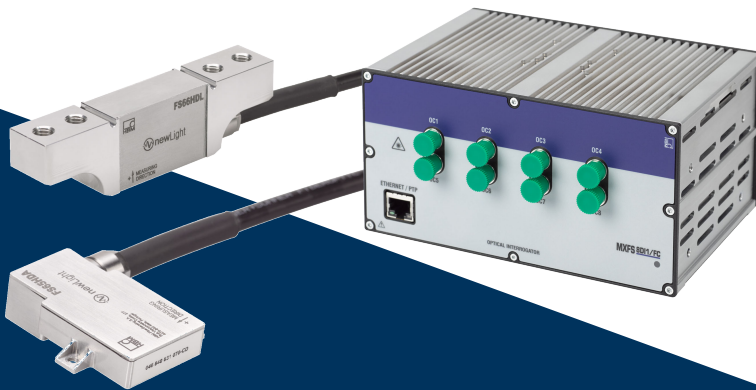


DEUTSCH

## Montageanleitung



# FSOEM-1701

## Stromabnehmer-Überwachungslösung

Hottinger Brüel & Kjaer GmbH  
Im Tiefen See 45  
64293 Darmstadt  
Germany  
Tel. +49 6151 803-0  
Fax +49 6151 803-9100  
info@hbkworld.com  
www.hbkworld.com

HBK FiberSensing, S.A.  
Rua Vasconcelos Costa, 277  
4470-640 Maia  
Portugal  
Tel. +351 229 613 010  
Fax +351 229 613 020  
info.fs@hbkworld.com  
www.hbkworld.com

Mat.:  
DVS: A05984 02 G00 00  
03.2024

© Hottinger Brüel & Kjaer GmbH

Änderungen vorbehalten.  
Alle Angaben beschreiben unsere Produkte in allgemeiner Form. Sie stellen keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar.

# INHALTSVERZEICHNIS

---

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	<b>5</b>
1.1	Systemarchitektur .....	5
1.1.1	Komponenten .....	5
1.1.2	Was misst das System? .....	7
<b>2</b>	<b>Rechtliche Hinweise und Zertifizierung</b> .....	<b>8</b>
2.1	Hinweise zum Umweltschutz .....	8
2.1.1	Entsorgung Ihres Altgeräts .....	8
2.1.2	Entsorgung von Verpackungen .....	8
2.2	Zertifizierung nach EN 45545 .....	11
2.2.1	Brandschutz .....	11
2.3	In dieser Anleitung verwendete Kennzeichnung .....	12
<b>3</b>	<b>Installationsverfahren</b> .....	<b>13</b>
3.1	Materialliste .....	13
3.1.1	Im Lieferumfang enthaltenes Material nach Teilenummern .....	13
3.1.2	Zusätzlich benötigte Geräte und Hilfsmittel .....	13
3.1.3	Zusätzlich benötigtes Material .....	13
3.2	Vorbemerkungen .....	14
3.3	Installation der Komponenten .....	16
3.3.1	Kraftsensor für hohe Beanspruchung FS66HDL .....	16
3.3.2	Beschleunigungssensor für hohe Beanspruchung FS65HDA .....	19
3.3.3	Anschlussbox .....	21
3.3.4	Anschlusskabel .....	24
3.3.5	Interrogator MXFS .....	25
<b>4</b>	<b>Anschlüsse</b> .....	<b>26</b>
4.1	Sensoren .....	26
4.2	Anschlussbox .....	27
4.2.1	Hauptanschluss .....	27
4.2.2	Ersatzanschluss .....	27
4.3	Anschlusskabel .....	27
4.4	Reiniger-Kit .....	28
4.5	Interrogator MXFS QuantumX BraggMETER .....	29
<b>5</b>	<b>Durchführen von Messungen</b> .....	<b>30</b>
5.1	Eine Messung in catman starten .....	30
5.2	Bewertung des Systems .....	31
5.3	Sensorkonfiguration .....	32

5.4	Kontaktkraft und Position .....	37
5.4.1	Kontaktkraft .....	37
5.4.2	Position .....	38

Die Stromabnehmer-Überwachungslösung von HBK zur vorbeugenden Instandhaltung von Stromabnehmern und Oberleitungen ist ein rein optisches Messsystem, das bei Zügen im Regelbetrieb direkt am Stromabnehmer installiert wird.

Diese Lösung kann für folgende Anwendungen eingesetzt werden:

- Vorbeugende Instandhaltung von Oberleitungen basierend auf kontinuierlichem Datenabruf von Zügen im Regelbetrieb;
- Berechnung der Kontaktkraft für die Steuerung des Stromabnehmers nach EN 50317;
- Prüfung und Zulassung von Stromabnehmern.

Die Stromabnehmer-Überwachungslösung von HBK arbeitet mit einer ausschließlich passiven Technologie, die sicher in Hochspannungsumgebungen, wie beispielsweise in der Nähe von Oberleitungen, betrieben werden kann. HBK übernimmt die gesamte Einrichtung des Systems, abgestimmt auf die Bedürfnisse des Kunden, vom Sensor bis zur Software, einschließlich Integration mit den Fahrzeugbussignalen. Dies ermöglicht eine vollständige kartengestützte Ermittlung von Ausmaß, Position und Häufigkeit von Schäden. Damit können durch Planung sinnvoller und Vermeidung unnötiger Wartungsarbeiten auf intelligente Weise Kosten gesenkt werden.

## 1.1 Systemarchitektur

Die Stromabnehmer-Überwachungslösung FSOEM-1701 basiert auf optischen Kraft- und Beschleunigungssensoren, die als passive Elemente vollkommen sicher genaue Messungen in einer Hochspannungsumgebung durchführen.

### 1.1.1 Komponenten

Ein typisches System umfasst:

- 4 Beschleunigungssensoren für hohe Beanspruchung FS65HDA
- 4 Kraftsensoren für hohe Beanspruchung FS66HDL
- 1 Anschlussbox
- 1 Anschlusskabel (oder 2 für Redundanz)
- 1 MXFS QuantumX BraggMETER-Modul

Passive Komponenten (d. h. ohne das optische Datenerfassungssystem, hier als „Interrogator“ bezeichnet) können als Paket oder einzeln bestellt werden. Der Interrogator muss zusätzlich bezogen werden.

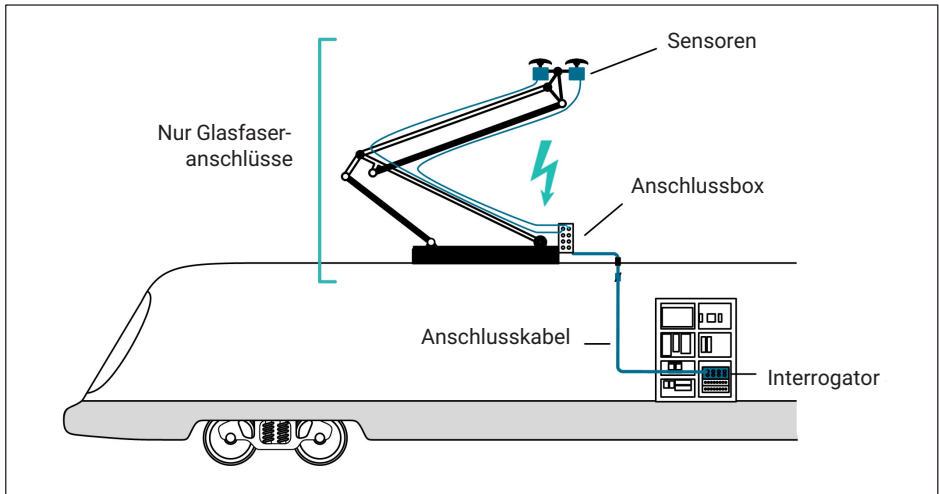


Abb. 1.1 Typische Systemarchitektur

Informationen von Fahrzeugbussignalen und GPS können auch zum Aufbau einer grafischen Karte der Infrastruktur und des zugehörigen Wartungsplans verwendet werden. Der Einsatz dieses integrierten Hybridsystems ermöglicht dem Betreiber, den Zustand der Oberleitung kontinuierlich zu bewerten und Wartungsarbeiten nach Bedarf zu planen, statt Streckenabschnitte regelmäßig wartungsbedingt sperren zu müssen.

**Gewicht des Systems am Stromabnehmer**

Typ	Gewicht je Einheit	Anz.	Gesamtgewicht	Anmerkung
Beschleunigungssensor	34 g	4	136 g	
Schrauben und Unterlegscheiben zur Befestigung des Beschleunigungssensors	Anwendungsspezifisch	12	Anwendungsspezifisch	Abhängig vom genauen Typ der gewählten Schrauben
Kraftsensor	90 g	4	360 g	
Montageplatte für Kraftsensor	Anwendungsspezifisch	4	Anwendungsspezifisch	Konstruktion und Fertigung der Montageplatte vorzugsweise durch den Eigentümer des Stromabnehmers

Typ	Gewicht je Einheit	Anz.	Gesamtgewicht	Anmerkung
Schrauben und Unterlegscheibe zur Befestigung des Kraftsensors	Anwendungsspezifisch	16	Anwendungsspezifisch	Abhängig vom genauen Typ der gewählten Schrauben
Sensorkabel	55 g/m	8	440 g	Ungefähre Schätzung <sup>1)</sup>
Kabelbinder aus Kunststoff			< 10 g	Ungefähre Schätzung <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Die genaue Menge des am Stromabnehmer befestigten Kabels wird bei der Installation festgelegt.

### Hinweis

*Anschlussbox und -kabel werden auf dem Dach und nicht am Stromabnehmer befestigt, daher ist ihr Gewicht nicht aufgeführt.*

#### 1.1.2 Was misst das System?

Ein typisches System gemäß der obigen Beschreibung liefert folgende Messungen:

- Vertikale Kontaktkraft
- Vertikale Beschleunigung
- Position der Fahrleitung (Zickzackbewegung)

### 2.1 Hinweise zum Umweltschutz

#### 2.1.1 Entsorgung Ihres Altgeräts



Wenn die nebenstehende Symbolkombination – durchgestrichene Mülltonne und dicker schwarzer Balken – an einem Produkt angebracht ist, bedeutet dies, dass das Produkt unter die Europäische Richtlinie 2002/96/EG fällt. Sie gilt in der Europäischen Union sowie anderen Ländern mit Systemen zur getrennten Sammlung von Abfällen. Alle Elektro- und Elektronikprodukte sind getrennt vom Siedlungsabfall oder Hausmüll über entsprechend ausgewiesene, von staatlichen oder lokalen Behörden bestimmte Rücknahmesysteme zu entsorgen. Die ordnungsgemäße Entsorgung Ihres Altgeräts trägt dazu bei, möglicherweise negative Folgen für die Umwelt und die menschliche Gesundheit zu vermeiden.

Wenn Sie weitere Informationen zur Entsorgung Ihres Altgeräts benötigen, wenden Sie sich an Ihre Kommunalverwaltung, den Abfallentsorgungsbetrieb oder den Händler, bei dem Sie das Produkt gekauft haben. HBK FiberSensing ist ein in Portugal in der ANREEE – „Associação Nacional para o Registo de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos“ unter der Nummer PT001434 registrierter Hersteller. HBK FiberSensing hat einen Vertrag des Typs „Utente“ mit der Amb3E – „Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos“ abgeschlossen, mit dem das Abfallmanagement für Elektro- und Elektronikgeräte, die in Portugal auf den Markt gebracht werden, vom Hersteller HBK FiberSensing an Amb3E übertragen wird.

#### 2.1.2 Entsorgung von Verpackungen

Die Verpackung dieses Geräts hat die Aufgabe, es vor Schäden bei Transport und Lagerung schützen. Sie besteht zudem aus Materialien, die nach den Abfallmanagement-Vorschriften der Europäischen Union recycelt oder wiederverwendet werden können, um die von ihnen ausgehende Umweltbelastung zu minimieren.

Wenn Sie die Absicht haben, Ihr Gerät an unterschiedlichen Standorten einzusetzen, empfiehlt es sich, die Originalverpackung zur Wiederverwendung aufzubewahren. Damit ist nicht nur ein geeigneter Schutz beim Transport garantiert, sondern es trägt auch zur Abfallvermeidung bei.

Die Verpackungskartons sind mit einem Etikett versehen, auf dem die für diese spezifische Verpackung verwendeten Materialien angegeben sind.



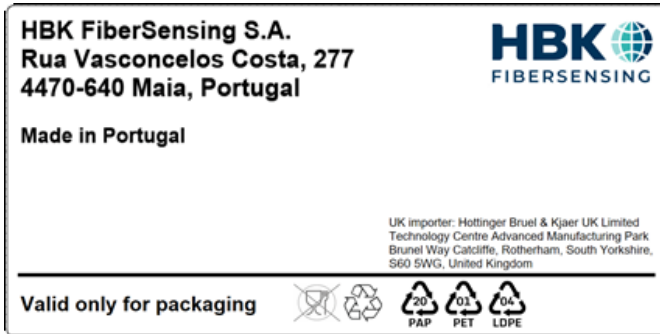


Abb. 2.1 Beispiel eines Etiketts auf der Verpackung

Bitte beachten Sie für eine ordnungsgemäße und verantwortliche Entsorgung die nachstehenden Anweisungen. Sie leisten damit einen wertvollen Beitrag zum Schutz unseres Planeten. Vielen Dank!

Bei der Entsorgung sind die folgenden Hinweise zu beachten:

- Alle Etiketten, Klebstoffe, Nägel, Heftklammern oder Kappen/Verschlüsse entfernen, die nicht aus gleichem Material bestehen.
- Die Verpackung mit Wasser ausspülen, um Rückstände oder Schmutz zu entfernen.
- Die Verpackung flach zusammendrücken oder falten, um ihr Volumen zu verringern (außer bei Glas, das nicht zerkleinert werden sollte).
- Die Verpackung nach Werkstoffen trennen und in den geeigneten Recycling-Behälter oder -Beutel geben.

Unsere Verpackungen bestehen größtenteils aus Papier und Kunststoff und sind zur Wiederverwendung oder zum Recycling bestimmt. Sie eignen sich jedoch nicht als Behälter für Lebensmittel. Ausführliche Informationen zu den von HBK FiberSensing verwendeten Verpackungsmaterialien, die auf dem Verpackungsetikett jedes an Kunden ausgelieferten Produkts aufgeführt sind, finden Sie im Kapitel „Verpackungssymbole“.

## Verpackungssymbole

Als Orientierungshilfe sind Verpackungsmaterialien mit dem entsprechenden Symbol gekennzeichnet.



Nicht für Lebensmittel geeignet



Recyclingfähig

Die Recycling-Symbole für die verschiedenen Werkstoffe enthalten Zahlen und Buchstaben, die den jeweiligen Werkstofftyp angeben. PET (Polyethylenterephthalat) ist

beispielsweise auch mit der Zahl 1 gekennzeichnet, und PE-HD (High-Density-Polyethylen) ist mit der Zahl 2 gekennzeichnet. Für Papier (PAP) entspricht 20 Wellpappe, und 22 entspricht Papier, wie es für Zeitungen, Bücher usw. verwendet wird.

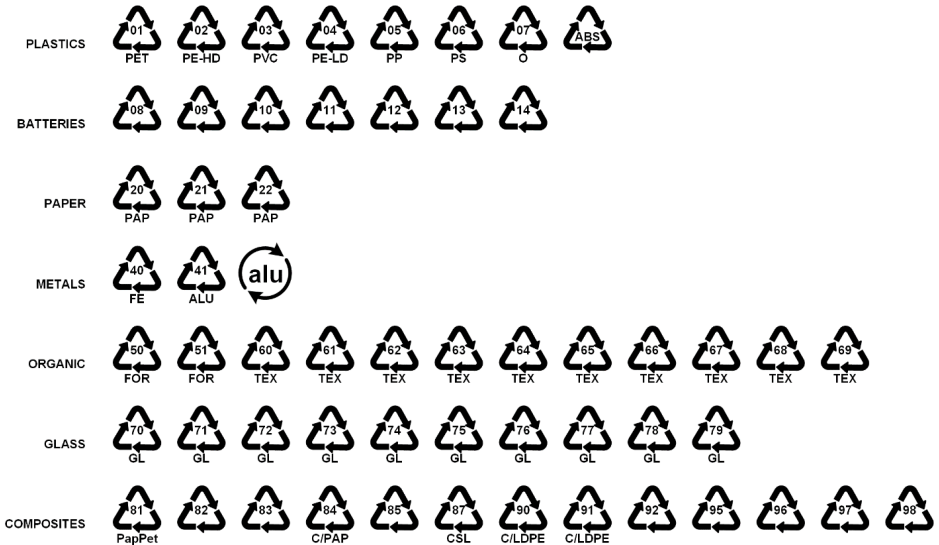


Abb. 2.2 Recycling-Symbole

### Kunststoffe

Verpackungsmaterialien aus Kunststoff sind üblicherweise Beutel, Folien, Trays, Blisterverpackungen oder Behälter.

### Batterien, Akkus

Batterien und Akkus gehören nicht zur Verpackung, sie können aber im Gerät oder seinem Zubehör enthalten sein. Weitere Informationen finden Sie in Abschnitt 2.1.1 „Entsorgung Ihres Altgeräts“.

### Papier

Verpackungsmaterialien aus Papier sind üblicherweise Schachteln, Kartons, Umschläge oder Etiketten.

### Metalle

Verpackungsmaterialien aus Metall sind üblicherweise Dosen, Folien, Kappen/ Verschlüsse oder Drähte.

## Organische Materialien

Organische Verpackungsmaterialien könnten Holz, Kork oder Baumwolle sein; sie werden aus natürlichen oder biologisch abbaubaren Materialien hergestellt, die kompostiert oder wiederverwendet werden können.

## Glas

Verpackungsmaterialien aus Glas sind Flaschen, Standgefäße (Einmachgläser) oder Glasfläschchen (Vials).

## Verbundwerkstoffe

Verpackungsmaterialien aus Verbundwerkstoffen bestehen aus Lagen verschiedener Materialien, beispielsweise Papier, Kunststoff und Aluminium. Sie sind mit einem Recycling-Symbol und einem Buchstaben gekennzeichnet, der die Zusammensetzung der Verpackung angibt. PAP steht z. B. für Papier und Kunststoff, ALU steht für Aluminium.

## 2.2 Zertifizierung nach EN 45545



### Information


*Weitere Informationen zur Zertifizierung und zu den für dieses Produkt geltenden gesetzlichen Vorschriften finden Sie in der Bedienungsanleitung zum MXFS QuantumX BraggMETER-Modul.*

### 2.2.1 Brandschutz

Die passiven Komponenten der Stromabnehmer-Überwachungslösung – Sensoren, Kabel und Boxen – erfüllen die Brandschutzanforderungen nach den Kriterien, die in den Prüfverfahren der Norm EN 45545-2:2020, Gefährdungsklasse („Hazard Level“) HL3 (für Schienenfahrzeuge jeder Art) festgelegt sind.

## 2.3 In dieser Anleitung verwendete Kennzeichnung

Wichtige Hinweise für Ihre Sicherheit sind besonders gekennzeichnet. Beachten Sie diese Hinweise unbedingt, um Unfälle und Sachschäden zu vermeiden.

Symbol	Bedeutung
 <b>VORSICHT</b>	Diese Kennzeichnung weist auf eine <i>mögliche</i> gefährliche Situation hin, die – wenn die Sicherheitsbestimmungen nicht beachtet werden – leichte oder mittlere Körperverletzung zur Folge haben <i>kann</i> .
<b>Hinweis</b>	Diese Kennzeichnung weist auf eine Situation hin, die – wenn die Sicherheitsbestimmungen nicht beachtet werden – Sachschäden zur Folge haben <i>kann</i> .
 <b>Wichtig</b>	Diese Kennzeichnung weist auf <i>wichtige</i> Informationen zum Produkt oder zur Handhabung des Produktes hin.
 <b>Tipp</b>	Diese Kennzeichnung weist auf Anwendungstipps oder andere für Sie nützliche Informationen hin.
 <b>Information</b>	Diese Kennzeichnung weist auf wichtige Informationen zum Produkt oder zur Handhabung des Produktes hin.
<i>Hervorhebung Siehe ...</i>	Wichtige Textstellen sowie Verweise auf andere Abschnitte, Diagramme oder externe Dokumente sind durch Kursivschrift hervorgehoben.
	Diese Kennzeichnung weist auf eine Aktion in einem Verfahren hin.

## 3 INSTALLATIONSVERFAHREN

### 3.1 Materialliste

#### 3.1.1 Im Lieferumfang enthaltenes Material nach Teilenummern

Teilenummer	Material
1-FSOEM-1701	4 Kraftsensoren für hohe Beanspruchung FS66HDL 4 Beschleunigungssensoren für hohe Beanspruchung FS65HDA 1 Anschlussbox 1 Anschlusskabel 1 Reiniger-Kit (Reiniger A und B)
1-FSOEM-1701-01-01	1 Kraftsensor für hohe Beanspruchung FS66HDL
1-FSOEM-1701-02-01	1 Beschleunigungssensor für hohe Beanspruchung FS65HDA
1-FSOEM-1701-03-01	1 Anschlussbox
1-FSOEM-1701-04-01	1 Anschlusskabel
1-FSOEM-1701-05-01	1 Reiniger-Kit (Reiniger A und B)
1-MXFS8D11/FC	1 MXFS QuantumX BraggMETER-Modul mit Lizenz für catmanEasy

#### 3.1.2 Zusätzlich benötigte Geräte und Hilfsmittel

Drehmomentschlüssel/Schraubendreher passend zu den gewählten Schrauben und empfohlenen Drehmomenten.
PC (z. B. 1-CX22B)

#### 3.1.3 Zusätzlich benötigtes Material

M8-Schrauben, Länge ist so zu wählen, dass die Eingrifflänge des Gewindes mindestens 12 mm beträgt (4 pro FS66HDL)
M3-Schrauben, Länge ist so zu wählen, dass die Eingrifflänge des Gewindes mit Unterlegscheiben mindestens 6 mm beträgt (3 pro FS65HDA)
M4-Senkschrauben, Länge ist so zu wählen, dass die Eingrifflänge des Gewindes mindestens 8 mm beträgt (abhängig von der Tiefe der Bohrung im anwendungsspezifischen Montagewinkel; 4 pro Box)
Montagewinkel für FS66HDL (anwendungsspezifisch)

Montagewinkel für Anschlussbox (anwendungsspezifisch)
UV-beständige Kabelbinder zum Fixieren der Kabel (z. B. HellermannTyton 111-05400)
Netzteil für MXFS (z. B. 1-NTX001)
Ethernet-Kabel (z. B. 1-KAB239-2)

### 3.2 Vorbemerkungen

Sensoren werden normalerweise an 4 Stellen zum Messen von Kraft und Beschleunigung installiert.

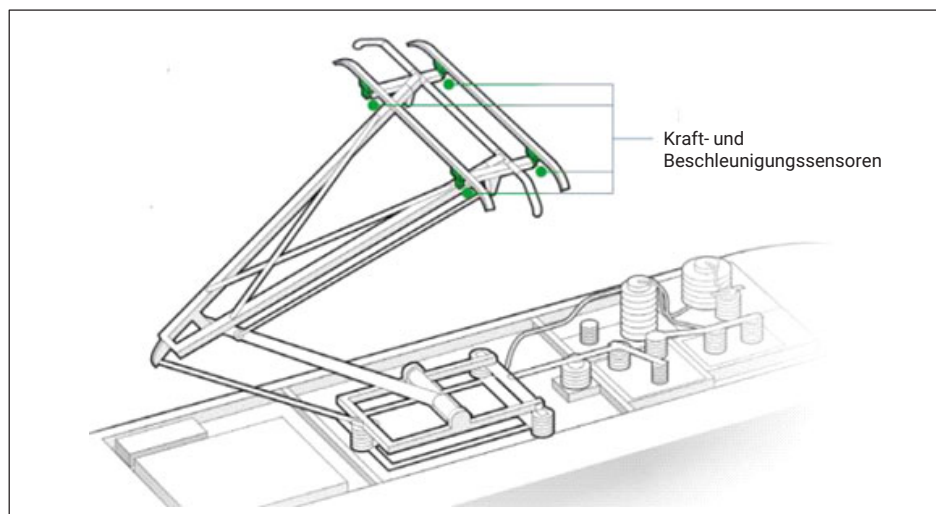


Abb. 3.1 Typische Position der Sensoren



#### Wichtig

*Vorab sollten einige Vorbereitungsarbeiten durchgeführt werden, insbesondere:*

- Festlegen der Konstruktion und Vorbereiten der Montagewinkel für Kraftsensor und Anschlussbox.
- Sicherstellen, dass eine Dachdurchführung für die M40-Kabelverschraubung von der Anschlussbox vorhanden ist.

Dafür sollte der Kunde verantwortlich sein, da es sehr viele verschiedene Stromabnehmer und zugehörige Regelwerke gibt, von denen HBK keine Kenntnis hat.



## Tipp

*Es empfiehlt sich, die Installation der Sensoren zuerst an einem noch nicht montierten Stromabnehmer zu testen, bevor sie am Stromabnehmer auf dem Zug installiert werden.*



## VORSICHT

*Bitte auch alle erforderlichen Erdungsanschlüsse berücksichtigen. Auf weitergehende Anleitungen zu diesem Punkt wird verzichtet, da für die verschiedenen Stromabnehmermodelle und Zugbetreiber ggf. unterschiedliche Anforderungen gelten.*

---

Bei der Montage der Stromabnehmersensoren ist Folgendes zu beachten:

- Alle Komponenten vorsichtig behandeln.
- Die Stromabnehmersensoren sind Präzisionssensoren, ihre erreichbare Genauigkeit hängt daher von der korrekten Montage ab.
- Die Sensoren nicht überlasten.
- Querkräfte oder Drehmomente vermeiden.
- Die Sensoren sind im Vergleich zu den Kabeln sehr leicht. Die Kabel vor dem Befestigen vorsichtig behandeln, um Schäden zu vermeiden.
- Muttern an dem aus den Sensoren austretenden Kabel sind Teil des Sensorgehäuses und dürfen nicht gelöst werden.

## Hinweis

*Die Sensoren für das Stromabnehmer-Überwachungssystem sind Präzisionsmesselemente und müssen vorsichtig behandelt werden. Stöße oder Stürze können zu permanenten Schäden an den Aufnehmern führen. Sorgen Sie dafür, dass auch bei der Montage keine Überlastung des Aufnehmers auftreten kann.*

---

### 3.3 Installation der Komponenten

#### 3.3.1 Kraftsensor für hohe Beanspruchung FS66HDL

Die Kraftsensoren FS66HDL können, wie unten dargestellt, mit Schrauben befestigt werden.

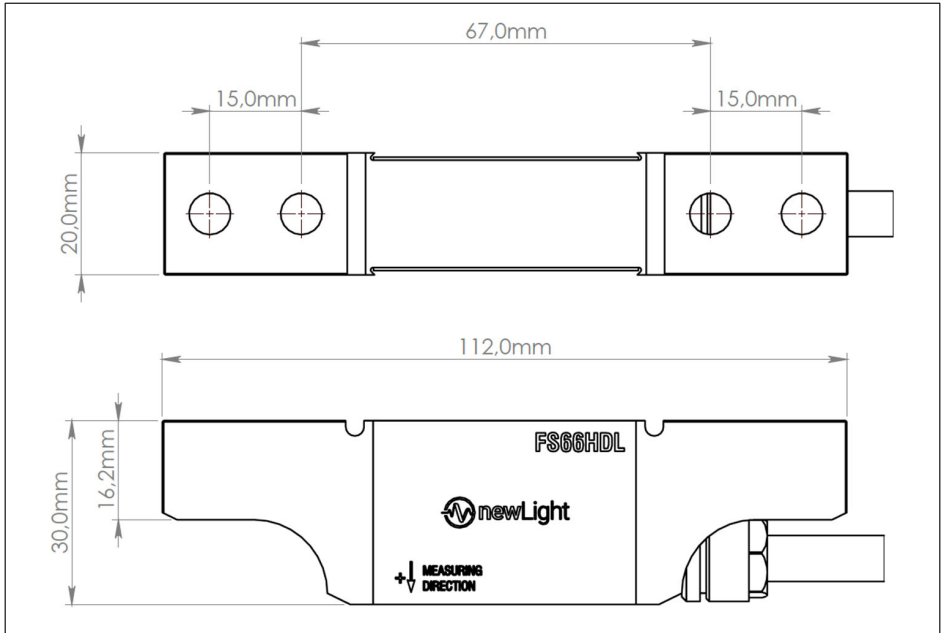


Abb. 3.2 Technische Zeichnung des Kraftsensors für hohe Beanspruchung FS66HDL (Abmessungen in mm)

#### Anwendungsspezifisch angefertigte Winkel

Aufgrund der Unterschiede zwischen den Stromabnehmermodellen müssen die Montagewinkel für diese Sensoren anwendungsspezifisch angefertigt werden.

Die Bauform der Winkel muss sicherstellen, dass der Lastvektor auf den Sensor zentriert ist. In Abb. 3.3 sind die Winkel und die Einhaltung der Belastungsposition schematisch dargestellt.



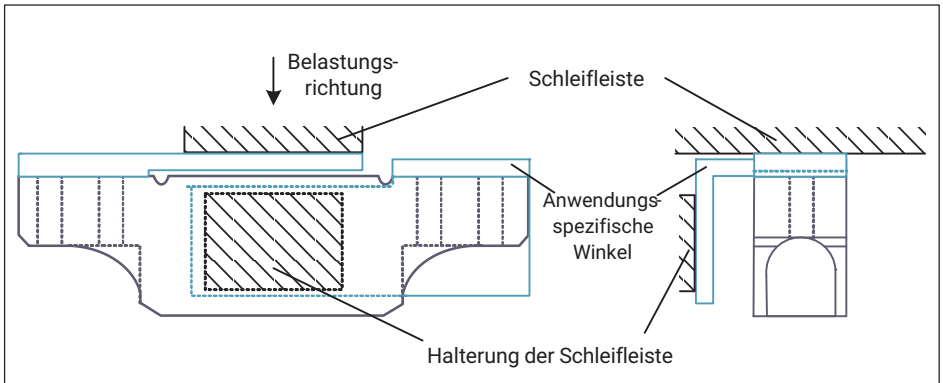


Abb. 3.3 Schematische Darstellung der Montagewinkel für den Kraftsensor FS66HDL

Das Bild zeigt ein Beispiel eines an einer Stromabnehmerstruktur installierten Kraftsensors.

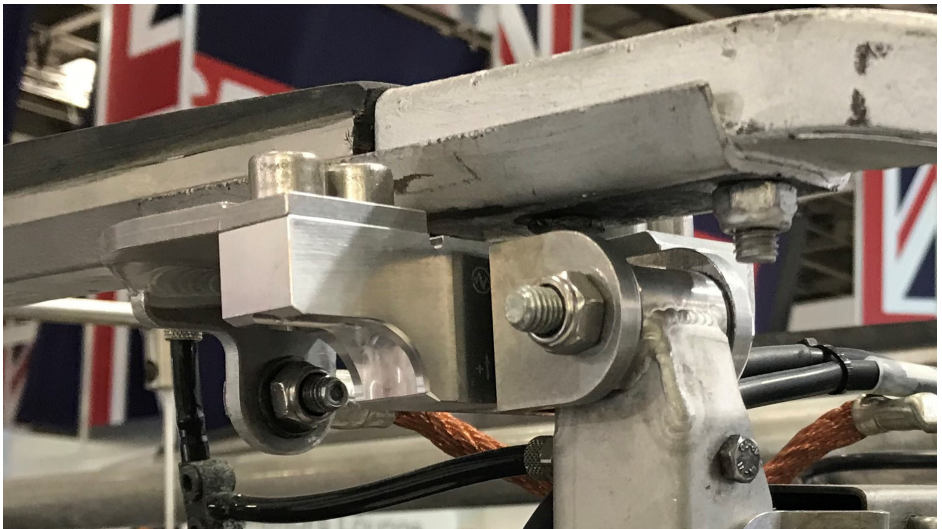


Abb. 3.4 Kraftsensor FS66HDL, montiert mit anwendungsspezifisch angefertigten Winkeln



## Wichtig

*Es wird nachdrücklich empfohlen, diese Arbeiten vom Eigentümer des Stromabnehmers ausführen zu lassen, da sie einen genauen Einblick in dessen Struktur erfordern. Dadurch wird die Gefahr von Fehlern, Missverständnissen und Verzögerungen minimiert.*

## Montage

Die Kraftsensoren werden am Stromabnehmer mit 4 Stück M8-Schrauben unter Verwendung des zuvor beschriebenen Winkels montiert. Für die M8-Schrauben werden eine Festigkeitsklasse von 10.9 und ein Anziehdrehmoment von 30-35 Nm empfohlen. Die Schrauben sollten aus verzinktem Stahl bestehen. Die Eingrifflänge des Gewindes muss mindestens 12 mm betragen. Falls starke Vibrationen zu erwarten sind oder im Fall einer dauerhaften Installation, empfiehlt sich die Verwendung von Loctite 243 oder einer gleichwertigen Schraubensicherung.



Abb. 3.5 Montierter Kraftsensor FS66HDL an einem Stromabnehmer

## Kabelführung

Die Kabel müssen von den Sensoren zur Anschlussbox geführt werden. Das Kabel sollte mit UV-beständigen Kabelbindern (z. B. HellermannTyton 111-05400) am Stromabnehmer befestigt werden.



### **Tipp**

*Die genaue Führung des Kabels muss gemeinsam mit dem Eigentümer des Stromabnehmers festgelegt werden, um sicherzustellen, dass die Kabel genug Spielraum für die Stromabnehmerbewegungen haben und um Schäden oder eine Behinderung des Betriebs zu vermeiden.*

## **3.3.2 Beschleunigungssensor für hohe Beanspruchung FS65HDA**

### **Montage**

Die Beschleunigungssensoren FS65HDA können, wie unten dargestellt, mit Schrauben befestigt werden. Jeder Beschleunigungssensor wird mit drei M3-Schrauben mit passenden Unterlegscheiben und mit einer Eingrifflänge des Gewindes von mindestens 6 mm montiert. Für die M3-Schrauben werden eine Festigkeitsklasse von 10.9 und ein Anziehdrehmoment von 1,5-2 Nm empfohlen. Die Schrauben sollten aus verzinktem Stahl bestehen. Falls starke Vibrationen zu erwarten sind oder im Fall einer dauerhaften Installation, empfiehlt sich die Verwendung von Loctite 243 oder einer gleichwertigen Schraubensicherung.



### **Information**

*Um Fehler zu vermeiden, muss die genaue Position des Beschleunigungssensors vom Eigentümer des Stromabnehmers bestätigt werden.*

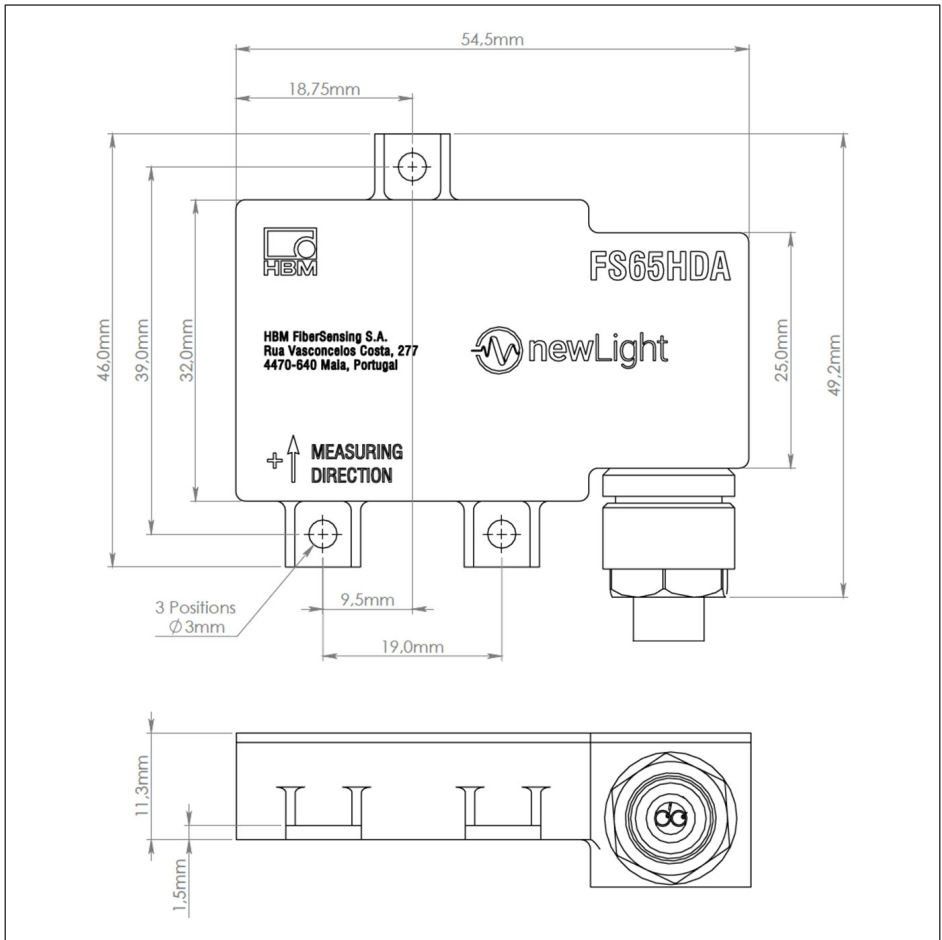


Abb. 3.6 Technische Zeichnung des Beschleunigungssensors für hohe Beanspruchung FS65HDA (Abmessungen in mm)

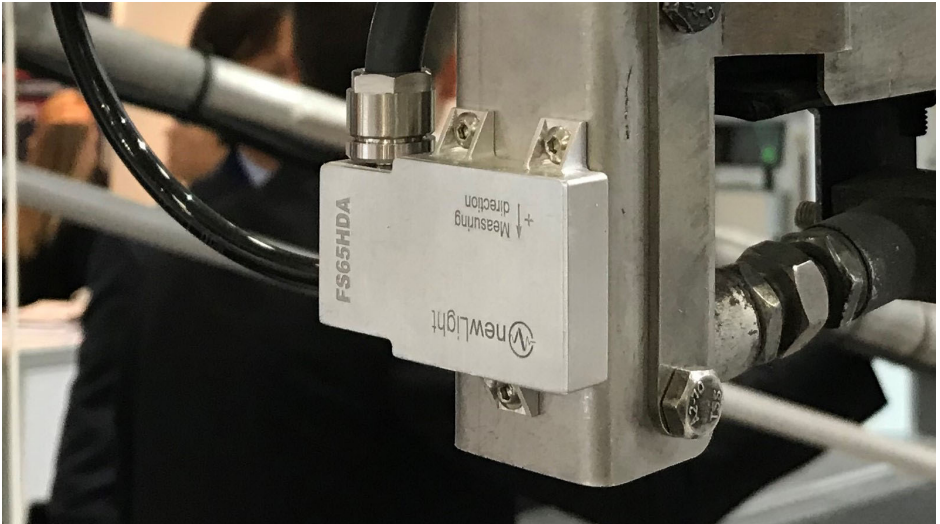


Abb. 3.7 Montierter Beschleunigungssensor FS65HDA an einem Stromabnehmer

## Kabelführung

Die Kabel müssen von den Sensoren zur Anschlussbox geführt werden. Das Kabel sollte mit UV-beständigen Kabelbindern (z. B. HellermannTyton 111-05400) am Stromabnehmer befestigt werden.



### Tipp

Die genaue Führung des Kabels muss gemeinsam mit dem Eigentümer des Stromabnehmers festgelegt werden, um sicherzustellen, dass die Kabel genug Spielraum für die Stromabnehmerbewegungen haben und um Schäden oder eine Behinderung des Betriebs zu vermeiden.

### 3.3.3 Anschlussbox

In der Anschlussbox werden die Signale von allen Sensoren in einem Kabel zusammengeführt, das für die isolierte Signalübertragung in das Innere des Zuges sorgt. Dazu wird der Kabelweg zwischen der Box und der Kabelverschraubung, der an der Außenseite des Zuges verläuft, mit einem dicken PTFE-Schlauch geschützt.

Aus Redundanzgründen sind am Ende des Kabels zwei Anschlüsse vorgesehen: Im Normalfall, wenn im System keine Fasern ausfallen, reicht es aus, nur einen dieser Anschlüsse zu verbinden.

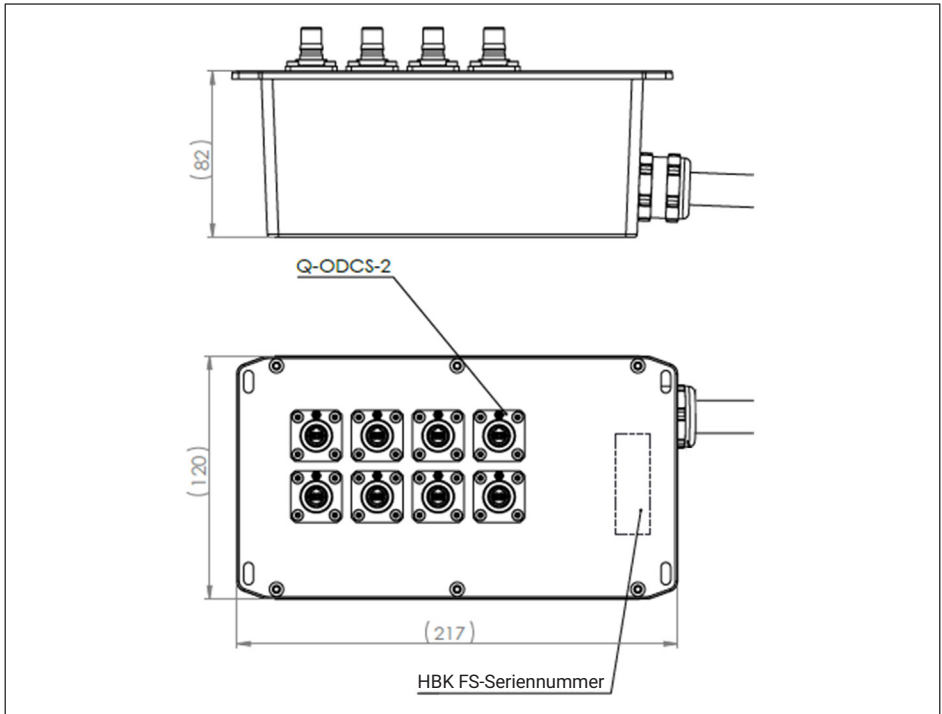


Abb. 3.8 Anschlussbox – Boxseite – technische Zeichnung (Abmessungen in mm)

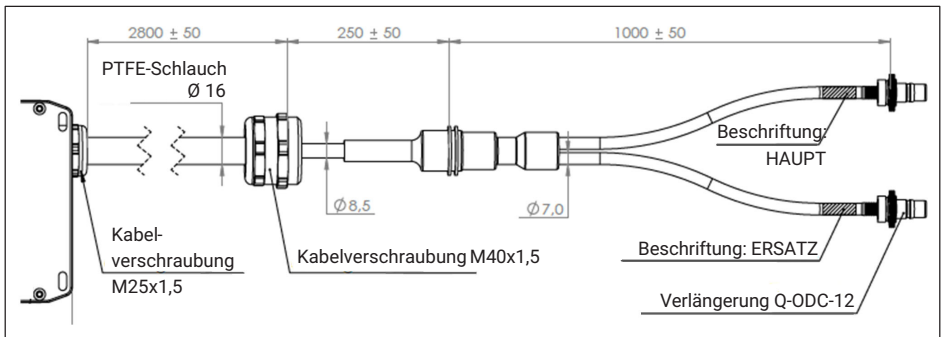


Abb. 3.9 Anschlussbox – Kabelseite – technische Zeichnung (Abmessungen in mm)

## Anwendungsspezifisch angefertigte Winkel

Aufgrund der Unterschiede zwischen Stromabnehmermodellen ist für die Montage der Box kein Standardwinkel erhältlich, sondern der Winkel sollte anwendungsspezifisch angefertigt werden.



### Information

*Es wird nachdrücklich empfohlen, diese Arbeiten vom Eigentümer des Stromabnehmers ausführen zu lassen, da sie einen genauen Einblick in dessen Struktur erfordern. Dadurch wird die Gefahr von Fehlern, Missverständnissen und Verzögerungen minimiert.*

## Montage

Die Box wird mit 4 Stück M4-Schrauben unter Verwendung des zuvor beschriebenen Winkels montiert. Empfohlen werden M4-Senkschrauben mit einer Mindestlänge von 12 mm, dieser Wert hängt jedoch von der Tiefe der Bohrung im Montagewinkel ab. Für die M8-Schrauben werden eine Festigkeitsklasse von 10.9 und ein Anziehdrehmoment von 4 Nm empfohlen. Die Schrauben sollten aus verzinktem Stahl bestehen. Falls starke Vibrationen zu erwarten sind oder im Fall einer dauerhaften Installation, empfiehlt sich die Verwendung von Loctite 243 oder einer gleichwertigen Schraubensicherung.

## Kabelverschraubung am Dach

Eine Kabelverschraubung am Dach (Ziffer 1 in *Abb. 3.10*) muss in Absprache mit dem Eigentümer des Zuges festgelegt werden. Die hierfür zuständige Person sollte Zugang zu der tatsächlich verwendeten Kabelverschraubung haben, um sicherzustellen, dass eine Verschraubung in der richtigen Größe verwendet wird.



### Information

*Die Kabelverschraubung am Dach muss vor der Installation in Absprache mit dem Eigentümer des Zuges festgelegt werden.*

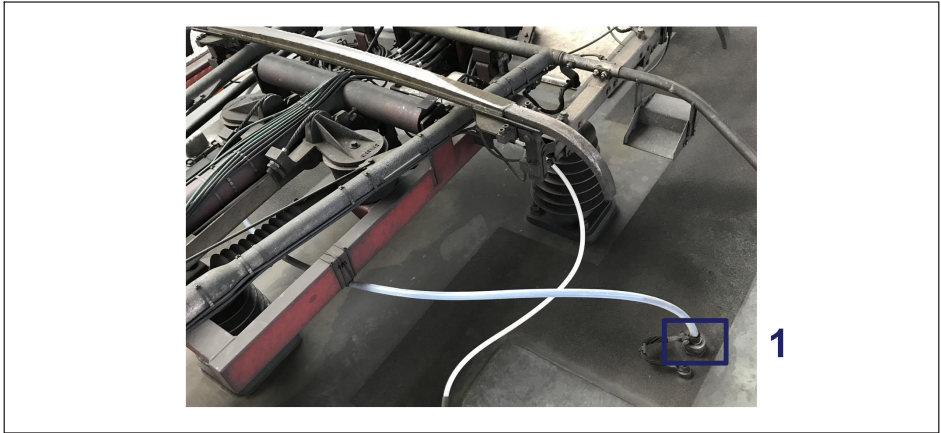


Abb. 3.10 Kabelverschraubung am Dach

### Kabelführung

Das Kabel muss von der Box zur Kabelverschraubung am Dach geführt werden. Das Kabel sollte mit UV-beständigen Kabelbindern (z. B. HellermannTyton 111-05400) ordnungsgemäß befestigt werden.

Die Breakout-Seite des Kabels wird durch die Verschraubung in das Innere des Zuges geführt, und der außen verlaufende PTFE-Schlauch wird mit der Kabelverschraubung M4x1,5 gesichert.

Im Zug sollten die Kabel über geeignete Wege bis zum Ort des Datenerfassungssystems geführt werden.

### 3.3.4 Anschlusskabel

Das Anschlusskabel sorgt für die Verbindung der Sensorsignale mit dem Interrogator. Es sollte über geeignete Wege bis in das 19-Zoll-Rack für die Technik oder in das Messsystem geführt und gesichert werden.

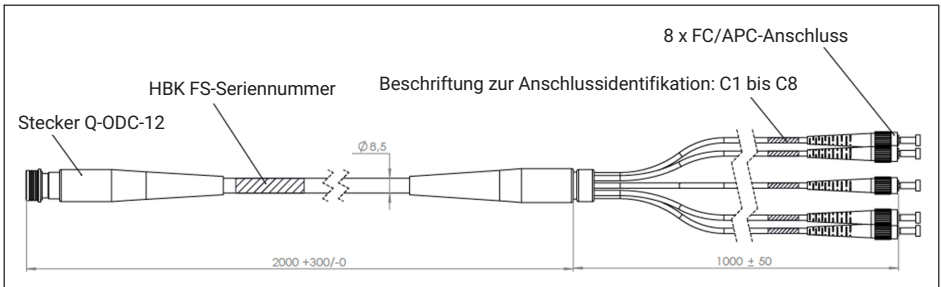


Abb. 3.11 Technische Zeichnung des Anschlusskabels (Abmessungen in mm)



### 3.3.5 Interrogator MXFS

Das zum Stromabnehmer-Überwachungssystem gehörende optische Datenerfassungssystem ist der Interrogator MXFS DI. Dieses Modul ist ein Mitglied der QuantumX-Familie für dynamische Datenerfassung mit auf Faser-Bragg-Gittern (FBG) basierenden Sensoren. Es arbeitet mit 100 S/s oder 2000 S/s und kann bis zu 128 FBGs gleichzeitig erfassen.

Weitere Informationen sind der Bedienungsanleitung zu diesem Gerät zu entnehmen.

Die einfachste Konfiguration geht davon aus, dass der Interrogator über Ethernet mit einem PC verbunden ist, auf dem catmanEasy installiert ist und läuft.

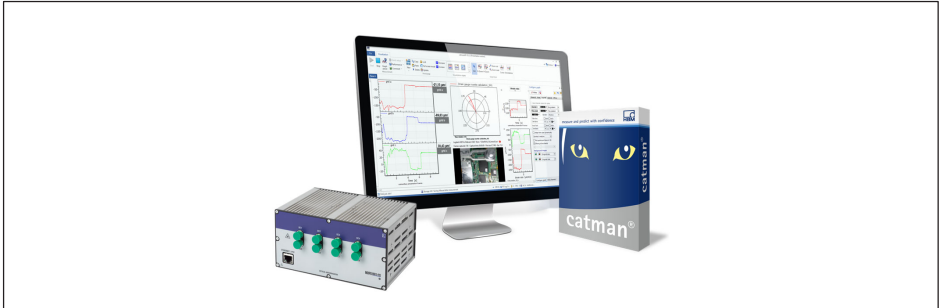


Abb. 3.12 Software catman mit MXFS



#### Wichtig

Die Zertifizierung des MXFS DI nach EN 45545 gilt für den Interrogator ohne X-Rahmen. Weitere Informationen, wie der Rahmen entfernt wird, sind der Bedienungsanleitung zu QuantumX zu entnehmen (A03031 steht [hier](#) zur Verfügung).

## 4 ANSCHLÜSSE

Das System ist so vorgerüstet, dass jeder Sensor mit einem optischen Anschluss des Interrogators verbunden wird. Durch einen Ersatz-Faseranschluss für die Sensoren ist es auch auf den Fall vorbereitet, dass ein Anschluss defekt ist, d. h. das System ist redundant ausgelegt: Wenn ein Sensor von einer Seite nicht erreicht wird, kann er von der anderen erfasst werden.

### 4.1 Sensoren

In Abb. 4.1 ist die Anordnung der Anschlüsse schematisch dargestellt.

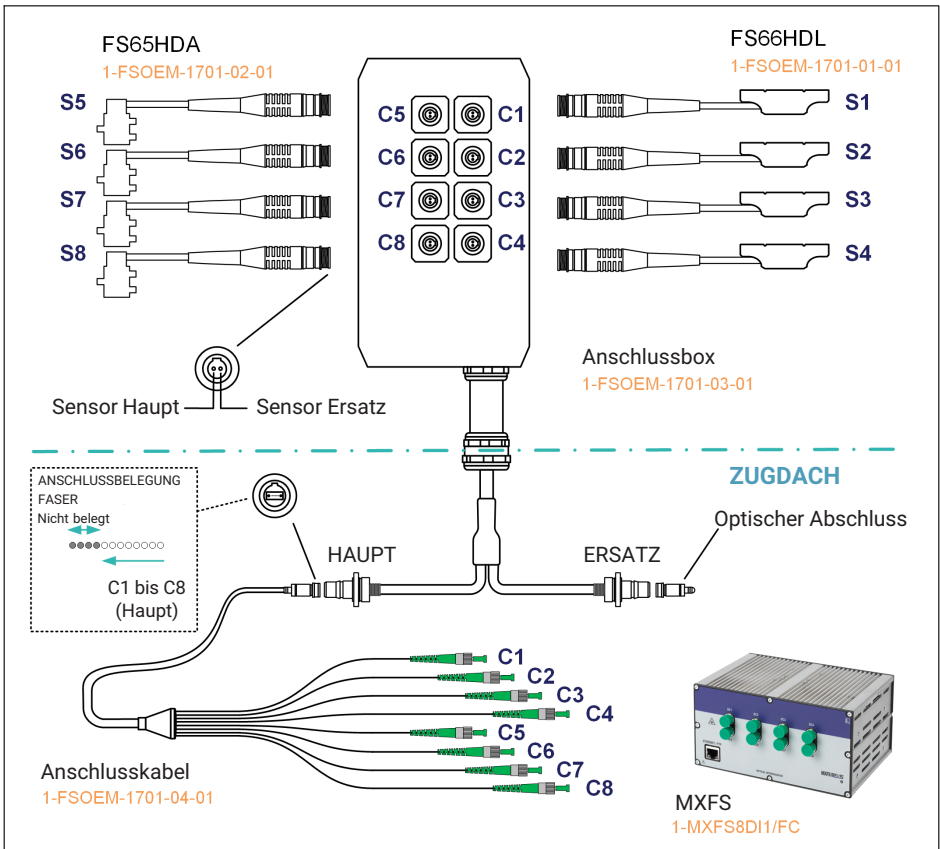


Abb. 4.1 Schematische Darstellung der Anschlüsse

Nachdem die Sensoren installiert sind, müssen sie an die Anschlussbox angeschlossen werden. Die Reihenfolge, in der die Sensoren angeschlossen werden, ist frei wählbar.



### **Tip**

*Es empfiehlt sich, schriftlich festzuhalten, welcher Sensor an jedem Port angeschlossen ist, damit am Anschlusskabel der Zusammenhang mit den Anschlüssen des Breakout-Kabels bekannt ist. Dies ist jedoch nicht zwingend, denn wenn die Sensoren zugänglich sind, kann leicht festgestellt werden, welcher Anschluss zu jedem Sensor gehört, indem während der Messung auf sie eingewirkt wird.*

## **4.2 Anschlussbox**

### **4.2.1 Hauptanschluss**

Normalerweise sollte der Hauptanschluss ausreichen, um die Verbindung aller Signale mit dem Interrogator sicherzustellen.

Falls eine Verbindung vom Hauptanschluss verloren geht, kann sie mithilfe ihrer Entsprechung am Ersatzanschluss wiederhergestellt werden.

### **4.2.2 Ersatzanschluss**

Der Ersatzanschluss an der Anschlussbox wird mit einem optischen Abschluss geliefert, der sicherstellt, dass rückgestreute Reflexion an diesem Ende vermieden wird.



### **Wichtig**

*Rückstreuung kann die Sichtbarkeit der Sensoren im System verringern und die Messungen beeinträchtigen.*

Falls der Ersatzanschluss benötigt wird, den Abschluss entfernen und das zusätzliche Anschlusskabel anschließen (zusätzlich zu beziehen, 1-FSOEM-1701-04-01)

## **4.3 Anschlusskabel**

Das Anschlusskabel mit dem Hauptanschluss von der Anschlussbox verbinden.



### **Tip**

*Falls das System an einem Stromabnehmer installiert wird, der noch nicht auf dem Zug montiert ist, kann das Anschlusskabel zum Prüfen der Installation verwendet werden. Es muss dann abgeklemmt und, nachdem der Stromabnehmer in seiner endgültigen Position eingebaut ist, wieder angeschlossen werden.*

Auf der Breakout-Seite jeden FC/APC-Anschluss an einen optischen Port des Interrogators MXFS DI anschließen.

#### 4.4 Reiniger-Kit

Ein Reiniger-Kit mit zwei Reinigern und Zubehör ist im Lieferumfang des Systems enthalten.

- Reiniger A wird für Anschlüsse Q-ODC-2 (Stecker und Buchse) verwendet, d. h. für die Anschlüsse, die Sensoren mit der Box verbinden.



Abb. 4.2 Reiniger A für Sensoranschlüsse und Sensorstecker an der Anschlussbox

- Reiniger B wird für Anschlüsse Q-ODC-12 (Stecker und Buchse) verwendet, d. h. für die Verbindung zwischen dem Haupt- oder Ersatzkabel der Box und dem Anschlusskabel.



Abb. 4.3 Reiniger B für Anschlüsse am Anschlussboxkabel und am Anschlusskabel mit Stecker- und Buchsenadapter

Es ist unerlässlich, Anschlüsse vor dem Herstellen einer Verbindung immer zu reinigen, damit die Verbindungsqualität nicht durch Staub beeinträchtigt wird. Wenn Anschlüsse nicht in Gebrauch sind, müssen sie mit Schutzkappen verschlossen werden.

Weitere Informationen zur Verwendung dieses Zubehörs zum Reinigen der Anschlüsse sind den Anleitungen des Lieferanten der Anschlüsse zu entnehmen: <https://www.huber-suhner.com/fr-fr/documents-repository/installation-manuals/gen-handling-insp-cleaning/cleaning-instruction-fo-connectors>



## Tipp

Zum Reinigen der optischen FC/APC-Anschlüsse vom Anschlusskabel oder am Interrogator den Standardreiniger FS-CLEANER verwenden.

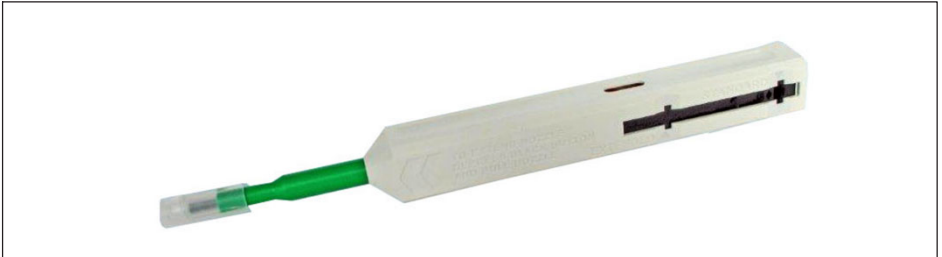


Abb. 4.4 HBK Standard-Anschlussreiniger (Bestell-Nr. 1-FS-CLEANER)

## 4.5 Interrogator MXFS QuantumX BraggMETER

Das optische Datenerfassungssystem muss (z. B. über das Netzteil 1-NTX001) mit Spannung versorgt und (z. B. über Ethernet) mit einem PC verbunden werden, auf dem die Software catmanEasy installiert ist.

## 5 DURCHFÜHREN VON MESSUNGEN

### 5.1 Eine Messung in catman starten

Ausführliche Informationen zur Vorgehensweise beim Starten einer Messung sind der Bedienungsanleitung des Geräts (A05566, verfügbar [hier](#)) zu entnehmen.

- Zum Konfigurieren der Bereiche auf die Schaltfläche „Bereiche einrichten“ klicken.

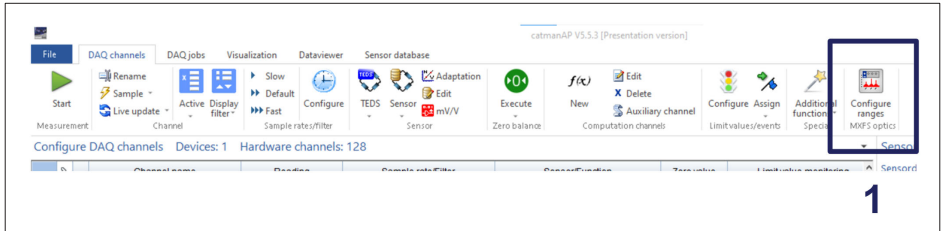


Abb. 5.1 Schaltfläche „Bereiche einrichten“

- Einen Breitenwert von 9 nm für die automatische Erstellung von Bändern definieren (Ziffer 1 in Abb. 5.2).
- Zum automatischen Erstellen von Bändern auf die Schaltfläche „Erzeugen“ klicken (Ziffer 2 in Abb. 5.2).

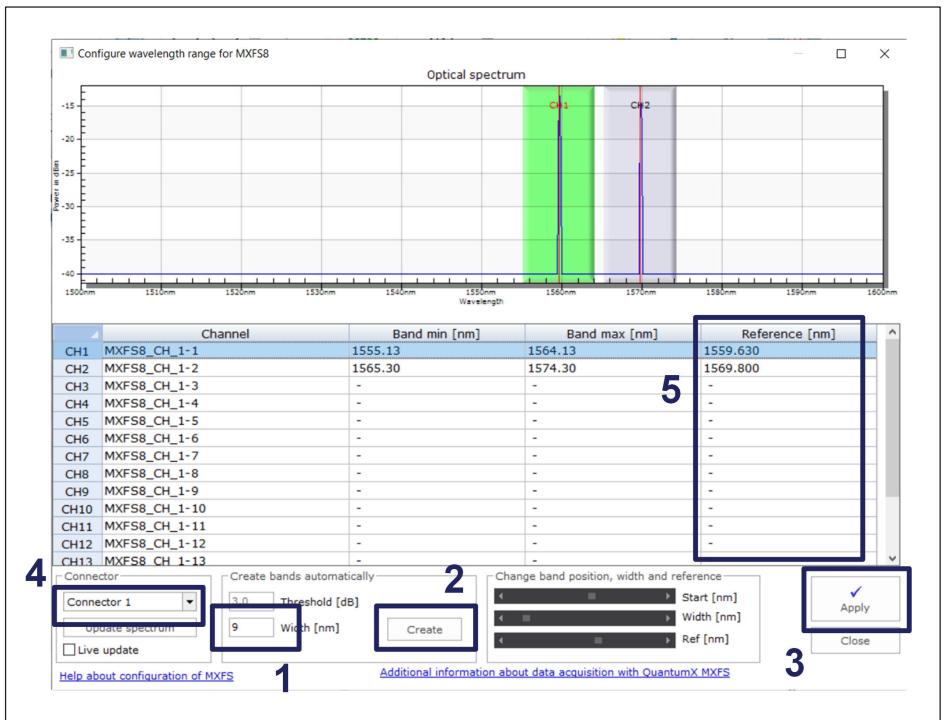


Abb. 5.2 Einrichten von Bereichen

- Die konfigurierten Bereiche im Gerät für den ausgewählten Anschluss („Connector“) übernehmen, dazu auf die Schaltfläche „Übernehmen“ klicken (Ziffer 3 in Abb. 5.2).
- Den Vorgang für alle Anschlüsse wiederholen, indem jeweils der entsprechende Connector ausgewählt wird (Ziffer 4 in Abb. 5.2).

## 5.2 Bewertung des Systems

Nachdem die Bänder korrekt definiert wurden, kann das System Messungen mit den Sensoren durchführen und die Systemkonnektivität testen.

Zum Prüfen der Sensoren wird auf jeden Sensor von Hand eine kleine Kraft ausgeübt, und das Ergebnis aus der Datenerfassungssoftware wird abgelesen. Damit wird jedes Paar „Kanalnummer – Sensor“ identifiziert, und der Sensor wird auf ordnungsgemäße Funktion überprüft (Ziffer 1 in Abb. 5.3)

catmanAP V5.5.3 [Presentation version]

File DAQ channels DAQ jobs Visualization Dataviewer Sensor database

Start Rename Sample Live update Active Display filter\* Slow Default Fast Configure TEDS Sensor Adaptation Edit mV/V Execute Zero balance f(x) New Delete Auxiliary channel Computation channels

Configure DAQ channels Devices: 1 Hardware channels: 128 Live update active

	Channel name	Reading	Sample rate/Filter	Sensor/Function	Zero value
1	MXFS8				
5	MXFS8_CH_1-1	0.0181 nm	100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
6	MXFS8_CH_1-2	0.0166 nm	100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
7	MXFS8_CH_1-3		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
8	MXFS8_CH_1-4		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
9	MXFS8_CH_1-5		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
10	MXFS8_CH_1-6		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
11	MXFS8_CH_1-7		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
12	MXFS8_CH_1-8		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
13	MXFS8_CH_1-9		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
14	MXFS8_CH_1-10		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
15	MXFS8_CH_1-11		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
16	MXFS8_CH_1-12		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
17	MXFS8_CH_1-13		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
18	MXFS8_CH_1-14		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
19	MXFS8_CH_1-15		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
20	MXFS8_CH_1-16		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
21	MXFS8_CH_2-1		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm
22	MXFS8 CH 2-2		100 Hz / BE 10 Hz (Auto)	Wavelength rel.	0.0000 nm

Abb. 5.3 Prüfung des Systems und Sensoridentifikation



### Tip

Nach der Bewertung des Systems kann das Anschlusskabel entfernt werden, und der Stromabnehmer ist nun bereit für die Montage auf dem Zug.

## 5.3 Sensorkonfiguration

Die Sensoren FS66HDL und FS65HDA verwenden 2 FBGs in einer Push-Pull-Konfiguration, um den Einfluss der Temperatur auf die Messungen zu eliminieren. MXFS DI und die Software catman bieten keine direkte Unterstützung für Sensoren mit zwei FBGs, daher müssen in der catman-Oberfläche Berechnungskanäle verwendet werden.

Jeder Sensor verfügt über ein Kalibrierdatenblatt mit den benötigten Parametern und den für die Konfiguration relevanten Formeln.

Sowohl FS66HDL als auch FS65HDA haben einen absoluten Kalibrierwert, d. h. die Referenzwellenlängen für jedes FBG müssen den auf dem Kalibrierdatenblatt angegebenen Wellenlängen entsprechen. Die Kalibrierformel ist eine Funktion der Wellenlängenänderungen der beiden FBGs gegenüber diesen Referenzwellenlängen.



Calibration Data		Configuration Equation
Reference wavelength @ 0g, $\lambda_0$ [nm]		$A = S \times [(\lambda_2 - \lambda_{02})_{FBG2} - (\lambda_1 - \lambda_{01})_{FBG1}]$
FBG1	1560.603	
FBG2	1570.512	
Calibration factor @100Hz, S [g/nm]	12.96	
Sensor Data		<b>Legend:</b>
Acceleration range [g]	[-20;20]	A: Acceleration [g <sub>0-pk</sub> ]
Frequency range [Hz]	[0; 200]	$\lambda_{01}$ : Reference wavelength FBG <sub>1</sub> of the accelerometer [nm] @ RT = Wavelength FBG <sub>1</sub> at zero instant (after installation)
Maximum full scale error [%]	0.5	$\lambda_{02}$ : Reference wavelength FBG <sub>2</sub> of the accelerometer [nm] @ RT = Wavelength FBG <sub>2</sub> at zero instant (after installation)
		$\lambda_1$ : Measured wavelength FBG <sub>1</sub> of the accelerometer [nm]
		$\lambda_2$ : Measured wavelength FBG <sub>2</sub> of the accelerometer [nm]
		0g position: direction perpendicular to accelerometer main axis
		RT: Room temperature
		1g = 9,80665 m/s <sup>2</sup>

Abb. 5.4 Beispiel der Kalibrierdaten von FS65HDA

Calibration Data		Configuration Equation
Reference wavelength @ 0N, $\lambda_0$ [nm]		$F = S \times [(\lambda_2 - \lambda_{02})_{FBG2} - (\lambda_1 - \lambda_{01})_{FBG1}]$
FBG1	1579.342	
FBG2	1589.545	
Calibration factor, S [N/nm]	416.515	
Sensor Data		<b>Legend:</b>
Measurement range [N]	[0;500]	F: Force [N]
Operation wavelength range [nm]		$\lambda_{01}$ : Reference wavelength FBG <sub>1</sub> of the force sensor [nm] @ RT = Wavelength FBG <sub>1</sub> at zero instant (after installation)
FBG1	[1579.3 , 1580]	$\lambda_{02}$ : Reference wavelength FBG <sub>2</sub> of the force sensor [nm] @ RT = Wavelength FBG <sub>2</sub> at zero instant (after installation)
FBG2	[1589.5 , 1590.2]	$\lambda_1$ : Measured wavelength FBG <sub>1</sub> of the force sensor [nm]
Dependence of sensitivity coefficient on temperature [%/10°C]	0.5	$\lambda_2$ : Measured wavelength FBG <sub>2</sub> of the force sensor [nm]
		0 N: zero load on force sensor positioned with arrow down
		RT: Room temperature

Abb. 5.5 Beispiel der Kalibrierdaten von FS66HDL

Die Werte der Referenzwellenlänge sollten in der Oberfläche „Bereiche einrichten“ aktualisiert werden.

- Die Referenzwellenlängen des FBG entsprechend den Angaben in den Kalibrierdatenblätter definieren (Ziffer **5** in Abb. 5.2).
- Die Einstellungen übernehmen (Ziffer **3** in Abb. 5.2).
- Den Vorgang für alle Anschlüsse wiederholen, indem der jeweils zu bearbeitende Connector ausgewählt wird (Ziffer **4** in Abb. 5.2).

Zur Ansicht der DAQ-Kanäle wechseln.

- Darauf achten, dass alle Kanäle des Interrogators als „Wellenlänge rel.“ definiert sind (Ziffer 2 in Abb. 5.3).

Sensortyp	Beschreibung	Ausgabe
Wellenlänge rel.	Wellenlängensensoren geben eine Wellenlängenänderung aus, die am FBG-Peak gemessen wird.	$\lambda - \lambda_0$

- Den Sensor umbenennen; dazu oben auf den Kanalnamen doppelklicken (Ziffer 3 in Abb. 5.3).
- Jeder Sensor benötigt zwei Signale. Zur Kennzeichnung beispielsweise „\_1“ und „\_2“ an den Kanalnamen anfügen, dabei immer auf korrekte Übereinstimmung mit dem Kalibrierdatenblatt achten.

Die einzelnen Messungen für jeden FBG-Peak entsprechen den Wellenlängenänderungen gegenüber den Referenzwellenlängen der Kalibrierung.

Um für jeden Sensor die Messungen der zwei FBGs zu kombinieren, muss ein berechneter Sensor erstellt werden.

- Auf die Schaltfläche „Neu“ für einen Berechnungskanal klicken (Ziffer 1 in Abb. 5.6).

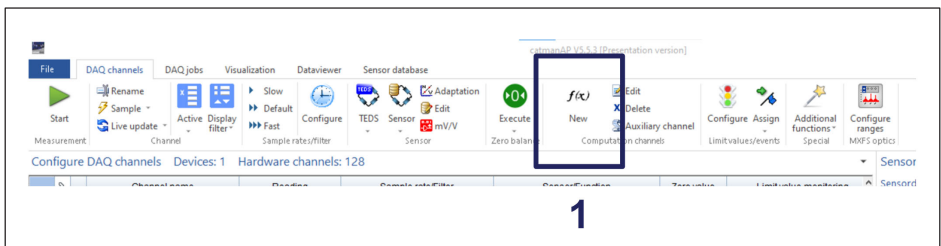


Abb. 5.6 Schaltfläche für einen neuen Berechnungskanal

Da jedes FBG so konfiguriert ist, dass es eine relative Wellenlänge misst, entsprechen die Pakete ( $\lambda - \lambda_0$ ) dem Wert des Kanals.

- Den Berechnungskanal mit den Kennwerten für jeden der Sensoren konfigurieren. Ein Beispiel einer Konfiguration für FS66HDL ist in Abb. 5.7 dargestellt.
- Den Namen des Sensors eingeben (Ziffer 1).
- Die zugehörige Ausgabeeinheit definieren (Ziffer 2).
- Den im Kalibrierdatenblatt des Sensors angegebenen algebraischen Ausdruck eingeben (Ziffer 3).
- Auf die Schaltfläche „Berechnung anlegen“ klicken (Ziffer 4 in Abb. 5.7).

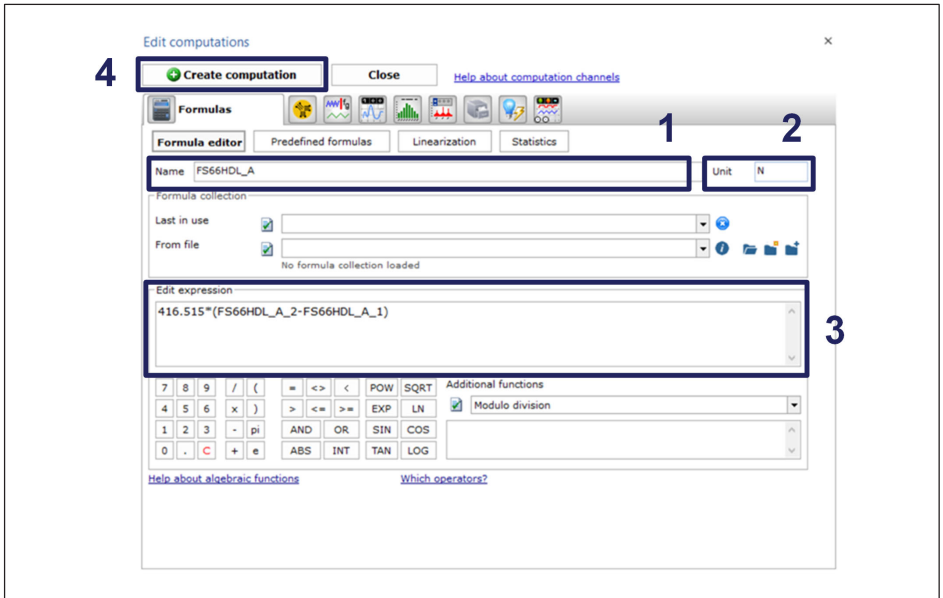


Abb. 5.7 Erstellen eines Berechnungskanals zum Konfigurieren des Sensors

Nach Abschluss der Konfiguration sollten 8 Berechnungskanäle erstellt sein (4 für Beschleunigungs- und 4 für Kraftmessungen).

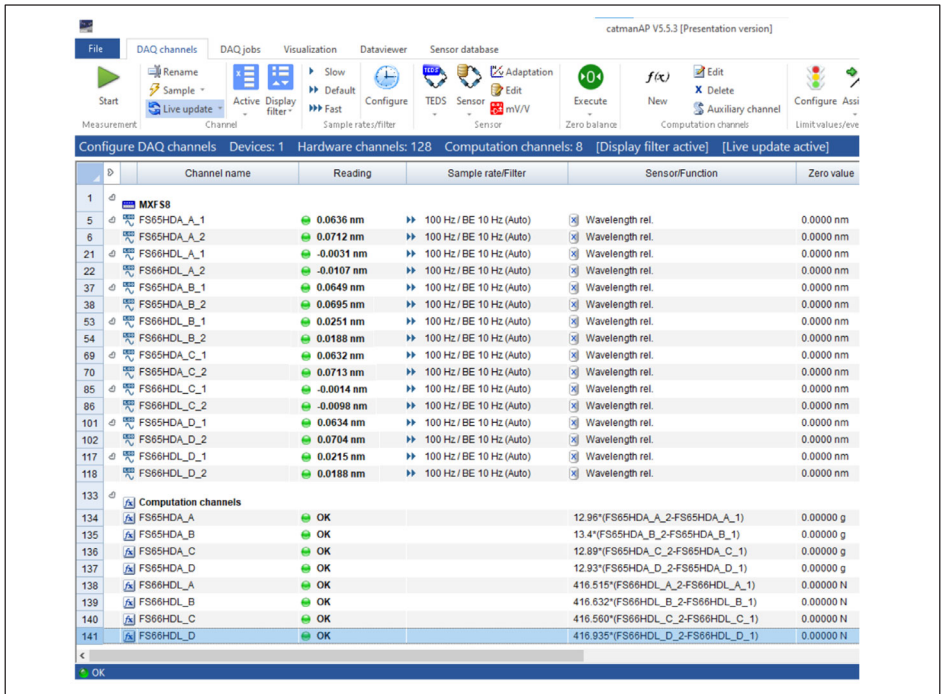


Abb. 5.8 Vollständig abgeschlossene Systemkonfiguration für 4x FS65HDA und 4x FS66HDL

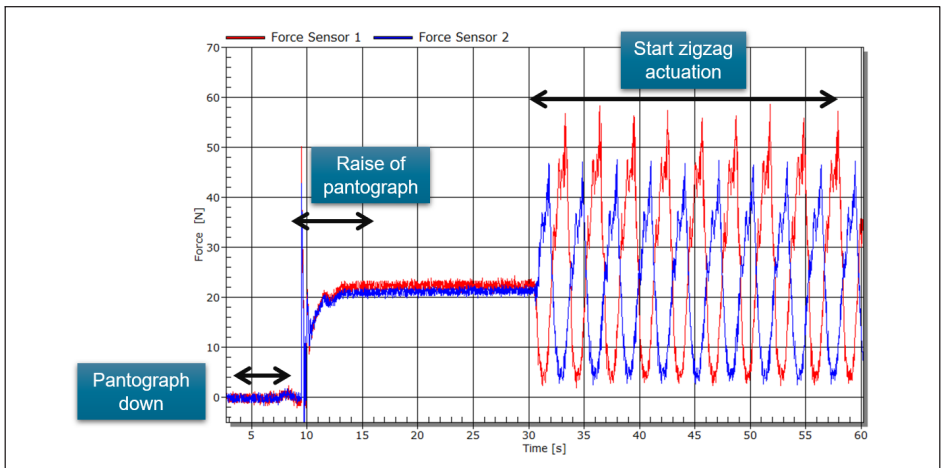


Abb. 5.9 Beispiel der Kraftmessung in catman

## 5.4 Kontaktkraft und Position

Die Stromabnehmer-Überwachungslösung ermöglicht die Berechnung der Kontaktkraft und der Seitenposition gemäß der Norm EN 50317.

Die Kontaktkraft kann mit der nachstehenden Formel berechnet werden, in der die Kraftmessungen der Sensoren FS66HDL und die Beschleunigung der Sensoren FS65HDA berücksichtigt werden. Außerdem wird eine Korrektur aufgrund der Aerodynamik des Stromabnehmers (abhängig von der Geschwindigkeit des Zuges) benötigt.

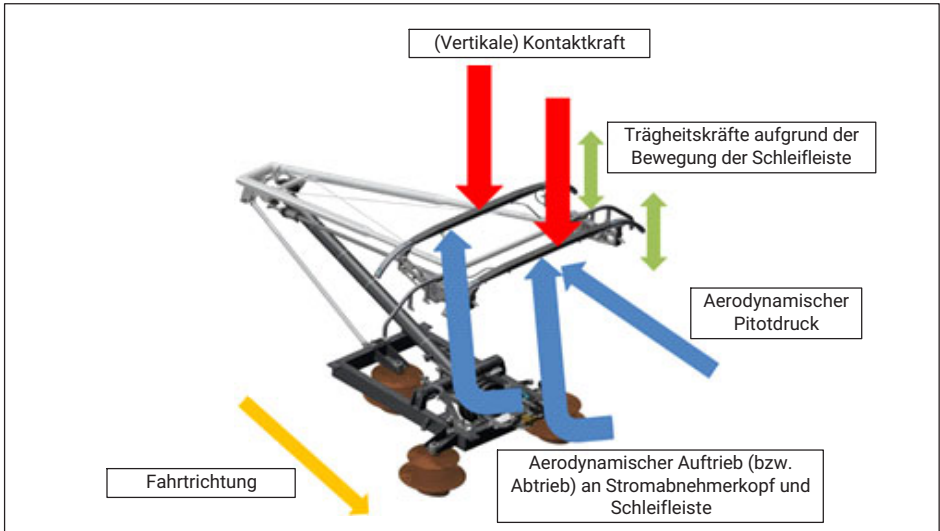


Abb. 5.10 Kräfte und Wirkungen an den Stromabnehmerstrukturen

### 5.4.1 Kontaktkraft

$$F_c = \sum_{i=1}^{k_f} F_{\text{Sensor},i} + \frac{m_{\text{oberhalb}}}{k_a} \sum_{i=1}^{k_a} a_{\text{Sensor},i} + F_{\text{korrr,aero}}$$

Abb. 5.11 Formel zur Berechnung der Kontaktkraft nach EN 50317

Mit:

- $F_c$  gleich der Kontaktkraft, in N
- $F_{\text{Sensor},i}$  gleich der gemessenen Kraft am Sensor I, in N
- $a_{\text{Sensor},i}$  gleich der gemessenen Beschleunigung am Sensor I, in g
- $k_f$  gleich der Anzahl der Kraftsensoren
- $k_a$  gleich der Anzahl der Beschleunigungssensoren

- $m_{\text{oberhalb}}$  gleich der Masse des Stromabnehmerkopfs oberhalb der Kraftsensoren
- $F_{\text{korrr,aero}}$  gleich der aerodynamischen Korrekturkraft, in N; sie ist geschwindigkeitsabhängig und kann aus der Lookup-Tabelle abgerufen werden

#### 5.4.2 Position

Die Position des Kontakts zur Oberleitung an jeder Schleifleiste kann mit der Formel aus Abb. 5.12 bestimmt werden.

$$x = \frac{F_2}{F_1 + F_2} L - L/2$$

Abb. 5.12 Berechnung der Position der Fahrleitung

Mit:

- $x$  gleich der Kontaktposition, in mm, wobei der Ursprung ( $x = 0$ ) in der Mitte der Schleifleiste liegt
- $F_1$  und  $F_2$  gleich den gemessenen Kräften, in N, von Sensor 1 und 2 an jeder Seite der Schleifleiste
- $L$  gleich dem Abstand zwischen Kraftsensoren, in mm

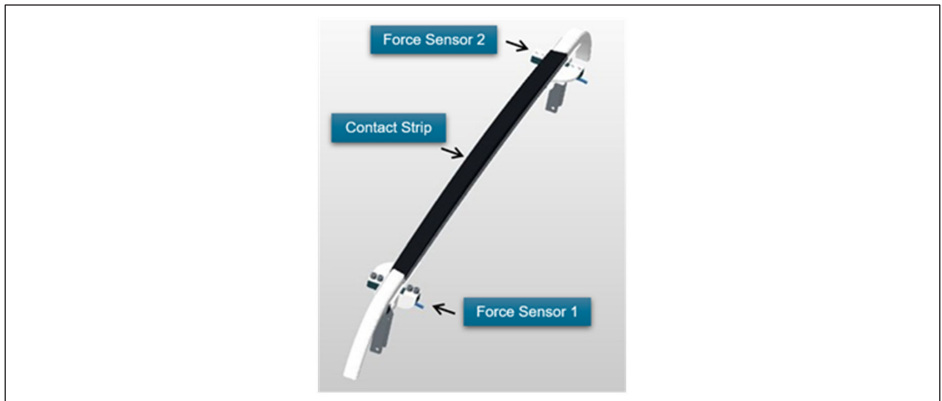


Abb. 5.13 Positionierung des Sensors an der Schleifleiste

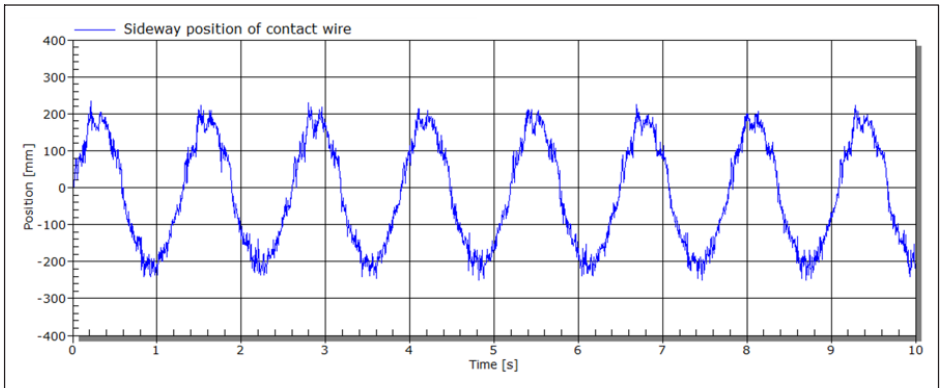


Abb. 5.14 Beispiel der Positionsmessung, die eine Zickzackbewegung des Fahrdrachts abbildet

Die Berechnung von Kontaktkraft und Position kann unter Verwendung der Berechnungskanäle auch nahtlos in catman konfiguriert werden.

Channel name	Sample rate/Filter	Type	SensorFunction	Zero value	Limit value monitor
145 Fsum			FS66HDL_A+FS66HDL_B+FS66HDL_C+FS66HDL_D	0.00000 N	
146 Asum			FS65HDA_A+FS65HDA_B+FS65HDA_C+FS65HDA_D	0.00000 g	
147 Contact Force			Fsum*(5/4)*Asum	0.00000 N	
148 Position A-B			FS66HDL_A/(FS66HDL_B+FS66HDL_A)*1.2-1.2/2	0.00000 m	
149 Position C-D			FS66HDL_C/(FS66HDL_D+FS66HDL_C)*1.2-1.2/2	0.00000 m	

Abb. 5.15 Berechnung von Kontaktkraft und Kontaktposition in catman

