



# Intelligente Schraubverbindung Q-Bo<sup>®</sup>

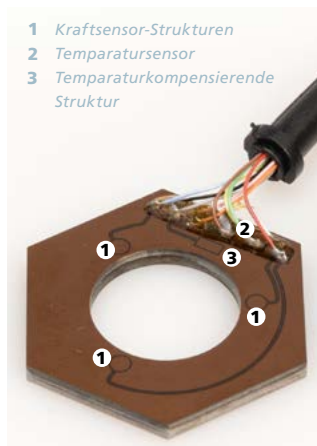
Monitoring von Schraubverbindungen –  
drahtlos, energieautark und retrofittable

Die intelligente Schraubverbindung Q-Bo<sup>®</sup> misst die Vorspannkraft und überträgt diese drahtlos und energieautark an eine Cloud

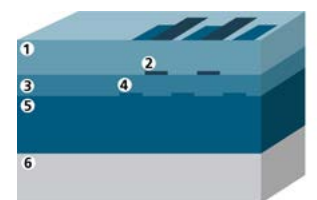


## Intelligente Schraubverbindung Q-Bo®

Die intelligente Schraubverbindung Q-Bo® ist ein vollintegriertes IoT-Device, das eine drahtlose und energieautarke Überwachung von Schraubverbindungen ermöglicht. Sie besteht aus vier verschiedenen Technologien: DiaForce®-Schichtsystem zur Ermittlung der Vorspannkraft und Temperatur, mioty® zur Übertragung der erfassten Sensordaten, einer Programmierbox zur manipulationssicheren Programmierung der Schraubverbindung und Energy Harvesting zum energieautarken Betrieb.



Die sensorische Unterlegscheibe



- 1 Isolations- und Verschleißschutzschicht (3 µm)
- 2 Temperaturmänderstruktur (0,2 µm)
- 3 Isolations- und Verschleißschutzschicht (1 µm)
- 4 Elektrodenstruktur Cr (0,2 µm)
- 5 DiaForce® (6 µm)
- 6 Metallischer Grundkörper

Eine schematische Darstellung des Dünnschichtsystems

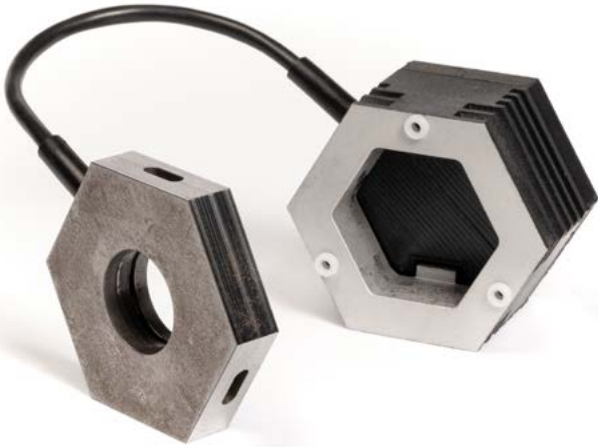
### Dünnschichtsensorik

Die Integration der Sensorik in die intelligente Schraubverbindung Q-Bo® erfolgt am Fraunhofer IST über das Aufbringen eines Dünnschichtsystems auf der Oberfläche von Unterlegscheiben. Dazu wird zunächst in einem PACVD-Prozess (plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung) die am Fraunhofer IST entwickelte piezoresistive DiaForce®-Schicht homogen auf der Scheibe abgeschieden. Anschließend werden einzelne Elektrodenstrukturen aus Chrom gefertigt, welche die Sensorflächen zur Belastungsmessung sowie eine Struktur zur Temperaturkompensation bilden. Auf einer darauf folgenden elektrisch isolierenden SICON®-Zwischenschicht, eine mit

Silizium und Sauerstoff modifizierte Kohlenwasserstoffschicht, die ebenfalls im PACVD-Verfahren abgeschieden wird, werden sowohl Leiterbahnen zu den Kontaktierungspunkten, als auch eine temperaturmessende Mäanderstruktur aus Chrom strukturiert. Diese Strukturen werden mit einer zweiten abschließenden SICON®-Schicht vor Verschleiß geschützt.

### Datenübertragung

Zur Übertragung der Sensordaten für die intelligente Schraubverbindung Q-Bo® wird das mioty®-Funkprotokoll des Fraunhofer IIS eingesetzt. Dabei handelt es sich um ein ETSI-standardisiertes Low Power Wide Area Network (LPWAN), das durch die effiziente Kanalkodierung eine Reichweite bei 868 MHz von bis zu 15 km ermöglicht. Durch das Telegram-Splitting-Verfahren, bei dem die Datenpakete einer Nachricht über Frequenz und Zeit verteilt gesendet werden, ist die Übertragung auch in schwierigen Umgebungen sehr robust und weist einen sehr geringen Energiebedarf von <10 µAh auf. Durch eine spezielle Fehlerkorrektur reicht der Empfang von 50% der übertragenen Teilpakete, um die Nachricht vollständig wiederherzustellen. Die geringe Eigenstörung ermöglicht dem System bis zu 3,5 Millionen Nachrichten mit einer einzigen Basisstation zu empfangen. Fraunhofer IIS



Das System ist durch seinen zweiteiligen Aufbau für DIN-Schrauben nachrüstbar



Die intelligente Schraubverbindung Q-Bo® kann sich durch Energy Harvesting selbst mit Energie versorgen

unterstützt durch Referenzdesigns und -software sowohl Basisstationshersteller als auch Knotenhersteller bei der Implementierung der Funktechnologie.

### Energieversorgung

Zur Energieversorgung nutzt die intelligente Schraubverbindung Q-Bo® das Prinzip des Energy Harvesting, wobei mit Hilfe eines Energiemanagements des Fraunhofer IIS auf drei Varianten der Energiegewinnung bzw. -versorgung zurückgegriffen werden kann. Bei der ersten Variante werden Temperaturunterschiede zwischen Schraubenkopf und Umgebung genutzt, um mit einem Thermogenerator elektrische Energie zu erzeugen. Es sind z.B. 25 K Temperaturdifferenz notwendig, um ausreichend Energie für den Sensor und die Datenübertragung alle 20 Sekunden bereitzustellen. Bei der zweiten Variante befinden sich auf dem Schraubenkopf Solarzellen. Hier sind z.B. 500 Lux (Indoor) notwendig, um alle 30 Minuten eine Übertragung der Sensordaten zu gewährleisten. Alternativ ist auch die Versorgung über eine 230 mAh Batterie möglich. Je nach Sendehäufigkeit hat diese eine Lebensdauer von bis zu 15 Jahren.

### Datensicherheit

Bei der Inbetriebnahme der intelligenten Schraubverbindung Q-Bo® werden die Schraubverbindungen vor jeglicher Art von Bedrohungen, Manipulation, unberechtigtem Zugriff oder Kenntnisnahme geschützt. Die Konfiguration und sichere Inbetriebnahme mit Kalibrierdaten über UHF-RFID kann dazu in einer

funkabgeschirmten Box direkt am Einsatzort erfolgen, einer Entwicklung vom Fraunhofer AISEC. Hierbei werden auch individuelle kryptographische Schlüssel zur Absicherung der Funkkommunikation verteilt, die dann die LPWAN-Kommunikation vor Manipulationen und Angriffen schützen.

### Mechanikkonzept

Das zu Grunde liegende Mechanikkonzept zur Nutzung der intelligenten Schraubverbindung Q-Bo® mit handelsüblichen DIN-Schrauben basiert auf FEM-Simulationen des Fraunhofer LBF, bei denen die lokalen Spannungsverteilungen im Bereich der Sensoren analysiert und anschließend konstruktiv anhand der Anforderungen der Sensoren optimiert wurden. Die Zuverlässigkeit hinsichtlich Anzugsverhalten sowie Schwingfestigkeit wurde experimentell validiert, um die Montage und den Betriebseinsatz der intelligenten Schraubverbindung Q-Bo® zu gewährleisten. Zur Charakterisierung der Sensorik wurden Widerstands-Kraft-Kennlinien ermittelt, die in einer experimentellen Untersuchung zur Validierung der intelligenten Schraubverbindung Q-Bo® unter Berücksichtigung aller Systemkomponenten Verwendung finden.

Am Projekt des **Fraunhofer Cluster of Excellence Cognitive Internet Technologies CCIT**

sind neben dem Fraunhofer IIS und dem Fraunhofer IST das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF sowie das Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC beteiligt.

**15**  
Kilometer  
Reichweite

**15**  
Jahre Batterie-  
lebensdauer

## Technische Daten

### Sensoren auf Unterlegscheibe

Kraft		
Anzahl	3	120° Versatz auf der Unterlegscheibe
Bereich	bis 150 kN	M18, 10.8
Genauigkeit	5-10 %	
Temperatur		
Anzahl	1	
Bereich	tbc bis +100 °C	
Genauigkeit	1-2 K	
Beschleunigung (Vibrationsüberwachung, RMS-Werte)		
Max. Datenrate	3.200 Hz	
Max. Aufnahmezeit	2,8 Sek. (3-achsig)	Optional: 800 Hz, 11 Sek. (3-achsig)
Max. Beschleunigung	16 g	

### Datenübertragung

LPWAN		
Protokoll	mioty®	
Reichweite	15 km	
Sendeleistung	Max. 12,5 dBm	
Frequenz	868 MHz	
UHF-RFID		
Frequenz	868 MHz	Lese/Schreibzugriff zur Konfiguration ohne Energieversorgung mittels Energy Harvesting möglich
NFC (optional)		
Frequenz	13,56 MHz	Lese/Schreibzugriff zur Konfiguration ohne Energieversorgung mittels Energy Harvesting möglich

### Energieversorgung

Solarmodul		
Beleuchtungsstärke	500 Lux (Indoor)	Sendefrequenz 30 Min.
	18.000 Lux (Outdoor)	Sendefrequenz 30 Sek.
Thermoelektrik		
Temperaturgradient (Gewinde zur Umgebung)	25 K	Sendefrequenz 20 Sek.
	33 K	Sendefrequenz 15 Sek.
Batterie		
Kapazität	230 mAh (CR2032)	Optional CR2450 für eine längere Laufzeit
Betriebszeit	2,6 Jahre	Sendefrequenz 60 Min.
	3,2 Jahre	Sendefrequenz 24 Std.
	15 Jahre	Sendefrequenz 30 Tage

### Inbetriebnahme

Siehe RFID	Inbetriebnahme über UHF-RFID-Schnittstelle möglich
------------	--

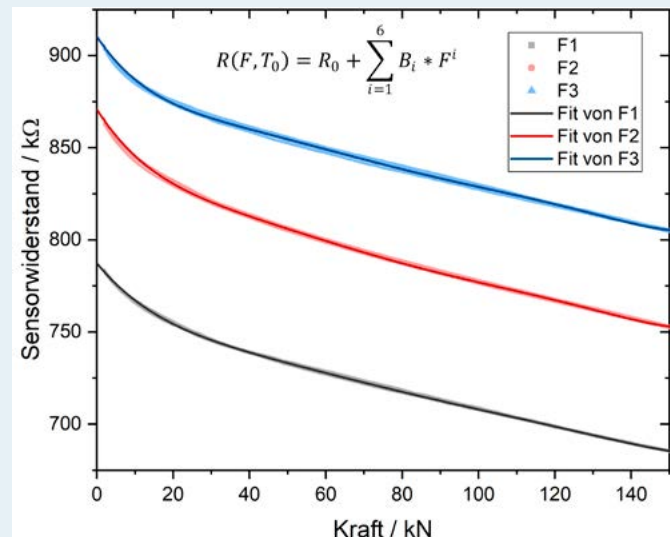
### Abmessungen (Aufsteckmodul)

Sensormodul	
46 x 10 mm	SW* x Höhe (Hexagon)
Elektronikmodul	
46 x 37 mm	SW x Höhe (Hexagon)

### Abmessungen (vollintegrierte Schraube)

46 x 61,5 mm	SW x Unterseite der Unterlegscheibe bis zur Oberseite des Kühlkörpers
46 x 44,3 mm	SW x Unterseite der Unterlegscheibe bis zur Oberseite der Antenne
M18	Gewinde

\* SW = Schlüsselweite



Widerstand [kΩ] von drei Drucksensoren (F1, F2, F3) an der Scheibe in Abhängigkeit von der Kraft [kN]

### Kontakt

Fraunhofer Cluster of Excellence Cognitive  
Internet Technologies CCIT

Dr.-Ing. Peter Spies  
Nordostpark 84  
90411 Nürnberg  
+49 911 58061-3310  
peter.spies@iis.fraunhofer.de  
www.cit.fraunhofer.de/q-bo