

Wie geht man mit einer Drehmoment-Hysterese um?

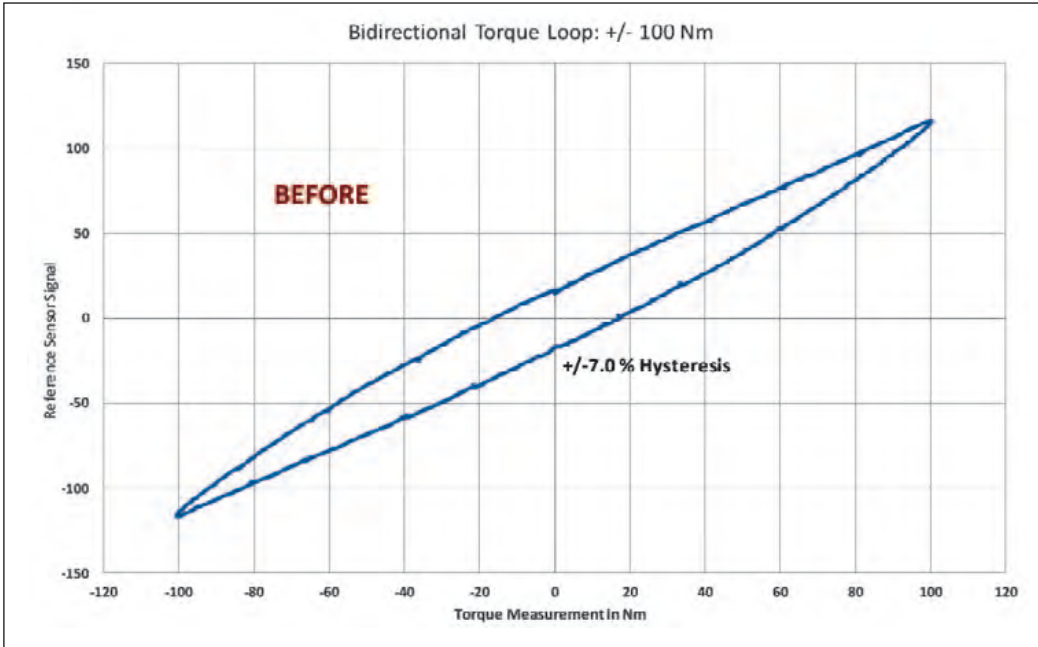


Bild 1: Bidirektionale Schleife einer Drehmomentmessung, die an einer nicht gehärteten und ferromagnetischen Welle aufgenommen wurde. In diesem speziellen Fall beträgt die durch die entstehende Hysterese bedingte Messabweichung $\pm 7\%$

Wird eine Drehmomentmessung direkt auf einer industriellen Antriebswelle vorgenommen, beispielsweise

bei einer Bohrung oder an einer Antriebswelle, können die Messergebnisse unbrauchbar sein, weil die

Hysterese zu groß ist. In manchen Fällen kann durch eine Optimierung des mechanischen Messaufbaus die Hysterese minimiert werden. Dies gelingt aber nicht immer. Eine Lösung des Problems versprechen die neuen Active Torque Sensorysysteme, die auf einem magnetischen Messprinzip basieren. Diese intelligenten Sensoren können mehrere Messwerte in Echtzeit unter verschiedenen Messbedingungen aufnehmen. Das Resultat ist eine deutlich geringere gemessene Hysterese.

Reale Messbedingungen und Ursachen der Hysterese

Das Drehmoment unter (idealen) Laborbedingungen zu messen ist deutlich einfacher als unter realen Betriebsbedingungen, wie z. B. an einer Pumpenwelle oder Bohrmaschinenwelle. Die Betriebsbedingungen im Messlabor die Eigenschaften der Testobjekte sind bekannt und können vom Benutzer festgelegt werden. Das ist in der realen Welt nicht so. Oft sind die physikalischen Eigenschaften der Antriebswelle, an der die Messungen gemacht wer-

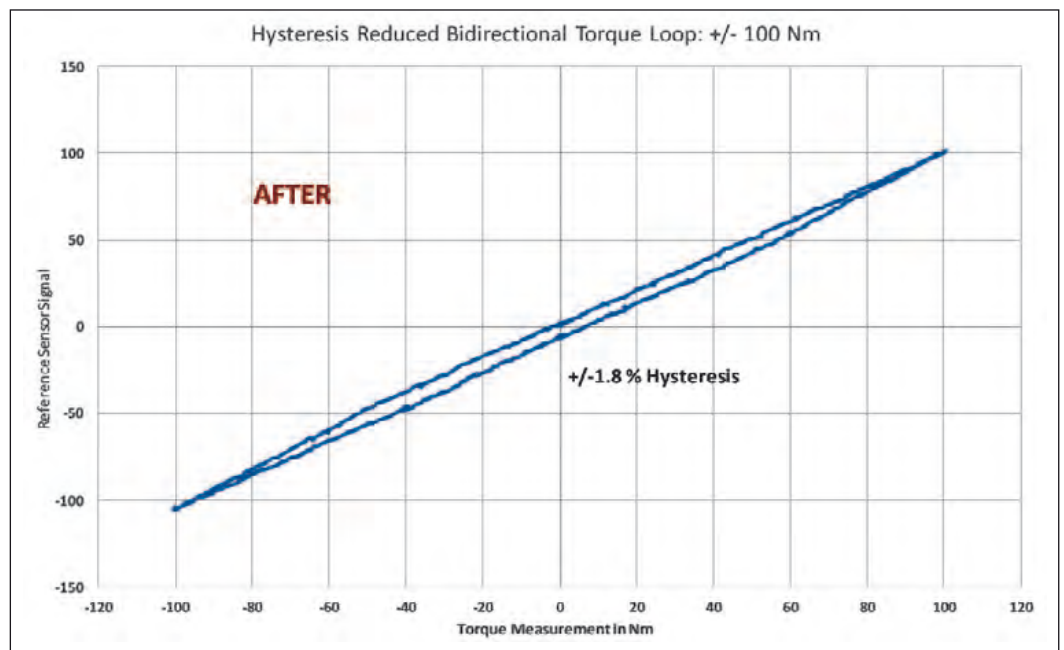


Bild 2: Diese Abbildung zeigt eine bidirektionale Schleife der Drehmomentmessung, die unter den gleichen Bedingungen wie für die Messungen für Bild 1 aufgenommen wurde. Allerdings wurde ein Aktive Torque-Sensor mit integrierter Hysterese-Kompensation verwendet. Der Messfehler der Hysterese hat sich auf $\pm 1,8\%$ reduziert.

Autor: Lutz May
Torque And More GmbH
www.tam-sensors.com

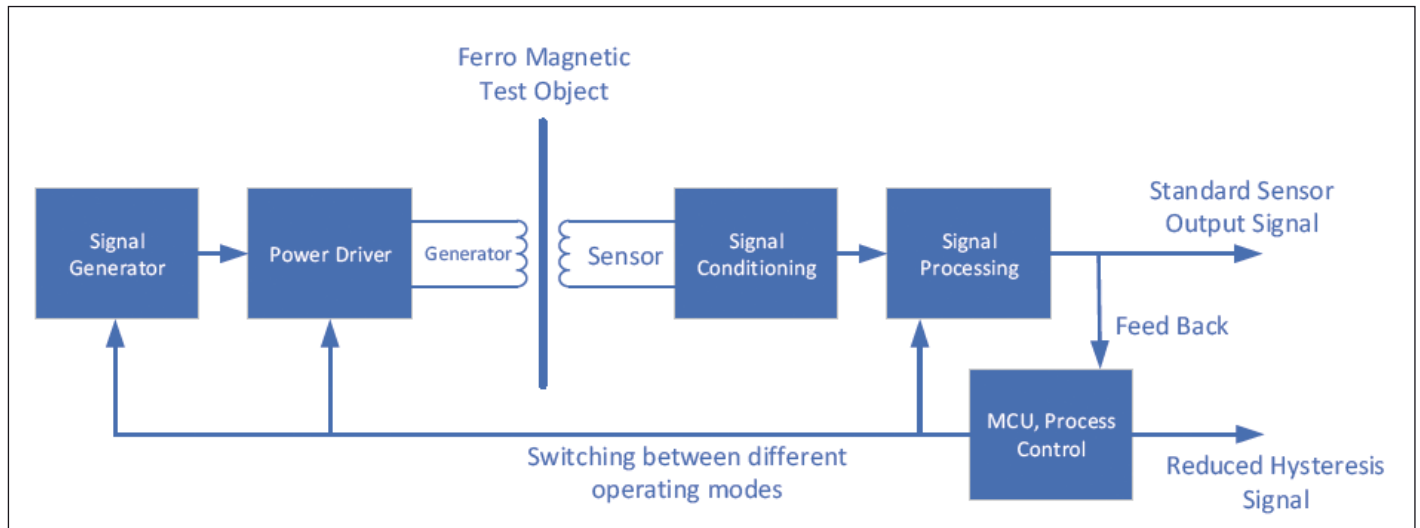


Bild 3: Innerer Aufbau einer Steuerelektronik eines Aktive Torque-Sensorsystems. Die Steuerungseinheit wechselt zwischen zwei verschiedenen Einstellungen mit der der Feldgenerator des Sensor-Modules betrieben wird. Dadurch ist es möglich mit den zwei verschiedenen Messergebnissen eine Differenzmessung durchzuführen.

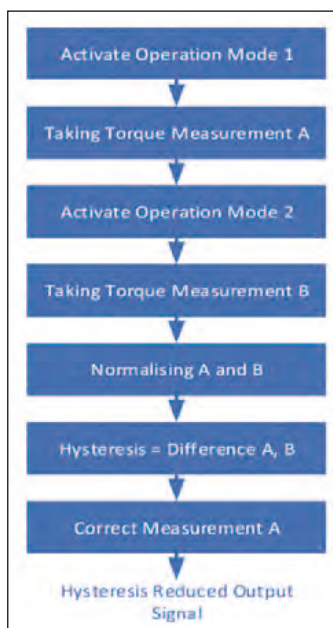


Bild 4: Workflow

den sollen, unbekannt oder können nicht beeinflusst werden.

Tritt beim Messen des Drehmomentes eine größere Hysterese auf, ergeben sich nicht-lineare Messresultate. Das heißt, abhängig von der Aufnahmebedingung liegen für ein und dieselbe Messung mehr als ein mögliches Ergebnis vor, obwohl die gleiche Kraft einwirkt. Die Messabweichungen, die auf dem Hystereseeffekt beruhen, können kleiner als $\pm 1\%$ des gesamten Messbereiches sein oder bis zu $\pm 20\%$ oder sogar noch mehr betragen (Bild 1).

Verschiedene Gründe können für die mögliche Abweichung der gemessenen Hysterese verantwortlich sein. Einige davon sind hier aufgelistet:

- Material der Welle (Legierung)
- Verwendeter Härteprozess und erreichte Oberflächenhärtung
- Anvisierter Messbereich des Drehmoments im Vergleich zum Wellendurchmesser (Wellensteifigkeit)

- Mögliche Überlastung der Welle
- Veränderung der Umgebungstemperatur während der Drehmomentmessung

In den meisten Fällen können Drehmomentmessungen mit einer geringen Hysterese dadurch erreicht werden, indem man höher legierte ferromagnetische Stähle verwendet. Dabei sollte die Härte mindestens 50 HRC betragen. Außerdem spielt

das Härteverfahren eine wichtige Rolle. Es sollte kein induktives Härteverfahren verwendet werden, weil dabei schnell eine Überlast auftreten kann. Außerdem sollte die Welle, an der gemessen wird, nicht über einen Sicherheitsfaktor von 10 überlastet werden. Die eingesetzten Drehmomentkräfte sollten ein Zehntel der Belastungsgrenze nicht überschreiten. Ebenso wichtig ist es, dass die Betriebstemperatur möglichst gleich

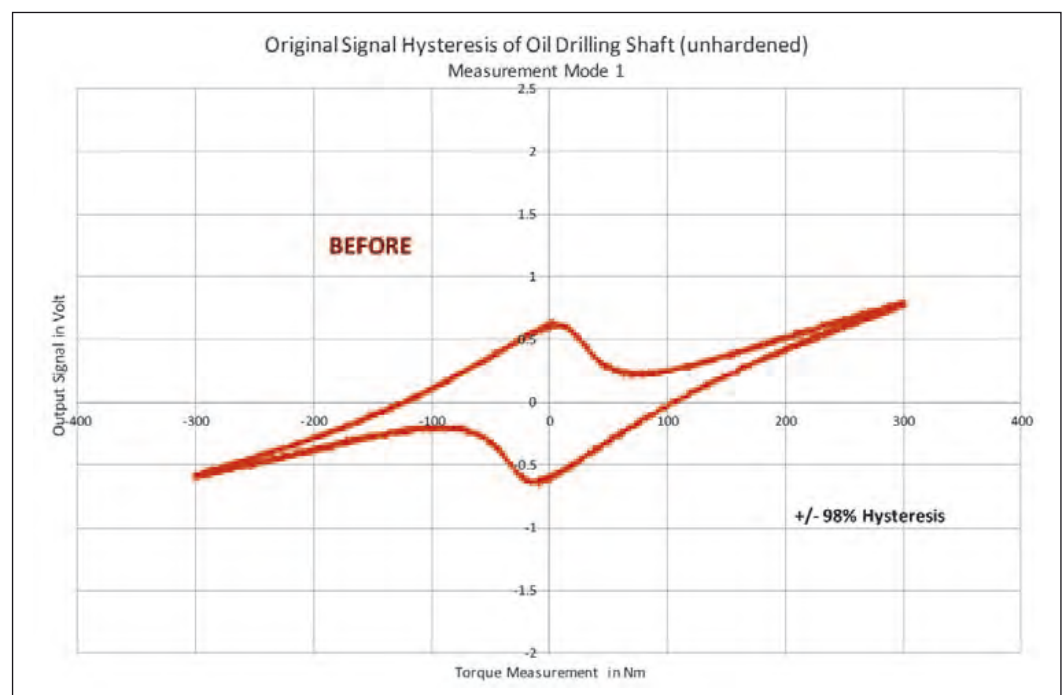


Bild 5: Die Legierungen, die für Ölbohrwellen verwendet werden und die Tatsache, dass diese nicht gehärtet sind, ergeben eine nicht-lineare Messkurve, deren Hysterese-Fehler bei fast 100 % liegen kann, wenn man versucht die Drehmomentkräfte direkt an der sich drehenden Welle zu messen

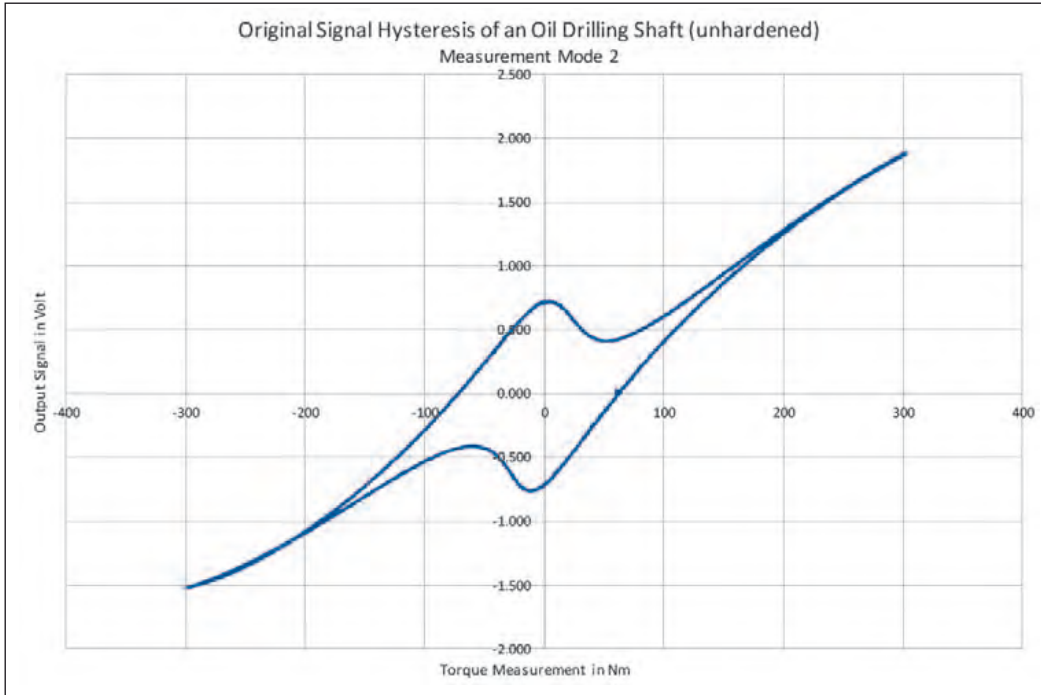


Bild 6: Wenn man die Betriebsart des Active Torque-Sensors verändert, verändert sich auch das Hysterese-Verhalten des Messsignals

bleibt, da sich sonst die Steifigkeit des Wellenmaterials spürbar reduziert. Die Welle wird sich also mehr verdrehen, wenn sie wärmer wird und dadurch wird das gemessene Drehmomentsignal im einstelligen Prozentbereich vergrößert.

nungen in der Oberfläche eines ferromagnetischen Objektes erkennen und messen kann, wenn eine Kraft auf das Objekt einwirkt. Es wird also der mechanische „Stress“ als „Spannungs“-Veränderungen in Mega-Pascal (MPa) gemessen.

Bild 3 zeigt den inneren Aufbau einer Steuerelektronik eines Active Torque-Sensors.

Funktionsprinzip

Ein Magnetfeld mit bekannten Eigenschaften (Intensität,

Wechsel-Frequenzen), wird mit Hilfe einer Spule im Sensormodul, in die Oberfläche der ferromagnetischen Messwelle eingespeist. Die Signalstärke des Magnetfeldes, das von der Oberfläche des Objektes ausgesendet wird, wird an 2 oder 4 strategischen Punkten gemessen. Die Werte beider Punkte werden miteinander verglichen. Die Abweichung der Signale ist ein Indikator für die mechanische Spannung in einer bestimmten Richtung im Test-Objekt.

Einstellungen

Im Unterschied zu anderen traditionellen Drehmoment-Sensor-Systemen, kann ein Active Torque-Sensor-System die Einstellungen des Magnetfeld-Generators während der Messung verändern. Die Änderungen beziehen sich auf die Magnetfeldstärke und die Frequenz des alternierenden Magnetfeldes. Dadurch wird auch das eingebrachte Magnetfeld verändert. Wenn zwischen zwei unterschiedlichen Betriebsmodi gewechselt wird, wird die Hysterese in Relation zum Full-Scale-Signal positiv beeinflusst. Während in einem Modul die Hysterese groß ist, ist sie im anderen Modus kleiner in Relation zum Full-Scale-Signal. Das Flussdiagramm

Intelligente und wiederverwendbare Active Torque-Sensoren

Die Entwickler der Active Torque-Sensoren haben immer mehr Intelligenz in die kontaktlos messenden Sensoren und die Messdatenverarbeitung integriert, um die Beeinflussung durch die Umgebungsbedingungen abzuf puffern. Dies ist notwendig, da der Anwender eines Messsystems heute erwartet, dass die Umgebungstemperatur so gut wie keinen Einfluss auf das Messergebnis hat. Aber dass ein Drehmomentsensor sofort nach dem Einschalten in Echtzeit nahezu Hysterese freie Messergebnisse liefert, egal unter welchen Bedingungen, ist das eine echte Sensation (Bild 2).

Was ist eigentlich ein Active Torque-Sensor?

Der Active Torque-Sensor ist ein berührungslos messendes, auf magnetischen Messprinzipien basierendes System, das die Veränderung von mechanischen Span-

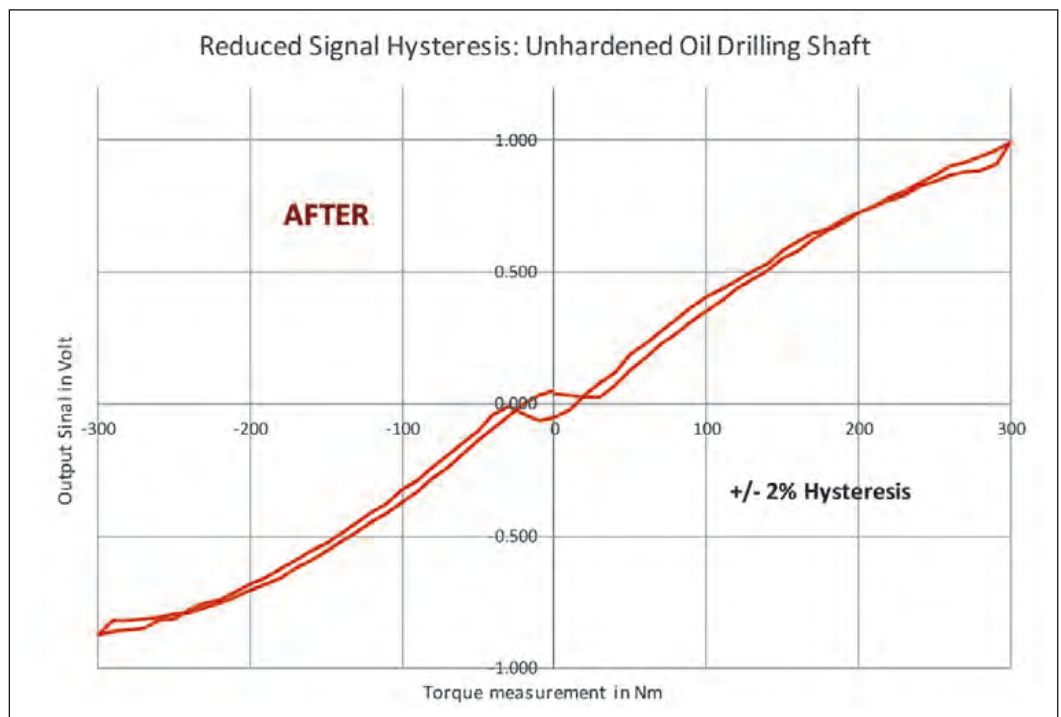


Bild 7: Nachdem das Verfahren einer alternierenden Betriebsartenumschaltung mit einem Active Torque-Sensor durchgeführt wurde zeigt eine deutliche Verbesserung. Die bidirektionale Messkurve ist nun monoton und hat nur noch einen Hysterese-Messfehler von $\pm 2\%$

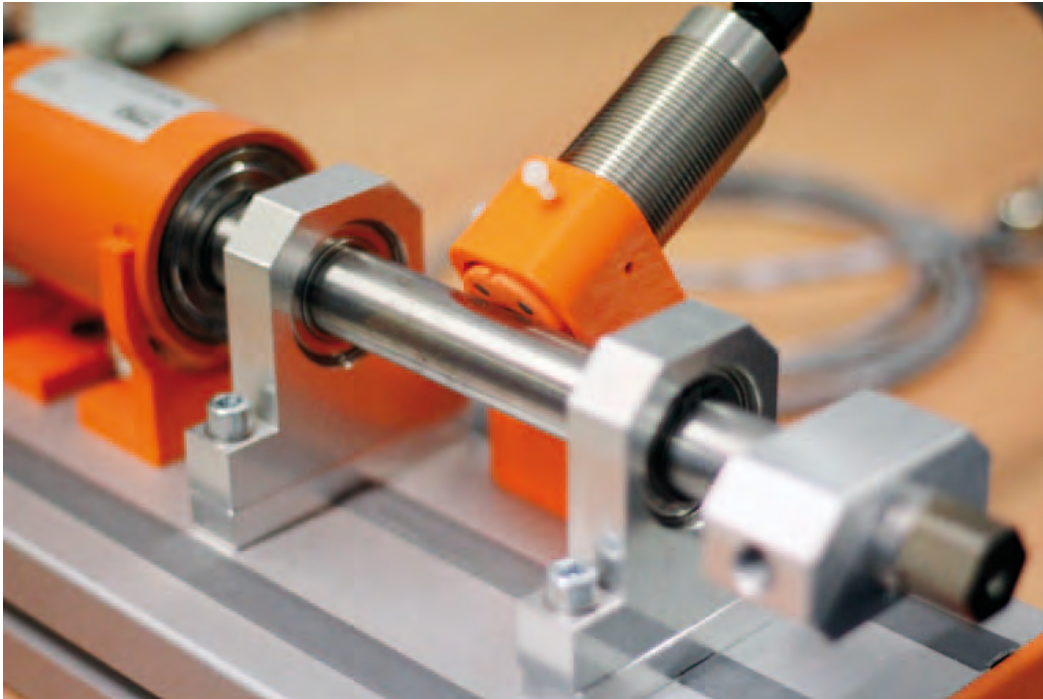


Bild 8: Das Active-3 Drehmoment-Sensormodul wird seitlich nahe am Testobjekt mit ferromagnetischen Eigenschaften angebracht. Dabei können Messungen an Wellen mit verschiedenen Durchmessern ab 10 mm mit dem gleichen Sensormodul durchgeführt werden. Die Drehgeschwindigkeit der Antriebswelle ist unerheblich, da es sich hier um ein berührungsloses Messverfahren handelt.

zeigt die einzelnen Schritte eines Work-Flows zur Hysterese-Kompensation (Bild 4).

Um erfolgreich eine Hysterese-Kompensation durchzuführen, müssen zwei direkt aufeinanderfolgende Messungen mit zwei verschiedenen Generator-Betriebsarten durchgeführt werden. Die unterschiedlichen Betriebsarten (1 und 2) müssen so gewählt werden, dass ein unterschiedliches Verhalten der Hysterese vom Messobjekt daraus resultiert. Nachdem beide Messungen abgeglichen wurden, d. h. der Absolutwert der Amplituden beider Messungen jetzt gleich ist, kann die Größe der Messhysterese für das bestimmte Objekt problemlos bestimmt werden.

Vorteile eines Active Torque-Sensors mit Hysterese-Kompensation

- Korrekte Messungen sind sofort nach dem Einschalten des Sensors verfügbar.
- Es ist nicht notwendig die Historie der angelegten Drehmoment-Kräfte zu kennen.
- Das Verfahren kann an jedem Objekt mit ferromagnetischen Eigenschaften angewandt werden.

- In den meisten Fällen lässt sich selbst eine sehr großer Hysterese-Effekt auf $\pm 2\%$ des gesamten Messbereichs reduzieren.
- Dies ist eine echte berührungslose Messmethode, die bei jeder Wellendrehzahl angewendet werden kann.
- Der Active Torque-Sensor ist wiederverwendbar und kann an verschiedenen Applikationen zur Anwendung gebracht werden.

Hysterese-Kompensation unter extremen Bedingungen

Wenn man versucht das Drehmoment direkt auf einem sich drehenden Bohrgestänge (Bergbau und Öl-Förderung) zu messen, wird man feststellen, dass die bidirektionale Messkurve einen sehr großen Hysterese-Fehler aufweist. Dieser Fehler kann dem 100 % Messsignal entsprechen, wodurch die Drehmomentmessung unbrauchbar wird (Bild 5). Dasselbe geschieht bei einer mechanischen Überlastung. Verwendet man einen Active Torque-Sensor und verändert die Betriebsart, verändert sich auch das Hysterese-Verhalten des Messsignals (Bild 6).

Nachdem das Verfahren einer alternierenden Betriebsartenum-

schaltung mit einem Active Torque-Sensor durchgeführt wurde zeigt eine deutliche Verbesserung. Die bidirektionale Messkurve ist nun monoton und hat nur noch einen Hysterese-Messfehler von $\pm 2\%$. Zusätzlich muss beachtet werden, dass sich im Bereich von $\pm 10\%$ des Messbereichs ein Totpunkt befindet (Bild 7).

Zusammenfassung:

Wird ein „Active“ Drehmoment-Sensor-System mit Intelligenz ausgestattet, ist es in der Lage Drehmomentmessungen in Echtzeit mit einer effektiven Hysterese-Kompensation durchzuführen. Mit dem neuen Verfahren ist es somit möglich, Drehmomente direkt an einer statischen oder sich drehenden ferromagnetischen aber ungehärteten Welle mit beliebiger Geschwindigkeit aufzunehmen. Es können auch nun ferromagnetische Legierungen (Stähle) vermessen werden die bisher nicht zur Drehmomentmessung geeignet waren. ◀