



Anwendungsbeispiel,  
Lieferung ohne  
Befestigungsmaterial

# Kippalarm!

## ELV Erschütterungssensor Outdoor für LoRaWAN® ELV-LW-OMO

Gerade im Außenbereich gibt es viele Dinge, deren Zustand man auf Beschleunigung, Erschütterung oder Lageänderung hin kontrollieren möchte. Das klassische Beispiel ist ein Abfalleimer, dessen Leerung man überwachen will. Ist die Müllabfuhr da gewesen, kann man so z. B. zeitnah die Abfallbehälter wieder an ihren Platz zurückholen. Der Bausatz ELV Erschütterungssensor für LoRaWAN® eignet sich für diesen und viele ähnliche Anwendungsfälle sehr gut. Da er in einem PET-Rohling untergebracht ist und mit einer Micro-Batterie betrieben wird, ist er zum einen gegen äußere Einflüsse geschützt und zum anderen sehr langlebig. Für selbst angefertigte Gerätehalterungen im 3D-Druck sind kostenlos Dateien zum Download verfügbar.

### Beschleunigung, Erschütterung und Lage

Das Prinzip der Beschleunigung ist uns allen vertraut, auch wenn wir es im täglichen Leben gar nicht bewusst spüren. Die Erdbeschleunigung mit ihrer in Newton (N) ausgedrückten Größe Kraft hält uns nämlich davon ab, aufgrund unseres Körpergewichts vom Boden abzuheben. So werden Jogging, Bergsteigen oder Fliegen zur Herausforderung, weil man diese Kraft immer wieder überwinden muss.

Der in dem Bausatz ELV Erschütterungssensor für LoRaWAN® ELV-LW-OMO (Bild 1) eingesetzte Beschleunigungssensor Bosch Sensortec BMA400 kann die Beschleunigung in allen drei Achsen (x, y, z) messen und daraus entsprechende Schlussfolgerungen ziehen. Erfährt z. B. eine Achse eine Beschleunigung, kann man von einer Bewegung in dieser Richtung ausgehen und dieses Ereignis programmtechnisch auswerten.

Entsprechend kann man auch eine Erschütterung detektieren bzw. eine bestimmte Lage feststellen. Für die Lageermittlung ist übrigens keine Bewegung notwendig. Das wird klar, wenn man weiß, dass die mittlere Erdbeschleunigung auf Meereshöhe  $9,81 \text{ m/s}^2$  beträgt. Ein

Mit einem Klick  
direkt zum Bausatz



ELV-LW-OMO

Artikel-Nr.  
158753

Bausatz-  
beschreibung  
und Preis:



www.elv.com



### Infos zum Bausatz ELV-LW-OMO



**Schwierigkeitsgrad:**  
leicht



**Bau-/Inbetriebnahmezeit:**  
ca. 0,5 h



**Besondere Werkzeuge:**  
Bohrer 7 mm



**Lötferfahrung:**  
nein



**Programmierkenntnisse:**  
nein



**Elektrofachkraft:**  
nein

Körper mit einer Masse von 1 kg erfährt dort also eine Gewichtskraft von 9,81 N ( $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$ ).

Befindet sich also der zu überwachende Körper im Ruhezustand und vom Sensor aus gesehen in der z-Achse genau rechtwinklig zum Erdboden, so wird in dieser Ebene genau die Erdbeschleunigung gemessen. Entsprechend verändern sich die Werte, wenn sich die Lage verändert, die man dann entsprechend auswerten kann (s. Lagebestimmung).

Ausgehend von diesen Möglichkeiten durch den Einsatz eines Beschleunigungssensors ergeben sich somit eine Menge von Anwendungsfällen, wie die eingangs erwähnte Detektierung des Leerens der Mülltonne über das Messen von Erschütterungen z. B. an Futterstellen oder durch das Bewegen von Klappen, Türen oder anderen beweglichen Dingen.

## Funktionsweise eines Beschleunigungssensors

### MEMS (Miniatur-Elektromechanische Systeme)

Elektromechanische Systeme sind so konzipiert, dass mechanische Einwirkungen wie Beschleunigung, Rotation oder Luftdruck einen Einfluss auf die elektrischen Eigenschaften des Systems haben (Bild 2). Diese können gemessen und vom Sensor verstärkt und ausgegeben werden.

Innerhalb des Sensors befinden sich pro Achse (x, y, z) zwei kammförmige Strukturen, deren Zähne ineinandergreifen. Eine dieser Strukturen ist fest am restlichen Silizium des Sensors angebracht, die andere ist in der Achse senkrecht zu den „Kammzähnen“ beweglich. Die beiden Kämmen können als Kondensator betrachtet werden. Die Formel für die Kapazität eines Kondensators lautet:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

Wobei  $d$  der Abstand der Kondensatorplatten ist. Wenn also die Permittivität ( $\epsilon_r$ ) und die Fläche ( $A$ ) der Leiterplatten gleich bleiben ( $\epsilon_0$  ist die Elektrische Feldkonstante) und sich nur  $d$  ändert, dann muss die Kapazität bei kleiner werdendem Abstand steigen – und umgekehrt. Wenn der Sensor beschleunigt wird, ändert sich der Abstand zwischen den beiden Platten aufgrund der Massenträgheit des beweglichen Teils des Sensors. Diese Kapazitätsänderungen können elektrisch gemessen werden.

### Lagebestimmung

Eine Beschleunigung wirkt immer auf den Sensor: die Erdbeschleunigung. Durch die Tatsache, dass der Sensor die Beschleunigung in drei Achsen misst, kann die Beschleunigung, die der Sensor in Ruhelage erfährt, als dreidimensionaler Vektor ( $\mathbf{a}$ ) dargestellt werden (Bild 3).

So kann ein Vektor für die Ausgangsposition definiert werden, und mithilfe der Formel

$$\cos(\theta) = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|}$$

kann der Winkel zwischen dem aktuellen Ausrichtungsvektor und diesem Referenzvektor berechnet werden.

### Anwendungsfelder

Beschleunigungssensoren können Erschütterungen oder Beschleunigungen feststellen. Ein 3-Achsen-Beschleunigungssensor wie der verwendete Bosch Sensortec BMA400 kann indirekt auch die Lage des Sensors relativ zur Erdbeschleunigung feststellen. Derartige Sensoren werden in Smartphones verwendet, um festzustellen, ob sich das Gerät im Porträt oder Querformat befindet, oder in Smartwatches, um festzustellen, ob der Träger gerade auf das Ziffernblatt schaut. Ebenfalls nutzen Smartwatches einen solchen Erschütterungssensor als Schrittzähler.



Bild 1: Der Bausatz ELV Erschütterungssensor für LoRaWAN® ELV-LW-OMO

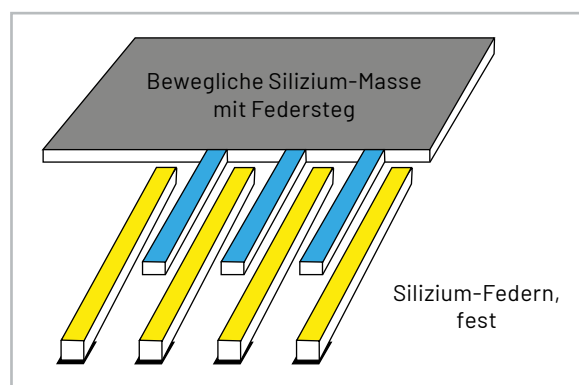


Bild 2: Schematische Darstellung MEMS-Beschleunigungssensor

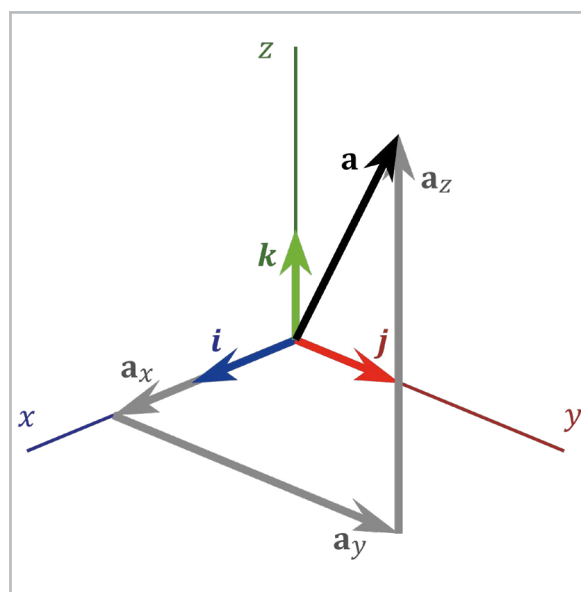


Bild 3: Gravitationsvektor aufgeteilt auf die x-, y- und z-Komponenten  
Quelle: commons.wikimedia.org/wiki/File:3D\_Vector.svg; User:Acxd



Da der PET-Rohling nur Platz für eine Micro-Batterie (LR03/AAA) bietet, muss die Nennspannung der Batterie von 1,5 V hochgesetzt werden. Der Mikrocontroller arbeitet beispielsweise erst ab 1,8 V. Deshalb wird ein Boost-Converter (Aufwärtsregler) eingesetzt. Der MAX17225 zeichnet sich durch einen sehr geringen Leckstrom aus und arbeitet am Eingang Pin 5 mit einer Spannung von 0,4 V bis 5,5 V. Am Ausgang von U1 ist eine Spannung von 3,0 V eingestellt. Die Ausgangsspannung lässt sich mithilfe der Widerstände an Pin 4 einstellen. Im Datenblatt des MAX17225 findet sich eine Tabelle mit Ausgangsspannungen und den dazugehörigen Widerstandswerten. Für 3 V entspricht dies 133 k $\Omega$ . Durch die Reihenschaltung von R2 und R3 wird dieser Wert unter Berücksichtigung der Bauteiltoleranzen erreicht.

Der Verpolungsschutz wird über den MOSFET Q1 und den Widerstand R5 realisiert. RT1 dient als selbstheilende Sicherung in Form eines PTCs. Bei einem erhöhten Stromfluss erwärmt sich das Bauteil, womit der Widerstand ansteigt und den Strom begrenzt. Hinter Q1 wird zudem die Batteriespannung vom Mikrocontroller über Pin 3 abgefragt. Die per ADC gemessene Spannung wird bei Uplinks in das LoRaWAN<sup>®</sup>-Netzwerk übertragen.

Die Micro-Batterie wird in den Batteriehalter BT1 eingelegt.

### Lieferumfang

Die Platinenfotos und Bestückungsdrucke sind in Bild 5 zu sehen, Bild 6 zeigt den Lieferumfang des ELV-LW-OM0.

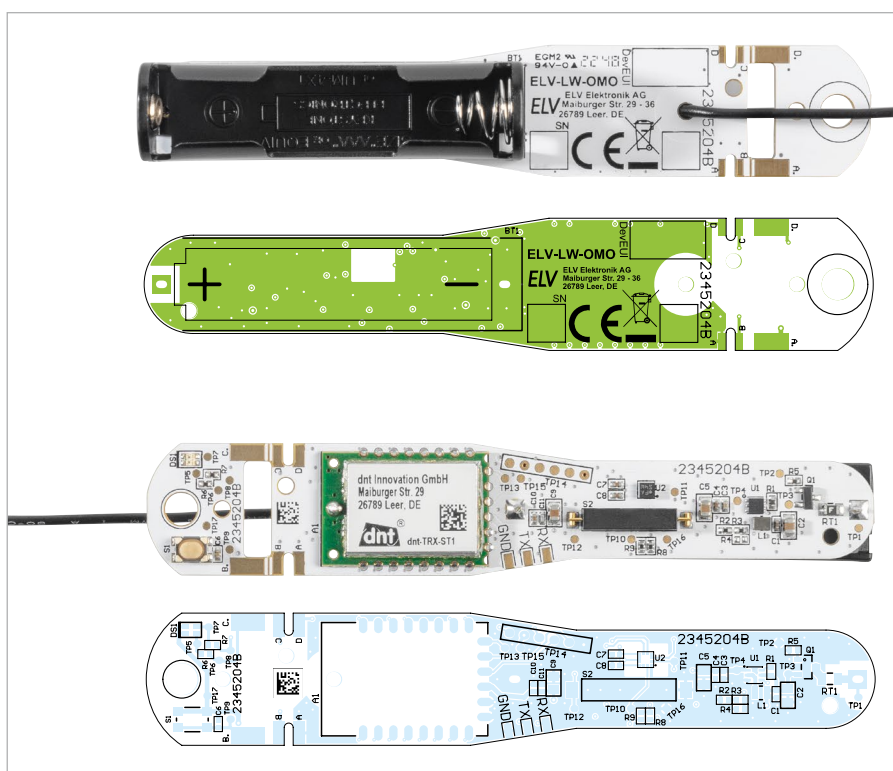


Bild 5: Platinenfotos und Bestückungsdrucke des ELV-LW-OM0

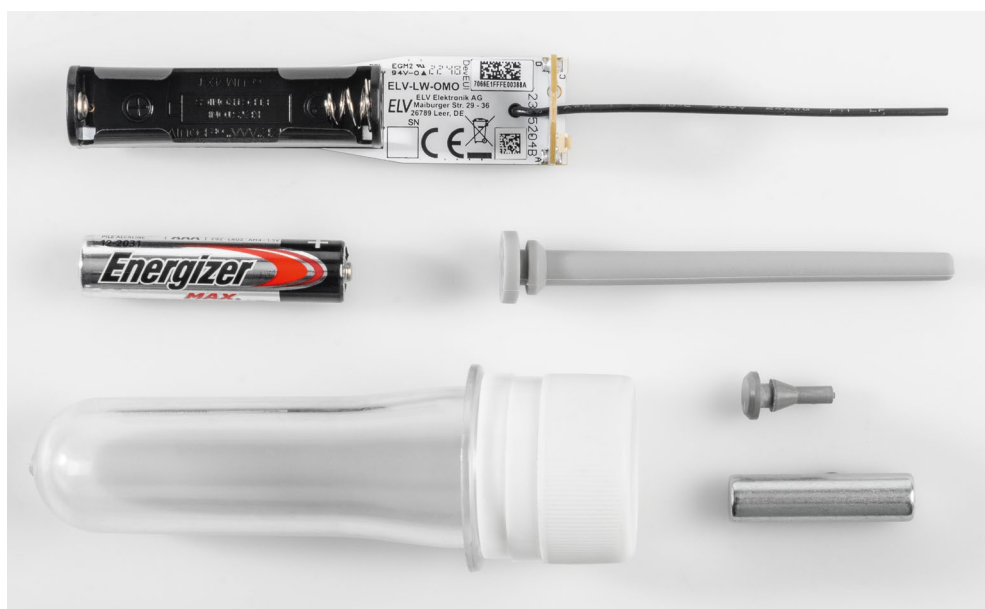


Bild 6: Lieferumfang des ELV-LW-OM0

## Zusammenbau

In den [Schritten 1 bis 9](#) ist der Zusammenbau zu sehen.

### Schritt 1

PET-Rohling öffnen

### Schritt 2

Loch von innen mit niedriger Drehzahl des Bohrers in den Deckel des PET-Rohlings bohren (7 mm), Loch versäubern bzw. entgraten



### Schritt 3

Antennenkopf (grau) durch das Loch führen, bis die Lippe einrastet



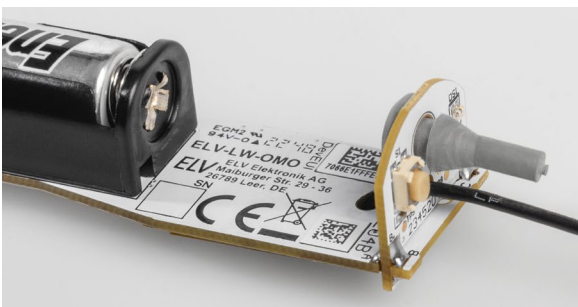
### Schritt 4

Deckel von innen mit Heißkleber/Silikon/Elektronikkleber oder Ähnlichem abdichten



### Schritt 5

Den kleinen grauen Abstandshalter von der Seite des Batteriehalters durch das Loch der abgewinkelten Platine fädeln und durchziehen, bis die Gummilippe einrastet



### Schritt 6

Das Gerät mithilfe der beigelegten EUIs und Schlüssel (JoinEUI, DevEUI und AppKey) anhand der Anleitung der ELV-LoRaWAN®-Base [\[2\]](#) bei einem der LoRaWAN®-Netzanbieter anmelden

### Schritt 7

Batterie einlegen

### Schritt 8

Antenne in den Antennenkopf einfädeln



### Schritt 9

Deckel zuschrauben



## Optional: 3D-Druck-Halter

Um das Gerät im PET-Rohling an seinem Einsatzort anzubringen, stehen zwei 3D-Druckfiles für Befestigungen im Downloadbereich auf der Produktseite [\[1\]](#) zur Verfügung.

Wenn diese Befestigungen ([Bild 7](#)) ausgedruckt wurden, kann der PET-Rohling mit dem Gerät in diese eingefügt werden.

Für Anwendungen im Außenbereich ist es ratsam, ein UV- und kältebeständiges Filament wie ASA oder Polyamid für die Befestigungen zu verwenden.



Bild 7: 3D-gedruckte Halterungen für den ELV-LW-0M0

Tabelle 1

## Funktionen der Schalter

	Button S1	Magnetschalter S2
Kurze Betätigung	LoRaWAN®-Paket abschicken	LoRaWAN®-Paket abschicken
Lange Betätigung	Werksreset	Entschärfen/Scharfschalten

## Integration in eine Netzwerkinfrastruktur

Der Bausatz kann nun in eine Netzwerkinfrastruktur wie z. B. The Things Network (TTN) oder Helium integriert werden. Das Vorgehen zur Einbindung in das TTN ist in dem Grundlagenbeitrag zur Experimentierplattform ELV-LW-Base beschrieben [2].

## Bedienung

Zur direkten Interaktion mit dem ELV-LW-OMO hat das Gerät einen Button (S1) und einen Magnetschalter (S2) verbaut. Der Magnetschalter dient zur Bedienung des Geräts, wenn es innerhalb des PET-Rohlings verbaut ist. Jeder dieser Schalter reagiert auf eine kurze (0–5 s) und lange (5–8 s) Betätigung (s. Tabelle 1). Betätigungen länger als 8 s werden ignoriert.

Die Funktion einer kurzen Betätigung des Buttons oder des Magnetschalters ist gleich, damit der Outdoor-Motion-Sensor auch zu bedienen ist, ohne dass das Gehäuse geöffnet werden muss. Bei kurzer Betätigung wird ein LoRaWAN®-Paket verschickt, das den aktuellen Status des Geräts darstellt. Dies kann zur Abfrage der Funktion oder zum Empfangen eines eingereichten Downlink-Pakets dienen.

Bei der langen Betätigung des Buttons wird das Gerät auf die Standardeinstellungen zurückgesetzt. Bei langer Betätigung des Magnetschalters kann das Gerät zeitweise deaktiviert werden. Das Zeitfenster zur langen Betätigung wird vom ELV-LW-OMO durch ein gelbes Blinken der Duo-LED DS1 signalisiert. So kann das Gerät an den Anwendungsort transportiert werden, ohne dass der Transport LoRaWAN®-Traffic auslösen würde.

## Uplink

Je nachdem, welche Informationen übermittelt werden sollen, wird nach einem Header, in dem die aktuelle Batteriespannung steht, eine unterschiedliche Nachricht versendet (s. Tabelle 2).

Der Payload Parser kann im Downloadbereich der Artikeldetailseite [1] des ELV-LW-OMO heruntergeladen werden.

Tabelle 2

## Bytes und Informationen im Uplink

Byte	Geräteinfo-Frame*	Statusinformationen	Beschleunigungsdaten	Konfigurationsdaten	Fehlermeldung
0	Batteriespannung in 10 mV	Batteriespannung in 10 mV	Batteriespannung in 10 mV	Batteriespannung in 10 mV	Batteriespannung in 10 mV
1	0x00	0x01	0x02	0x03	0x04
2	Sendegrund	Sendegrund	Sendegrund	Sendegrund	Sendegrund
3	Bootloader Version Major	Bewegungsdaten Bit 0: Beschleunigung Bit 1: Winkel < $\alpha$ Bit 2: $\alpha$ < Winkel > $\beta$ Bit 3: Winkel < $\beta$	Bewegungsdaten Bit 0: Beschleunigung Bit 1: Winkel < $\alpha$ Bit 2: $\alpha$ < Winkel > $\beta$ Bit 3: Winkel < $\beta$	Gerätemodus	Fehlercode
4	Bootloader Version Minor	Winkel im Verhältnis zum Referenzvektor		Winkel zur Referenzlage	
5	Bootloader Version Patch	Anzahl der Aktivierungen, die kein Paket ausgelöst haben		Bewegungs-empfindlichkeit	
6	Firmware Version Major			Auslösewinkel $\alpha$	
7	Firmware Version Minor			Auslösewinkel $\beta$	
8	Firmware Version Patch			Auslösewinkel Hysterese	
9	Hardware Version			Sendeperiode	
10					
<b>Wert in Byte 2</b>		Grund der Sendung			
0		Button gedrückt			
1		Zyklischer Sendeintervall abgelaufen			
2		Angeforderte Konfigurationsdaten			
3		Erfolgreich dem LoRaWAN®-Netzwerk hinzugefügt			
4		Beschleunigung festgestellt, wenn der entsprechende Gerätemodus aktiv ist			
5		Neigung festgestellt, wenn der entsprechende Gerätemodus aktiv ist			
6		Andauernde Beschleunigung			
7		Inaktivität			
8		Fehler			

\*Bei der ersten Sendung in das Netzwerk schickt der ELV-LW-OMO das Datenpaket zu Bootloader und Firmware.

## Konfigurationsmöglichkeiten des ELV-LW-OMO im Downlink

ID	Einstellung	Wert	Standardeinstellung
0x00	Gerätemodus	0x01: Erschütterung 0x02: Lageänderung 0x03: Erschütterung und Lageänderung 0x04: Entschärft	0x03
0x01	Messbereich	0: 2 g 1: 4 g 2: 8 g 3: 16 g	0x01
0x02	Empfindlichkeit	1-255 * 0,008 g (nicht Gramm, Erdbeschleunigung)	0x40
0x03	Auslöswinkel $\alpha$	1-180°	0x14 (20°)
0x04	Auslöswinkel $\beta$	1-180°	0x4B (75°)
0x05	Auslöswinkel Hysterese	0 - Deaktiviert 1-180°	0x02 (2°)
0x06	Updatezyklus	6 Minuten Inkremente x Einstellungswert (1-255) 0: keine zyklischen Updates	24h (0xF0)
0x07	Referenzvektor-Update	Zweites Byte wird ignoriert	0x00
0x08	Konfigurationsdaten-anforderung	Zweites Byte wird ignoriert	0x00

Tabelle 3

### Downlink (Konfiguration)

Die Konfiguration des Geräts ist per LoRaWAN®-Downlink vorzunehmen (s. Tabelle 3). Hier werden zwei Byte-Tupel aneinandergereiht, diese Tupel bestehen aus der ID der Einstellung und darauffolgend dem gewünschten Einstellungswert.

#### Erklärung

##### Gerätemodus:

Dieser Wert wird bitweise gesetzt, sodass die beiden Modi parallel verwendet werden können. Das bedeutet, dass die einzelnen Bits unabhängig voneinander überprüft werden und der Betriebsmodus entsprechend des Werts des einzelnen Bits gesetzt wird.

- Wenn Bit 0 gesetzt ist:  
Der Modus Erschütterung bedeutet, dass ein LoRaWAN®-Paket verschickt wird, wenn die Beschleunigung des Sensors einen Schwellwert überschreitet.
- Wenn Bit 1 gesetzt ist:  
Der Modus Lageänderung bedeutet, dass ein LoRaWAN®-Paket versendet wird, wenn das

Gerät von dem Ausgangszustand einen Winkel  $\alpha$  überschreitet. Ein weiteres Paket wird versendet, wenn der Winkel  $\beta$  ebenfalls überschritten wird.

##### Messbereich:

Über diesen Wert wird die Messgenauigkeit bestimmt. Der Sensor kann Werte von -2047 bis +2048 annehmen. Je nach Einstellung können unterschiedlich große Bandbreiten in diesem Wertebereich dargestellt werden. Eine höhere Bandbreite bedeutet an dieser Stelle eine niedrigere Genauigkeit.

##### Empfindlichkeit:

Der Schwellwert, der bei Beschleunigung überschritten werden muss, um ein LoRaWAN®-Paket im Erschütterungsmodus auszulösen

##### Auslöswinkel $\alpha$ , $\beta$ und Hysterese:

Die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  sind die Parameter für den Lageänderungsmodus,  $\alpha$  und  $\beta$  sind hierbei die beiden Schwellwerte der Abweichung vom Referenzvektor (Ruhelage). Um zu vermeiden, dass bei einer Lage des Geräts exakt auf den Schwellwerten ständig Pakete losschickt werden, wird ein zusätzlicher Hysteresewert definiert (Bild 8).

##### Updatezyklus:

Das Gerät sendet auch bei ausbleibender Aktivität zyklisch seinen aktuellen Zustand, unter anderem damit man den Batteriestand überwachen kann. Dieser kann in 6-Minuten-Inkrementen bestimmt werden.

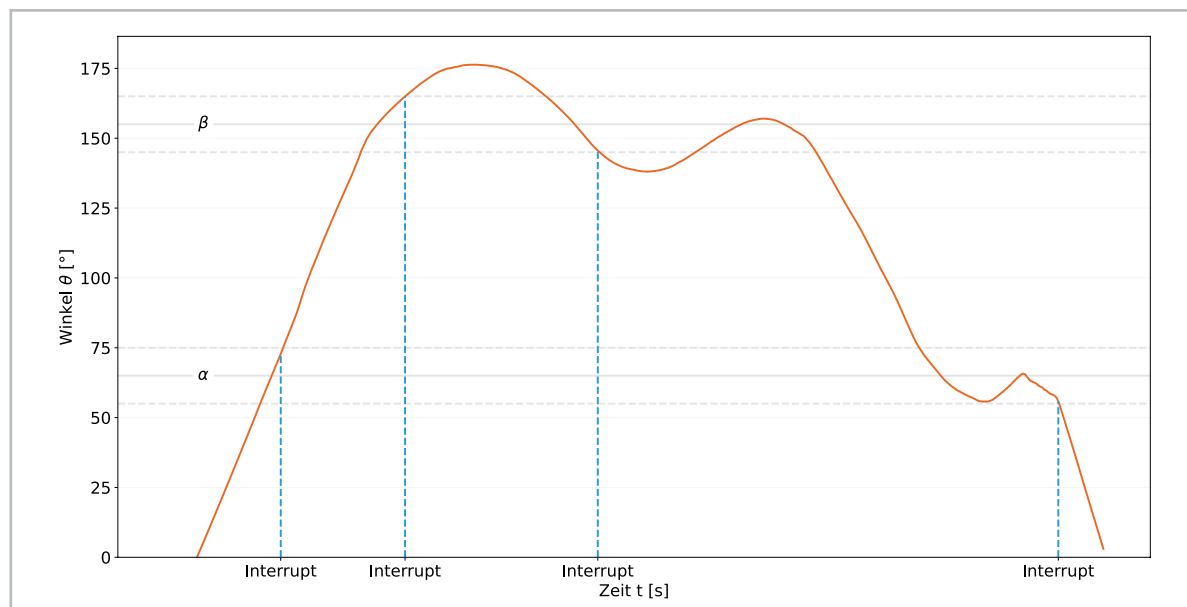


Bild 8: Darstellung der Auswirkung des Hysteresewerts auf die Interrupt-Auslösung

**Referenzvektor-Update:**

Schickt eine Anweisung an das Gerät, die aktuelle Lage als Nullpunkt für die Lagebestimmung zu definieren. Wenn ein solches Paket als Downlink eingereicht wird, wird es ab der nächsten Sendung verwendet. Dieses Tupel ignoriert das zweite Byte.

**Konfigurationsdatenanforderung:**

Wenn dieses Tupel geschickt wird, wird das Versenden eines Uplink-Pakets mit den aktuellen Konfigurationen veranlasst. Dieses Tupel ignoriert das zweite Byte.

**Anwendungsbeispiele****Abfallbehälter**

Ein möglicher Anwendungsfall für den ELV-LW-OMO ist die Überwachung von Abfallbehältern am Leertag. Hierbei kann das Gerät mit den 3D-Druck-Halter an dem Behälter angebracht werden. Durch eine passende Einstellung (Tabelle 4) von  $\alpha$  und  $\beta$  kann erkannt werden, ob der Behälter umgefallen ist oder entleert wurde.

**Widerstände:**

0 $\Omega$ /SMD/0402	R1
220 $\Omega$ /SMD/0402	R6
390 $\Omega$ /SMD/0402	R7
4,7 k $\Omega$ /SMD/0402	R8, R9
10 k $\Omega$ /SMD/0402	R5
33 k $\Omega$ /SMD/0402	R2
100 k $\Omega$ /SMD/0402	R3
PTC/0,5 A/6 V/SMD	RT1

**Kondensatoren:**

100 pF/50 V/SMD/0402	C11
1 nF/50 V/SMD/0402	C6
10 nF/50 V/SMD/0402	C3
100 nF/16 V/SMD/0402	C1, C4, C7, C8, C10
4,7 $\mu$ F/16 V/SMD/0805	C9
10 $\mu$ F/16 V/SMD/0805	C2, C5

**Halbleiter:**

MAX17225ELT/SMD	U1
BMA400/SMD	U2
RLML6401/SMD	Q1
Duo-LED/rot/grün/SMD	DS1

**Sonstiges:**

Funkmodul dnt-TRX-ST1	A1
Speicherdrossel, SMD, 2,2 $\mu$ H/1,5 A	L1
Taster mit 0,9-mm-Tastknopf, 1x ein, SMD, 2,5 mm Höhe	S1
Reed-Schalter, 1 Form A (NO), 1x ein, SMD	S2
Batteriehalter für 1x LR03	BT1
Aufkleber mit DevEUI-Adresse, Matrix-Code PET-Flaschenrohling, transparent, mit weißem Deckel	
Antennenkopf, grau	
Gummi-Gehäusefuß, grau, flachzylindrisch	
Magnet	
Alkaline-Batterie, Micro/LR03/AAA	

**Beispiel Downlink:**

00 02 03 46 04 96 05 03 06 0A

Tupel	Wert	Erklärung
1	00 02	Der Gerätemodus wird auf den Lagebestimmungsmodus gestellt
2	03 46	Der Winkel $\alpha$ wird auf 70° gestellt
3	04 96	Der Winkel $\beta$ wird auf 150° eingestellt
4	05 03	Die Hysterese wird auf 3° eingestellt
5	06 0A	Der Updatezyklus wird auf 60 Minuten gesetzt

Konfigurationsbeispiel für die Überwachung von Abfallbehältern

Wenn der Abfallbehälter umgefallen ist, wird der Winkel  $\alpha$  überschritten, aber  $\beta$  nicht. Wenn der Behälter geleert wird, wird er invertiert, also auch der Winkel  $\beta$  überschritten.

**Erschütterung**

Wenn die Erschütterung eines Objekts überwacht werden soll, beispielsweise ob es Aktivität an einem Vogelfütterer oder Brutkasten gibt, kann das Gerät so konfiguriert werden (Tabelle 5), dass eine Beschleunigung von 0,5 g oberhalb oder unterhalb des Werts in der Ruhelage einen Interrupt auslöst:

00 01 01 01 02 3E 06 F0

Tupel	Wert	Erklärung
1	00 01	Der Gerätemodus wird auf den Erschütterungsmodus gestellt
2	01 01	Die Empfindlichkeit des Geräts wird auf eine Bandbreite von +/- 4 g gestellt
3	02 3E	Die Grenze des Interrupts wird auf $62 * 0,008 \text{ g} = 0,496 \text{ g}$ gestellt
4	06 F0	Der Updatezyklus wird auf 24 h gestellt

Konfigurationsbeispiel Erschütterung

ELV

Geräte-Kurzbezeichnung:	ELV-LW-OMO
Versorgungsspannung:	1x 1,5 V LR03
Stromaufnahme:	60 mA max.
Batterielebensdauer:	2 Jahre (typ.)
Umgebungstemperatur:	-10 bis +55 °C
Funkmodul:	dnt-TRX-ST1
Frequenzband:	L-Band 865,0–868,0 MHz M-Band 868,0–868,6 MHz O-Band 869,4–869,65 MHz
Duty-Cycle:	L-Band < 1 % pro h M-Band < 1 % pro h O-Band < 10 % pro h
Typ. Funk-Sendeleistung:	+10 dBm
Empfängerkategorie:	SRD category 2
Abmessungen (B x H x T):	81 x 18 x 17 mm
Gewicht:	43 g

**i Weitere Infos**

- [1] ELV Erschütterungssensor Outdoor ELV-LW-OMO: Artikel-Nr. [158753](#)
- [2] ELV-LW-Base Experimentierplattform für LoRaWAN® ELV-BM-TRX1: Artikel-Nr. [156514](#)