

Sensorschraube für Nutzfahrzeuge mit Energy Harvesting

Ziel des Forschungsprojekts „Drahtloses Sensorsystem mit kinetischem Energiewandler in Schraubenform für Nutzfahrzeuge“ ist es, ein Sensorsystem zu entwickeln, das sich in eine Schraube integrieren lässt und dort Signale misst, verarbeitet und an ein Messdatenverarbeitungssystem sendet.

Fachartikel von Jan-Erik Kunze, Dr. Olfa Kanoun, Andreas Mangler



Bild 1: Prototyp der Sensorschraube im Größenvergleich. (Bild: TU Chemnitz)

Damit die Sensorschraube drahtlos funktioniert, soll die nötige Energie durch Energy Harvesting gewonnen werden. Äußerlich soll die Schraube nicht von einem ganz gewöhnlichen Modell zu unterscheiden sein und den selben Zweck erfüllen. Für das Forschungsprojekt steht der Einsatz der Schraube in Nutzfahrzeugen im Vordergrund, zum Beispiel in Gurtschlössern, Anhängerkupplungen, rund um das Getriebe oder den Motor.

Das Forschungsprojekt wird nicht nur vom Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) unterstützt, sondern auch von Rutronik. Der Distributor berät die beiden Forschungspartner rund um die elektronischen Bauelemente, insbesondere im Bereich der Sensoren und Wireless-Produkte aus dem Rutronik-Smart-Programm. Darüber hinaus arbeitet Rutronik auch im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten mit der Professur Mess- und Sensortechnik der TU Chemnitz als Industriepartner eng zusammen.

Kleine und robuste Konstruktion gefragt

Die Sensorschraube musste aufgrund ihres gewählten Einsatzortes auf eine raue Umgebung angepasst sein. Das erfordert ein weitestgehend hermetisch dichtes Gehäuse, sodass Staub und Spritzwasser keine Auswirkungen auf die Schraube haben. Zudem muss das System auf einen weiten Temperaturbereich ausgelegt sein, um im Winter wie im Sommer sowie in unterschiedlichen Klimazonen stabil zu funktionieren. Dies gilt insbesondere auch im Hinblick auf die Ausdehnung des Materials. Angesichts des begrenzten Platzes in einer Schraube durfte das System außerdem nur ganz geringe Abmessungen haben.

Energy Harvesting der Sensorschraube

Um die nötige Energie für die Signalaufbereitung und -verarbeitung des Sensorsystems zu gewinnen, galt es, die kinetische Energie der Vibrationen des Fahrzeugs in elektrische Energie umzuwandeln und nutzbar zu machen. Da die Schwingungen mit ganz unterschiedlichen Amplituden und Frequenzen auftreten, erzeugt auch der Energiewandler eine Wechselspannung mit schwankender Amplitude und Frequenz. Dies stellt die Entwickler vor eine gewisse Herausforderung, vor allem bei Vibrationen mit sehr geringer Amplitude, die auch sehr kleine Wechselspannungen ergeben. Denn bei gewöhnlichen Gleichrichtern entstehen gerade bei sehr kleinen Spannungen relativ hohe Verluste. Deshalb war hier ein Boost-Converter mit hohem Wirkungsgrad und gutem Startverhalten erforderlich. Dieser musste extrem kompakt sein und in das Innere der Schraube passen. Hinzu kamen die mechanischen und elektrischen Anforderungen an das System, zumal letztendlich der Einsatz in metallischer Umgebung gegeben war. Sowohl der Wandler als auch das Energiemanagement waren für bestimmte Vibrationsfrequenzbereiche zu optimieren.

Eine weitere Herausforderung für die Entwickler der IK Elektronik war es, aus geringsten Wechselspannungen mit möglichst hohem Wirkungsgrad eine nutzbare Gleichspannung zu erzeugen und die gewonnene Energie in einer praktikablen Art und Weise zu speichern.

Methoden der Energiegewinnung

Um aus Schwingungen Energie zu generieren, kommen verschiedene Methoden zum Einsatz, die auf unterschiedlichen Prinzipien basieren, zum Beispiel dem elektrodynamischen, piezoelektrischen, elektrostatischen oder elektromagnetischen. Für den Einsatz in einer Schraube empfiehlt sich ein elektrodynamischer Energiewandler, bestehend aus einem zylindrischen Magneten mit einer umgebenden Spule. Denn er ermöglicht eine große Resonanzüberhöhung, wenn die Systemkomponenten gut aufeinander abgestimmt sind. Er wandelt die Umgebungsschwingungen mittels der Relativbewegung zwischen Magnet und Spule in elektrische Energie um.

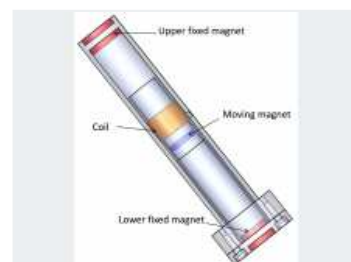


Bild 2: Ein möglicher Aufbau eines Energiewandlers mit fixierten und beweglichen Elementen. (Bild: IK Elektronik)

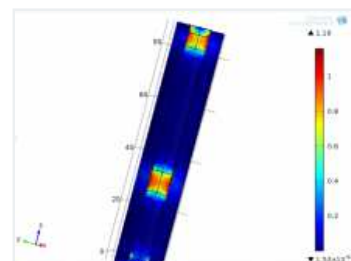


Bild 3: Finite-Elemente-Analyse der Magnetfeldverteilung des Energiewandlers im Sensorsystem (Bild: IK Elektronik)

Magnetfederprinzip

Für den mechanischen Aufbau des Feder-Masse-Systems stehen mehrere Varianten zur Wahl, etwa Biegebalken, eine magnetische Feder oder eine Spiralfeder. Im Forschungsprojekt wählten die TU Chemnitz und IK Elektronik das Magnetfederprinzip. Hierfür betrachteten die Entwickler zwei Konzepte: Die von der Professur für Mess- und Sensortechnik (MST) der TU Chemnitz entwickelte Lösung nutzt einen beweglichen Magneten zwischen zwei fixierten Magneten, um ein variables Magnetfeld zu erzeugen, abhängig von den Umgebungsschwingungen. Da die Spule und ihre Anschlüsse in diesem Aufbau fest sind, ist er sehr zuverlässig.

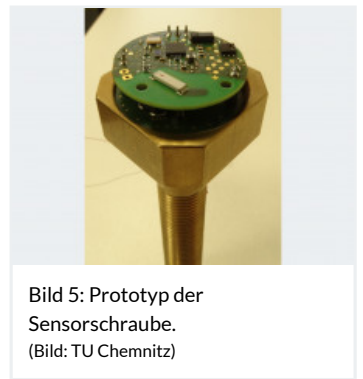
Für beide Konfigurationen gilt: Die Energieausbeute des Wandlers hängt von mehreren Faktoren ab, in erster Linie von der Magnetgröße, der magnetischen Feldstärke, Anzahl und Durchmesser der Spulenwicklungen sowie der Anregungsfrequenz und -amplitude.

Die Kooperationspartner entschieden sich aufgrund der Anforderungen für die Variante mit dem beweglichen Magneten. Für den Entwurf des Energiewandlers nutzte die TU Chemnitz die FEM-Analyse (Finite-Elemente-Methode). Denn sie lässt sich an unterschiedliche kinetische Profile und Größen anpassen.



Mechanischer und elektrischer Aufbau der Sensorschraube

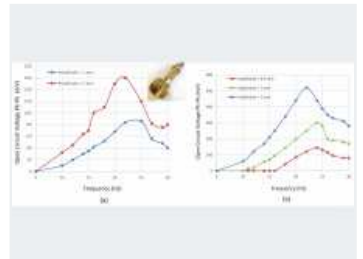
IK Elektronik entwickelte den Prototypen einer Baugruppe, die sich im Kopf einer Schraube unterbringen lässt. Sie umfasst die Gleichrichter und Spannungsvervielfacher, Speicherkondensatoren und die Energiemanagementschaltung, Funktransceiver und Antenne sowie die Mikrocontroller mit der Sensorapplikation bestehend aus Kontakt-, Temperatur- und Drucksensor.



Versuchsreihe mit Energiewandler

Die TU Chemnitz fertigte zwei Prototypen für den Einsatz eines beweglichen Magneten, um die Leerlaufspannung für die Systeme zu messen. Dabei diente ein Schwingerreger als künstliche externe Schwingungsquelle, die verwendete Auslenkung und Frequenzanregung wurde von einem Lasersensor gemessen. Der Schwingerreger bildete mit dem Lasersensor, einem Regler und einem Verstärker einen geschlossenen Regelkreis, sodass sich die Schwingungsamplitude kontrollieren ließ. Die TU Chemnitz führte die Versuche für eine Schwingungsamplitude von 0,5 mm, 1 mm und 2 mm in einem Frequenzbereich von 5 bis 30 Hz durch.

Abhängig von der verwendeten Spule und der Anregungsamplitude lag die Resonanzfrequenz des vorgesehenen Aufbaus zwischen 25 und 30 Hz. Dank des Magnetfederprinzips kann die Resonanzfrequenz relativ einfach auf andere Werte eingestellt werden. Wie die Messwerte zeigen, wurden mit dem Aufbau Leerlauf-Spitzenspannungen von über 500 mV erreicht.



Vorteil des elektrodynamischen Energiewandlers, wie ihn die TU Chemnitz entwickelt hat, ist seine Anpassungsfähigkeit auf die zur Verfügung stehende Vibrationsenergie in der jeweiligen Zielumgebung. Dies eröffnet für die Sensorschraube zahlreiche verschiedene Anwendungsszenarien.

Bild 6: Leerlauf-Ausgangsspannung des entwickelten Magnetfeder-Energiewandlers
 (a) für Anregungsamplituden von 1 mm und 2 mm bei einem Drahtdurchmesser von 0,2 mm. (b) für Anregungsamplituden von 0,5 mm, 1 mm und 2 mm bei einem Drahtdurchmesser von 0,09 mm.
 (a) für Anregungsamplituden von 1 mm und 2 mm bei einem Drahtdurchmesser von 0,2 mm. (b) für Anregungsamplituden von 0,5 mm, 1 mm und 2 mm bei einem Drahtdurchmesser von 0,09 mm.
 (Bild: IK Elektronik)

ECK-DATEN

Die Sensorschraube musste aufgrund ihres gewählten Einsatzortes auf eine raue Umgebung angepasst sein. Zur Signalaufbereitung und -verarbeitung des Sensorsystems galt es, die kinetische Energie der Vibrationen des Fahrzeugs in elektrische Energie umzuwandeln und nutzbar zu machen. Vorteil des entwickelten elektrodynamischen Energiewandlers ist seine Anpassungsfähigkeit auf die zur Verfügung stehende Vibrationsenergie in der jeweiligen Zielumgebung.

IK ELEKTRONIK

Die IK Elektronik, gegründet 1996, zählt zu den führenden deutschen Dienstleistern für die Entwicklung und Fertigung von kundenspezifischen Hochfrequenz- und Funk-Baugruppen und -Geräten für die Bereiche Smart Home, Smart Grid, Smart Metering, Antennen, Automatisierungstechnik und vieles andere mehr. Das Leistungsspektrum reicht von Elektronik- und Hochfrequenzentwicklung über Softwareentwicklung und Konstruktion bis hin zum Prüfmittelbau. Ein eigenes Musterbauzentrum realisiert auch kleine Stückzahlen und komplexe Geräte, im hauseigenen Antennenmessraum können Abstrahlungsmessungen bis 6 GHz durchgeführt werden. Die Elektronikfertigung, bestückt mit mehreren SMT-Linien, fertigt Platinen, montiert Geräte und prüft Baugruppen. 2014 wurde IK Elektronik mit dem „Großen Preis des Mittelstandes“ ausgezeichnet.

TU CHEMNITZ, PROFESSUR MESS- UND SENSORTECHNIK

Seit 2012 beteiligt sich die Technische Universität Chemnitz an der Bundesexzellenzinitiative mit dem ersten und einzigen Bundesexzellenzcluster auf dem Gebiet der Leichtbauforschung. Die Professur für Mess- und Sensortechnik verfügt über eine langjährige umfassende Erfahrung im Bereich der Sensorik, Systementwurf, Signalverarbeitung und Embedded Systems. In der Forschung fokussiert sie auf drahtlose energieautarke Sensoren, die Impedanzspektroskopie, Nanokompositsensoren und die Energiespeicherdiagnose. Durch enge Kooperationen mit Industrieunternehmen wurden bereits zahlreiche Forschungsergebnisse in Produkte umgesetzt, zum Beispiel drahtlose Sensorsysteme im Industrieumfeld und in der Umweltüberwachung, Messgeräte zur Kabeldiagnose, Batteriemanagementsysteme oder taktile Sensoren.

(jj)

ÜBER DIE AUTOREN

Jan-Erik Kunze

Geschäftsführer, IK Elektronik GmbH

Dr. Olfa Kanoun

Technische Universität Chemnitz, Elektrotechnik und Informationstechnik, Professur für Mess- und Sensortechnik

Andreas Mangler

Director Strategic Marketing & Communications, Rutronik Elektronische Bauelemente GmbH

Newsletter

Das Neueste von **all-electronics** direkt in Ihren Posteingang!

● WEITERE INFOS

Rutronik GmbH Elektronische Bauelemente

Industriestraße 2

75228 Ispringen

Deutschland

[Zum Firmenprofil >](#)
