



# WIE EIN BERÜHRUNGSLOSER DREHMOMENTSENSOR PEDELEC MOTOREN REGELT



MagneticSense



## WIE EIN BERÜHRUNGSLOSER DREHMOMENT-SENSOR PEDELEC MOTOREN REGELT

Fahrräder mit elektrischem Motor zur Unterstützung des Fahrers finden zunehmend Anklang bei verschiedenen Verbrauchergruppen. Der Absatz von E-Bikes in Deutschland hat sich innerhalb von 5 Jahren bis 2016 verdoppelt. Fahrräder dieser Art können nicht nur bei der Tretkraft des Fahrers unterstützen, sondern auch eine höhere Geschwindigkeit ermöglichen. Diese Eigenschaften erfordern die zuverlässige Messung des Drehmoments.

### Messherausforderung: Pedelec

Die anspruchsvolle Regelung des Antriebs eines E-Bikes stellt eine große Herausforderung dar. Zum einen soll der Motor den Fahrradfahrer genau dann unterstützen, wenn es notwendig ist und zum anderen soll er sich abschalten, sobald der Fahrer die Unterstützung nicht mehr benötigt. Der Übergang zwischen menschlicher Tretkraft und Motorkraft soll also fließend sein, damit Mensch und Fahrrad eine Einheit bilden. Um dies gewährleisten zu können, reichen simple Sensoren nicht aus. Das durch Tretkraft des Fahrers ausgelöste Drehmoment muss auf anderem Wege ermittelt werden. Drehmomentsensoren besitzen die nötigen Voraussetzungen zur Lösung dieses Problems. Bisher waren die Anwendungsgebiete von Drehmomentsensoren begrenzt. Dies änderte sich durch die Einführung magnetoelastischer Drehmomentsensoren.

### Funktionsweise des Drehmomentsensors im Pedelec

#### Welche Drehmomentsensoren gibt es heute für die Anwendung im Pedelec

Es gibt bereits auf dem Markt einige Technologien mit denen bisherige Pedelec oder E-Bike Systeme die Drehmomentmessung realisiert haben.

- ✓ Dehnungsmessstreifen
- ✓ Passive Magnetostruktive Sensoren
- ✓ Optische Sensoren
- ✓ Akustische Sensoren

### Der Dehnungsmessstreifen

Der Dehnungsmessstreifen als bisher bekannteste Technologie für den Einsatz in der Kraft- oder Drehmomentmessung hat sich für die ersten Systeme auf dem Markt etabliert. Die Anwendung von Dehnungsmessstreifen an drehenden Wellen führt dazu, dass sehr viel Aufwand für die Integration betrieben werden muss. Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten mit einem DMS an einer drehenden Welle zu messen.

1.) Der Dehnungsmessstreifen wird auf die Messwelle appliziert, d.h. geschweißt oder geklebt. Dieser Montageprozess macht die Herstellung sehr teuer, aufwändig und fehleranfällig da die Ausrichtung und die Stabilität des mechanischen Interface kritisch ist. Weiterhin ist es so, dass bei dieser Montage der Dehnungsmessstreifen elektrisch an eine Auswerteelektronik angebunden werden muss. Diese werden meist entweder über Bond- oder Kupferdrähte angeschlossen. Die Energieversorgung und Übertragung der elektri-

### Der passive magnetostruktive Sensor

Die Passive Magnetostruktive Technologie die im Grunde genommen sehr ähnlich zu der Aktiven Magnetisch Induktiven Technologie ist erfordert allerdings, dass das Messobjekt aus speziellen hartmagnetischen Stahllegierungen gefertigt ist und mit einer speziellen magnetischen Signatur versehen ist. Diese „Spezialbehandlung“ der Welle macht zum einen die Beschaffung in der Supply Chain einer Serienfertigung kompliziert und ist unter anderem auch ein Kostenfaktor.

Weiterhin ist es das die Änderungen dieser auf die Welle eingepprägten magnetischen Signatur in der Größenordnung des Erdmagnetfeld liegen

### Optische und akustische Drehmomentsensoren

Diese Sensoren stecken noch in den Kinderschuhen und es ist fraglich, ob Sie es überhaupt schaffen, jemals als wirkliche Alternative in Frage zu kommen. Optische Sensoren unterliegen immer der Notwendigkeit dass der optische Lichtgang vom Sensor zum Messobjekt nicht unterbrochen oder gestört wird. In einer Welle und deren Wellenlager im Pedelec werden Fette verwendet, diese z.T. dünnen Fettschichten reichen bereits aus um die Messung empfindlich zu stören. Weitere

schen Messsignale muss zu dem Sensor auf der Messwelle und wieder zurück realisiert werden. Diese Herausforderung wird in der Regel über Schleifringe oder Telemetrie gemacht. Diese Methode hat sich sehr schnell als nicht praktikabel herausgestellt, aufgrund der Herstellungskosten.

2.) Die Zweite Möglichkeit basiert darauf, dass die Messwelle unterbrochen wird und ein Drehmomentsensor eingesetzt wird, welcher den Kraftfluss der Welle an einen DMS heranhführt, das kann z.B. über eine Lagerhaltung sein. Diese Lager nimmt die Kräfte durch das Drehmoment auf der Welle auf und wirkt auf den DMS. Diese Art der Drehmomentmessung nennt man auch Sekundärmessung, da nicht das direkte Drehmoment sondern die Kraft in einem Lager welche Proportional zum Drehmoment ist gemessen wird. Auch diese Methode hat sich aufgrund der notwendigen Mechanik und damit verbundenen Bauraumanforderungen als nicht praktikabel herausgestellt.

und damit sowohl Variationen dessen unterliegen aber auch bereits einen Effekt zeigen wenn sich der Winkel des Sensors zum Erdmagnetfeld verändert. Auch durch periphere eingestrahelte Magnetfelder können die sehr kleinen und anfälligen Messsignale empfindlich stören und damit die Messfähigkeit der Drehmomenterfassung.

Auch ist es so, dass die aufgetragenen magnetischen Texturen mit der Zeit degenerieren und diese Degeneration durch Temperatur und ggf. hohe Belastungen der Welle forciert wird. Eine sehr starke Überbelastung der Welle, kann in einer kompletten Zerstörung der Welle als Sensor enden.

Einflüsse durch Staub, Rost oder andere Ablagerungen die in der Laufzeit eines Pedelec Motor durchaus auftreten können, tun den Rest, um diese Alternative als schwer realisierbar abzuwerten. Auch Akustische Sensoren konnten sich bisher nicht in der engeren Auswahl für Pedelec Drehmomentsensoren durchsetzen. Die Erzeugung und Erfassung der Signal ist sehr aufwändig, auch ist hier der Abstand vom Sensor zur Welle bzw. dessen Änderung in der Feldanwendung kritisch.

### Aktive magnetisch induktive Drehmomentsensoren

Magnetoelastische Drehmoment- und Kraftsensoren, wie die, welche Magnetic Sense herstellt, beruhen auf dem physikalischen Prinzip der Magnetostraktion, oder auch inversen Magnetostriktion. Ferromagnetische Materialien verändern ihre magnetischen Eigenschaften unter dem Einfluss von äußeren mechanischen Kräften. Diese Veränderung der magnetischen Eigenschaften führt dazu, dass sich die magnetische Permeabilität oder auch Suszeptibilität der Messstelle verändert. Bei einer Stauchung verringert sich diese, bei einer Dehnung erhöht sie sich. Die Magnetisch Induktiven Sensoren von Magnetic Sense induzieren ein magnetisches Wechselfeld in das Messobjekt und messen die resultierenden Magnetfelder mittels Sekundärinduktivitäten. Eine Änderung der Suszeptibilität und damit des magnetischen Widerstandes hat eine Änderung des magnetischen Flusses zur Folge. Diese Magnetische Flussänderung wird durch die Sekundärinduktivitäten erfasst und in einer digitalen Signalverarbeitung in ein Signal umgerechnet, welches proportional zur mechanischen Kraft ist. Dieses

Messprinzip beruht darauf, dass der Sensor keinen mechanischen Kontakt oder Kraftschluss zu der Messstelle benötigt und damit kontaktlos angebracht werden kann. Diese Tatsache ist ein entscheidender Vorteil wenn es darum geht, an einer drehenden Welle wie bei einem Pedelec oder E-Bike die Drehmomente zu messen.

Es entsteht der große Vorteil, einer berührungslosen Drehmomentmessung, wodurch zunehmend mehr Einsatzgebiete möglich sind. So auch die Anwendung in der E Mobilität und in diesem spezifischen Fall in E Bike Antrieben. Dabei können Drehmomentsensoren an der Hinterachse, an der Antriebseinheit oder im Tretlager, nahe der Welle angebracht werden um dort die von dem Fahrer aufgebrauchte mechanische Kraft zu erfassen.

Die aktive Magnetische Drehmomentsensor Technologie hat damit einen deutlichen Vorteil bei der Anwendung in rotativen Drehmomentmessungen im Pedelec.



### Wie funktioniert die Drehmomentmessung im Pedelec und was wird mit der Information gemacht

Die absolute Notwendigkeit in einem Pedelec das Drehmoment zu messen beruht zum einen auf gesetzliche Vorschriften und zum anderen auf den Regelalgorithmus.

Die gesetzlichen Anforderungen schreiben vor dass das Pedelec oder E-bikesich nurbewegen darf wenn der Fahrer das Fahrzeug bedient indem er Kraft auf das Pedal aufbringt und wenn klar ist dass er dieses bewegen will - d.h. die Tretlager sich drehen.

Oft wird der Begriff des E-Bike und Pedelec durcheinandergebracht. Während das E-Bike durchaus nur durch betätigen eines „Gashebel“ fährt benötigt das Pedelec die oben beschriebenen Inputs des Fahrers.

Die Art und Weise wie diese Fahrerinformation in Form eines Drehmomentsignals und einer Tretlagergeschwindigkeit (Kadenz) von der Regelung erfasst und verwertet wird hängt von dem Endkundenmarkt der OEM ab. Es gibt hier so viele verschiedene Ansätze wie es OEM Fahrräder gibt die mit einem Pedelec Antrieb ausgestattet sind.

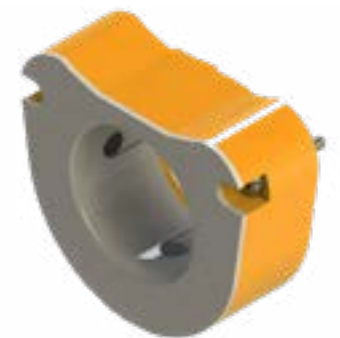
Die Grundsätzliche Funktionsweise dieser Drehmoment oder Tretmomentregelung ist im Folgenden erklärt.

Das aufgebrauchte Tretmoment des Fahrers wird von dem Sensor erfasst und in einem digitalen Signal der Pedelec oder E-Bike Steuerung übermittelt. Viele Pedelec oder E-Bikes benötigen für ihre Steuerung nicht nur die Information des Drehmomentes sondern auch zusätzlich noch die Kadenz. Durch einfache Integration von Hallsensoren die entweder eine magnetische Textur auf einem Polrad oder eine ferromagnetische Textur in Form eines Zahnkranzes auf der Welle erkennen kann die Trettgeschwindigkeit oder auch Kadenz ermittelt werden.

Die Performance eines Pedelec die der Fahrer wahrnimmt hängt entscheidend von der Qualität der Regelung ab und damit von der Qualität der Sensorsignale. Die Erfassung des Drehmomentes ist hier ein Schlüsselbaustein für den Input in die Regelung. Der größte Fehlerbeitrag einer Drehmomentmessung an einer drehenden Welle im Pedelec ist der Messfehler der aufgrund der drehenden Welle entsteht - kurz RSN (Rotational Signal Nonuniformity). Dieser Messfehler entsteht aufgrund Inhomogenitäten in der Wellenstruktur die beim Umlaufen der Welle das Sensorsignal beeinflussen.

### Magnetic Sense Drehmomentsensor Vorteile

- ✓ Kontaktloses Messprinzip
- ✓ Unempfindlich gegenüber mechanischer Überlast
- ✓ Digitales literarisiertes Ausgangssignal
- ✓ Robust gegenüber Störfeldern
- ✓ Keine mechanische oder magnetische Bearbeitung der Messstelle notwendig
- ✓ Keine spezifischen Anforderungen an das Material der Welle



Durch eine zusätzliche Integration eines Winkelsensors zu dem Drehmomentsensor kann eine Ortsabhängige Kompensation dieser RSN durchgeführt werden, die entscheidend zu einem sehr kleinen Messfehler des Drehmomentsensors und damit zum Fahrverhalten beiträgt. Zusätzlich kann diese Winkelinformation dem Fahrer als Tretkurbelwinkel zur Verfügung gestellt werden und so z. B. Hochleistungssportlern als Information dienen wie die Trethomogenität beider Beine über den Umlaufwinkel variiert.

Die Integration der Drehmomentsensoren von Magnetic Sense in Kundenprojekten kann aufgrund der modularen Bauweise rel. einfach realisiert werden, dabei kann auf verschiedene Schnittstellenwünsche bzgl. dem mechanischen und elektrischen Design eingegangen werden. Die Modulare Plattform unter anderem der elektrischen Schnittstellenmöglichkeiten trägt ihr übriges zu einer schnellen Umsetzung in Mustern und Markteinführung bei.

## WIE DAS PEDELEC DIE ENTWICKLUNG VON DREHMOMENTSENSOREN BEEINFLUSST



Mobilität ist das Schlagwort des einundzwanzigsten Jahrhunderts. Kein anderer Markt wird sich in den nächsten Jahrzehnten so signifikant verändern wie die Mobilität. Die Menschen haben sich daran gewöhnt sehr flexibel große und kleine Distanzen zu überbrücken.

## Das Pedelec: Die neue Revolution

Die Mikromobilität wird eine entscheidende Rolle bei der Fortbewegung der Menschen spielen. In einem Umkreis von ein paar Kilometern rund um den Wohnort der Menschen werden die meisten Lösungen entstehen. Mikromobilität ist ein Sammelbegriff für die verschiedensten Fortbewegungsarten rund um den Lebensmittelpunkt.

Einer der Schlüsselanwendungen für die Mikromobilität ist das Pedelec oder E-Bike. Das E-Bike ermöglicht es älteren Menschen mit denselben Voraussetzungen das Fahrrad zu nutzen wie es die jüngeren Generationen tun. Der jüngeren Generation wiederum ermöglicht das Pedelec einen weit größeren Bewegungsradius. Eine der Vo-

raussetzungen, wenn nicht sogar das Herzstück des Pedelec oder E-Bike ist der Drehmomentsensor, der dafür zuständig ist die vom Fahrer aufgebrachte Tretkraft zu messen. Aufgrund von dieser Messgröße werden die Regelparameter für die elektronische Unterstützung gesetzt. Der Drehmomentsensor stellt damit sicher dass die Regelung eine Eingangsgröße hat die von dem Nutzer definiert werden kann und somit dem Nutzer erlaubt die Fahrerunterstützung zu kontrollieren. Eine weitere Funktion des Drehmomentsensors ist es bei bestimmten Fahrverhalten sicherzustellen, dass die Unterstützung des Motors nicht erfolgt wenn dies eine Gefahr für den Menschen darstellt, d.h. eine sicherheitsrelevante Funktion einnimmt.



## Ein neuer Markt ist entstanden

Vor ca. 10 Jahren gab es für Drehmomentsensoren noch keinen Markt, da das Messen des Drehmoments in vielen Anwendungen oft nur eine „nice to have“ Funktion darstellte. Dies hat sich nun grundlegend verändert und führte zur Entstehung von neuen Technologien um diese Größe zu messen.

Die ersten Ansätze für die Drehmomentmessung sind aus bereits bekannten Technologien entstanden. Diese Technologien wurden in einer sehr kurzen Zeit von einer ersten Reifephase in eine Serienanwendung umgesetzt. Dies führte zum Einsatz von unausgereiften Technologien, die in den Anfängen der Pedelec relativ viele Probleme bereitet haben. Zwei der bekannteren Probleme waren die sehr hohe Sensitivität auf Störfelder von außen sowie die Komplexität der Supply Chain bei der Herstellung. Durch neue Technologien wie dem Aktiven Ma-

gnetisch Induktiven Drehmomentsensor werden diese Sensoren der ersten Generation ersetzt. Dies ermöglicht es auch neuen Herstellern in dem Bereich von elektrischen Antrieben diese Kernkomponente in ihren Anwendungen einzusetzen. Diese Grundvoraussetzung für die Mikromobilität hat dazu geführt, dass nach und nach neue Anwendungen entstehen die basierend auf der Idee „Kraftunterstützung des Menschen durch einen elektrischen Antrieb“ neue Möglichkeiten der Mobilität eröffnen. So werden z.B. Kinderwagen mit denselben Systemen ausgestattet, oder Einkaufswagen, Lastenräder und vieles mehr.

Neue Anwendungen aus dem Innovationsgeist vieler Firmen entstehen in relativ kurzer Zeit und werden dafür sorgen, dass sich die Voraussetzungen für die Drehmomentsensoren in diesen Anwendungen stetig verändern.

## WIE EIN INNOVATIVER DREHWINKELSENSOR IM E-BIKE NEUE MASSSTÄBE SETZT



Die Pedelecs oder e Bikes der nächsten Generation beinhalten deutlich mehr Sensoren als noch vor wenigen Jahren. Sensorfusion oder auch Smart Systems sind Treiber in diesen Bereichen. Die Idee möglichst vielen Sensorinformation von unterschiedlichen Sensoren zu sammeln und diese zu verarbeiten kommt von dem Wunsch möglichst viel über sein System zu erfahren um diese Information in eine Verbesserung des Systems in Bezug auf Effizienz, Fahrverhalten und Langzeitverhalten zu erreichen.

### Wie wird das Drehmoment im E-Bike gemessen

In den meisten Fahrrädern ist das Tretlager so aufgebaut, dass sowohl das linke als auch das rechte Pedal über eine Kurbel mit der Tretlagerwelle verbunden sind. In den meisten Fällen wird an der rechten Kurbel die Kraft auf ein Zahnrad übertragen, welches dann das Hinterrad antreibt, d.h. der Kraftfluss über die Tretlagerwelle wird nur vom gegenüberliegenden Pedal definiert. Für das Drehmoment und damit die Leistungsmessung im Pedelec, ist es für eine gute Regelung notwendig, die Kraft beider Pedaltritte zu messen. Dies kann erreicht werden, indem die Kraft der Tretlagerwelle auf eine gemeinsame Wellenhülse übertragen wird, und von dort auf das Hinterrad. Diese Wellenhülse oder auch Messhülse genannt ist das Herzstück der Kraft- bzw. Drehmomentmessung bei allen Fahrrädern, seien es Pedelecs

oder Fahrräder ohne Fahrerunterstützung bei denen die Leistungsmessung eine Rolle spielt.

Die heute erhältlichen Drehmomentsensoren die auf dem Magnetostruktiven Messprinzip basieren, können an dieser drehenden Messhülse die Drehmomente von beiden Pedalen erfassen. Die Magnetostruktion basiert darauf, dass sich durch die Aufbringung einer Kraft auf einem ferromagnetischem Messkörper die magnetischen Eigenschaften verändern. Die Änderung der magnetischen Eigenschaften kann bei passiven Sensoren die Veränderung eines DC Magnetfeldes sein, bei aktiven Sensoren eine Veränderung der eingepprägten magnetischen Flussdichte bzw. eines magnetischen Widerstandes.

### Wozu wird eine innovativer Winkelsensor/ Encoder benötigt

Zusätzlich zu dem Drehmomentsignal ist es allerdings erforderlich, noch die Trittfrequenz oder auch Kadenz zu messen. Erst mit der Information zur Kadenz, kann die tatsächliche Leistung errechnet werden die dann für die Regelung verwendet wird. Es gibt verschiedene Methoden um die Kadenz zu erfassen. Die gängigste Art ist die Verwendung eines Hall-Sensors oder GMR-Sensors der über einem magnetischen Polrad auf der Messwelle schwebt. Das magnetische Polrad weist verschieden magnetisierte Bereiche auf. Bei einer Drehung der Messwelle erkennt der Hallsensor, diese verschiedenen Polbereiche und kann deren Wechsel detektieren. Die Auflösung dieser Sensoren ist durch die Anzahl der magnetischen Pole definiert. Um neben der Drehzahl auch die Drehrichtung zu detektieren, werden mind. 2 Hall oder GMR-Sensoren benötigt die so angeordnet sind, dass sie nicht nur erkennen dass der magnetische Pol sich ändert,

sondern auch in welche Richtung er wandert oder sich wandelt. Mithilfe einer gewissen Intelligenz, in dieser magnetischen Pol Signatur, kann sogar ein inkrementeller Winkelsensor realisiert werden. Durch z.B. eine definierte längere Polstelle oder kürzere Polstelle, die zuverlässig erkannt wird, kann ein Nullpunkt ermittelt werden.

Die Verwendung eines Hall- oder GMR-Sensor kann auch ohne magnetisches Polrad realisiert werden, und zwar in dem auf der Messhülse eine mechanische Signatur eines ferromagnetischen Körpers aufgebracht wird, im einfachsten Fall ein Zahnkranzritzel und der Sensor mit einem Magnet vorgespannt wird. In dieser Anordnung erkennt der magnetische Sensor nicht eine Poländerung, sondern einen veränderten magnetischen Fluss, ist unter dem Sensor eine Vertiefung, ist der magnetische Fluss kleiner als bei einer Erhöhung unter dem Sensor.



D.h. neben dem Drehmoment im e Bike kann so eine zuverlässige Drehgeschwindigkeit ermittelt werden. Mit diesen Informationen können bereits die meisten Pedelec Systeme arbeiten und eine gute Performance erreichen. Zusätzlich zu diesen Daten kann jedoch noch durch ein intelligentes System eine Absolutwinkelmessung durchgeführt werden. Absolutwinkel stehen im Verdacht sehr teuer und aufwändig in der Realisierung zu sein, daher werden Sie oft nicht vorgesehen. Es gibt allerdings auch sehr einfache und robuste Methoden eine Absolutwinkelmessung zu realisieren. Magnetic Sense hat mit einer patentierten Methode eine sehr einfache Möglichkeit geschaffen, einen Absolutwinkel  $<1^\circ$  aufzulösen und das in das bestehende Drehmomentsensorkonzept zu integrieren. Das Funktionsprinzip basiert darauf dass 4 Induktivitäten im  $90^\circ$  Abstand zueinander um die Messwelle angeordnet

sind, eine Sinusscheibe, welche auf der Messwelle integriert ist, verändert aufgrund ihrer Wirbelstromeigenschaften die Induktivitäten. Die Veränderung der Induktivitäten durch diese Sinusscheibe in Zusammenhang gebracht, kann dazu verwendet werden, um einen Winkel zu berechnen. Zusätzlich kann über die zeitliche Winkeländerung auch die Kadenz berechnet werden.

Durch die Integration eines Winkelsensor mit einem Drehmomentsensor im e Bike ist die Sensorfusion komplett. Mit der Kombination dieser beiden Sensoren, kann somit das Drehmoment, die Drehzahl, die Leistung und die (Tret)kurbelstellung auf der Welle ermittelt werden. Mit diesen Sensorinformation lassen sich ganz neue Regelungen realisieren und tragen so zu einer neuen Dimension für das Fahrgefühl bei Pedelecs bei.

## WIE EIN INNOVATIVER DREHWINKELSENSOR IM E-BIKE NEUE MASSSTÄBE SETZT

Vor 10 Jahren konnte sich noch niemand vorstellen dass die Elektromobilität in dieser Geschwindigkeit voran geht. Nicht nur das Automobil und die damit verbundenen Antriebstechnologien werden von der Elektromobilität gefordert, sondern auch „Mikromobilitäts-anwendungen“ wie das Fahrrad. Das Fahrrad als Wording wird immer weniger verwendet, die neuen Schlagwörter sind E-Bike oder Pedelec. Beide Begriffe werden oft für dasselbe verwendet, es existiert allerdings ein großer Unterschied dessen man sich bewusst sein muss. Ein E Bike wird durch einen Elektromotor angetrieben und kann nur durch diese zusätzliche elektrische Kraft bewegt werden, während die Unterstützung durch einen Elektromotor bei einem Pedelec durch die Tretkraft des Fahrers gesteuert werden kann. Es gelten für das E-Bike ganz andere gesetzliche Rahmenbedingungen wie für das Pedelec. Diese Differenzierung der beiden Elektromobilitätsvarianten setzt sich in der notwendigen Elektronik und Mechanik für die notwendige Funktionsweise fort.

### Für was wird der E-Bike Sensor benötigt?

So ist beispielsweise beim Pedelec Sensorik gefordert, welche Tretkraft und Trittfrequenz vom Fahrer erfassen und diese Information in einer Regelung verarbeiten kann. Diese Sensoren werden oft auch als „E-Bike Sensoren“ beschrieben. In vielen Foren kann man über den E Bike Sensor Beiträge lesen. Sehr schnell wird klar, dass der E Bike Sensor das Herzstück des E-Bike Antriebs darstellt und dass mit dessen Funktionsweise das Fahrverhalten maßgeblich definiert wird. Die Messgenauigkeit der Pedelec Sensoren ist wich-

tig für die Pedelecs, da sie den elektrischen Antrieb und das Fahrverhalten des Fahrrads direkt beeinflusst. Eine Fehlfunktion des E Bike Sensors wird von dem Anwender sofort bemerkt, und auch Messunsicherheiten dieses Sensors werden vom Anwender als Unstimmigkeiten in der Regelung wahrgenommen. Die Herausforderung der Entwickler und Hersteller von Pedelec Antrieben ist es daher, die Sensorik so abzustimmen, dass das Fahrverhalten dem eines Fahrrads gleicht.

### Wie ist der E-Bike Sensor aufgebaut?

Im allgemeinen besteht der E Bike Sensor aus einer Kombination von zwei Sensoren, einem Drehmomentsensor für die Erfassung der mechanisch erbrachten Arbeit und einem Kadenzsensor zu Erfassung der Trittfrequenz. Durch die Bestimmung der mechanischen Arbeit und der Trittfrequenz kann die vom Fahrer aufgebrachte Leistung ermittelt werden. Die Regelungen der Pedelecs sind in der Regel so ausgelegt, dass

Sie mit einer gewissen Verstärkungsstufe diese vom Fahrer aufgebracht Leistung verstärken. Bei den meisten Systemen ist diese Verstärkungsstufe einstellbar - je nachdem wie stark der Unterstützungsmodus erwünscht ist. Das Grundprinzip auf dem die Messung und Regelung basiert hört sich sehr einfach an. Die Umsetzung gestaltet sich allerdings als sehr schwierig.

### Welche Herausforderungen gibt es beim E-Bike Sensor?

Die große Herausforderung der ersten Systeme bestand darin, dass es zu diesem Zeitpunkt noch keine Drehmomentsensortechnologien auf dem Markt gegeben hat die zu kommerziell günstigen Rahmenbedingungen eingesetzt werden konnten. Die Sensortechnologien, die aufgrund des Bedarfes an einer Drehmomentmessung entstanden sind, haben viele Hürden der Messtechnik überwinden müssen. So ist z.B. alleine die Tatsache, dass sich die Messstelle dreht eine große Herausforderung. Drehmomentssensoren die

auf der Messstelle aufgebracht sind und dort die mechanischen Spannungen messen können, benötigen eine intelligente Lösung im Aufbau um mit der notwendigen Energie versorgt zu werden und die Signale an die Steuerung zu übermitteln. Berührungslose Drehmomentsensoren haben das Problem, dass sich die Messposition aufgrund der drehenden Welle verändert, was sich auf die Messung auswirken kann.



Diese Herausforderungen haben dazu geführt, dass die Messfehler der ersten Drehmomentsensoren relativ groß waren und entsprechend von den Anwendern gefühlt werden konnten.

Viele Einflüsse der Sensoren auf die Messunsicherheit konnte in guten Regelsystemen abgefangen werden, allerdings nicht alle.

### Eine Technologie bringt den Durchbruch bei E-Bikes!

Die Entwicklung neuer Technologien für den Drehmomentsensor zielt daher darauf ab die Messperformance des Sensors deutlich zu verbessern um vor allem die Streuung von Sensor zu Sensor so zu verbessern, dass die Implementation in der finalen Applikation keine Unterschiede von Fahrrad zu Fahrrad erlaubt. Die Firma Magnetic Sense hat diese Herausforderung an die Messgenauigkeit des Sensors dahingehend gelöst, dass sie eine Kombination von Drehmomentsensor und Winkelsensor integrieren. Diese Kombination erlaubt es eine Kompensation der Messgenauigkeit über die Winkelinformation durchzuführen und so einen „Smarten Sensor“ zu entwickeln der zu einem Gesamtmessfehler < 1% FS führt. Durch die

zusätzliche Winkelinformation kann zudem auch die Trittgeschwindigkeit ermittelt und damit aus dem Drehmoment die Leistung errechnet werden.

Die Firma Magnetic Sense hat es damit geschafft, einen Drehmomentsensor für das e Bike zu entwickeln, der mit einer hohen Messgenauigkeit die Anforderungen der Pedelecs der Zukunft erfüllen kann. Durch das intelligente Sensorsystem entstehen auch neue Möglichkeiten zur Nutzung der zusätzlichen Informationen, so kann z.B. der gemessene Winkel und damit die Pedalstellung an den Fahrer ausgegeben werden um diese für Trainingszwecke zu verwenden.

## WELCHE CHALLENGE GIBT ES BEIM DREHMOMENT MESSEN AM E-BIKE

In vielen Foren findet man sehr viele Fragen rund um den Drehmomentsensor bei Pedelec oder E-Bike Anwendungen. Sehr schnell ergeben die meisten Fragen ein sehr klares Bild rund um die Herausforderungen bei der Drehmomentmessung. Die wohl größte Herausforderung bei der Drehmomentmessung an sich ist die drehende oder rotierende Welle.

### Welche Schwierigkeiten gibt es beim Drehmoment messen

Viele Sensorprinzipien sind darauf ausgelegt dass sich die Stelle an der Sie messen nicht verändert. Ein Sensor wandelt eine physikalische Größe in eine elektrische Größe um. Wenn sich neben der physikalischen Größe noch weitere Einflussfaktoren auf den Sensor verändern die einen Einfluss auf das Messsignal haben dann ist das Messsignal nicht mehr eindeutig und bekommt einen entsprechenden Messfehler. Für die Funktionsfähigkeit eines Sensors ist es wichtig, dass diese Störgröße im Verhältnis zu dem Messsignal sehr klein ist. Wenn das nicht der

Fall ist, dann ist der Sensor nicht in der Lage, die physikalische Messgröße definiert aufzulösen und somit unbrauchbar für den Einsatz.

Bei Drehmomentsensoren in Pedelec Anwendungen ist eine der großen Herausforderungen die rotierende Welle. Durch die Rotation der Messwelle verändert sich zu jedem Drehwinkel die Position der Messstelle für den Drehmomentsensor. Diese drehende Welle stellt jeden Drehmomentsensor im e Bike vor eine besondere Herausforderung.

### Was muss beachtet werden bei der Entwicklung von Drehmomentsensoren im E-Bike

Das wichtigste Kriterium bei der Entwicklung eines Drehmomentsensors für E-Bike Anwendungen ist daher diese Messunfähigkeit aufgrund der drehenden Welle zu minimieren. Dieser Messfehler wird im allgemeinen als „RSN, Rotational Signal Nonuniformity“ oder auch „RSU Rotational Signal Uniformity“ genannt. Es gibt viele Einflussfaktoren auf die RSN einer sich drehenden Welle. Die heute auf dem Markt erhältlichen Drehmomentsensoren basieren in der Regel auf dem Magnetostriktiven oder auch Invers Magnetostriktiven Messprinzip. Dieses Messprinzip basiert darauf dass sich aufgrund von mechanischem Stress

auf einen Ferromagnetischen Messkörper sich dessen Magnetischen Eigenschaften verändern.

Die Änderung der Magnetischen Eigenschaften einer Welle hängt von verschiedenen Faktoren ab, so ist es z.B. wichtig welche Materiallegierung eingesetzt wird, welche Härte das Material hat und welche intrinsische Magnetisierung vorhanden ist. Diese Eigenschaften können um den Umfang der Welle variieren und sind somit verantwortlich für unterschiedliche Messbedingungen und können damit die oben genannte RSN verantworten.



Es ist daher sehr wichtig die Messwelle von Anfang richtig zu dimensionieren, d.h. die Wahl der richtigen Materiallegierung, die Wahl der richtigen Härte und vor allem auch die Herstellmethoden der Welle. Wer sich mit Drehmomentsensoren beschäftigt, muss sehr tief in die Materialwissenschaften einsteigen und neben den mechanischen Eigenschaften der

Werkstoffe auch ein breites Verständnis aufbauen für die magnetischen Eigenschaften. Die Firma Magnetic Sense hat ein kompetentes Team, welches sich sehr intensiv mit diesen Messfehlerverhalten beschäftigt, und von Anfang an mithelfen kann bei der Dimensionierung der richtigen Messwelle.

Magnetic Sense GmbH  
Kelterstraße 59  
72669 Unterensingen

+49 7022 40590 0  
+49 7022 40590 29  
[info@magnetic-sense.de](mailto:info@magnetic-sense.de)