

## 6-Achsen-Bewegungssensor-Modul mit SPI- und I<sup>2</sup>C-Schnittstelle

Je ein 3-Achsen-Drehraten- und -Beschleunigungssensor auf einem Chip – diese Konfiguration ermöglicht die komplexe Auswertung von Bewegungen, ob im Fahrzeug, Smartphone, Navigationsgerät oder Flugmodell. Das hier vorgestellte 6-Achsen-Bewegungssensor-Modul basiert auf dem LSM330 von STMicroelectronics. Für erste Konfigurations- und Daten-auswertungsversuche steht zum Modul eine frei verfügbare Windows-Software bereit.

### Wo geht's lang und wie schnell?

Der 6-Achsen-Bewegungssensor LSM330 vereint einen Beschleunigungssensor und ein Gyroskop (Drehratensensor) in einem Chip und erfasst die Beschleunigung und die Drehrate der drei Achsen X, Y und Z.

Sensoren, die sowohl Beschleunigung als auch Drehrate messen, werden auch als Inertialsensoren bezeichnet, wobei mehrere solche Sensoren

als inertielle Messeinheit (engl. inertial measurement unit, IMU) zusammengefasst werden können, so z. B. für 6-Achsen als „6 Degrees of Freedom IMU“.

Eingesetzt werden IMUs u. a. in der Flugnavigation, der Robotik sowie bei der Bildstabilisierung zur Bewegungsdetektion.

Auch in den meisten Handys sind solche Sensoren zu finden, um z. B. das Drehen des Geräts zu erkennen, damit der Bildschirminhalt sich entsprechend mitdreht, oder zur Steuerung z. B. bei Spielen.

Da sich viele Sensorhersteller auf die Massenproduktkategorien wie Mobilfunk, Notebooks, Spielekonsolen und PDAs ausrichten, werden die Chips in kleinstmöglicher Bauform realisiert (Bild 1), die nicht mehr per Hand zu löten ist. Aus diesem Grund entstand das 6D-BS-Modul, das einen Bewegungssensor zusammen mit weiteren Komponenten auf einer winzigen Platine integriert. Diese kann entweder direkt

Geräte-Kurzbezeichnung:	6D-BS
Sensor-Typ:	Beschleunigung, Drehrate je X-, Y-, Z-Achse
Messbereich Beschleunigung:	$\pm 2 \text{ g}/\pm 4 \text{ g}/\pm 8 \text{ g}/\pm 16 \text{ g}$ (einstellbar)
Messbereich Drehrate:	$\pm 250/\pm 500/\pm 2000 \text{ deg/s}$
Auflösung Beschleunigung:	8/12 Bit (einstellbar)
Messfrequenz Beschleunigung:	1 Hz bis 5,376 kHz
Auflösung Drehrate:	16 Bit
Messfrequenz Drehrate:	95–760 Hz
Logik-Pegel Datenleitungen:	1,8–6 V
Schnittstellen (digital):	I <sup>2</sup> C, 3-/4-Wire-SPI, Interrupt
Max. Leitungslänge/Leiterbahnlänge:	30 cm
Max. Busgeschwindigkeit:	125 kHz
Spannungsversorgung:	2,5–6 V <sub>DC</sub>
Stromaufnahme:	10 mA max.
Umgebungstemperatur:	-10 bis +55 °C
Abmessungen (B x H x T):	34,5 x 12 x 21,2 mm
Gewicht:	4 g

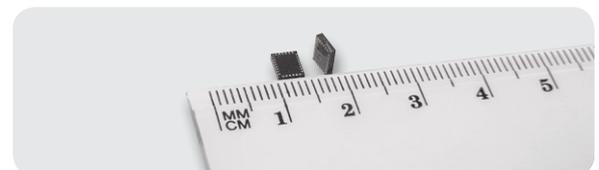


Bild 1: Ganze 4 x 5 mm misst der winzige LSM330 im 28-poligen LGA-Gehäuse – nicht mehr ohne Weiteres von Hand verlötbar.

in eigene Entwicklungsprojekte mit Mikrocontroller eingebunden werden oder mithilfe eines geeigneten Interfaces, wie z. B. dem ELV-USB-I<sup>2</sup>C-Interface, für Fortbildungs- und Schulungszwecke genutzt werden. Zusammen mit dem USB-I<sup>2</sup>C kann man bereits innerhalb weniger Minuten die ersten kontinuierlich gemessenen Bewegungswerte auf einem PC auswerten. Auch für diesen Zweck stellen wir unter [3] eine einfache Software für die Konfiguration und Datenauswertung zur Verfügung.

Eigene Projekte können z. B. Fernsteuerungen sein, bei denen aus den Bewegungen des Moduls heraus die zu steuernde Richtung und die Geschwindigkeit abgeleitet und an ein Modell übermittelt wird. Andererseits kann solch ein Modul aber auch die Fluglagedaten für eine eigene Mikrokooper-Steuerung liefern. Diese dienen dann nicht nur der recht komplexen Stabilisierung des Modells, sondern können auch für die Navigation mit herangezogen werden. Auch eine am Modell angebrachte Kamera kann so über eine mehrachsige und von Servoantrieben neig- und schwenkbare Halterung in einer bestimmten Lage gehalten werden. Schließlich ist auch das Aufzeichnen erfasster Bewegungsdaten mit solch einem Sensor möglich, z. B. zur Qualitätskontrolle bei empfindlichen Versandgütern. Hier bedarf es lediglich noch der Anbindung eines  $\mu$ C-Minimalsystems mit Speicherung auf EEPROM oder Flash-Speicher. Die hier verwendeten Sensoren sind in MEMS-Technik (micro-electro-mechanical systems) aufgebaut, im Kasten „Elektronikwissen“ wird die Funktionsweise näher erläutert.

### Schaltung

Die Spannungsversorgung des Moduls ist variabel ausgelegt und erfolgt über den Pin +UIN mit einer Gleichspannung von 2,5 bis 6 V. Dies ermöglicht es völlig problemlos, den 6D-BS beispielsweise in eine bestehende 3-V-, 3,3-V- oder 5-V-Schaltung zu integrieren.

Der im Schaltplan (Bild 2) mit IC1 gekennzeichnete Linearwandler versorgt dabei den Bewegungssensor IC2 mit konstanten 3 V. Wenn das Modul mit nur 2,5 V betrieben

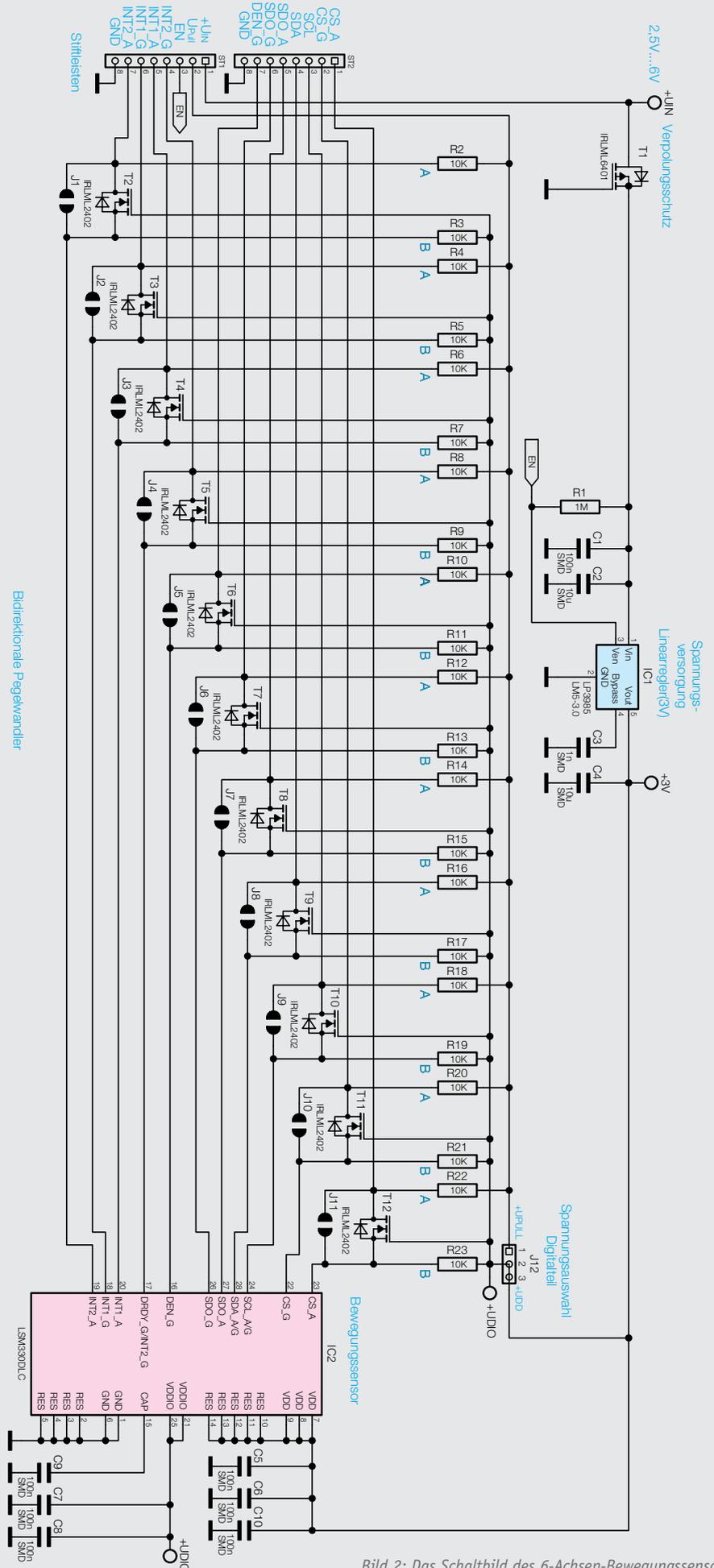


Bild 2: Das Schaltbild des 6-Achsen-Bewegungssensors

### Einstellungen der Spannungsversorgung

Tabelle 1

+UIN	UPull	J12	+UDIO
2,5–3 V	≥ +UIN	2–3	= +UIN
3–6 V	≥ 3V	2–3	= 3 V
2,5–3 V	1,8 V bis +UIN	1–2	= UPull
3–6 V	1,8–3 V	1–2	= UPull

wird, verringert sich zwar die Spannung am Ausgang des Linearreglers ein wenig, was aber kein Problem darstellt, da der LSM330DLC auch noch mit 2,4 V arbeiten kann. Die Schaltung ist mit dem MOSFET T1 gegen Verpolen der Betriebsspannung geschützt.

Obgleich der Bewegungssensor mit seinem Stromverbrauch von nur 10 mA im Messbetrieb bereits extrem sparsam ist, ermöglicht der Enable-Pin des Spannungsreglers IC1 diesen und damit auch den Bewegungssensor vollständig abzuschalten. Dafür ist der Pin EN des 6D-BS-Moduls direkt mit Masse zu verbinden bzw. dieser Pin über einen Open-Collector-Ausgang gegen Masse zu schalten. Im Normalfall bleibt der EN-Pin aber unbeschaltet.

Alle digitalen Ein- und Ausgänge sind mit bidirektionalen Pegelwandlern ausgestattet, sodass das Modul direkt an Schaltungen in einem weiten Spannungsbereich von 2,5 bis 6 V betrieben werden kann. Die jeweils aus einem MOSFET-Transistor und 2 Pull-up-Widerständen aufgebauten Pegelwandler konvertieren die Signalspannungen an den Datenleitungen. Damit sind, wenn gewünscht, alle Datenleitungen bereits mit 10-k $\Omega$ -Pull-up-Widerständen ausgestattet, die für den richtigen High-Pegel sorgen. Möchte man die im Schaltbild mit A gekennzeichneten ausgangsseitigen Pull-up-Widerstände R2, R4, R6, R8, R10, R12, R14, R16, R18, R20 und R22 nutzen, ist die gewünschte Spannung (z. B. 3, 3,3 oder 5 V) extern auf den Pin UPull zu schalten. UPull sollte jedoch immer größer/gleich +UIN bzw. 3 V (bei +UIN größer 3 V) sein, da sonst die bidirektionalen Pegelwandler nicht funktionieren.

Der Eingang DEN\_G kann genutzt werden, um die Datenerfassung des Gyroskops zu triggern. Dazu steht bei STM ein „Design Tip“ (DT0005) zur Verfügung [2].

### Auswahl der Digitalteil-Spannungsversorgung

Für den normalen Betrieb (+UIN = 2,5 bis 6 V) sind beim Lötjumper J12 die Kontakte 2 und 3 bereits werkseitig verbunden.

Mittels Lötjumper J12 lässt sich die Spannungsversorgung des digitalen Teils des LSM330 auswählen. Dabei stehen folgende 2 Varianten zur Auswahl:

- J12: 2–3      2,5 bis 3 V je nach +UIN
- J12: 1–2      1,8 bis 2,5 V

### Digitale Signale mit 1,8-V-Pegeln

Der 6D-BS ermöglicht es, neben der Spannungsversorgung für den analogen Teil (2,5 bis 6 V) den digitalen Teil mit einer Spannung ab 1,8 V zu betreiben. Dazu muss die Verbindung zwischen den Pins 2 und 3 getrennt und die Verbindung zwischen den Pins 1 und 2 geschlossen werden. So lässt sich der Chip auch von 1,8-V-Komponenten ansprechen, jedoch muss für den Analogteil trotzdem eine Spannung von 2,5 bis 6 V zur Verfügung gestellt werden.

Je nach Höhe der Spannungen an +UIN und UPull sind einige Bedingungen und Jumperstellungen zu beachten, siehe [Tabelle 1](#).

Die Pegelwandler können, wenn die Betriebsspannung des digitalen Teils (+UDIO) der des Zielsystems entspricht, über die Jumper J1 bis J11 überbrückt werden, sodass auch höhere Busgeschwindigkeiten möglich sind. Dazu sind die entsprechenden Spezifikationen im Datenblatt des LSM330DLC [5] heranzuziehen. Dies sollte allerdings nur erfolgen, wenn wirklich alle Bedingungen eingehalten werden, um keine Komponenten der beteiligten Schaltungen zu zerstören:

- +UIN 2,5 bis 6 V
- UPull = +UDIO (J12 1–2)
- UPull 1,8 V bis <+UIN mit UPull <3 V

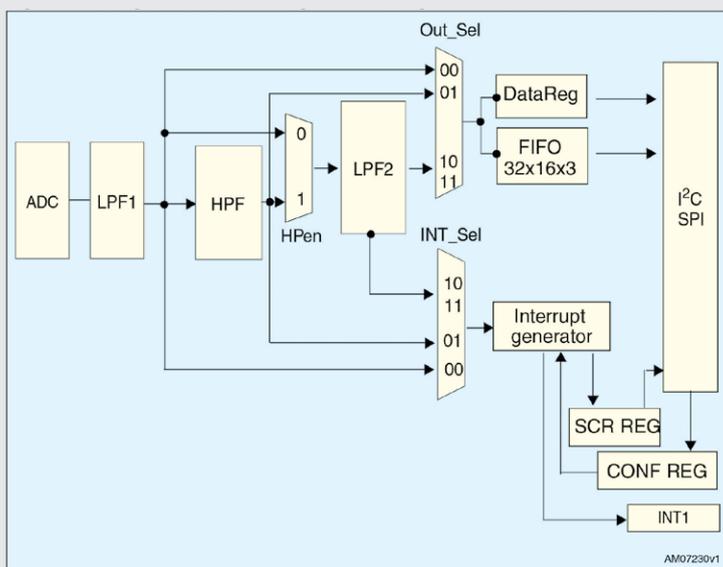


Bild 3: Das Blockschaubild des Gyroskops

Tabelle 2

### I<sup>2</sup>C-Adressen

#### Gyroskop

Pin: SDO_G	Gyro-Adresse
Low-Pegel	0xD4/0xD5
High-Pegel	0xD6/0xD7

#### Beschleunigungssensor

Pin: SDO_A	ACC-Adresse
Low-Pegel	0x30/0x31
High-Pegel	0x32/0x33

**Bitte unbedingt beachten:** Das Anlegen einer höheren Spannung an den digitalen Eingängen als 3 V (bei  $+U_{IN} > 3\text{ V}$ ) bzw.  $+U_{IN}$  (bei  $+U_{IN} < 3\text{ V}$ ) in diesem Modus führt zur Zerstörung des Moduls.

In dem Chip sind neben einem FIFO-Puffer mit 32 Datenblöcken je Achse auch noch Filter zur Aufbereitung der Daten und Interrupt-Auslösung vorhanden.

Aus dem Blockschaltbild des Gyroskops in Bild 3 ist ersichtlich, dass die Daten zusätzlich durch Hoch- und Tiefpassfilter aufbereitet werden können und daraus zusätzliche Interrupt-Signale generierbar sind, etwa beim Beschleunigungssensor eine Freifall- oder Bewegungserkennung.

Für die Datenkommunikation stehen wahlweise eine I<sup>2</sup>C-, eine 3-polige SPI- und eine 4-polige SPI-Schnittstelle auf dem 6D-BS-Modul zur Verfügung. In Bild 4 ist für jede dieser Schnittstellen eine mögliche

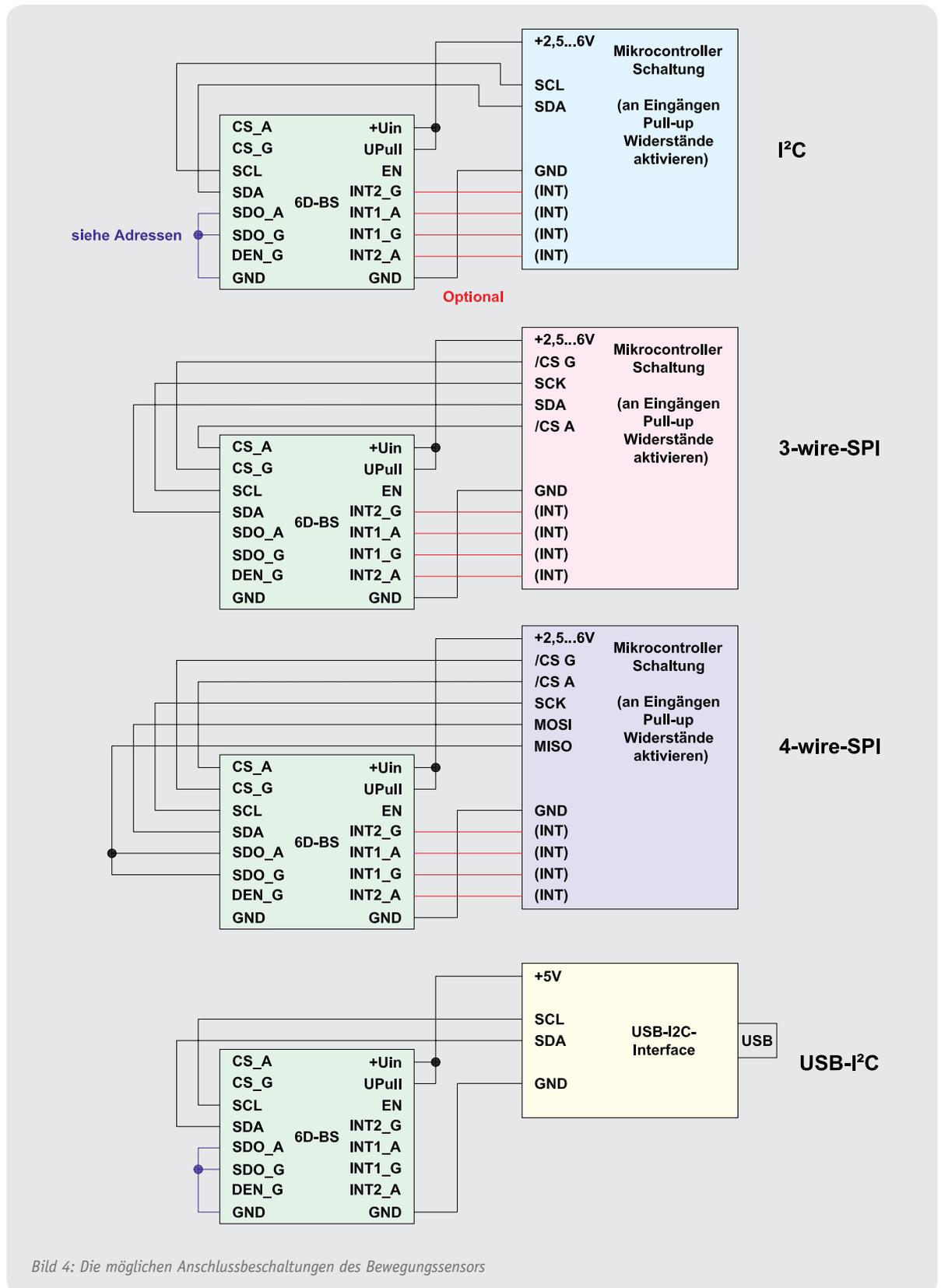


Bild 4: Die möglichen Anschlussbeschriftungen des Bewegungssensors

Anschlussbelegung dargestellt.

Der Chip ist intern aus 2 einzelnen Sensoren aufgebaut, was bei der Kommunikation mit dem Modul auch zu beachten ist: So stehen am SPI 2 getrennte Chip-Select-Signale zur Verfügung (Gyroskop: CS\_G und Beschleunigungssensor: CS\_A).

Für I<sup>2</sup>C kann bei den Sensoren jeweils aus 2 Adresspaaren gewählt werden, je nachdem wie die Anschlüsse SDO\_G und SDO\_A beschaltet sind. Die sich daraus ergebenden Adressen sind in [Tabelle 2](#) aufgelistet, dabei sind unbedingt die internen Pull-up-Widerstände in der Schaltung zu beachten!

## Nachbau

Der Einsatz des Bausatzes ist aufgrund der bereits vollständig ab Werk vorgenommenen SMD-Bestückung innerhalb weniger Minuten möglich. Lediglich 2 Stiftleisten sind noch nach einer Kontrolle auf Bestückungs- und Lötfehler anhand der in [Bild 5](#) gezeigten Platinfotos, Bestückungsplan und Stückliste für den Anschluss des Moduls einzulöten. [Bild 6](#) zeigt das so fertiggestellte Modul.

Anschließend kann das 6D-BS-Modul dank seiner Anschlüsse im 2,54-mm-Raster entweder direkt in ein Experimentier-Steckbord gesetzt oder über Buchsenleisten mit anderen Leiterplatten verbunden werden. Alternativ kann man natürlich auch Stecker oder Kabel direkt anschließen ([Bild 7](#)), wobei die Hinweise zur Inbetriebnahme zu beachten sind.

## Inbetriebnahme mit dem USB-I<sup>2</sup>C-Interface

Die schnellste Methode, aus dem Bewegungssensor erste Messdaten auszulesen, ist die Verwendung des USB-I<sup>2</sup>C-Interfaces von ELV [3]. Dafür ist das 6D-BS-Modul über die I<sup>2</sup>C-Verbindung wie in [Bild 4](#) gezeigt mit dem USB-I<sup>2</sup>C-Interface zu verbinden und dieses über ein USB-Kabel am PC anzuschließen. Die genaue Verwendung des USB-I<sup>2</sup>C-Interfaces und die Funktion einer I<sup>2</sup>C-Schnittstelle ist in der als Download verfügbaren USB-I<sup>2</sup>C-Dokumentation ausführlich beschrieben, weshalb an dieser Stelle nicht genauer darauf eingegangen werden soll.

### Widerstände:

10 k $\Omega$ /SMD/0603	R2–R23
1 M $\Omega$ /1 %/SMD/0603	R1

### Kondensatoren:

1 nF/SMD/0603	C3
100 nF/SMD/0603	C1, C5–C10
10 $\mu$ F/SMD/0805	C2, C4

### Halbleiter:

LP3985IM5-3.0/SMD	IC1
LSM330DLC/SMD	IC2
IRLML6401/SMD	T1
IRLML2402TRPBF/SMD	T2–T12

### Sonstiges:

Stiftleisten, 1x 8-polig, gerade, print ST1, ST2

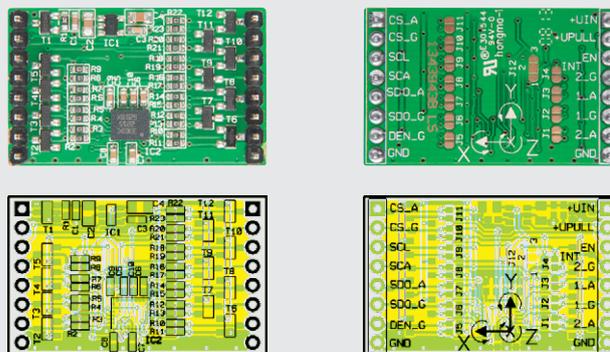


Bild 5: Platinfoto des komplett bestückten Bewegungssensormoduls mit dem zugehörigen Bestückungsplan, links Bestückungsseite, rechts die Unterseite der Platine mit den Lötbrücken für die Konfiguration

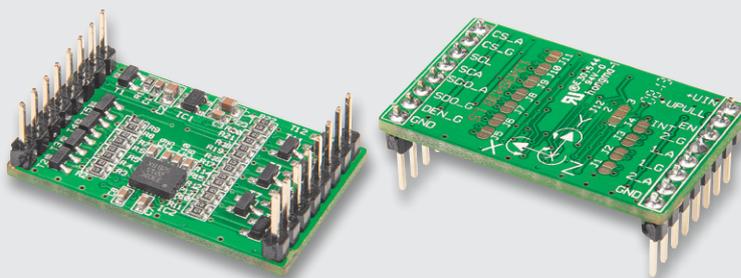


Bild 6: Das einsatzbereite Modul, fertig mit Stiftleisten bestückt.

## Erste Schritte mit HTerm und dem USB-I<sup>2</sup>C-Interface

Um erste Daten mit dem Sensor auszutauschen, empfiehlt sich der Einsatz eines Terminalprogramms, z. B. des zum freien Download verfügbaren „HTerm“ [4]. Zuerst müssen die Sensoren aktiviert werden, dazu sind die Datenrate und die gewünschten Achsen auszuwählen, beim Gyroskop



### Wichtige Hinweise zur Inbetriebnahme:

- Für einen ausreichenden Schutz vor elektrostatischen Entladungen ist der Einbau in ein geeignetes (nichtmetallisches) Gehäuse erforderlich, damit die Schaltung nicht durch eine Berührung mit den Fingern oder Gegenständen gefährdet werden kann.
- Wird das Gerät über Leitungen angeschlossen, dürfen diese eine Länge von 30 cm nicht überschreiten. Für die Datenleitungen gilt zudem, dass diese gegen auftretende Datenfehler möglichst kurz gehalten werden sollten. Dabei gilt: je höher die Bustaktrate, desto kürzer die Leitungen.
- Zur Gewährleistung der elektrischen Sicherheit muss es sich bei der speisenden Quelle um eine Sicherheits-Schutzkleinspannung handeln. Außerdem muss es sich um eine Quelle begrenzter Leistung gemäß EN 60950-1 handeln, die nicht mehr als 15 W liefern kann. Üblicherweise werden beide Forderungen von handelsüblichen Steckernetzteilen mit entsprechender Leistung erfüllt.
- Wegen der auf dem 6D-BS-Modul integrierten Pegelwandler darf die Busfrequenz maximal 125 kHz betragen, da es sonst zu Kommunikationsproblemen kommen kann.

muss zusätzlich das Power-down-Bit auf 1 gesetzt werden.

Dies geschieht beispielsweise mit folgender Zeichenfolge:

```
S30 20 77 P //ODR = 400 HZ alle Achsen aktiv
```

```
SD4 20 0F P //ODR = 95 Hz alle Achsen aktiv
```

Anschließend sind die Sensoren aktiv. Sendet man nun die folgende Zeichenfolge über das Terminal-Programm an das USB-I<sup>2</sup>C-Interface, liest dieses 6 Byte aus den Messwert-Registern des Bewegungssensors und gibt diese zum PC weiter:

```
S30 A8 R 06 P //Beschleunigungssensor
```

```
SD4 A8 R 06 P //Gyroskop
```

Um mehrere Register hintereinander auszulesen, ist das MSB in der Registeradresse zu setzen, erst dann wird intern die Registeradresse automatisch hochgezählt, so wie im folgenden Beispiel für die Registeradresse 0x28:

```
0x28 | 0x80 -> 0xA8
```

Dabei ist die Anordnung der niederwertigen und höherwertigen Bytes zu beachten. Denn wie in den Tabellen der Registerbeschreibungen (Tabelle 3 und 4) ersichtlich ist, erfolgt die Antwort in der Reihenfolge:

```
X_Low, X_High, Y_Low, Y_High, Z_Low, Z_High
```

Für die Auswertung sollten die Daten jedoch in folgende Anordnung gebracht werden:

```
X_High, X_Low, Y_High, Y_Low, Z_High, Z_Low
```

Da die genaue Beschreibung aller Funktionen des LSM330DLC den Umfang dieses Artikels sprengen würde, sei hier auf das ausführliche Datenblatt [5] zum LSM330DLC von STM hingewiesen, dessen genaue Lektüre für die Verwendung des 6D-BS unbedingt empfohlen wird.

### Erste Schritte mit der USB-I<sup>2</sup>C-Demosoftware und dem USB-I<sup>2</sup>C-Interface

Als weitere Hilfe zum zügigen Start mit dem 6D-BS-Modul und dem USB-I<sup>2</sup>C-Interface steht unter [3] das speziell an das 6D-BS-Modul angepasste „USB-I<sup>2</sup>C-Testtool“ (inkl. frei verfügbaren Sourcecodes in C#) zur Verfügung, mit dem das 6D-BS-Modul und die Kommunikation über einen I<sup>2</sup>C-Bus noch schneller verstanden werden kann.



Bild 7: So erfolgt der Anschluss des Sensormoduls an das USB-I<sup>2</sup>C-Interface.

Nachdem das 6D-BS-Modul wie beschrieben am USB-I<sup>2</sup>C-Interface angeschlossen, dieses mit dem PC verbunden und dort die Demosoftware „USB-I<sup>2</sup>C-Testtool.exe“ (ohne Programminstallation) gestartet wurde, ist im Block „Verbindung“ links oben der richtige COM-Port auszuwählen und die nebenstehende Taste „Verbinden“ zu drücken. Wechselt das darunter liegende rote Feld, wie in Bild 8 zu sehen, in ein grünes Feld, „steht“ die Kommunikation zum USB-I<sup>2</sup>C-Interface.

Die neben dem Block „Verbinden“ stehende I<sup>2</sup>C-Adresse ist für das 6D-BS-Modul irrelevant, da dieses Gerät nur die Auswahl zwischen jeweils 2 Adressen ermöglicht. Diese Auswahl erfolgt in den entsprechenden Programmregistern des „6D-BS“.

Register Address (hexadecimal)	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	type	description	Default setting		
00 - 1F	reserved									Reserved	NA		
20	ODR			LPen	Zen	Yen	Xen		rw	CTRL_REG1	0000 0111 b		
21	HPM		HPCF		FDS	HPCLICK	HPIS2	HPIS1	rw	CTRL_REG2	0		
22	I1_CLICK	I1_AOI1	0*	I1_DRDY1	I1_DRD2	I1_WTM	I1_OVERRUN	unused	rw	CTRL_REG3	0		
23	0	BLE	FS		HR	0*	0*	SIM	rw	CTRL_REG4	0		
24	BOOT	FIFO_EN	unused		LIR_INT1	D4D_INT1	0*	0*	rw	CTRL_REG5	0		
25	I2_CLICKen	I2_INT1	0*	BOOT_I2	0*	unused	H_LACTIVE	unused	rw	CTRL_REG6	0		
26	REFERENCE									rw	REFERENCE	0	
27	ZYXOR	ZOR	YOR	XOR	ZYXDA	ZDA	YDA	XDA	r	STATUS_REG	NA		
28	Low-Byte of X-axis acceleration data									r	OUT_X_L	NA	
29	High-Byte of X-axis acceleration data									r	OUT_X_H	NA	
2A	Low-Byte of Y-axis acceleration data									r	OUT_Y_L	NA	
2B	High-Byte of Y-axis acceleration data									r	OUT_Y_H	NA	
2C	Low-Byte of Z-axis acceleration data									r	OUT_Z_L	NA	
2D	High-Byte of Z-axis acceleration data									r	OUT_Z_H	NA	
2E	FIFO mode		TR							rw	FIFO_CTRL_REG	0	
2F	WTM	OVRN_FIFO	EMPTY	FSS						r	FIFO_SRC_REG	NA	
30	AOI	6D	ZHIE/ ZUPE	ZLIE/ ZDOWNE	YHIE/ YUPE	YLIE/ YDOWNE	XHIE/ XUPE	XLIE/ XDOWNE	rw	INT1_CFG_A	0		
31	0*	IA	ZH	ZL	YH	YL	XH	XL	r	INT1_SOURCE_A	NA		
32	0*	INT1_THS									rw	INT1_THS	0
33	0*	INT1_DURATION									rw	INT1_DURATION	0
38	unused		ZD	ZS	YD	YS	XD	XS	rw	CLICK_CFG	0		
39	unused	IA	DCLICK	SCLICK	Sign	Z	Y	X	r	CLICK_SRC	NA		
3A	0*	CLICK_THS									rw	CLICK_THS	0
3B	0*	TIME_LIMIT									rw	TIME_LIMIT	0
3C	TIME_LATENCY									rw	TIME_LATENCY	0	
3D	TIME_WINDOW									rw	TIME_WINDOW	0	
3E	unused	Act_THS									rw	Act_THS	0
3F	Act_DUR									rw	Act_DUR	0	

Tabelle 3: Register des Beschleunigungssensors

\*Dürfen nicht verändert werden

Register Address (hexadecimal)	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	type	description	Default setting		
00 - 1E	reserved									Reserved	NA		
0F	1	1	0	1	0	1	0	0	rw	WHO_AM_I_G	1101 0100 b		
10-1F	reserved									Reserved	NA		
20	ODR		BW		PD	Zen	Yen	Xen	rw	CTRL_REG1	0000 0111 b		
21	EXTRen	LVLen	HPM		HPCF				rw	CTRL_REG2	0		
22	I1_Ext1	I1_Boot	H_Lactive	PP_OD	I2_DRDY	I2_WTM	I2_Orun	I2_Empty	rw	CTRL_REG3	0		
23	BDU	BLE	FS		unused	0*	0*	SIM	rw	CTRL_REG4	0		
24	BOOT	FIFO_EN	unused	Hpen	INT1_Sel		Out_Sel		rw	CTRL_REG5	0		
25	REFERENCE									rw	REFERENCE	0	
26	TEMP									r	OUT_TEMP	NA	
27	ZYXOR	ZOR	YOR	XOR	ZYXDA	ZDA	YDA	XDA	r	STATUS_REG	NA		
28	Low-Byte of X-axis acceleration data									r	OUT_X_L	NA	
29	High-Byte of X-axis acceleration data									r	OUT_X_H	NA	
2A	Low-Byte of Y-axis acceleration data									r	OUT_Y_L	NA	
2B	High-Byte of Y-axis acceleration data									r	OUT_Y_H	NA	
2C	Low-Byte of Z-axis acceleration data									r	OUT_Z_L	NA	
2D	High-Byte of Z-axis acceleration data									r	OUT_Z_H	NA	
2E	FM			WTM						rw	FIFO_CTRL_REG	0	
2F	WTM	OVRN	EMPTY	FSS						r	FIFO_SRC_REG	NA	
30	AND/OR	LIR	ZHIE	ZLIE	YHIE	YLIE	XHIE	XLIE	rw	INT1_CFG	0		
31	0*	IA	ZH	ZL	YH	YL	XH	XL	r	INT1_SOURCE_A	NA		
32	unused	X Threshold high-byte									rw	INT1_THS_XH	0
33	X Threshold low-byte									rw	INT1_THS_XL	0	
34	unused	Y Threshold high-byte									rw	INT1_THS_YH	0
35	Y Threshold low-byte									rw	INT1_THS_YL	0	
36	unused	Z Threshold high-byte									rw	INT1_THS_ZH	0
37	Z Threshold low-byte									rw	INT1_THS_ZL	0	
38	WAIT	DURATION									rw	INT1_DURATION	0

Tabelle 4: Register des Gyroskops

\*Dürfen nicht verändert werden

Im Register „Allgemeine USB-I2C-Befehle“ können die Einstellungen des USB-I2C-Interface ausgelesen und gegebenenfalls in den Auslieferungszustand zurückgesetzt werden, während im Programmregister „6D-BS“ (siehe Bild 9) für die beiden unterschiedlichen Sensortypen „Gyro“ und „Acceleration“ jeweils ein Programmregister mit Einstellungen und eines mit Daten vorhanden ist.

Bei den Einstellungen lassen sich die grundlegenden Konfigurationsparameter der Sensoren festlegen bzw. auch auslesen.

Als Erstes ist unter den Einstellungen, wie bereits im Abschnitt Adressauswahl erläutert, die Adresse des

Sensors auszuwählen. Danach lassen sich verschiedene Einstellungen zu Datenrate, Ausgabeformat, Messbereich bzw. Empfindlichkeit und chipinterne digitale Filter konfigurieren. Hierbei ist zu beachten, dass die Konfiguration in einen RAM-Bereich geschrieben wird und daher nach einem Spannungseinbruch (Abschalten) auf die Grundkonfiguration zurückgesetzt ist.

Im Register „Daten“ kann eine zyklische Abfrage gestartet und der Status aus dem Status-Register 0x27 ausgelesen werden. Die Ausgabe der Daten erfolgt auf der rechten Seite als Dezimalwert sowie auf der linken Seite in Form eines Verlaufsgraphen. Bild 10 zeigt ein Beispiel hierfür. Hat man sich über dieses Programm

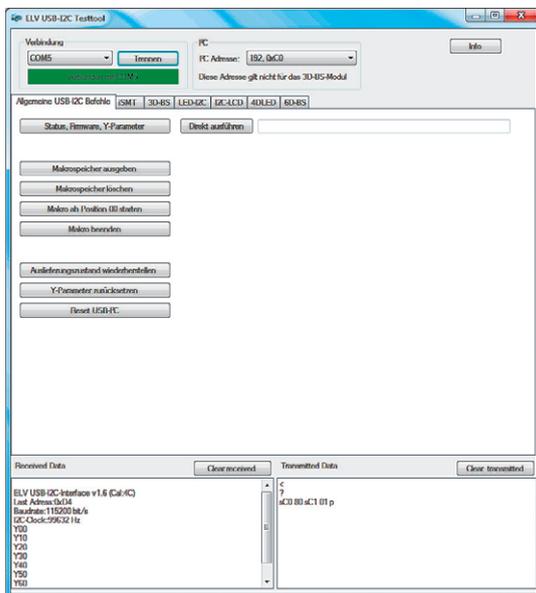


Bild 8: Das grün eingefärbte Verbindungsfeld zeigt eine funktionierende Verbindung zum USB-I2C-Interface an. Unten links erscheinen die empfangenen Daten.

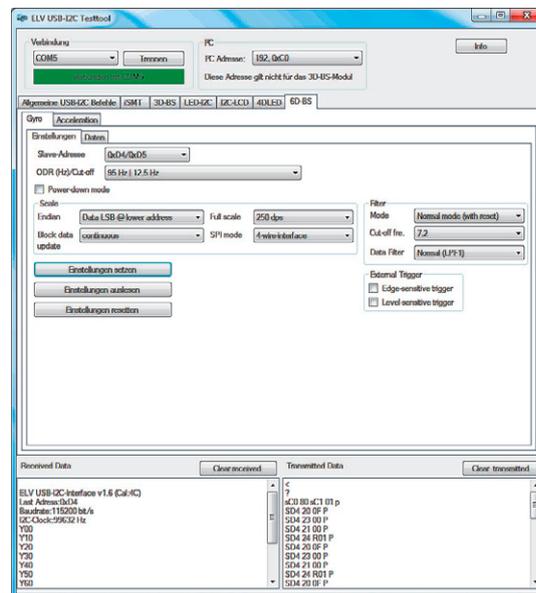


Bild 9: Das Programmregister „Gyro“ mit Einstellungen und Daten des Gyroskops

mit der Konfiguration und Auswertung des Sensors bekannt gemacht, steht der Einbindung in eigene Applikationen nichts mehr im Wege. **ELV**



Weitere Infos:

- [1] Produktseite 6D-BS: Webcode #1254
- [2] Design Tip DT0005: [www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/design\\_tip/DM00067982.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/design_tip/DM00067982.pdf)
- [3] USB-I<sup>2</sup>C-Interface (Best.-Nr. 08 41 23): [www.elv.de/output/controller.aspx?cid=74&detail=10&detail2=24012](http://www.elv.de/output/controller.aspx?cid=74&detail=10&detail2=24012)
- [4] [www.der-hammer.info/terminal/](http://www.der-hammer.info/terminal/)
- [5] Datenblatt LSM330DLC: [www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00037200.pdf](http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00037200.pdf)

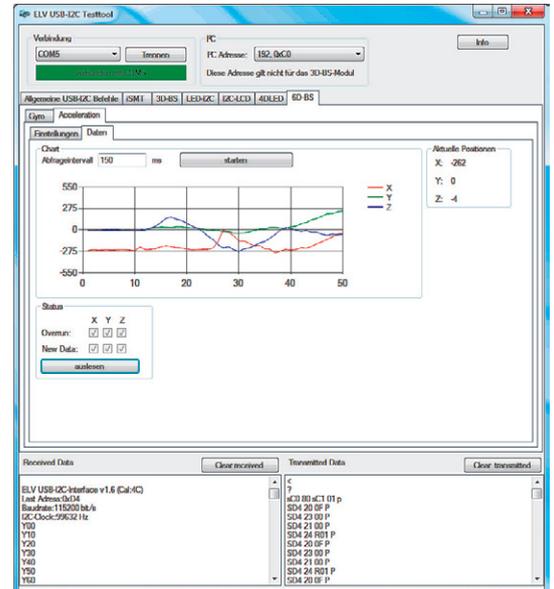
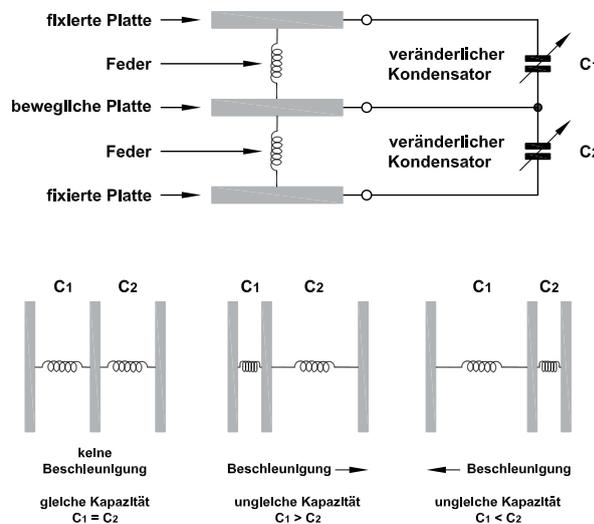


Bild 10: Die Ausgabe der Daten erfolgt als Verlaufgraph und dezimal.



Wie funktionieren MEMS-Sensoren?

MEMS-Sensoren bestehen zum einen aus elektronischer Logik, zum anderen aus mikromechanischen Strukturen, z. B. Federn aus Silizium, die nur ein Tausendstel Millimeter dick sind.

Ein Beschleunigungssensor ist z. B. aus 3 kapazitiven Platten aufgebaut, dabei werden die Platten übereinander angeordnet, die beiden äußeren sind fest und die mittlere mittels Federn beweglich gelagert. Der Abstand zwischen den Platten bestimmt die Kapazität dieser Kondensatoren.

Wirken nun beschleunigende Kräfte auf diese Platten, verändert sich der Abstand zueinander, welcher eine Kapazitätsänderung verursacht. Diese Kapazitätsänderung kann von der im Chip integrierten Elektronik erfasst und zum Auslesen aufbereitet werden.

Beim Gyroskop werden mikromechanische Strukturen in Schwingung gebracht, wobei eine Drehbewegung durch die Corioliskraft Einfluss auf die Schwingung nimmt und so z. B. kapazitive Änderungen verursacht.

Als Beispiel betrachten wir den Aufbau mittels einer Stimmgabel, aber auch andere geometrische Formen sind denkbar.

Die Stimmgabel wird in Schwingung versetzt, wirkt dann eine Drehbewegung auf die Stimmgabel, bewegen sich die Zinken der Stimmgabel nicht nur aufeinander zu, sondern werden durch die Corioliskraft seitlich zueinander bewegt, wie in der Skizze oben zu sehen.

Die Stimmgabel wird zwischen 2 feste Platten gelegt, sodass die seitliche Bewegung dann wie beim Beschleunigungssensor über Kapazitätsänderung erfasst und ausgewertet werden kann.