Today's speakers:

Bodo Mumm

Technical Support Engineer

bodo.mumm@we-online.de

www.we-online.de

Markus Eberle

Marketing

Markus.Eberle@we-online.de

www.we-online.de

GRUNDLAGEN DES 6-ACHSEN GYROSKOP UND BESCHLEUNIGUNGS-SENSORS

Bodo Mumm
Technical Support Engineer

WÜRTH ELEKTRONIK MORE THAN YOU EXPECT

AGENDA

- Was ist eine Inertial-Messeinheit (Inertial Measurement Unit, IMU)

- Beschleunigung
  - Blockdiagramm des Beschleunigungsmessers
  - Kapazitive Erfassung

- Gyroskop
  - Blockdiagramm des Gyroskop
  - Arbeitsprinzip des Gyroskop: Coriolis Effekt
  - Stimmgabelkonfiguration

- IMU Technische Parameter und allgemeine Charakteristik
  - Betriebsarten
  - Integrierte (embedded) Funktionen
  - FIFO Puffer

- WSEN-ISDS IMU Sensor IoT Applikationen
- Schlussfolgerungen

WAS IST EINE INERTIAL MEASUREMENT UNIT (IMU)

Eine Trägheitsmesseinheit (Inertial Measurement Unit, IMU) ist ein Gerät bzw. Sensor, das die spezifische **Schwerkraft/Beschleunigung** und die **Winkeldrehgeschwindigkeit** eines Objekts an dem es angebracht ist, messen und melden kann.

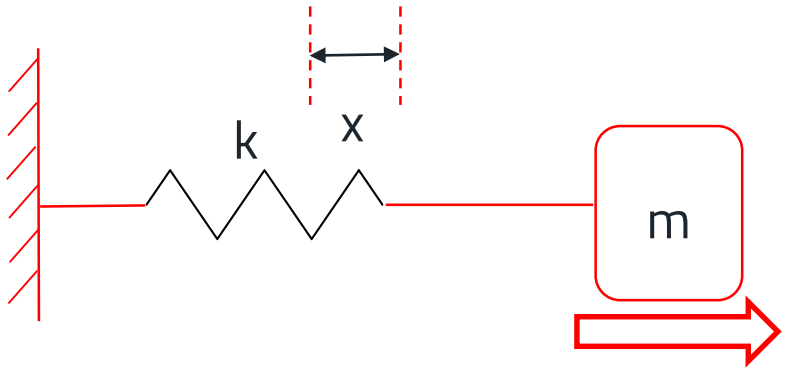
Eine IMU besteht in der Regel aus:

- **Beschleunigungsmesser:** zur Messung einer bestimmten Kraft/Beschleunigung
- **Gyroskope:** zur Messung der Winkelgeschwindigkeit
- **Magnetometer (optional):** Messung des das System umgebenden Magnetfelds
- IMUs bestehen in der Regel aus einem **3-Achsen-Beschleunigungsmesser** und einem **3-Achsen-Gyroskop**, was man als **6-Achsen-IMU** betrachtet.
- Zusätzlich können sie auch ein **3-Achsen-Magnetometer** enthalten, das dann als **9-Achsen-IMU** gelten würde.

BESCHLEUNIGUNG

- Die Beschleunigung ist die Messung der **Änderung der Geschwindigkeit durch die Zeit**.
- Ein Beschleunigungsmesser ist ein MEMS (Micro-Electro-Mechanical System), das zur Messung von Beschleunigungskräften verwendet wird.
- Im IC eines Beschleunigungsmessers wird ein kapazitive MEMS-Element eingesetzt

ALLGEMEINES PRINZIP DER BESCHLEUNIGUNG



Hookesches Gesetz

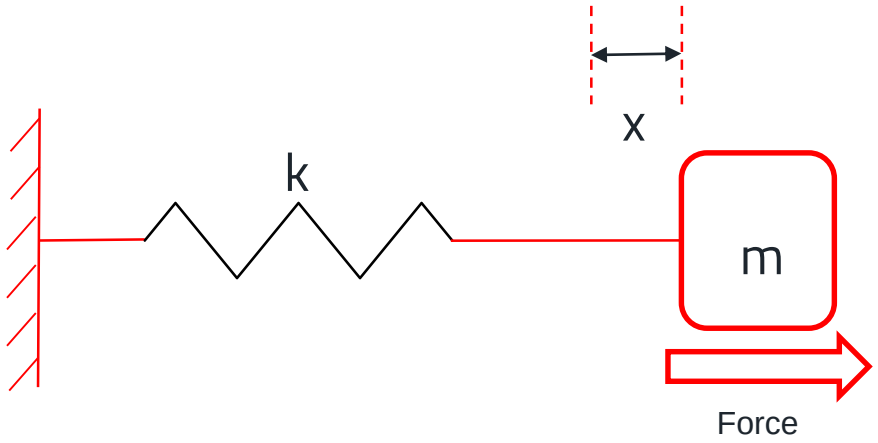
$F = kx$

F - Kraft aufgrund der Federspannung

k - Federkonstante

x - Verlängerung der Feder

m – Masse des Objekts



2. Newtonsches Gesetz

$F = ma$

F - Auf das Objekt ausgeübte Kraft

m – Masse des Objekts

a - Beschleunigung

x - Verschiebung des Objekts

$F = kx = ma$

$a = k/m\ (x)$

Beschleunigung ⟷ Verschiebung

VERSCHIEBUNGSMESSUNG

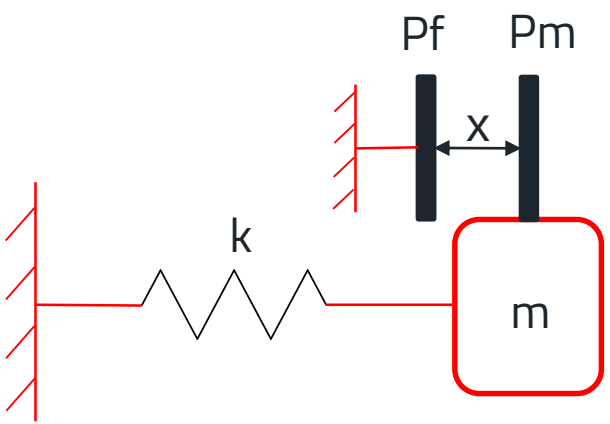
Unterschiedliche Technik :

Resistiv

Induktiv

Kapazitiv

Kapazitive Technik:



$C = \varepsilon_0 A / (x)$

$a = k / m (x)$

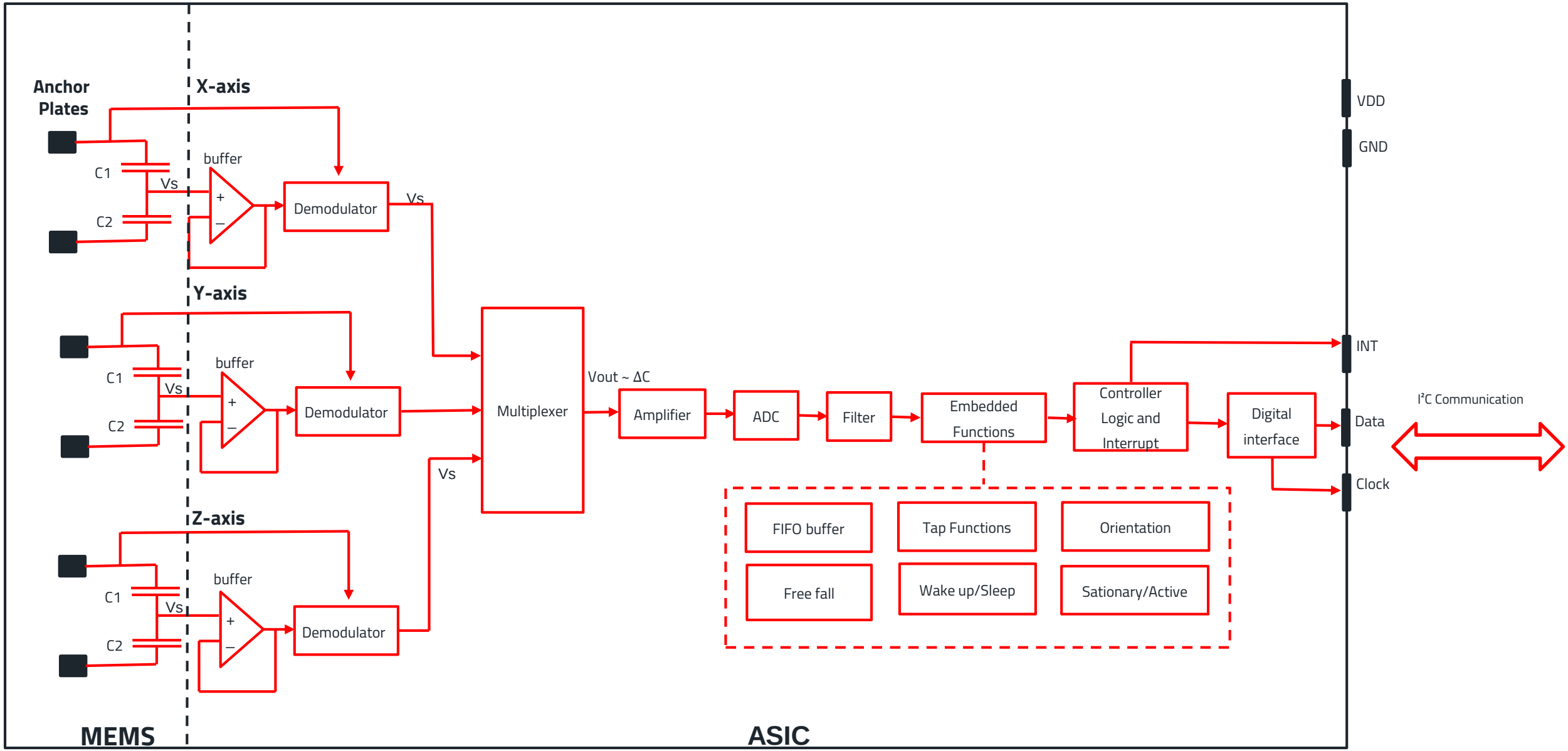
Pm - Bewegliche Kondensatorplatte

Pf - Feste Kondensatorplatte

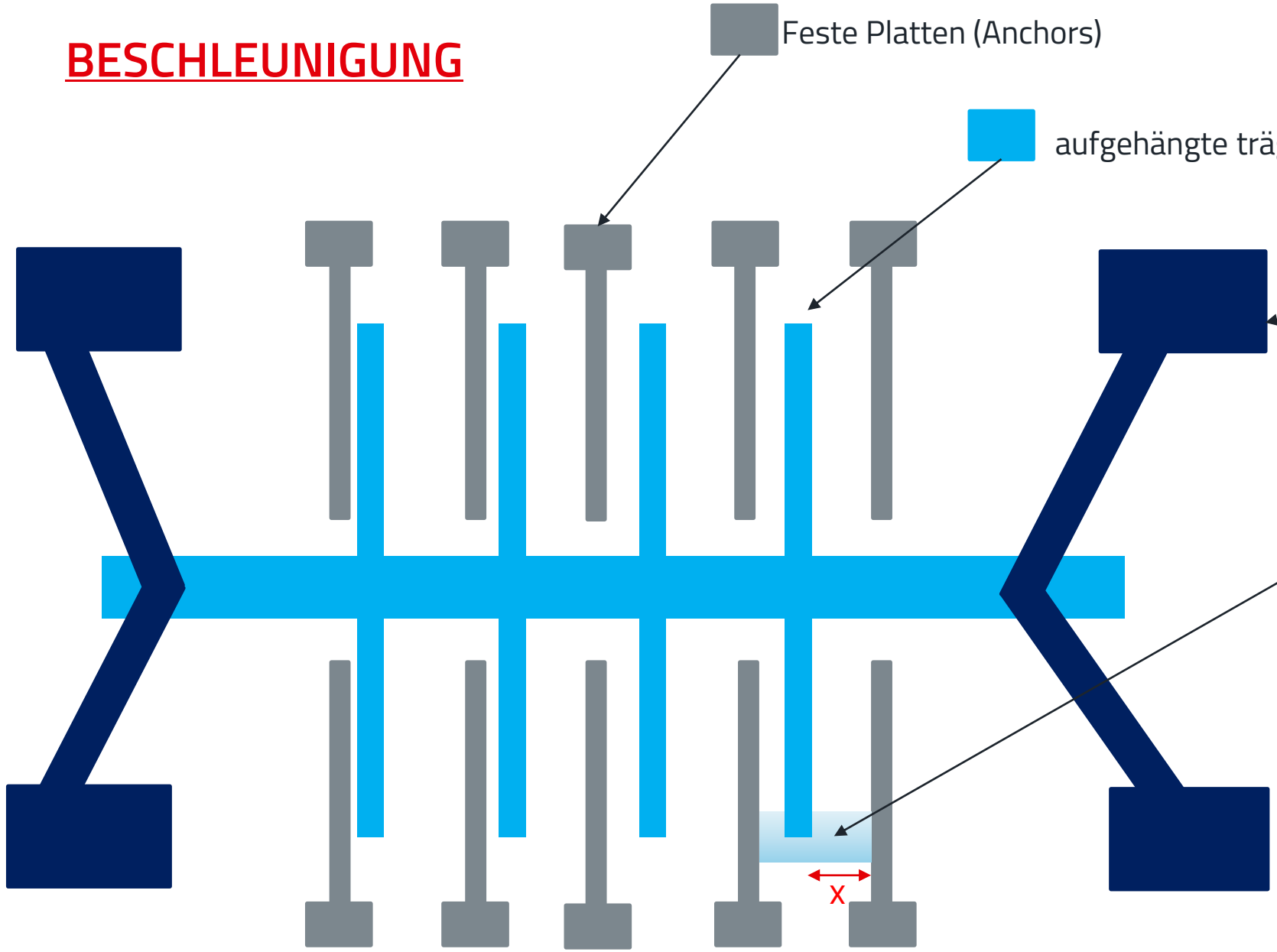
x - Verschiebung

Verschiebung → Kapazität → Beschleunigung

MEMS BESCHLEUNIGUNGSSENSOR BLOCKDIAGRAM



BESCHLEUNIGUNG

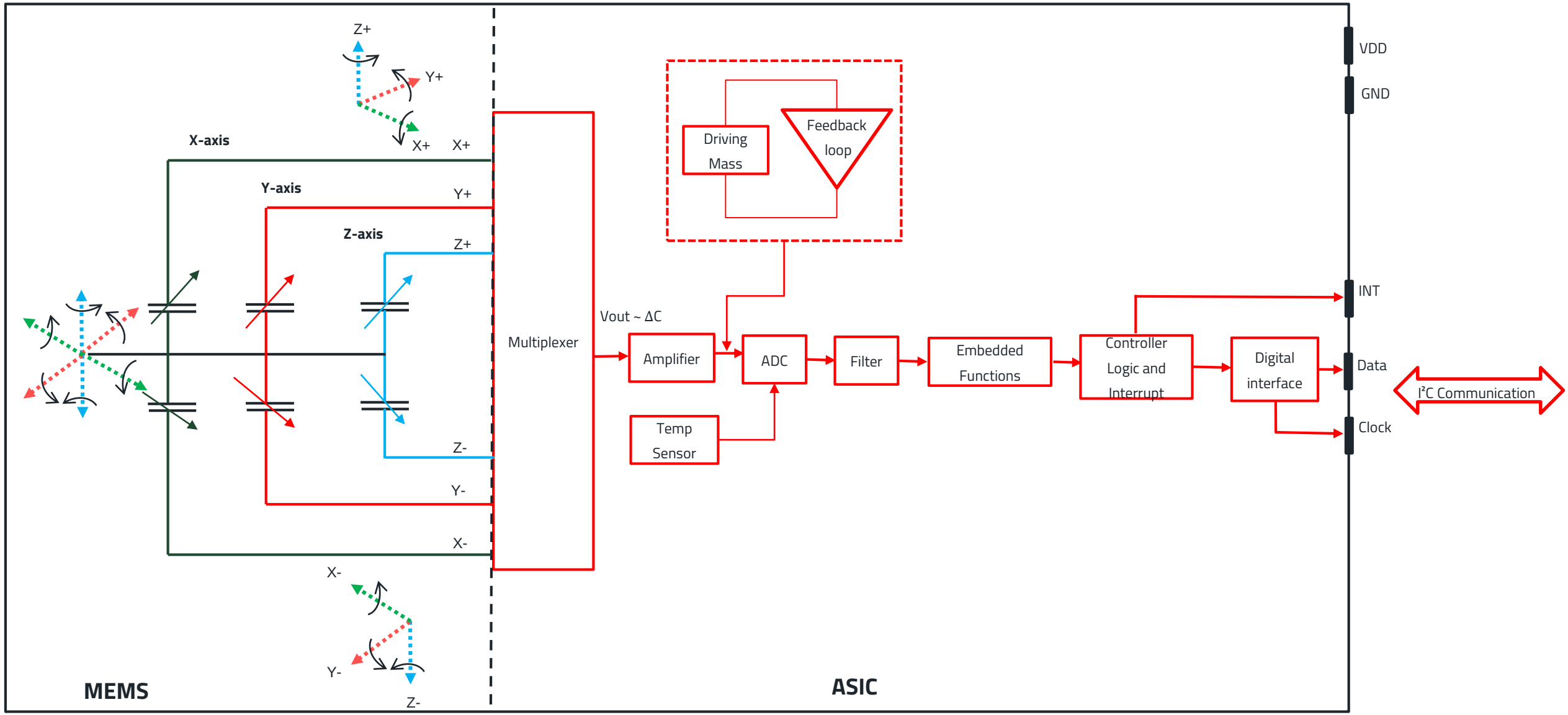


- Diese Kapazitätsänderung ist proportional zur Beschleunigung entlang dieser Achse.
- Die Kapazitätsänderung wird in eine analoge Ausgangsspannung umgewandelt (zusätzlich ein AD-Wandler für die digitale Ausgabe)

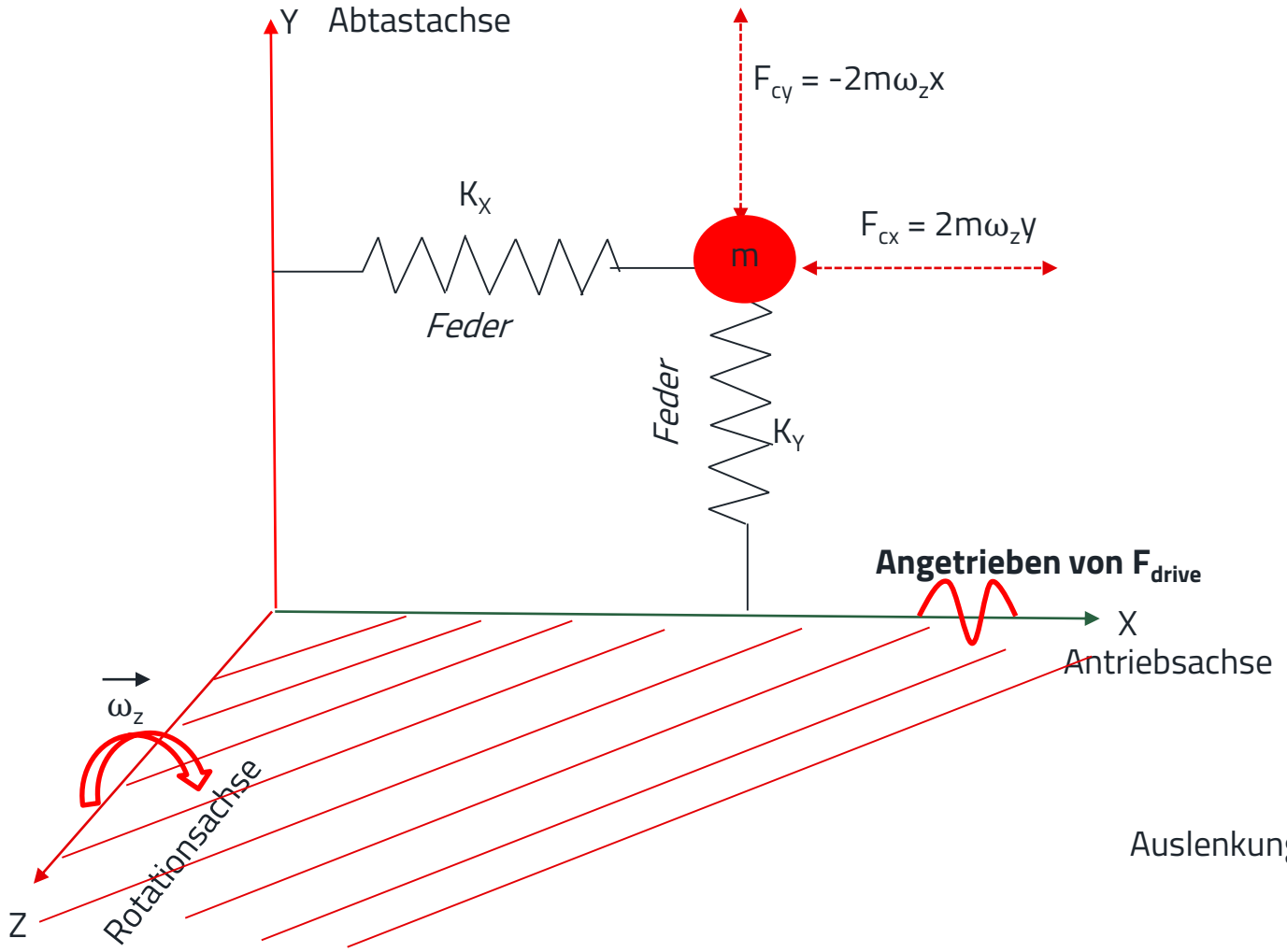
GYROSKOP

- Das Gyroskop (Kreiselinstrument) ist ein Gerät zur Messung der **Winkeldrehgeschwindigkeit und -ausrichtung**.
- Das Gyroskop fügt den vom Beschleunigungsmesser gelieferten Informationen eine zusätzliche Dimension hinzu, indem es die Rotation oder Verdrehung erfasst.
- Beschleunigung und Gyroskop wird zusammen als IMU-Sensor bezeichnet und ist ein elektronisches Gerät, das die spezifische Kraft, Winkelgeschwindigkeit und Ausrichtung eines Körpers misst und meldet.

MEMS GYROSKOPSENSOR BLOCKDIAGRAM



SCHWINGKREISELSYSTEM



- m ist die Masse in der X-Y-Ebene
- K_x (K_y) - Federkonstanten
- X stellt die Antriebsachse dar
- Y stellt die Abtastachse dar
- Z stellt die Rotationsachse dar
- F_{drive} → Referenztreibersignal (Frequenz und Amplitude)

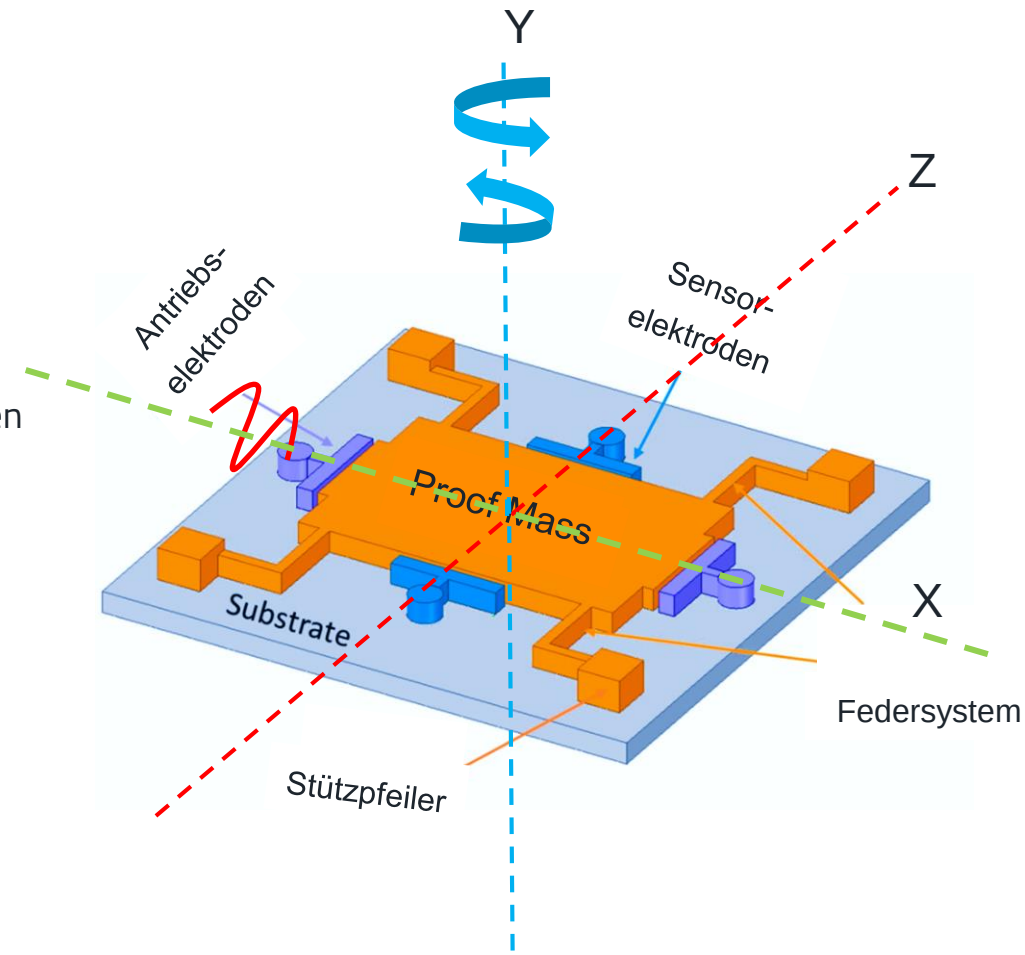
$\omega_z > 0$ (Winkelgeschwindigkeit entlang der Z-Achse)

- F_{cx} und F_{cy} → Die Coriolis-Kraft erscheint in der X- und Y-Achse

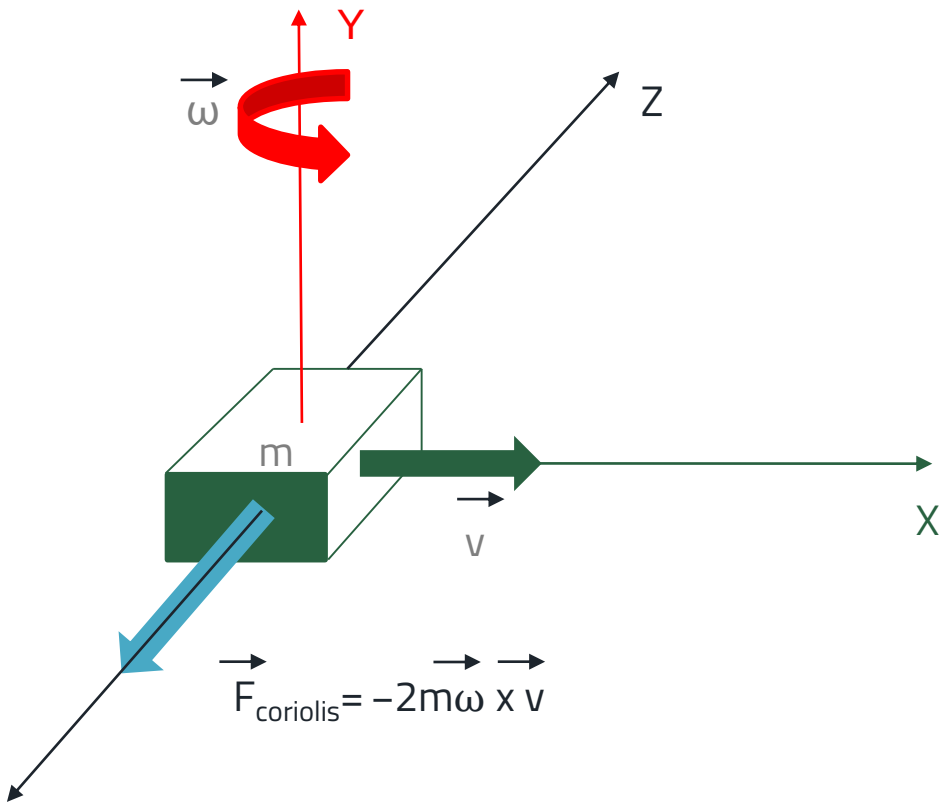
Auslenkung in Y (Abtastachse) aufgrund der Kraft F_{cy} → propotional zu ω_z

GYROSKOP-MEMS-IMPLEMENTIERUNG

- Eine träge Masse (m), platziert über dem Siliziumsubstrat.
- Antrieb, Sensorelektroden und ein Aufhängungsträgersystem mit vier festen Stützpfeilern.
- Das Antriebssystem erzeugt eine Schwingung (X-Achse) mit einer bestimmten Amplitude und Frequenz.
- **Die Masse wird zum Oszillator**
- Die gleiche Masse ändert bei Außenrotation (Y-Achse) ihre Schwingungsbewegung in die orthogonale Richtung (Z-Achse)
- Die Sensorelektroden (Z-Achse) erfassen die Coriolis-Kraft, die durch die Mischung aus Antriebsmoment und Außenrotation entsteht.



CORIOLIS EFFEKT



- Wenn sich eine Masse (m) mit einer Geschwindigkeit (v) in eine bestimmte Richtung bewegt

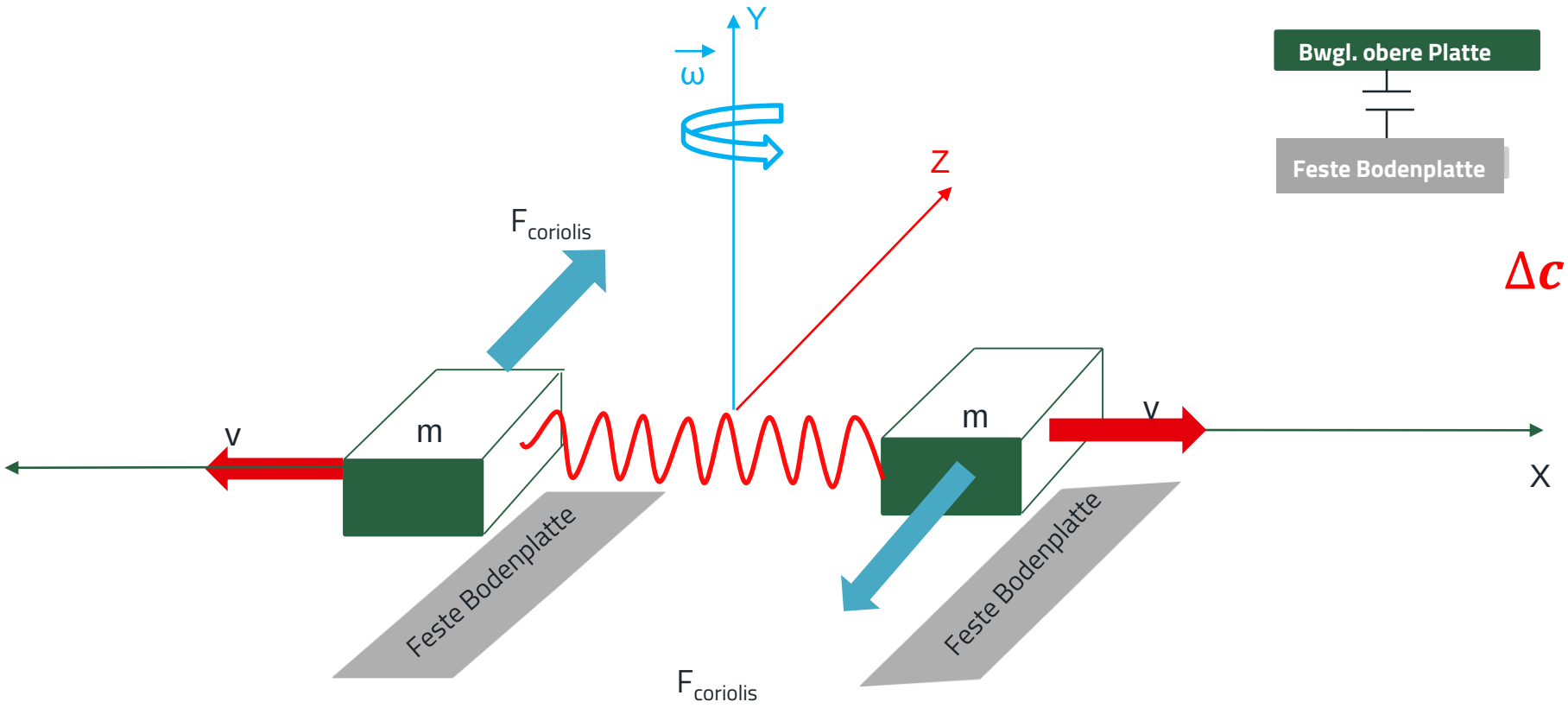
und

- die externe Winkelgeschwindigkeit (ω) angewendet wird (roter Pfeil)

- erzeugt der Coriolis-Effekt eine Kraft ($F_{coriolis}$) die bewirkt, dass sich die Masse senkrechten bewegt.

Der Wert dieser Verschiebung steht in direktem Zusammenhang mit der angewandten Winkelgeschwindigkeit.

GYROSKOP: STIMMGABELKONFIGURATION (MEMS)

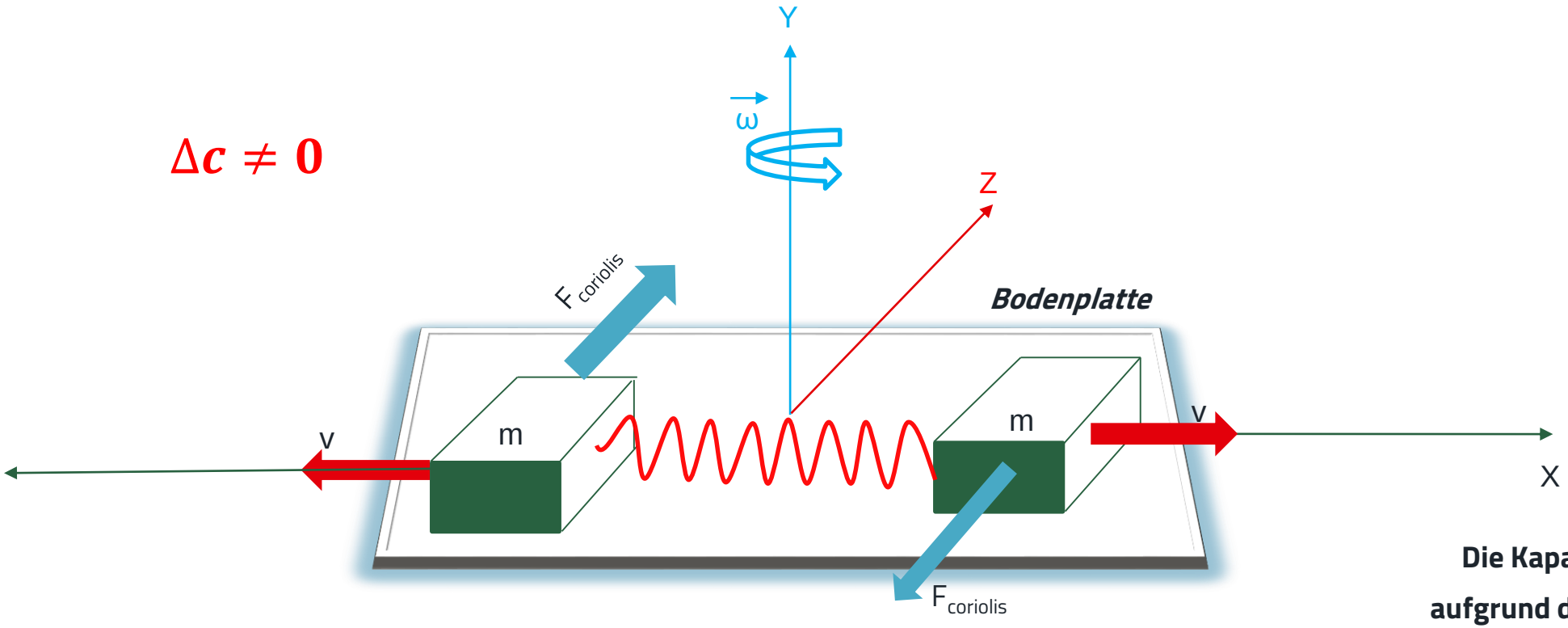


$$\Delta c \neq 0$$

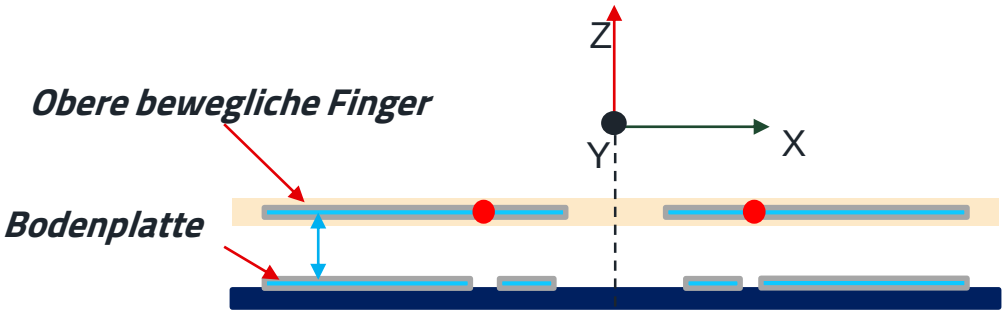
- Zwei Massen (m) bewegen sich mit konstanter Frequenz in entgegengesetzter Richtung.
- Wenn eine Winkelgeschwindigkeit angelegt wird, wirkt der Coriolis-Effekt der von jeder Masse erzeugt wird, in entgegengesetzte Richtungen.
- Durch Messen dieser Kapazitätsänderung kann die Winkelgeschwindigkeit berechnet werden.

STIMMGABEL CONFIGURATION:

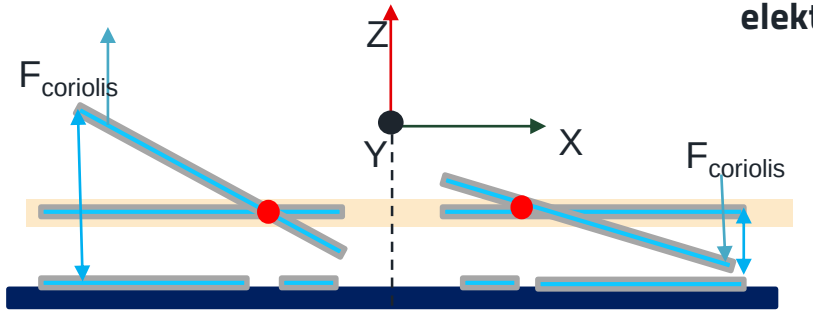
$$\Delta c \neq 0$$



Die Kapazitätsvarianz (Parallelplatte) aufgrund der Winkeldrehung wird von der elektronischen Schnittstelle gelesen



Keine angelegte Winkelgeschwindigkeit



Angelegte Winkelgeschwindigkeit

BETRIEBSARTEN

Betriebskonfigurationen :

- Nur Beschleunigungssensor aktiv und Gyroskop im Power-Down
- Nur Gyroskop aktiv und Beschleunigungssensor im Power-Down
- Sowohl Beschleunigungsmesser als auch Gyroskop aktiv mit unabhängiger Ausgangsdatenrate (ODR).

Betriebsarten: Der Beschleunigungsmesser und das Gyroskop können unabhängig voneinander in vier verschiedenen Leistungsmodi konfiguriert werden:

- Power Down
- Low-Power
- Normal
- High-Performance mode

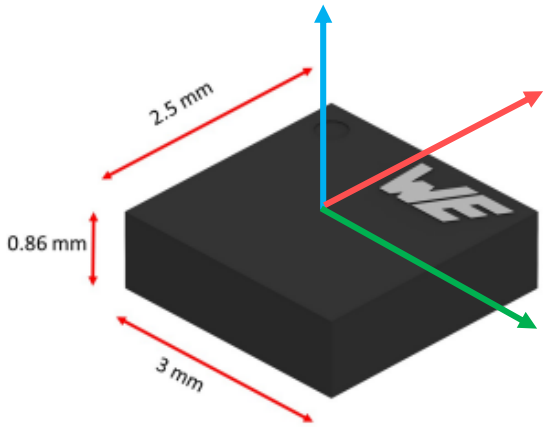
Darüber hinaus kann der Sensor auch in den Schlafmodus versetzt werden, um den Stromverbrauch zu reduzieren.

STROMVERBRAUCH UND RAUSCHEN

Power Consumption Mode	Output Data Rate ODR (Hz)	Current Consumption (µA)
Combo (Gyro+Acc) High power mode	1600	690
Combo (Gyro+Acc) Normal power mode	208	500
Combo (Gyro+Acc) Low power mode	53	350
Accelerometer High power mode	<1600	180
	>1600	190
Accelerometer Normal power mode	208	85
Accelerometer Low power mode	52	25
	12.5	9
	1.6	4.5

	Test Condition	Value	Units
Acceleration Noise Density	FS = ±2 g	75	µg/√Hz
	FS = ±4 g	89	µg/√Hz
	FS = ±8 g	90	µg/√Hz
	FS = ±16 g	130	µg/√Hz
Gyro Noise Density	High -performance mode	3.8	mdps/√Hz

WSEN-ISDS: IMU SENSOR TECHNISCHE PARAMETER



Spezifikationen

- Abmessungen - 2.5 mm x 3.0 mm x 0.86 mm (14pin) LGA Package
- Beschleunigung Messbereiche: ±2g,/±4g,/±8g,/±16g
- Gyroskop Messbereiche: ±250 dps, ±500 dps, ± 1000 dps, ±2000 dps
- Auflösung – 16 Bit
- Genauigkeit der Empfindlichkeit - 3%
- Stromverbrauch - HP Mode: 690µA, NP Mode: 370 µA, LP Mode: 280 µA
- Niedrige Rauschdichte - 75 µg√Hz
- Output Data Rate – bis zu 6.6 KHz, BW_{acc} – 1400 Hz, BW_{Gyro} – 937 Hz
- Betriebstemperaturbereich: -40°C bis +85°C

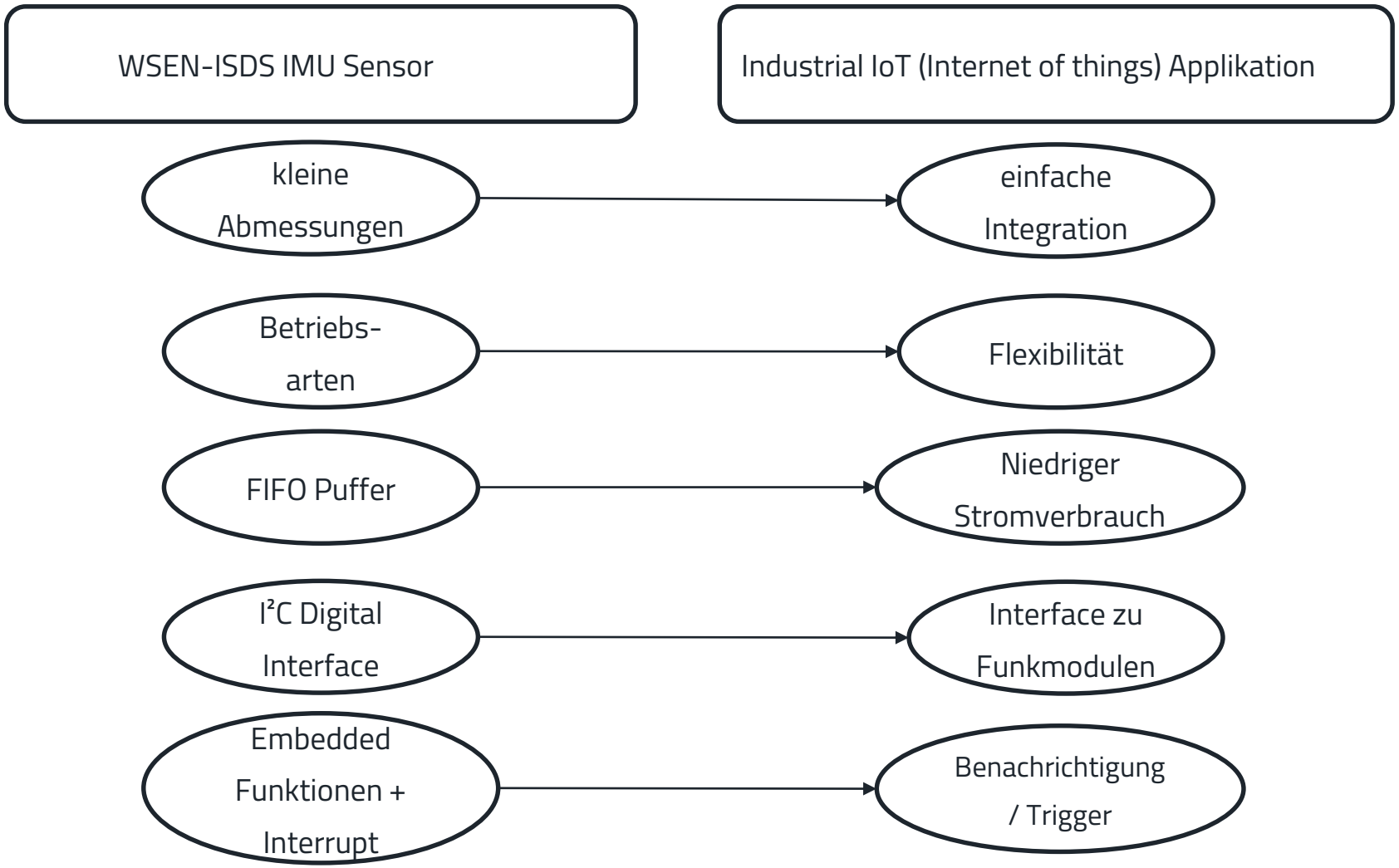
Applikationen

- Industrie 4.0 und IoT Connected Devices
- Industriewerkzeuge und Betriebseinrichtungen
- Antennen- und Plattformstabilisierung
- Ortung und Navigation
- Robotik, Drohnen und Automation

Special Features

- Betriebsarten – High Performance, Normal, Low Power
- 4 kByte FIFO Puffer – flexibles Datenhandling
- 2 unabhängige Interrupts Pins
- I²C und SPI Bus Interface
- Embedded Funktionen: Freefall, Wake-up, Tap, Activity, Motion, Orientation: 6D/4D, Neigungserkennung

WIE SICH DER WSEN-ISDS FÜR INDUSTRIELLE IOT-ANWENDUNGEN EIGNET

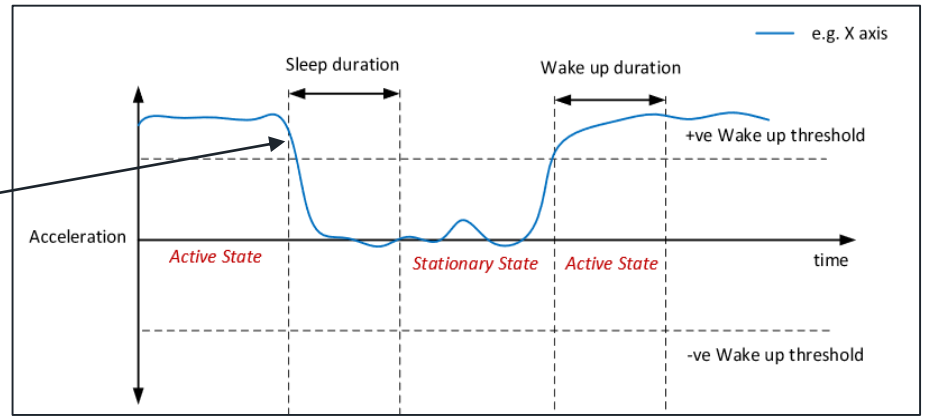


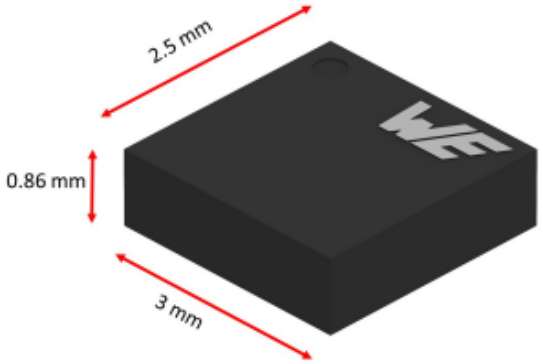
WSEN-ISDS SENSOR: EMBEDDED FUNKTIONEN

- ❑ Aktive / Inaktive
- ❑ Sleep and wake up
- ❑ Free fall
- ❑ Tap Funktionen
- ❑ Orientation

Aktivitäts-/Inaktivitätserkennungsfunktion ermöglicht die Verringerung des Strom-verbrauchs des Systems (geeignet für IoT-Anwendungen)

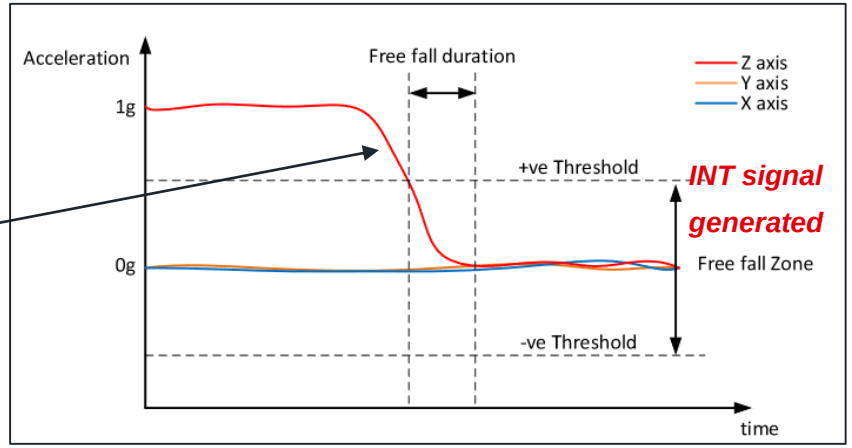
aktive / inaktive





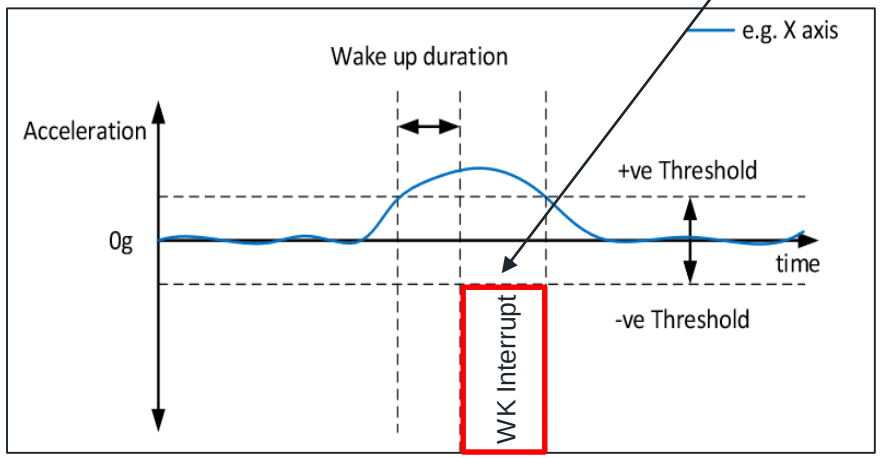
Die in allen Achsen gemessene Beschleunigung geht gegen Null

Free Fall Interrupt



Das WK-Interruptignal wird erzeugt wenn gefilterte Daten den konfigurierten Schwellenwert überschreiten

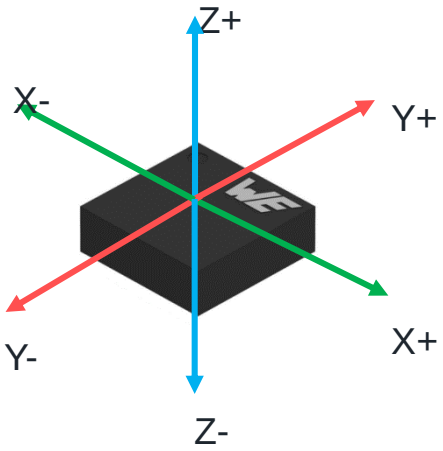
Sleep Wake up Interrupt

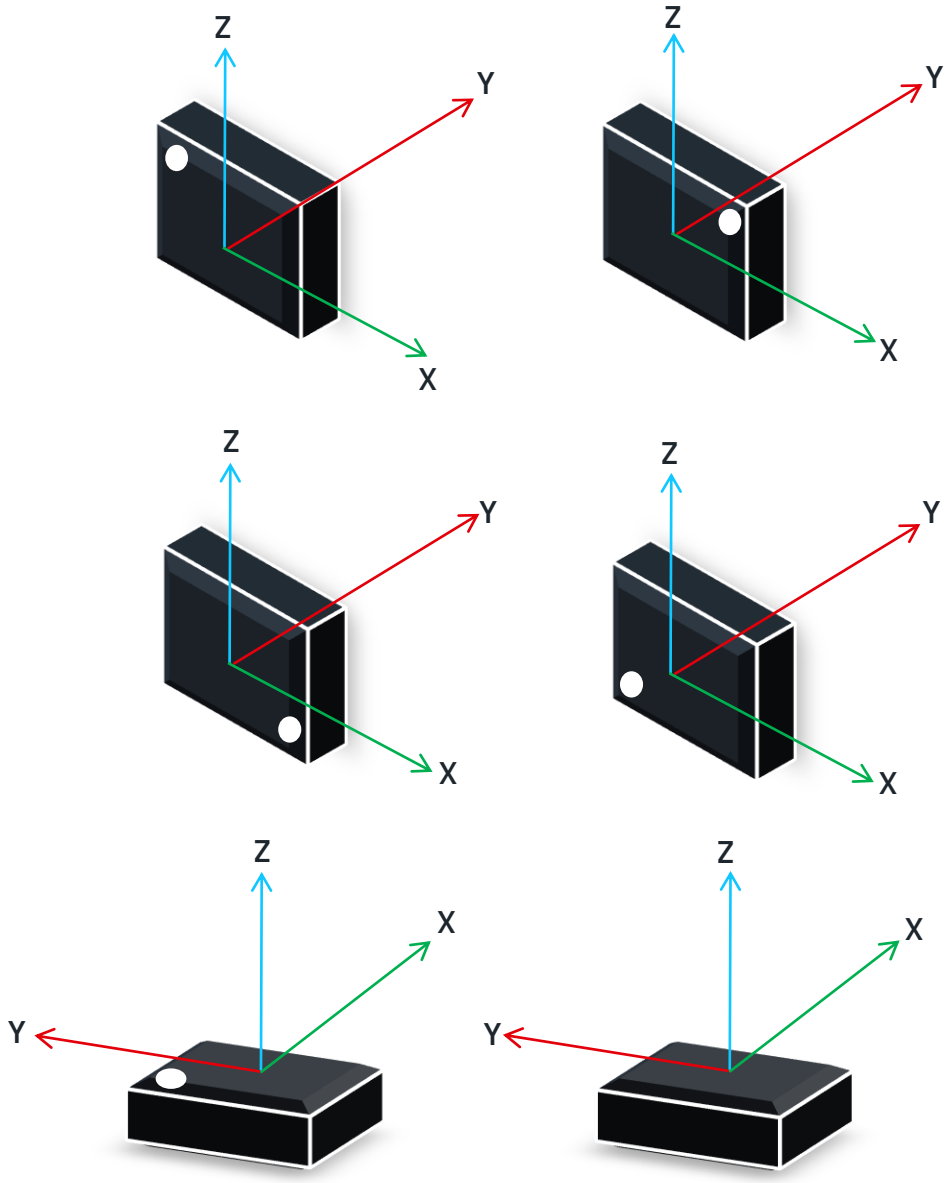


WSEN-ISDS SENSOR: EMBEDDED FUNKTIONEN

6D/4D Orientation Detection

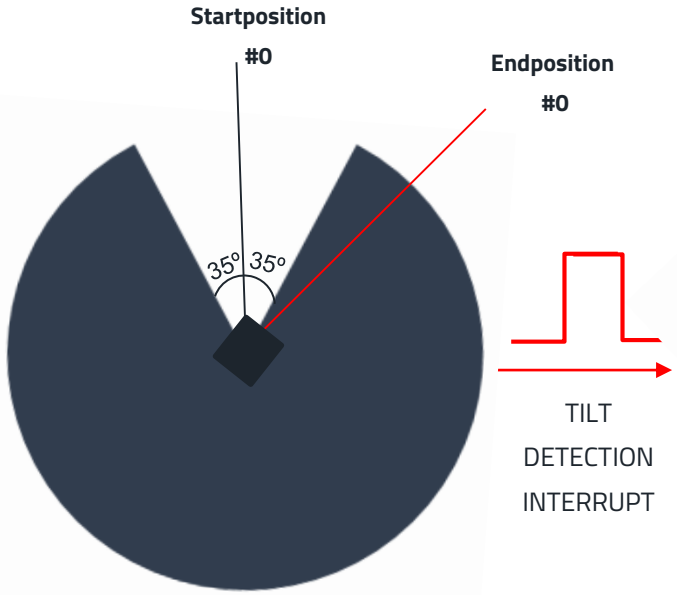
- Es können sechs Ausrichtungen des Geräts im Raum erkannt werden.
- Die 4D-Ausrichtungsfunktion ist ein Teil der 6D-Funktion.
- Bildverarbeitung – Orientierung von Digitalkameras

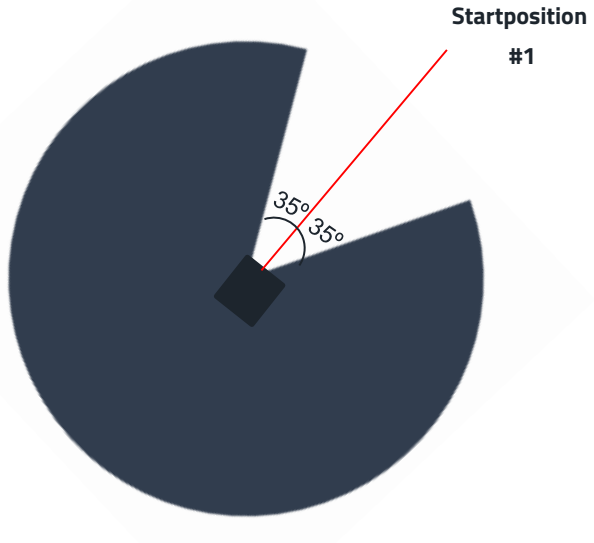


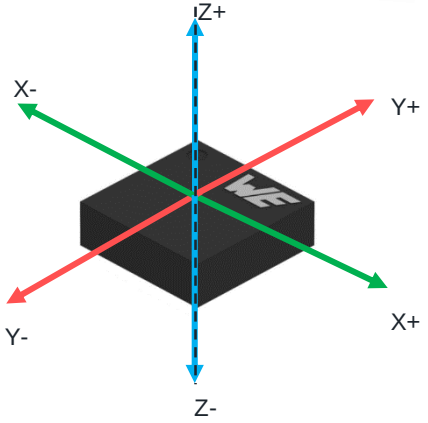


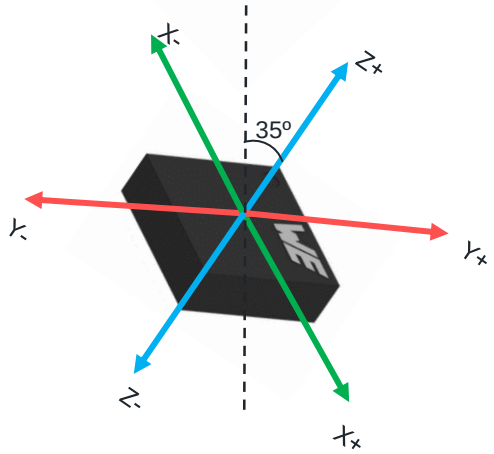
WSEN-ISDS SENSOR: EMBEDDED FUNKTIONEN

Relative Neigung:



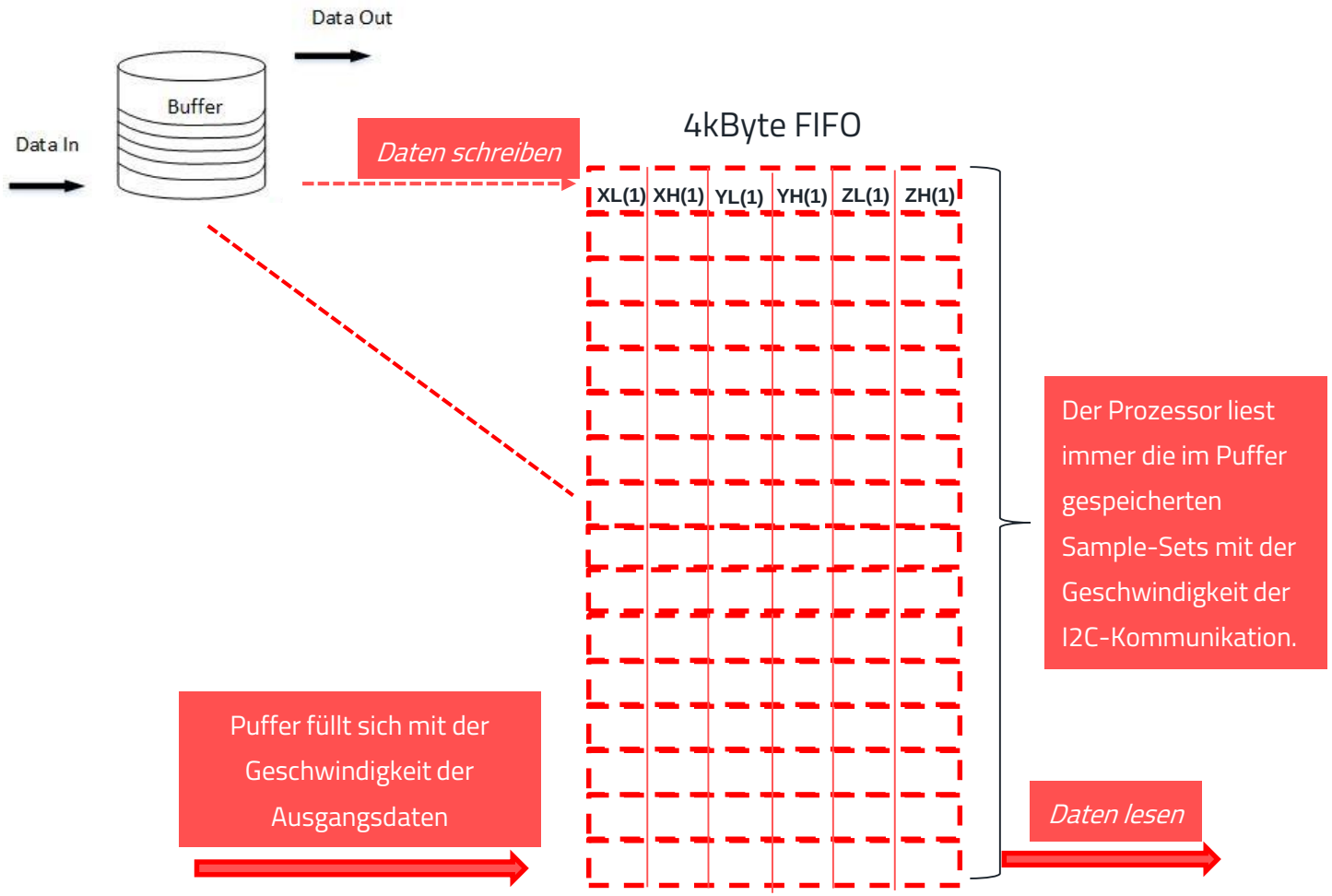






- Wenn das Gerät um einen Winkel > 35° geneigt wird, wird ein Interrupt generiert
- Seq0 → Seq1 (Die Startposition ändert sich gegenüber der vorherigen Seq-Endposition)

WSEN-ISDS BESCHLEUNIGUNGSSENSOR: FIFO PUFFER



- First in First Out (FIFO)
- Reduziert die Kommunikation zwischen Sensor und MCU
- 4 kByte zum Speichern der Ausgangswerte
- Interrupt-Funktionalität
- Verschiedene Betriebsarten
  - Bypass mode → kein Puffer
  - Continuous mode → alt wird durch neu ersetzt
  - Bypass to continuous (Ereignis aufzeichnen)
  - Continuous to bypass (nach Ereignis)

Intelligenteres Energiemanagement

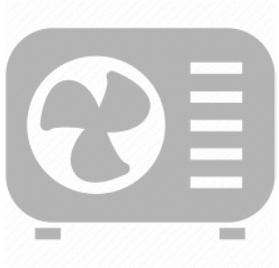
➢ Weniger / keine Kommunikation mit dem Mikrocontroller

INDUSTRIELLE MARKTANWENDUNGEN

Bauwerkeüberwachung
Gebäude, Brücken, Schienen

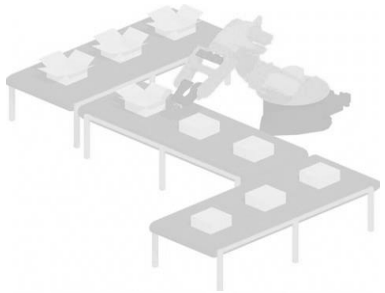
Rotation Equipment /Parts

Roboter



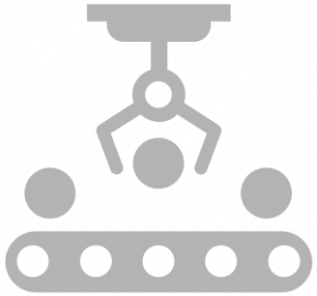
Industrielle HLK

Aufzüge, Rolltreppen



Industrie Logistik

Bagger und Kräne



Pick and Place (P&P)
Maschinen

Vorausschauende
Wartung und
Zustandsüberwachung

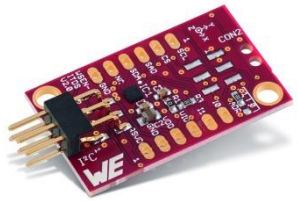
SCHLUSSFOLGERUNGEN

Bestens geeignet für IIoT-Anwendungen

- Low current <0.69 mA
- FIFO Buffer 4k Bytes
- Embedded Smart Features
- I²C Interface

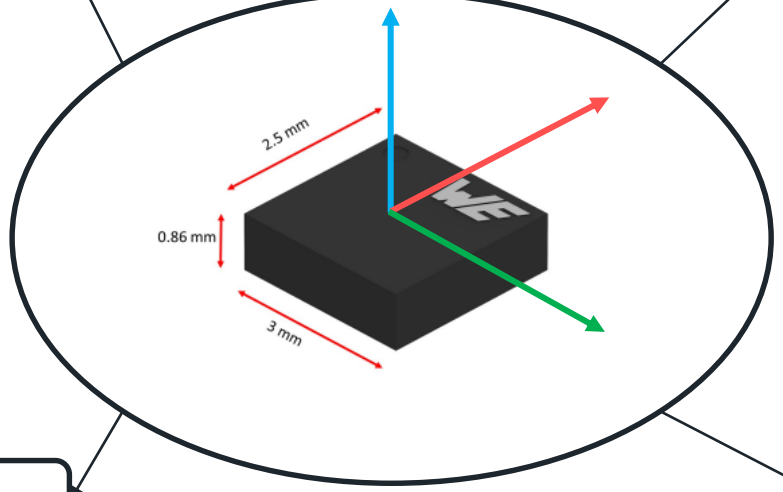
Beschleunigen Sie Ihre Projekte und Ideen

- Evaluation Board

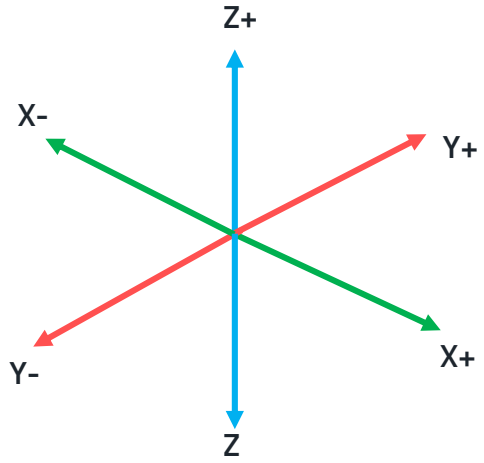


- Sensor Treiber

https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/software-development-kit-icon-symbol-vector-25926988



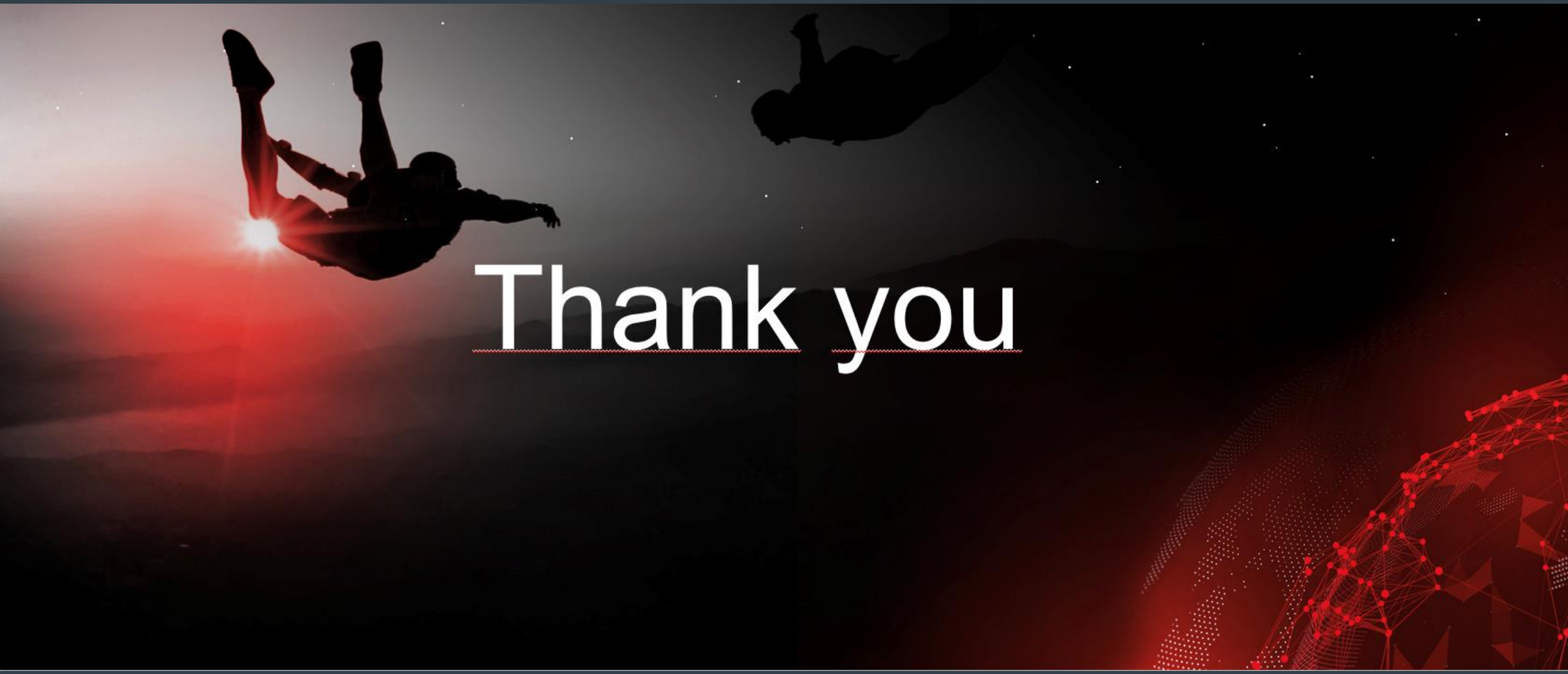
MEMS 6-Achsen IMU Sensor



- Resolution: ±3%
- Smart FIFO up to 4 kByte
- BW Accelerometer : 1400 kHz
- BW Gyroscope : 937 KHz
- Output Data Rate: 6.66 kHz
- Selectable full scale for acceleration: ±2g, ±4g, ±8g, ± 16g
- Selectable full scale for Gyroscope: ±125/±250/±500/±1000/±2000 dps

FAQ

- Haben wir SDK-Dateien auf GitHub verfügbar?
- Gibt es mehrere I²C Adressen?
- Was ist der Zweck des internen Temperatursensors?
- Worin liegt der Hauptunterschied zwischen dem ISDS- und dem ITDS-Beschleunigungssensor?
- Wird ein Alterungstest der Sensoren durchgeführt??


Thank you