen des alltäglichen Lebens und in der produzierenden Wirtschaft zu finden. Die dahinter stehende Technik und deren Anwendung Die Geschichte der Drehmomentmessung Die Geschichte der Drehmomentmessung endungsgebiete sind dabei deutlich älter, als es die meisten Menschen vermuten. Doch erst die neue und moderne Technik macht den Drehmomentsensor

in seinem Einsatz so flexibel und so vielfältig und erlaubt es die unterschiedlichsten Prozesse durch die Drehmomentmessung zu steuern. Betrachten wir einmal gemeinsam die Möglichkeiten und Anwendungsbereiche der Drehmomentmessung und die Entwicklung vom einfachen Drehmomentsensor bis zu den heutigen, ausgereiften und technisch wertvollen Modellen.

## DIE GESCHICHTE DER DREHMOMENTMESSUNG

Es lohnt sich durchaus einen ersten Blick in die Geschichte zu werfen. Denn die Grundlagen für die Drehmomentmessung wurden bereits im Jahr 1678 gelegt. In diesem Jahr wurde von Robert Hooke das Hookesche Gesetz beschrieben, mit welchen die Proportionalität zwischen Materialdehnung und der zugehörigen Materialspannung beschrieben wurde. Im Jahr 1833 hingegen wurde die Wheatstonesche Spannungsbrücke entdeckt, welche von Wheatstone und Hunter Christie erfunden wurde. Es handelt sich hierbei um eine Brückenschaltung, welche in der Lage war und ist, kleinste Spannungsänderungen zu messen und anzuzeigen. Kurz darauf, im Jahr 1856 entdeckte Lord Kelvin den Zusammenhang zwischen der mechanischen Dehnung eines Widerstandsdrahts und der damit verbundenen Widerstandsänderung. Diese Erfindungen und Entdeckungen bilden bis heute die Grundlage für die moderne Drehmomentmessung. Der erste echte

Drehmomentsensor wurde dann jedoch erst im Jahr 1938 entwickelt. Hierbei handelte es sich um einen Dehnungsmessstreifen, welcher von Prof. A. C. Ruge entwickelt wurde. Von diesem Zeitpunkt an war die Entwicklung beim Drehmomentsensor nicht mehr aufzuhalten und veränderte Teile der mechanischen Produktion bis heute.



## DIE MODERNEN DREHMOMENTSENSOREN UND IHRE ENTWICKLUNG

Die ersten in der Industrie verwendeten Drehmomentsensoren hatten mit einer sehr hohen Störanfälligkeit zu kämpfen. Dies lag vor allem an den verwendeten analogen Signalausgängen, welche durch benachbarte Bauteile und Antriebe sehr störanfällig waren. Da die Signale bei der Drehmomentmessung in der Regel nur sehr schwach und somit schwierig zu ermitteln waren, wurde der Signalpegel erhöht, sodass eine bessere und effektivere Störfestigkeit erreicht

werden konnte. Doch erst der Einsatz digitaler Sensorelektronik schaffte es, diese Störfestigkeit zu erreichen und somit die Drehmomentmessung auf ein neues Niveau zu heben. Hierbei wurden verschiedene Ansätze genutzt, um den Drehmomentsensor und seine Messergebnisse optimal an das Bauteil und den Einsatzbereich anzupassen und somit für eine höhere Effizienz bei gleichzeitig geringerer Störungstoleranz zu erreichen.

## STATISCHE ODER ROTIERENDE DREHMOMENTMESSUNG

Der erste Drehmomentsensor war also ein Dehnungsmessstreifen und somit rein statisch. Doch der wichtigste Einsatzbereich für die Drehmomentmessung fand sich vor allem in den Messungen im rotierenden Wellenstrang. Es musste also ein Drehmomentsensor erfunden und entwickelt werden, welcher eine rotierende Drehmomentmessung erlaubt. Kurz nach dem Jahr 1945 war es dann soweit, als erste rotierende Sensoren entwickelt wurden, welche auf einer induktiven Technologie zur Drehmomentmessung basierten. Zwar war die Technologie noch lange nicht ausgereift und oftmals fehleranfällig, doch die technischen Entwicklungen und der Siegeszug

der Drehmomentsensoren waren ab diesem Zeitpunkt nicht mehr aufzuhalten. Durch den Einsatz von Messverstärkern und den daraus resultierenden Kompensationen der Messsignale wurde es möglich immer genauere Messergebnisse zu erhalten und somit mit dem Drehmomentsensor viele Bereiche effektiv zu steuern. Die Miniaturisierung der Technik hat dafür gesorgt, dass in der heutigen Zeit vor allem beinahe jeder Drehmomentsensor bereits mit einem integrierten Messverstärker ausgestattet ist. Doch betrachten wir zunächst einmal die verschiedenen Einsatzbereiche der Drehmomentsensoren im Laufe der Zeit.

## DREHMOMENTSENSOREN UND IHRE VERSCHIEDENEN EINSATZBEREICHE

Drehmomentsensoren werden nicht nur in der Industrie und der industriellen Fertigung immer wichtiger, sondern erhalten auch durch die neue und moderne Elektrifizierung von Motoren eine immer größere Bedeutung. Dank der verschiedenen elektrischen Antriebe beim Auto oder auch beim E-Bike, kommt dem Drehmomentsensor eine immer stärkere Bedeutung zu. Aus diesem Grund ist es wichtig zu wissen, warum die Drehmomentmessung in diesem Bereich so wichtig ist und wie diese dort am effektivsten integriert und realisiert werden kann. Denn der Zustand und die Leistungsfähigkeit eines Elektromotors kann am effektivsten über die Drehmomentmessung ermittelt werden. So stellt diese Form der Messung eine Art Kontrollgröße für die vielen verschiedenen anderen Sensoren in einem solchen Motor dar und kann somit die Leistungsfähigkeit und auch die Sicherheit des gesamten Systems nachhaltig beeinflussen. Auch

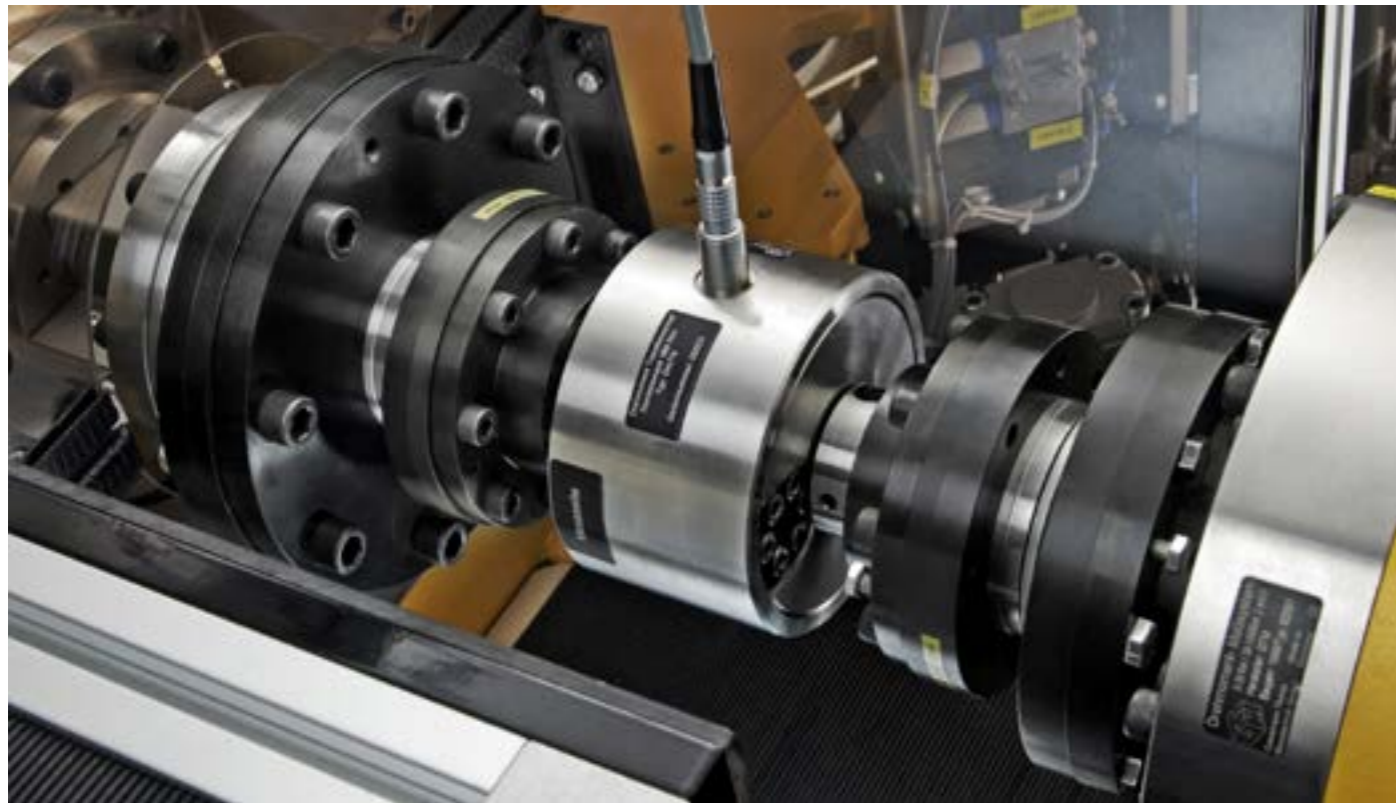
wenn hier die Technologie noch am Anfang steht und somit noch nicht für die Serienentwicklung ausgereift ist, so zeigen sich bereits jetzt in vielen Versuchen gute bis sehr gute Ergebnisse. Es bleibt abzuwarten, welche Art der Drehmomentmessung in Zukunft im Einsatz sein wird, doch aktuell liegt der Fokus von Magnetic Sense auf dem Segment der kontaktlosen magnetisch induktiven Drehmomentstechnologie, welche eine möglichst hohe Exaktheit und eine einfache Kontrolle verspricht. Dank unserer verschiedenen Laborversuche und den direkten Felderprobungen beim Kunden können wir bereits jetzt feststellen, dass diese Technik der Drehmomentmessung eine möglichst hohe Effizienz verspricht und sehr gut in die verschiedenen Systeme integriert werden kann. Denn ein solcher Drehmomentsensor mit der kontaktlosen magnetisch induktiven Technologie bietet dem Anwender verschiedene Vorteile. Dies wären unter anderem:

- ✓ Ein kontaktloses und einfaches Messprinzip
- ✓ Eine Unempfindlichkeit gegen mechanische Überlast
- ✓ Ein Digitales literarisiertes Ausgangssignal
- ✓ Eine hohe Robustheit gegenüber Störfeldern
- ✓ Keine mechanische oder magnetische Bearbeitung der Messstelle notwendig
- ✓ Keine spezifischen Anforderungen an das Material der Welle durch den Drehmomentsensor
- ✓ Einfache Integration der Drehmomentmessung in die unterschiedlichsten Anlagen

## VERSCHIEDENE MESSVERFAHREN BEIM DREHMOMENTSENSOR

Auch wenn die Dehnungsmessstreifen auch heute noch zu den häufigsten Anwendungen im Bereich der Drehmomentmessung gehören, so gibt es auf dem Markt viele unterschiedliche Verfahren und Drehmomentsensoren, welche je nach Einsatzgebiet in Frage kommen. Vor allem bei hohen Rotationszahlen und den entsprechend wirkenden Kräften ist eine Übertragung der Messungen oftmals schwierig. Betrachten wir also zunächst einmal die verschiedenen Verfahren, wel-

che nicht nur unter Laborbedingungen, sondern auch im industriellen Einsatz überzeugen können. Denn einige der Verfahren sind so störanfällig oder kompliziert im Einbau, dass deren industrieller Einsatz auch in Zukunft fraglich bleiben wird. Wichtig ist, dass immer das Verfahren gewählt wird, welches nicht nur die höchstmögliche Präzision verspricht, sondern welches auch kostenneutral und sicher eingesetzt werden kann.



## OPTOELEKTRISCHES VERFAHREN DER DREHMOMENTMESSUNG

Bei der optoelektronischen Drehmomentmessung werden verschiedene Sensoren eingesetzt, welche nicht nur das Drehmoment, sondern auch den Drehwinkel, die Drehzahl und die Drehrichtung einer Welle erfassen. In vielen Einsatzbereichen kann diese Form der Drehmo-

mentmessung überzeugen, aber aufgrund ihrer Größe nicht in allen Systemen verbaut werden. Besonders effektiv ist ein solcher Drehmomentensor vor allem auch bei Drehmomenten im niedrigen Bereich, da auch hier eine sehr niedrige Störanfälligkeit aufgewiesen werden kann.

## DEHNMESSSTREIFEN ALS DREHMOMENTSENSOR

Dehnmessstreifen gehören zu den ältesten Methoden der Drehmomentmessung und bieten sehr genaue und gute Ergebnisse in vielen Bereichen. Aufgrund der notwendigen hohen Genauigkeit beim Einbau und der hohen Wartungsintensität

der Systeme werden Dehnmessstreifen allerdings aktuell nur noch in wenigen Bereichen dauerhaft eingesetzt. Viel häufiger zeigt sich, dass ein moderner Drehmomentsensor durch andere alternative Technologien viel einfacher realisiert werden kann.

## MAGNETOELASTISCH: EINE ECHTE ALTERNATIVE

Bei den magnetoelastischen Messverfahren wird eine besondere physikalische Eigenschaft von ferromagnetischen Stoffen eingesetzt. Denn das Volumen und die makroskopische Magnetisierung eines solchen Materials stehen in direktem Zusammenhang. Dank moderner Technologien

und einer Weiterentwicklung des passiven Prozesses zu einer aktiven Drehmomentmessung können sehr genaue Ergebnisse bei gleichzeitig niedrigem Kostendruck erreicht werden.

## PIEZOELEKTRISCHE DREHMOMENTMESSUNG IM FOKUS

Der piezoelektrische Effekt wurde zwar bereits vor vielen Jahren entdeckt, sein Einsatz in der Messtechnik ist allerdings deutlich jüngeren Ursprungs. Bei der Messung mittels piezoelektronischer Effekte werden Kristalle unter Druckbelastung eine direkt zur Kraft proportionale elektrische Ladung erzeugen. Diese kann durch einen Verstär-

ker in eine proportionale Ausgangsspannung umgewandelt werden. Dieser Art der Drehmomentmessung ist äußerst effektiv, allerdings auch sehr störanfällig und weisen in der Regel eine geringere Linearität auf. Dafür ist ein solcher Drehmomentsensor sehr klein und leicht zu verbauen.

## DAS SAW-VERFAHREN: EFFEKTIV UND SICHER

Die Abkürzung SAW steht für den englischen Begriff surface acoustic wave und beschreibt eine Körperschallwelle, welche sich auf einer Oberfläche planar ausbreitet. Es wird vom Sensor eine Schallwelle erzeugt, welche sich über die Oberfläche des Messmediums fortpflanzt.

Veränderungen des Materials oder der physikalischen Eigenschaften verändern auch das Signal und somit das Ergebnis am Drehmomentsensor. Dieses Verfahren bietet somit höchsten Komfort, ist allerdings auch störanfällig und somit nur bedingt in einigen Einsatzbereichen realisierbar.

## AKTUELLE UND ZIELFÜHRENDE MESSVERFAHREN IN DER SERIENANWENDUNG

Insgesamt gibt es vier sinnvolle und zielführende Verfahren, nach denen die Drehmomentmessung in der Serienanwendung gewährleistet werden kann. Einige der oben genannten Verfahren sind beispielsweise nur unter kontrollierten Laborbedingungen möglich, während andere bereits seit Jahren im Einsatz sind. Die vier Verfahren der

Drehmomentmessung für die Serienfertigung sind die Drehmomentmessung mittels Dehnmessstreifen auf der Messwelle, die Drehmomentmessung mit einem Dehnmessstreifen Messflansch, der passiv magnetostriktive Drehmomentsensor und der aktive magnetisch induktive Drehmomentsensor.





## DEHNMESSSTREIFEN AUF DER MESSWELLE

Seit mehr als 40 Jahren wird die Drehmomentmessung mittels Dehnmessstreifen entwickelt und verbessert. Ein solcher Drehmomentsensor kann vor allem aufgrund seiner einfachen Integration überzeugen, hat aber auch Nachteile vorzuweisen, welche sich nur durch entsprechendes Knowhow eliminieren lassen. So ist beispielsweise die exakte Ausrichtung des Dehnmessstreifens in Bezug auf die Drehrichtung und Ausrichtung der Messwelle notwendig, um eine hohe Genauigkeit und eine geringe Fehlertoleranz zu erreichen.

## DEHNMESSSTREIFEN MESSFLANSCH

Eine Messflansch wird zwischen zwei Wellenden montiert und liegt somit im direkten Kraftfluss der Übertragungswelle. Dies kann zu sehr genauen und exakten Ergebnissen führen. Allerdings ist der Aufwand für die Integration eines solchen Systems sehr hoch, da die Welle für den Einbau unterbrochen und aufbereitet werden muss. Zudem muss bei diesem Verfahren die Parallelität

zwischen Messflansch und Messwelle sehr hoch sein, da Abweichungen die Messergebnisse bereits massiv und deutlich verfälschen können. In der Serienanwendung kommt diese Technologie zur Drehmomentmessung aufgrund des großen Aufwandes und der hohen Kosten kaum zur Geltung.

zwischen Messflansch und Messwelle sehr hoch sein, da Abweichungen die Messergebnisse bereits massiv und deutlich verfälschen können. In der Serienanwendung kommt diese Technologie zur Drehmomentmessung aufgrund des großen Aufwandes und der hohen Kosten kaum zur Geltung.

## PASSIV MAGNETOSTRIKTIVER DREHMOMENTSENSOR

Bei der Drehmomentmessung mittels Magnetostriktion wird eine Eigenschaft ferromagnetischer Stoffe ausgenutzt, um eine effektive Drehmomentmessung zu ermöglichen. Es gibt einen Zusammenhang zwischen dem Volumen und der makroskopischen Magnetisierung verschiedener Materialien. Um eine effektive Messung mittels verschiedener Sensoren wie Flux Gates oder Hall Sensoren zu ermöglichen, wird die Welle bei diesem Verfahren vormagnetisiert. So werden die Messsignale größer und leichter zu ermitteln.

Allerdings hat dieses Verfahren auch deutliche Nachteile. Es ist enorm störanfällig und somit besonders kompliziert und teuer im Einbau. Denn das gesamte Sensorenfeld muss gegen Störungen von Außen abgesichert werden. Zudem muss die Welle immer vormagnetisiert werden, was einen weiteren Aufwand sowohl zeitlicher als auch finanzieller Natur bedeutet. Dennoch kommt auch die passiv magnetostriktive Drehmomentmessung in verschiedenen Bereichen zum Einsatz.

## AKTIV MAGNETISCH INDUKTIVE DREHMOMENTMESSUNG

Bei diesem Prinzip der Drehmomentmessung muss die Welle nicht vormagnetisiert werden, sondern es wird das Magnetfeld bei jeder Messung aktiv erzeugt und in die Welle eingekoppelt. Auch bei dieser Form der Messung muss die Welle aus ferromagnetischem Material bestehen, allerdings bietet dieses System einige Vorteile. So altert das Magnetfeld nicht, sodass sich die Stärke des Magnetfeldes nicht im Laufe der Zeit abschwächt und verändert. Zudem werden durch

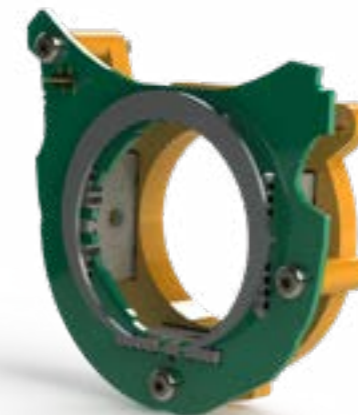
die aktive Magnetisierung die magnetischen Flüsse deutlich größer und somit leichter messbar, was die Fehlertoleranz durch Rauschen deutlich erhöht. Diese Form der Drehmomentmessung ist auch auf kleinstem Raum realisierbar und somit in der Kundenanwendung besonders beliebt und praktikabel. Durch den Einsatz von Planarspulen und hochwertigen Schaltungen entsteht ein zuverlässiger Drehmomentsensor, welcher in vielen Anwendungsbereichen überzeugen kann.

## ANWENDUNGSGEBIETE DER DREHMOMENTMESSUNG IN DER MODERNEN INDUSTRIE

Moderne Drehmomentsensoren sind aktuell aus kaum einem Teilbereich des Lebens und der Industrie mehr wegzudenken. Denn ohne einen passenden Drehmomentsensor lassen sich viele Bereiche kaum noch steuern und erst recht nicht kontrollieren. Dies wird vor allem dann deutlich, wenn man sich nur ein-

mal einen Teilbereich der Einsatzgebiete für die Drehmomentmessung ansieht. Denn der Drehmomentsensor ist aus unserem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Zu den Einsatzgebieten für die Drehmomentmessung gehören:

- ✓ Elektromotoren
- ✓ Verbrennungsmotoren
- ✓ Prüfstände
- ✓ Getriebe
- ✓ Pumpen
- ✓ Messeinrichtungen
- ✓ Rehologie
- ✓ Steuerung und Regelung in der industriellen Fertigung
- ✓ Abgleich von Lagervorspannung, Spiel und Federvorspannung
- ✓ Anzugs- und Lösemoment in der Schraubtechnik
- ✓ Funktionsüberprüfung bei Kurbeldrehmoment, Pumpen, Transportbändern, Dichtungen und Lagern
- ✓ in Windkraftanlagen für Leistung und Drehmoment
- ✓ in Bohrtürmen
- ✓ bei Stellantrieben
- ✓ bei Schiffswellen
- ✓ bei drehmomentgesteuerten Maschinen in der Landwirtschaft.



Sie sehen also, dass es nur noch sehr wenige Bereiche gibt, in denen die Drehmomentmessung mittels Drehmomentsensor nicht mehr benötigt wird, um die höchstmögliche Effizienz zu erreichen. Denn erst durch die moderne und fehlerunanfällige Drehmomentmessung konnten viele der aktuellen Entwicklungen auf dem Markt

überhaupt entwickelt und zur Produktionsreife gebracht werden. Der Drehmomentsensor sorgt in den vielen Anwendungsbereichen für eine höhere Sicherheit und eine dauerhafte Überprüfung des Systems und somit für eine höhere Effizienz. Kein Wunder also, dass sich der Drehmomentsensor in so vielen Bereichen hat durchsetzen können.

## EFFEKTIVE SENSOREN FÜR WIRTSCHAFTLICHE SICHERHEIT IN DER PRODUKTION

Viele der vorgestellten Verfahren sind noch nicht für den direkten Einsatz in der Produktion oder der Serienfertigung geeignet. So bietet ein solcher Drehmomentsensor zwar häufig sehr genaue Ergebnisse, kann aber aufgrund des verwendeten Verfahrens nicht wirtschaftlich sinnvoll verbaut werden. Die Messung des Drehmoments mittels Dehnmessstreifen ist somit noch immer extrem stark verbreitet, auch wenn es hier aufgrund der zu veranstaltenden Umstände häufig zu besonders teuren und fehleranfälligen Systemen kommt. Aktuell ist vor allem die Nutzung herkömmlicher Dehnmessstreifen weit verbreitet.

In der Serienanwendung hingegen wird immer stärker der Einsatz von Drehmomentsensoren auf magnetischer Basis propagiert, da diese sowohl deutlich robuster sind, als auch leichter in die verschiedenen Kundenanwendungen integrieren lassen. Es wird sich zeigen, ob das SAW-Verfahren über kurz oder lang dieser Technologie den Rang ablaufen wird und sich entsprechend effektiv in die Serienfertigung einfügen lässt. Aktuell ist es vor allem so, dass der Drehmomentsensor immer entsprechend des verwendeten Verfahrens ausgewählt und oftmals kompliziert an die Anwendungsbereiche des Kunden anzupassen ist.

## EFFEKTIVE SENSOREN FÜR WIRTSCHAFTLICHE SICHERHEIT IN DER PRODUKTION

Moderne Drehmomentsensoren werden mittlerweile in den unterschiedlichsten Bereichen der Produktion eingesetzt. Vor allem im Bereich der Predictive Maintenance spielen exakt arbeitende Sensoren für die Drehmomentmessung eine wichtige Rolle. Ein solcher Drehmomentsensor ist so fein und detailliert in seinen Messergebnissen, dass beispielsweise die Abnutzung eines Lagers über den Drehmomentsensor erfasst werden kann. Denn durch die Veränderung des Lagers verändert sich auch die Reibung und somit die direkte Effizienz einer Anlage. Wird dieser Vorgang durch den Drehmomentsensor messbar, kann eine Wartung und ein notwendiger Austausch viel früher erkannt werden, sodass es nicht zu stärkeren Schäden oder einer geringeren Produktion führen muss. Der Drehmomentsensor erkennt somit auftretende Probleme so

frühzeitig, dass der Austausch des Bauteils in einem normalen Wartungsintervall erfolgen kann. Dabei werden die Daten vom Drehmomentsensor erfasst und verarbeitet. Anschließend wird das Ergebnis der Drehmomentmessung dazu genutzt, die Ausfallwahrscheinlichkeit der verwendeten Bauteile zu berechnen und somit den optimalen Zeitpunkt zu ermitteln, an welchem ein Austausch des Bauteils wirtschaftlich zielführend erscheint. Dank der magnetisch induktiven Technologie der modernen Drehmomentsensoren können diese ohne großen Aufwand und ohne übermäßige Kosten in die verschiedenen Produktionsprozesse integriert werden. Somit ist es möglich in vielen neuen Bereichen eine solche Form der Predictive Maintenance zu nutzen und somit die Wirtschaftlichkeit der Maschinen und der Produktionsmittel zu verbessern.