Versuchsbeschreibung/Gebrauchsanleitung

# CorEx Sensing Science Smart Q Sensoren





# Smart Q Sensoren

### Garantie

Für alle Smart Q Sensoren wird ab Kaufdatum für einen Zeitraum von 12 Monaten garantiert, dass sie frei von Material- und Verarbeitungsfehlern sind. Dies gilt nur, wenn sie in Übereinstimmung mit dieser Gebrauchsanleitung unter normalen Laborbedingungen verwendet wurden. Die Gewährleistungspflicht erlischt, wenn die Sensoren durch Fehlbehandlung oder Missbrauch beschädigt wurden.

Falls innerhalb des Zeitraums von 12 Monaten ein Fehler auftritt, senden Sie den Sensor zur kostenlosen Reparatur oder Umtausch an Cornelsen Experimenta ein.

**Hinweis:** Smart Q Sensoren sind für den Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht an allgemeinbildenden Schulen entwickelt und nicht für industrielle, medizinische oder kommerzielle Anwendungen vorgesehen.

Cornelsen Experimenta Holzhauser Str. 76, 13509 Berlin www.corex.de

© 2010 Cornelsen Experimenta, Berlin

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt.

Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung von Cornelsen Experimenta.

Hinweis zu den §§ 46, 52 a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt oder sonst öffentlich zugänglich gemacht werden.

Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

Für Schäden, die durch die nicht bestimmungsgemäße Verwendung des Gerätesatzes verursacht wurden, übernehmen wir keine Haftung.

# Smart Q Sensoren

### Inhalt

Beleuchtungsstärke-Sensoren	4
Bewegungs-Sensor	9
Drehbewegungs-Sensor	15
Drehwinkel-Sensor	
Elektrokardiogramm (EKG)-Sensor	31
Feuchtigkeits-Sensor	40
Fotometer-Sensor	44
Gasdruck-Sensoren	54
Geiger-Müller-Sensor	62
Herzfrequenz-Sensor	70
Infrarot-Sensor	77
Kraft-Sensor	
Kohlenstoffdioxid-Sensor	
Ladungs-Sensor	95
Leitfähigkeits-Sensor	105
Lichtschranke	113
Magnetfeld-Sensoren	120
pH-Adapter und -Elektroden	130
Sauerstoff-Adapter und -Elektrode	142
Schall-Sensor	150
Spannungs-Sensoren	158
Spirometer	164
Strom-Sensoren	179
Temperatur-Sensoren	184
Thermoelement-Sensor	187
Tropfen- und Blasenzähler	190
Ultraviolett-Sensor	202
Vernier-Adapter	208
Wärmeströmungs-Sensor	212
Zubehör: Dioden-Laser	216
Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor	, 210 222
Zubehör: Cürtel für Atmungsaktivität	, 221
Zubehör: Dingspulo	∠
Zubehör: Speichaprad	234 227
Lubenor. Speichernau	

# Beleuchtungsstärke-Sensoren



Beleuchtungsstärke-Sensor – Best.-Nr. 73120 Bereich: 0 bis 1000 Lux Langsames lineares Ansprechverhalten. Auflösungsvermögen: 1 Lux Ein Mehrzweck-Sensor mit einem Bereich, der für die Verwendung bei Innenraum-Beleuchtungsstärken geeignet ist.

### Beleuchtungsstärke-Sensor – Best.-Nr. 73122

Bereich: 0 bis 100.000 Lux Lineares Ansprechverhalten. Auflösungsvermögen: 30 Lux Durch seinen weiten Bereich ist dieser Sensor ideal für die Umweltüberwachung.

Beleuchtungsstärke-Sensor – Best.-Nr. 73123

Bereich: 0 bis 1000 Lux Schnelles lineares Ansprechverhalten. Auflösungsvermögen: 1 Lux Dieser Beleuchtungsstärke-Sensor kann schnelle Änderungen der Lichtstärke überwachen, die mit dem Auge nicht beobachtet werden können: z. B. Modulationen der Lichtstärke einer Glühlampe, die durch die Netzfrequenz verursacht werden.

### **Einleitung**

Ein Smart Q Beleuchtungsstärke-Sensor verwendet eine Fotodiode, die eine zur Beleuchtungsstärke proportionale Spannung erzeugt. Sie ist lichtempfindlich im Bereich von 350 nm bis 700 nm. Der Sensor ist mit einem eingebauten Infrarot-Sperrfilter ausgestattet, welches ihm eine Spektralempfindlichkeit verleiht, die dem des menschlichen Auges ähnlich ist.

Die Smart Q Beleuchtungsstärke-Sensoren sind mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit und Konsistenz beträchtlich erhöht. Sie werden kalibriert geliefert, und die gespeicherte Kalibrierung (in Lux) wird automatisch geladen, wenn der Beleuchtungsstärke-Sensor an den CorEx Logger angeschlossen wird.

### Anschließen

Der CorEx Logger erkennt, dass der Beleuchtungsstärke-Sensor angeschlossen ist.

- Halten Sie das Beleuchtungsstärke-Sensor-Gehäuse so, dass sich der Aufkleber Smart Q oben befindet.
- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse am Sensorgehäuse, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers an (so dass sich der Markierungspfeil oben befindet).



### Beleuchtungsstärke-Sensor – Best.-Nr. 73120

### Bereich 0 bis 1000 Lux

Ein Mehrzweck-Sensor mit einem Bereich, der für die Verwendung bei Innenraum-Beleuchtungsstärken geeignet ist. Er ist mit einem eingebauten Filter ausgestattet, um das Flackern von Leuchtstofflampen zu glätten.

### Untersuchungen

- Gesetz der invers quadratischen Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke von der Entfernung
- Behelfsmäßiges Kolorimeter
- Untersuchung der Beleuchtungsstärke an verschiedenen Orten der Schule
- Untersuchung des Wachstums von Pflanzen
- Reaktionsgeschwindigkeiten
- Lichtdurchlässigkeit von Stoffen
- Wirksamkeit von Reflektoren
- Untersuchung unterschiedlicher Lichtquellen und ihrer Helligkeit
- Messung der Lichtstärke einer Glühlampe in einem einfachen elektrischen Stromkreis

### Gesetz der invers quadratischen Abhängigkeit

Bei dieser Untersuchung wird der Beleuchtungsstärke-Sensor verwendet, um die Stärke des von einer Lampe einfallenden Lichtes zu messen, wenn sich der Sensor von der Lampe weg bewegt.

Hinweis: Diese Untersuchung lässt sich am besten in einem abgedunkeltem Raum durchführen.

- Schließen Sie eine Lampe an eine Stromquelle an und schalten Sie sie ein. Legen Sie ein ausreichend langes Lineal auf die Arbeitsfläche, so dass sich die Nullmarkierung bei der Lampe befindet. Schließen Sie den Beleuchtungsstärke-Sensor an den *CorEx Logger* an.
- Bringen Sie den Beleuchtungsstärke-Sensor vor der Lampe an und bewegen Sie ihn dann von ihr weg, bis der vom Sensor gemessene Wert innerhalb seines Bereiches liegt, z. B.
   < 950 Lux bei 5 cm. Führen Sie eine Schnappschussmessung durch und vermerken Sie die Entfernung.

Schnappschussmessungen können durchgeführt werden:

- entweder mit Hilfe der Option Schnappschussmodus in Echtzeit im Programmteil Grafik der SENSING SCIENCE Software, oder
- 2. durch Wahl von **Schnappschuss** am CorEx Logger und anschließendes Herunterladen der erfassten Daten.
- Bewegen Sie den Beleuchtungsstärke-Sensor um einen gleichen Abstand weiter weg, z. B. 5 + 5 = 10 cm, und zeichnen Sie eine weitere Messung auf. Wiederholen Sie diese Schritte, bis der Wert von der Lichtquelle zu klein wird.

# Beleuchtungsstärke-Sensoren

- Legen Sie eine Spalte zum Eintragen der Entfernungswerte an: Wählen Sie aus dem Menü Werkzeuge die Option Funktionen-Assistent. Wählen Sie als Funktion a. Setzen Sie a = 0. Geben Sie als Name Entfernung und als Maßeinheit mm ein. Ändern Sie den maximalen Maßstab entsprechend den Gegebenheiten. Klicken Sie auf Übernehmen.
- Es wird eine mit Nullen gefüllte Spalte erzeugt. Doppelklicken Sie auf jede Zelle und geben Sie den entsprechenden Entfernungswert ein.
- Wählen Sie aus dem Menü Ausgabe die Option Ausgabe-Assistent. Wählen Sie als Anzeigetyp Punkte zeichnen und als X-Achse Sensor. Beenden.
- Falls erforderlich, ändern Sie den angezeigten Datenkanal (klicken Sie links neben die Achse), so dass Entfernung auf der X-Achse und der Beleuchtungsstärke-Sensor auf der Y-Achse angezeigt wird.

1000 900

800

700

600

400 300

200

100 0

0 200 400 600 800 1000 1200

500

Die erfassten Daten könnten zur weiteren Auswertung, z. B. zur Bestimmung der für die Beschreibung des Zusammenhangs am besten geeigneten Gleichung, in ein Tabellenkalkulationsprogramm wie etwa Excel importiert werden.

Beleuchtungsstärke-Sensor – Best.-Nr. 73122

шШ

### Bereich 0 bis 100.000 Lux

894.00 397.33 223.50 143.04

99.33 72.98

55.88 44.15 35.76 29.55 24.83 21.16 18.24 15.89 13.97

12.37 11.04 9.91 8.94

Dieser Sensor wird hauptsächlich für Messungen bei Sonnenlicht verwendet. Die Reaktion dieses Sensors wird geglättet, um unerwünschte Signale mit höheren Frequenzen herauszufiltern.

### Untersuchungen

- Umweltüberwachung
- Wetterstudie zur Beobachtung von Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeiten
- Leistung von Solarzellenfeldern





### Beleuchtungsstärke-Sensor – Best.-Nr. 73123

### Bereich 0 bis 1000 Lux

Dieser Beleuchtungsstärke-Sensor kann schnelle Änderungen der Lichtstärke überwachen, die mit dem Auge nicht beobachtet werden können, z. B. Schwankungen der Lichtstärke einer Glühlampe infolge von Spannungsschwankungen.

### Untersuchungen (nur mit CorEx Logger oder CorEx Link möglich)

• Modulationen einer Leuchtstofflampe infolge der Netzfrequenz und der Auswirkungen des Ein- und Ausschaltens des Lichtes.

**Hinweis:** Für diese Untersuchung sollte die Betriebsart **Schnell** verwendet werden. Prüfen Sie, dass der vom Beleuchtungsstärke-Sensor gemessene Wert innerhalb seines zulässigen Bereiches liegt.

📲 Light/~1.sid - Graph+					_ 6 ×
Elle Edit Collect Help					
Light F bx					
Light (br) 1000	Capture of the	modulation of a	fluorescent lang	)	
900-					
800-					
700-					
600-					
500					
300-		100Hz	modulation		
100		/	/ [Lia	ht level with the Flor	rescent switched off
	ANAMAAAAAA	MMMMM			
200-22111111111111111111111111111111111	*********	minul			
100-					
0. Start Time: 08/09/99 10:16:45		499.500 millisecor	vds	Time	999 milliseconds
Display Wizard Overlay mode Zoom	Values	Interval	Fredict	Text	Title Collect Remote
		D	isplay Anal	ysis Tools	

### Theorie

Licht wird durch die Freisetzung von Energie aus den Atomen eines Stoffes erzeugt, wenn sie durch Wärme, eine chemische Reaktion oder auf andere Weise angeregt werden. Es durchquert den Raum in Form einer elektromagnetischen Welle – einer Form von Strahlungsenergie. Es gibt viele Arten von Energie; dazu gehören Ultraviolett- und Infrarotstrahlung, Funkwellen und Röntgenstrahlen. Wir sehen nur einen winzigen Teil des Strahlungsenergiespektrums – den Teil, der als sichtbares Licht bezeichnet wird. Jede Strahlungsart hat ihre charakteristische Wellenlänge, welche als die Entfernung definiert ist, die eine Welle in einem Zyklus zurücklegt. Die Wellenlängen von UV-Strahlung, sichtbarem Licht und Infrarotwellen sind sehr klein und werden in Nanometern (nm), d. h. in milliardstel Metern gemessen.

400	nm 700	Dnm
ULTRAVIOLETT	SICHTBARES LICHT	INFRAROT
(Zu Röntgen- und Gammastrahlen)	Violett unter 450 nm	(Zu Radarwellen)
	Blau 450 –500 nm	
	Grün 500 – 570 nm	
	Gelb 570 – 590 nm	
	Orange590 – 610 nm	
	Rot 610 – 700 nm	

Der Beleuchtungsstärke-Sensor verwendet das fotometrische Messsystem, welches Licht darüber definiert, wie es vom menschlichen Auge wahrgenommen wird. Die Empfindlichkeit des Auges

# Beleuchtungsstärke-Sensoren

ist von der Wellenlänge oder Farbe des Lichtes abhängig. Die höchste Empfindlichkeit ist im grünen Teil des sichtbaren Spektrums vorhanden, während die Reaktion des Auges auf infrarotes oder ultraviolettes Licht gleich Null ist.

Die in diesem Sensor verwendete Fotodiode wurde aufgrund ihrer maximalen Empfindlichkeit im gesamten sichtbaren Teil des Spektrums und ihres eingebauten Infrarot-Sperrfilters gewählt.



### Messung in Lux

Ein Lux entspricht dem Licht von einer Kerze, die sich in einer Entfernung von 1 Meter befindet.

50 Lux	=	eine 60-Watt-Glühlampe in einer Entfernung von 1 Meter
100 Lux	=	eine 100-Watt-Glühlampe in einer Entfernung von 1 Meter
500 Lux	=	Leuchtstofflampenlicht
1000 Lux	=	Tageslicht bei bewölktem Himmel
20.000 Lux	=	Sonnenlicht im Winter
80.000 Lux	=	Sonnenlicht im Sommer

# **Bewegungs-Sensor**



### Bewegungs-Sensor – Best.-Nr. 73705

Abstandsmessung Entfernungsbereich: 17 cm bis 10 m Angezeigte Werte: 3 Dezimalstellen Auflösungsvermögen: 1 mm Automatische Umgebungstemperatur-Kompensation

*Zeitmessung* Bereich: 1000 bis 60000 µs Auflösungsvermögen: 1 µs Keine Temperaturkompensation

Stromversorgung Integrierter Akkumulator Mitgeliefertes Netz-Ladegerät

Der Bewegungssensor bezieht den Großteil der benötigten Energie aus seinem eingebauten Akkumulator oder über das Netz-Ladegerät. Der Sensor kann nur mit geladenem Akkumulator oder angeschlossenem Netz-Ladegerät funktionieren.

Sollte der Akkumulator vollständig entladen sein, muss der Sensor mindestens 10 Minuten aufgeladen werden, bevor man ihn in Betrieb nehmen kann. Ohne Messbetrieb dauert es ca. 7 Stunden, bis der Akkumulator vollständig geladen ist. Bitte beachten Sie, dass der Sensor trotz eigener Stromversorgung einen geringen Energieanteil aus dem *CorEx Logger* zum Betrieb benötigt. Verwenden Sie bitte ausschließlich das mitgelieferte Netz-Ladegerät.



### Einführung

Der Bewegungs-Sensor arbeitet auf Ultraschallbasis. Ein vom Sensor ausgestrahlter Ultraschall-Impuls trifft auf einen Gegenstand, von dem er auf den Sensor reflektiert wird. Der Sensor erfasst den zurückgestrahlten Impuls und misst die Zeit, die das Signal zum Objekt und zurück benötigt hat. Unter Einbeziehung des Wertes für die Schallgeschwindigkeit wird so eine Abstandsbestimmung durchgeführt.

Das Sensorgehäuse ist am Boden und zu beiden Seiten mit Gewindebohrungen versehen, in die der beiliegende Stativstab (80 x 10 mm Ø) eingeschraubt werden kann. Damit kann der Sensor in beliebiger Position an Stativmaterial befestigt werden. Der Sensor ist mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Konstanz und Genauigkeit der Messergebnisse garantiert. Der Sensor wird kalibriert geliefert und die gespeicherte Kalibrierung wird automatisch geladen, wenn der Sensor an den CorEx Logger angeschlossen wird.

### Anschluss

Der CorEx Logger erkennt automatisch, dass der Bewegungs-Sensor angeschlossen ist.

- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten langen Sensorkabels in die Buchse an der Seite des Bewegungs-Sensors, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers so an, dass sich der Markierungspfeil oben befindet.
- Wenn die Verbindung korrekt ist, ertönt am Sensor ein klickendes Geräusch und die rote LED an der Vorderseite des Sensors leuchtet auf, wenn ein reflektiertes Signal empfangen wird.

Wenn keine Messung erfolgt, sendet der angeschlossene Sensor alle 0,5 s einen Impuls an den Logger. Im Messzustand ist die Impulsfolge höher. Bei geringem Abstand zum Messobjekt beträgt die Impulsrate ca. 50 Hz (Messung alle 20 ms). Beträgt die Reflektionszeit länger als 20 ms (Abstand zum Messobjekt mehr als 2 m), verlangsamt sich die Zeit zwischen den Impulsen. Wenn der Logger bei der Wahl einer langen Messzeitspanne in den "sleep"-Modus schaltet (z. B. nach dem länger als 6 Minuten dauernden Erfassen im CorEx-Log-Modus), wird die Spannungsversorgung zum Sensor unterbrochen, das Klickgeräusch hört auf und die rote LED erlischt bis eine weitere Messung erfolgt. Beim automatischen Abschalten des CorEx Loggers nach 2 Minuten ohne Messung wird der Sensor ebenfalls abgeschaltet.

Die Wahl des gewünschten Messbereiches erfolgt im Programmteil "Sensor Konfiguration" der Sensing Science Software wie folgt:

- Schließen Sie den Bewegungs-Sensor an den CorEx Logger an und führen Sie das Programm **Sensor Konfiguration** aus.
- Die **Nummer** des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen ist, wird angeklickt. Der aktuell eingerichtete Messbereich ist markiert.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bereich einstellen**. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben.
- Wählen Sie den erforderlichen Bereich und klicken Sie auf **OK**.
- Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Die Messbereichswahl kann auch am CorEx Logger vorgenommen werden:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü System, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile Sensor-Messbereich einrichten, ENTER.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Bewegungs-Sensor angeschlossen ist, z. B. Eingang 1, **ENTER**.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die verfügbaren Bereiche anzeigen: Entfernung (mm), (cm), (Zoll) und Zeit.
- Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken Sie ENTER, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken Sie STOP, um zum Hauptmenü zurückzukehren.





# **Bewegungs-Sensor**

### Funktion

Der Bewegungs-Sensor strahlt Ultraschall-Impulse von einer Goldfolie im Sender/Empfänger (Transducer) aus. Diese Wellen breiten sich in einem konischen Raum mit einem Winkel von ca. 12° aus und werden an einem Gegenstand reflektiert. Die zurücklaufenden Ultraschallwellen werden vom Sensor erfasst und die Zeit gemessen, die der Schall vom Sensor zum Objekt und zurück benötigt hat. Aus der Größe der Schallgeschwindigkeit in Luft und der erfassten Zeit errechnet der Sensor den Abstand zu dem reflektierenden Objekt. Als Messobjekt ist jeder Körper geeignet, der Schallwellen reflektieren kann. Deshalb ist bei einer Messung zu prüfen, ob die Reflektion von dem gewünschten Objekt oder einem anderen im Schallkonus des Sensors befindlichen Gegenstand erfolgt (Wände, Möbel).



Wenn der Sensor auf einer waagerechten Grundfläche steht, ist er um ca. 6° geneigt. Diese Neigung gewährleistet, dass sich die Schallwellen parallel zur Horizontebene ausbreiten. Wenn der Sensor mit Stativmaterial aufgebaut wird, ist durch Probieren der günstigste Neigungswinkel herauszufinden, bei dem die Reflektion am Messobjekt einwandfrei erfolgt.

**Hinweis:** Der Bewegungs-Sensor registriert die Entfernung zu dem **am nächsten befindlichen** Objekt, das ein genügend starkes Echo erzeugt. Dies können Möbel oder andere Gegenstände im Raum sein, die sich im Kegel der Ultraschallwellen befinden.

Der Sensor ist so kalibriert, dass das Gitterfenster des Sensors der Nullpunkt für Abstandsmessungen ist. Für Abstandsmessungen ist ein Mindestabstand von ca. 17 cm zwischen Sensor und Messobjekt erforderlich, um einwandfreie Ergebnisse zu erzielen. Der Schaltkreis im Sensor benötigt eine gewisse Zeit, um nach dem Ausstrahlen eines Impulses den Sender abzuschalten und den Empfänger zum Erfassen des reflektierten Signals einzuschalten.

Die Empfindlichkeit des Echo-Empfangs wird automatisch mit zunehmendem Abstand zum reflektierenden Objekt verstärkt. Damit können auch schwächere Echos von weit entfernten Objekten sicher empfangen werden.

Der Bewegungs-Sensor fährt so lange fort, Impulse zu senden, bis der CorEx Logger keine Messwerte mehr anfordert. Dies kann zur Folge haben, dass das klickende Geräusch noch weiter zu hören ist, nachdem die Protokollierung beendet ist.



In die Entfernungsbereiche wurde eine Umgebungstemperatur-Kompensation integriert. Der Bewegungs-Sensor verwendet seinen internen Temperatur-Sensor, um den Wert für die Schallgeschwindigkeit, der bei der Berechnung der Entfernung verwendet wird (345 ms<sup>-1</sup> bei 21 °C), mit einem Korrekturfaktor zu versehen. Ohne Kompensation könnte bei Werten für große Entfernungen eine Abweichung von bis zu 0,5 m zwischen heißen und kalten Tagen auftreten. Für den Bereich Zeit erfolgt keine Temperaturkompensation. Es wird keine Kompensation hinsichtlich der relativen Feuchtigkeit oder des Luftdruckes durchgeführt. Vor Beginn jeder Messung ist mit der Funktion "Testmodus" im Programmteil "Grafik" der Sensing Science Software zu prüfen, ob der Sensor tatsächlich das gewünschte Objekt erfasst. Der Sensor kann keine zylindrisch geformten Körper erkennen. So kann z. B. ein eventuell störender Fuß eines Versuchsaufbaus durch Davorstellen eines Rohres (oder Kaffeetasse) für den Sensor "unsichtbar" gemacht werden. Flache Objekte können durch Umlegen nicht erkennbar gemacht werden.

Der Bewegungs-Sensor kann zusammen mit anderen Sensoren eingesetzt werden. So können z. B. Kraft und Bewegung eines Körpers gleichzeitig gemessen werden.

Der Bewegungs-Sensor erhält seine Betriebsspannung aus dem integrierten Akkumulator. Wird er in einem ununterbrochenen Protokollierungs-Betrieb über einen längeren Zeitraum verwendet, sollte das mitgelieferte Netz-Ladegerät an den Sensor angeschlossen werden.

### Erfassen schneller Bewegungen

### (nur mit CorEx Logger oder CorEx Link möglich)

Die maximale Messrate des Sensors beträgt 50 Hz, so dass die Position eines sich schnell bewegenden Objektes erfasst werden kann. Mit dem CorEx Logger können in der Funktion **Schnellerfassung** Daten mit einer 50 Hz-Messrate (20ms) aufgenommen werden. Bei einem Messintervall unter 20 ms gehen die gemessenen Werte gegen Null.

### Zeitmessen

Mit diesem Messbereich wird die Zeit angezeigt, die das Signal vom Sender zum Objekt und zurück benötigt hat. Mit diesem Bereich kann z. B. die Schallgeschwindigkeit gemessen werden. Der Sensor wird in einem Abstand von 1 m vom reflektierenden Objekt (Schirm, Wand) auf-gestellt. Mit dem Programmteil **Grafik** der Sensing Science Software kann der gemessene Wert angezeigt und ausgewertet werden.

**Beispiel:** Der Sensor ist im Abstand von 1 m vor einer Wand aufgestellt. Die Messtrecke beträgt 2 m (1 m vom Sensor zur Wand und 1 m von der Wand zurück zum Sensor). Der gemessene Zeitwert ist 5800 µs.

Schallgeschwindigkeit = 
$$\frac{\text{Strecke}}{\text{Zeit}}$$
 =  $\frac{2}{5800 \times 10^6}$  = 344,8 ms

# **Bewegungs-Sensor**

### **Mögliche Fehler**

Wenn ein Messintervall von weniger als 20 ms gewählt wird, ist das Ergebnis gleich Null. Die größte Messrate, mit der der Sensor erfassen kann, liegt bei 50/s (20 ms). Die geringste Distanz, bei der der Sensor genaue Ergebnisse liefern kann, liegt bei ca. 17 cm. Darunter sind die Ergebnisse nicht einwandfrei.



Wenn ein gemessener Wert falsch erscheint, ist zu prüfen, ob sich im Schallkonus des Sensors (12° Ausbreitungswinkel) Gegenstände befinden, die das Ergebnis verfälschen (Möbel, Lampen, Wände). Dieser Fehler kann insbesondere bei größeren Messabständen auftreten.

Wenn die rote LED zufällig oder gar nicht blinkt oder das klickende Geräusch zufällig oder gar nicht ertönt, ist möglicherweise der Akkumulator des Bewegungs – Sensors entladen. In diesem Fall laden Sie diesen Akkumulator bitte mindestens 10 Minuten auf, bevor Sie den Sensor wieder verwenden.

Sollten Daten richtig aufgenommen werden und dann plötzlich während der Messung inkonsistent werden und eine Meldung "Reset Interface" auftreten, kann es sein, dass der Akkumulator des Bewegungs-Sensors fast erschöpft ist. In diesem Fall laden Sie diesen Akkumulator bitte mindestens 10 Minuten auf, bevor Sie den Sensor wieder verwenden

Es können auch andere Schallquellen, die Ultraschallwellen im Frequenzbereich des Sensors ausstrahlen, zu Fehlmessungen führen (z. B. Lufterzeuger für eine Luftkissenfahrbahn oder Luftaustrittsdüsen einer Luftkissenfahrbahn).

Bei der Aufnahme von Bewegungen laufender Personen kann es vorkommen, dass die Kleidung nicht ausreichend reflektiert. In diesem Fall empfiehlt es sich, dass die Person einen großen, flachen Gegenstand als Reflektor vor sich hält.

Glänzende oder helle Oberflächen im Raum können die Ultraschallsignale mehrfach im Raum reflektieren. Um dies zu verhindern, sollten solche Flächen mit dunklem Stoff bedeckt werden. Pendelkugeln müssen mindestens einen Durchmesser von 50 mm und eine feste Oberfläche (kein Styropor) haben, um sicher vom Sensor erfasst zu werden.

# **Bewegungs-Sensor**

### Versuchsvorschläge

- Bewegungen auf den Sensor zu oder von ihm weg (Person, Wagen, Schlitten auf Fahrbahn)
- Bewegung auf einer geneigten Fläche
- Einfache harmonische Schwingung (Pendel)
- Newtonsche Bewegungsgesetze
- Fallende oder senkrecht abgeschossene Objekte
- Ein auf und nieder springendes Objekt
- Schallgeschwindigkeit
- Aufprallende Objekte (Impuls- und Stoßversuche)

### Zusammen mit einem Kraft-Sensor:

- Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Kraft und Bewegung
- Untersuchung von Stoß und Impuls
- Einfache harmonische Bewegung



### Drehbewegungs-Sensor – Best.-Nr. 73280

Messbereiche: 0-360 Grad Winkelposition: Auflösungsvermögen: 0,1 Grad Winkelgeschwindigkeit : ±4 Umdrehungen (Drehzahl) pro Sekunde Auflösungsvermögen: 0,01 Umdrehungen Winkelgeschwindigkeit : ±40 Radianten (Radianten) pro Sekunde Auflösungsvermögen: 0,1 Radianten

Lineare Verschiebung: ±200 mm Verwendung der Zahnstange als Zubehör Auflösungsvermögen: 0,1 mm

Entfernung: ±200 mm Verwendung der 11 Millimeter-Rolle Auflösungsvermögen: 0,1 mm

Entfernung:±2000 mmVerwendung der 31 Millimeter-RolleAuflösungsvermögen:1 mm

Entfernung: ±2000 mm Verwendung der 49 Millimeter-Rolle Auflösungsvermögen: 1 mm

Pendel: ±20 Grad Auflösungsvermögen: 0,1 Grad

### Einleitung

Der Smart Q Drehbewegungs-Sensor ist ein reibungsarmer Zweirichtungssensor, der für eine Vielzahl von Untersuchungen im Bereich der Rotationsmechanik eingesetzt werden kann. Er enthält einen optischen Kodierer, der pro Umdrehung der Welle des Sensors bis zu maximal 1024 Messimpulse übermittelt.

Der Drehbewegungs-Sensor kann für folgende Messungen verwendet werden:

- lineare Verschiebung bei Verwendung der drei Messbereiche für Rollen oder der linearen Zahnstange
- Winkelverschiebung bei Verwendung der Messbereiche Winkelposition oder Pendel
- Winkelgeschwindigkeit bei Verwendung der Messbereiche Drehzahl oder Radianten pro Sekunde.

Der Smart Q Drehbewegungs-Sensor ist mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit und Konsistenz der Anzeigewerte beträchtlich erhöht. Der Mikroprozessor enthält die Kalibrierung für 8 unterschiedliche Messbereiche, wodurch das Gerät zu einem vielseitigen Sensor für ein breites Spektrum von Laboruntersuchungen wird. Die für den jeweils gewählten Messbereich gespeicherte Kalibrierung wird automatisch in den Corex Logger geladen, sobald der Drehbewegungs-Sensor angeschlossen wird.

Der Drehbewegungs-Sensor wird mit einem Stahlstab (Länge 80 mm, Durchmesser 10 mm, mit Gewinde M6) geliefert. Dieser Stativstab kann in die Gewindebohrungen eingeschraubt werden, die sich an vier Seiten des Sensorgehäuses befinden. Der Stab kann für das Einspannen in eine geeignete Haltevorrichtung, z. B. ein Stativ, in vielen unterschiedlichen Positionen verwendet werden.

### **Der Sensor**

Im Gehäuse des Sensors befindet sich eine optische Kodierscheibe, die an der Welle des Sensors befestigt ist. Sobald die Welle gedreht wird, unterbricht die optische Kodierscheibe eine Lichtquelle und erzeugt so jedes Mal, wenn der Lichtstrahl durchtrennt wird, einen Impuls. Die durch diese Impulse übermittelten Informationen wurden verwendet, um Daten für acht Messbereiche bereitzustellen.

Diese sind:

- Entfernung: ±200 mm bei Verwendung der 11 Millimeter-Rolle
- Entfernung: ±2000 mm bei Verwendung der 31 Millimeter-Rolle
- Entfernung: ±2000 mm bei Verwendung der 49 Millimeter-Rolle
- Winkelposition: 0–360 Grad
- Pendel: ±20 Grad
- Winkelgeschwindigkeit (Radianten): ±40 Radianten pro Sekunde
- Winkelgeschwindigkeit (Drehzahl): ±4 Umdrehungen pro Sekunde
- Lineare Verschiebung: ±200 mm bei Verwendung der linearen Zahnstange

An der Vorderseite des Sensors befinden sich drei miteinander verbundene Rollen. Die Durchmesser der großen, mittleren und kleinsten Rolle betragen 49 mm, 31 mm und 11 mm. Die Löcher an den Rändern der 49 Millimeter- und der 31 Millimeter-Rolle können bei Bedarf zur Sicherung der Schnur genutzt werden. Die Rollen können auf zwei Arten auf der Welle montiert werden; entweder mit der kleinsten oder mit der größten Rolle dicht am Sensorgehäuse.

Um die Rollen in der jeweils umgekehrten Richtung zu montieren:

- 1. Benutzen Sie einen Schraubendreher, um Sicherungsschraube und Unterlegscheibe zu entfernen. Ziehen Sie die Rollen von der Welle ab.
- 2. Stecken Sie die Rollen nun umgekehrt auf die Welle des Drehbewegungs-Sensors, indem Sie die abgeflachte Seite der Welle mit dem entsprechenden Bereich des Lochs in der Mitte der Rollen in Übereinstimmung bringen.
- 3. Ziehen Sie die Sicherungsschraube mit der Unterlegscheibe wieder fest, um die Rollen in der neuen Position zu sichern.

**Der Reset-Knopf** befindet sich an der linken Seite des Sensors. Dieser Knopf funktioniert wie eine Tarierwaage und stellt, sobald er betätigt wird, den Ausgangswert des Sensors auf Null (Punkt in der Mitte der Skala). Dieser Punkt steht bei allen Messbereichen annähernd auf Null (abgesehen von der Winkelposition, die 180° beträgt). Aufgrund der physikalischen Eigenschaften der Kodierscheibe kann unter Umständen eine Feinjustierung für die absolute Null-Position erforderlich sein. Am besten erfolgt diese Justierung durch leichte Bewegung am Sensorgehäuse oder an der Welle.

Hinweis: Wenn es nicht möglich ist, den Sensor auf die absolute Null-Position einzustellen, kann die Messwertverschiebung der gesammelten Daten durch die Nutzung des Funktions-Assistenten rückgängig gemacht werden.



Einige Angaben auf der o. g. Abbildung beziehen sich auf separat erhältliches Zubehör. Zur Verfügung stehen:

- lineare Zahnstange, Pendelstab und Drehmoment-Scheiben, die als Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor bestellt werden können – Artikel Nr. 73288
- Speichen-Rolle Artikel Nr. 73177

### **Einspannen des Sensors**

Der Drehbewegungs-Sensor wird mit einem Stahlstab (Länge 80 mm, Durchmesser 10 mm, mit Gewinde M6) geliefert. Dieser Stativstab kann in die Gewindebohrungen eingeschraubt werden, die sich an allen vier Schmalseiten des Sensors befinden. Der Stab kann in eine geeignete Haltevorrichtung eingespannt werden, z. B. eine Klemme oder direkt in die Stativmuffe.



Bei Verwendung des Sensors im Versuch muss er sicher befestigt sein, z. B.:

• Spannen Sie den Stativstab in eine Muffe ein.

**Hinweis:** Es sollte nur der Stab eingespannt werden, **nicht** das Sensorgehäuse. Wenn der Sensor direkt eingespannt wird, kann sich das Gehäuse verziehen und dadurch die Ausrichtung der Welle beeinträchtigen.

- Lassen Sie den Drehbewegungs-Sensor auf der Arbeitsfläche aufliegen, um zu verhindern, dass er sich bewegt.
- Klemmen Sie das Stativ an der Arbeitsfläche fest.
- Halten sie den Abstand zwischen Sensor und Muffe so gering wie möglich, um die Verbiegung zu minimieren.
- Richten Sie den Sensor so genau wie möglich aus (in Abhängigkeit von der verwendeten Position vertikal oder horizontal), um eine ungleichmäßige Abnutzung der Wellenlager zu verhindern.

### Anschließen

- Stecken Sie ein Ende des Sensorkabels (mit dem CorEx Logger mitgeliefert) in die ausgeformte Buchse an der Seite des Sensors.
- Schließen Sie das andere Ende des Sensorkabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers an, so dass sich der Richtungspfeil am Stecker oben befindet
- Der CorEx Logger erkennt, dass der Drehbewegungs-Sensor angeschlossen ist, und zeigt den gerade eingestellten Messbereich an.



### Stromanschluss

Wenn dieser Sensor an den CorEx Logger angeschlossen ist, wird er ununterbrochen mit Strom versorgt. Der Sensor hat eine hohe Stromaufnahme (ca. 60 mA). Deshalb wird der Betrieb des CorEx Loggers mit dem Stecker-Netzgerät, wenn er über längere Zeit mit dem Sensor eingesetzt wird.

### Messbereichswahl

Die Wahl des gewünschten Messbereiches kann im Programmteil "Sensor-Konfiguration" der Sensing Science Software erfolgen.

- Schließen Sie den Drehbewegungs-Sensor an den CorEx Logger an und führen Sie das Programm **Sensor-Konfiguration** aus.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen ist, aus der Liste aus.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bereich einstellen**. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben.
- Wählen Sie den erforderlichen Bereich und klicken Sie auf **OK**.



Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Die Messbereichswahl kann auch am CorEx Logger wie folgt vorgenommen werden:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü System, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile Messbereich einstellen, ENTER.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Drehbewegungs-Sensor angeschlossen ist, z. B. Eingang 1, ENTER.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die **verfügbaren Bereiche anzeigen**, d. h. Winkelposition, Winkelgeschwindigkeit (Drehzahl), Winkelgeschwindigkeit (Radianten), lineare Zahnstange, 11 mm-Rolle, 31 mm-Rolle, 49 mm-Rolle und Pendel.
- Ein Sternchen (\*) bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken sie ENTER, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken sie STOP, um zum Hauptmenü zurückzukehren.

### Lineare Verschiebung

### Nutzung der Rollen-Messbereiche: 11, 31 und 49 mm

Wird eine Schnur durch die Rille der jeweiligen Rolle geführt und diese durch die Bewegung der Schnur in Drehung versetzt, kann die von der Schnur zurückgelegte Entfernung berechnet werden. Die Genauigkeit der Entfernungsberechnung hängt von der Stärke der verwendeten Schnur ab. Bei der Kalibrierung der gespeicherten Rollen-Messbereiche wurde eine Schnur mit 1,5 mm Durchmesser durch die Rille der jeweiligen Rolle geführt. Für genaue Ergebnisse benutzen Sie daher bitte Schnüre oder Stäbe mit 1,5 mm Durchmesser.

Rollen- Durch- messer	Entfernung	Richtung, in der die ab- nehmende Entfernung eingelesen wird (mit Blick auf die Rollen am Sensor von vorn)	Anzahl der vollstän- digen Umdrehungen über den Entfernungsbereich	Entfernung in mm, die mit jeder Umdrehung zurückgelegt wird
11 mm	±200 mm	im Uhrzeigersinn	±5,662	35,32
31 mm	±2000 mm	im Uhrzeigersinn	±21,11	94,74
49 mm	±2000 mm	im Uhrzeigersinn	±12,94	154,56

Die kombinierten Rollen am Drehbewegungs-Sensor sind in drei Größen abgestuft. Die kleinste Rolle hat einen Durchmesser von 11 mm und kann eine Entfernung von  $\pm 200$  mm messen. Die beiden anderen Rollen haben Durchmesser von 31 und 49 mm, und messen jeweils eine Entfernung von  $\pm 2000$  mm. Welche Rollengröße konkret verwendet wird, hängt in der Regel vom jeweiligen Versuchsaufbau ab.

Um mit Hilfe der Rollen die von einem Objekt zurückgelegte Entfernung zu registrieren, kann entweder eine Schnur benutzt werden, die über der Rolle liegt, oder ein Stab aus Metall oder Holz, der auf der Rolle liegt/in der Rille der Rolle ruht.



### Verwendung einer Schnur über der Rolle

- 1. Es ist zu entscheiden, welcher Rollen-Durchmesser für den Versuch am besten geeignet ist. Dieser ist als Messbereich einzustellen (siehe <u>Messbereichswahl</u>).
- 2. Der Drehbewegungs-Sensor wird unter Verwendung des mitgelieferten Stativstabes in ein Stativ eingespannt.
- 3. Eine 1,5 mm starke Schnur wird in geeigneter Länge abgeschnitten. Ein Ende der Schnur wird am Testobjekt befestigt und am anderen Ende ein kleines Massestück angehängt, um die Schnur zu spannen.
- 4. Die Schnur wird in die Rille der ausgewählten Rolle gelegt und sichergestellt, dass die Rolle frei läuft, wenn das Testobjekt bewegt wird.
- 5. Das Testobjekt wird an seiner Startposition fixiert und dafür gesorgt, dass das kleine Massestück die Schnur spannt. Dann wird der **Reset-Knopf** an der Seite des Gehäuses am Drehbewegungs-Sensor gedrückt, um auf den Nullpunkt einzustellen.

Hinweis: Um die absolute Null-Position einzustellen, kann eine kleine Bewegung am Sensorgehäuse nötig sein.

6. Die Aufzeichnung wird gestartet und das Testobjekt freigegeben, um die Veränderung der Entfernung zu registrieren.

Versuchswagen

Diese Methode empfiehlt sich für:

- Verbindung mit einem Spirometer zur Messung von Atmungsmustern.
- Untersuchungen zur Bewegung mit einem Versuchswagen (siehe Abb. rechts).
- Aufzeichnung der Entfernung, die ein weiterer Sensor zurücklegt, z. B. bei Resonanzuntersuchungen mit einem Schall-Sensor in einem Rohr (siehe Abb. rechts).

### Verwendung eines Stabes aus Metall oder Holz

Anstelle einer Schnur kann auch ein Stab benutzt werden, z. B. wenn ein Massestück zur Schnurstraffung unerwünschte Bewegungen verursachen könnte. Es wird wie oben beschrieben vorgegangen. Anstelle einer Schnur wird ein Stab aus Metall oder Holz mit 1,5 mm Durchmesser an dem zu bewegenden Objekt befestigt. Der Stab ruht in der Rille der gewählten Rolle.



Massestück -

Drehbewegungs-Sensor

Diese Methode empfiehlt sich für:

 Messen der Bewegung des Kolbens einer Gasspritze (Kolbenprober) bei einer Untersuchung zur Reaktionsgeschwindigkeit (siehe Abb. rechts).



### Ausgleich für einen Stab oder eine Schnur mit abweichendem Durchmesser

Bei der Kalibrierung der Rollen-Bereiche wurde eine Schnur mit 1,5 mm Durchmesser benutzt. Wird ein Stab oder eine Schnur mit anderem Durchmesser verwendet, können die Messungen der zurückgelegten Entfernungen fehlerhaft sein, so dass die Berechnung eines Korrekturfaktors für Ihre Daten notwendig wird.

An der gerade verwendeten Rolle wird ein Punkt markiert. Gleichfalls erfolgt eine Markierung an der Schnur/dem Stab, während sie/er in der Rille der Rolle liegt/ruht. Beide Punkte werden in Übereinstimmung gebracht. Mit der Schnur/dem Stab wird eine vollständige Umdrehung der Rolle gemacht und eine zweite Markierung auf der Schnur/dem Stab angebracht. Die Entfernung zwischen den beiden auf der Schnur/dem Stab markierten Punkten wird gemessen und der benötigte Korrekturfaktor mit Hilfe der Tabelle ermittelt.

### **Beispiel:**

Rollen- Durch- messer	Die für jeweils eine Umdrehung kalibrierte Entfernung (mm)
11 mm	35,32
31 mm	94,74
49 mm	154,56



Die für eine Umdrehung gemessene Entfernung zwischen den beiden auf der Schnur/dem Stab markierten Punkten betrug bei Verwendung der 49mm-Rolle 162 mm. Da die Kalibrierung für eine Umdrehung jedoch auf 154,56 mm berechnet wurde, beträgt der

Korrekturfaktor =  $\frac{162}{154,56}$  = 1,05 mm.

Für die Anwendung des Korrekturfaktors auf die erfassten Daten kann die Funktion **ax – by** benutzt werden. Dabei ist:

- a = 1,05 (der Korrekturfaktor)
- x = die erfassten Daten für die 49mm-Rolle und
- b = 0 (um den by-Teil der Gleichung auszugleichen)

### Verwendung des Messbereiches "Lineare Zahnstange"

Bei Wahl dieses Messbereiches misst der Drehbewegungs-Sensor präzise lineare Verschiebungen von ±200 mm, wenn er mit der linearen Zahnstange aus dem Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor – Artikel Nr. 73288 – verwendet wird. Die lineare Zahnstange hat eine Zahnreihe und bewegt ein mit der Kodiererwelle verbundenes Zahnrad.

Dieses Zubehör eignet sich für Anwendungen, bei denen Entfernungen ohne Einwirkung anderer Kräfte, z. B. Spannung oder Zug, gemessen werden sollen. Mit einer zum Zubehörpaket gehörenden



Mini-Klemme kann ein weiterer CorEx Sensor an der linearen Zahnstange befestigt werden. So kann die während einer Untersuchung durch Bewegung veränderte Position eines Sensors registriert werden, z. B. bei Untersuchungen zum Gesetz der invers quadratischen Abhängigkeit mit einem Beleuchtungsstärke-Sensor (siehe Abb. oben).

### Winkeländerung

### Verwendung des Messbereiches "Winkelposition"

Bei Wahl dieses Messbereiches registriert der Drehbewegungs-Sensor Winkeländerungen von 0 – 360 Grad, was einer vollständigen Umdrehung der Rollenwelle entspricht. Der Mittelpunkt der Skala dieses Messbereiches liegt bei 180 Grad, so dass der Sensor nach Betätigung des **Reset-Knopfes** einen Wert nahe 180 Grad anzeigt.

**Hinweis:** Um die absolute 180 Grad-Position einzustellen, kann eine kleine Bewegung am Sensorgehäuse nötig sein.

Dieser Messbereich eignet sich für Pendel mit großen Ausschlägen.

### Verwendung des Messbereiches "Pendel"

Bei Wahl dieses Messbereiches registriert der Drehbewegungs-Sensor Winkeländerungen von ±20 Grad gegenüber der vertikalen Ruhestellung.

Der Messbereich "Pendel" ist für die meisten Pendelexperimente geeignet.

### **Einfaches Pendel**

- Der Stativstab wird in das Sensorgehäuse und in eine Muffe eingespannt. Die Unterseite des Sensorgehäuses liegt auf der Arbeitsfläche auf, um Bewegung zu verhindern. Das Stativ wird so aufgestellt, dass das Pendel frei über den Rand der Arbeitsfläche herabhängt.
- Der Messbereich wird auf "Winkelposition" oder "Pendel" eingestellt (siehe <u>Messbereichs-</u> <u>wahl</u>).
- Ein gerades Stück Draht mit oder ohne Pendelmasse wird am Drehbewegungs-Sensor befestigt.

Zur Befestigung des Drahtes gibt es zwei Möglichkeiten:

- 1. Methode:
- Ein Massestück wird an einem Ende eines geraden Drahtstückes befestigt.
- Die vorn in der Mitte der kombinierten Rollen befindliche Schraube wird ein wenig gelöst, damit eine kleine Lücke zwischen dem Schraubenkopf und der Welle entsteht.
- Das freie Ende des Drahtstückes wird zu einem kleinen Haken gebogen und in diese Lücke eingehängt.
- Die Schraube wird wieder festgezogen, um den Draht fest zu klemmen.



# Draht Loch in der Rolle Ur Sicherung umbiegen

- *2. Methode:*Fin Masses
- Ein Massestück wird in der Mitte eines Drahtstückes befestigt.
- Die kombinierten Rollen werden so gedreht, dass sich die mit zwei kleinen Löchern versehene Vertiefung in der größten Rolle in 12 Uhr-Stellung befindet.
- Ein Ende des Drahtes wird aus der Rille der Rolle durch ein Loch nach außen geführt und in dieser Position durch leichtes Umbiegen gesichert. Der Vorgang wird mit dem anderen Ende des Drahtes wiederholt, jedoch durch das andere Loch herausgeführt.

**Hinweis:** Es empfiehlt sich eine Pendellänge von 1 m. Für die 1. Methode eignet sich ein Leitungsdraht aus einem Stück Netzkabel mit 1,5 mm Querschnitt. Für die Anwendung der 2. Methode muss der Draht dünner als 1 mm sein, damit er durch die Löcher der größten Rolle passt.

- Wenn sich das Pendel frei hängend in Ruhestellung befindet, wird der Reset-Knopf am Sensor gedrückt.
- Das Verfahren der Datenerfassung wird gewählt. Der Programmteil "Grafik" wird geöffnet und mit dem Erfassungs-Assistent eine Zeitspanne von 10 Sekunden und die Startbedingung gewählt – z. B. Auslösen, wenn das Pendel über den Wert von 0,00° ausschlägt.
- Das Pendel wird ausgelenkt und das "**Start**"-Feld im Programmteil "**Grafik**" geklickt. Die Protokollierung beginnt, sobald die Triggerbedingung erfüllt ist.

### Das separat erhältliche Zubehör zum Drehbewegungssensor

Für den Einsatz des Pendelstabes mit Massestücken aus dem Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor, Artikel Nr. 73288, empfehlen sich die beiden Messbereiche "Winkelposition" und "Pendel". Der Pendelstab kann sowohl für Pendeluntersuchungen als auch für Drehträgheitsuntersuchungen verwendet werden. Mit einer der Drehmoment-Scheiben aus dem

Zubehörsatz können die kombinierten Rollen zu einem runden Tisch umgewandelt werden. Dieser Tisch kann um seine Achse gedreht werden, wobei seine Position bei Verwendung des Messbereiches "Winkelposition" aufgezeichnet wird.

### Winkelgeschwindigkeit

Verwendung der Messbereiche "Umdrehungen pro Sekunde" oder "Radianten pro Sekunde"

Der Drehbewegungs-Sensor kann die Winkelgeschwindigkeit entweder als Umdrehungen oder Radianten pro Sekunde aufzeichnen. Während die Welle des Sensors gedreht wird, unterbricht die optische Kodierscheibe eine Lichtquelle und durchtrennt den Lichtstrahl. Anhand der Länge dieser Unterbrechungen wird die Winkelgeschwindigkeit berechnet.

Bei Einstellung des Messbereiches "Winkelgeschwindigkeit (Umdrehungen/s)" erscheinen im Display die Umdrehungen je Sekunde. Bei Wahl des Messbereiches "Winkelgeschwindigkeit (Radianten)" werden die Radianten je Sekunde angezeigt.

Die Winkelgeschwindigkeit ist das Maß für den Winkel, der pro Sekunde durchlaufen wird. Radiant ist eine alternative Winkelmaßeinheit, die in der Physik häufig an Stelle von Grad verwendet wird (siehe Abb. rechts).

Ein Gegenstand benötigt Zeit (t), um einen Winkel  $(\theta)$  zu durchlaufen.

Winkelgeschwindigkeit =  $\frac{\theta}{t}$  rads<sup>-1</sup>

1 Radiant = 57,296 ° Vollkreis =  $360^\circ$  = 2  $\pi$  rad = 6,28 rad Halbkreis =  $180^\circ$  =  $\pi$  rad = 3,14 rad

# Paar Drehmomentscheiben aus dem Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor

Beide Messbereiche für die Winkelgeschwindigkeit eignen sich gut für den Einsatz des Drehmoment-Scheiben oder der Pendelstange mit Massestücken. Mit diesen Zubehörteilen können Untersuchungen zum Trägheitsmoment, zu Drehkollisionen und zur Drehmomenterhaltung durchgeführt werden.







### Rückgängigmachen der Messwertverschiebung bei erfassten Daten

Zur Beseitigung von Messwertfehlern bei erfassten Daten kann der Funktions-Assistent genutzt werden. Dies empfiehlt sich bei Daten, die erfasst wurden, als der Sensor nicht auf die absolute Null-Position eingestellt war.

Der **Funktions-Assistent** wird geöffnet und die Funktion  $ax^2 + bx + c$  ausgewählt. Der Funktionsteil  $ax^2$  muss auf mathematischem Weg entfernt werden, indem a = 0 gesetzt wird. Dadurch ergibt sich die Funktion bx + c.

Die Daten werden wie folgt eingesetzt:

- a = 0.
- x = die vom Sensor, z. B. mit der linearen Zahnstange, erfassten Daten.
- b = 1.
- c = der Korrekturfaktor. Bei Korrektur nach oben ist er eine positive Zahl, bei Korrektur nach unten eine negative.
- In das entsprechende Feld wird ein **Name** für den korrigierten Datensatz eingesetzt.
- In das entsprechende Feld wird die zutreffende Maßeinheit für den Datensatz eingesetzt.
- Ggf. werden die Maximal- und Minimalwerte in den jeweiligen Fenstern geändert.

Function ax <sup>2</sup>	+ bx + c	<u>*</u>
x= (1) Linear F	lack 💌 a= 🛛	
y= time (s)	💌 b= 1	
	c= 2.3	
Number of decir	nal places to be shown:	2
max 200.00	name Linear rack	9
min (0.00	unit mm	

### Versuchsbeispiele

- Bewegung eines Versuchswagens
- Atwood-Maschine (Fallmaschine)
- Reaktionsgeschwindigkeiten: Gasvolumen in einer Gasspritze (Kolbenprober)
- Untersuchung von Pendelbewegung und einfacher harmonischer Schwingung
- Messung von Atmungsmustern mit einem Spirometer
- Erhaltung mechanischer Energie
- Von einem Smart Q Sensor zurückgelegte Verschiebung

Bei Verwendung mit dem Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor (Artikel Nr. 73288):

- Drehimpulserhaltung
- Trägheitsmoment
- Pendelversuche
- Gravitations-Drehenergie
- Reibungsdrehmoment
- Drehkollisionen
- Drehträgheit
- 2. Newton'sches Gesetz (Axiom) für die Rotation
- Verfolgen von Kreisbewegungen
- Lineare Verschiebung eines Gegenstandes oder Smart Q Sensors

### Wartung und Pflege

Wenn sich der Drehbewegungs-Sensor nicht wie vorgesehen frei bewegt, können die beiden Lagerstellen der Welle mit einem Tropfen Nähmaschinenöl benetzt werden:

- 1. Am Wellenende auf der Rückseite des Sensors.
- 2. Zwischen den drei kombinierten Rollen und dem Sensorgehäuse.

Damit sich das Öl vollständig in den Lagern verteilen kann, wird die Rolle am Sensor einige Male gedreht.

### Störungsbeseitigung

*Es erfolgt eine unregelmäßige Anzeige der Daten kurz bevor der Sensor zum Stillstand kommt.* Nähert sich die Rotationsgeschwindigkeit gegen Null (weniger als 0,02 Umdrehungen pro Sekunde) dauert die Durchtrennung des Lichtstrahls durch die optische Kodierscheibe zu lange und die Messwerte werden jetzt nicht mehr registriert. Dadurch werden Messwertschwankungen nach Stillstand des Sensors verhindert.

Die auf dem Sensor angezeigte Entfernung beträgt nicht wieder 0 mm, nachdem das im Test verwendete Objekt auf seine markierte Startposition zurückgebracht wurde.

Dies kann am Schlupf zwischen Faden und Rollen liegen.

- a. Sofern die Größe des Massestücks die Untersuchung nicht beeinträchtigt, kann man versuchen, das Spanngewicht zu erhöhen, um die Griffigkeit zwischen Faden und Rollen zu verbessern.
- b. Die Kontaktfläche zwischen Faden und Rolle kann vergrößert werden, indem man den Faden vor Versuchsbeginn mindestens einmal ganz um die jeweilige Rolle führt.
- c. Vor Wiederholung des Experiments wird der Reset-Knopf betätigt, um auf nahe Null zurückzustellen.

Warum springt die Aufzeichnungskurve plötzlich an den oberen oder unteren Rand des Bildschirms? Die erfassten Daten liegen außerhalb des Sensor-Messbereiches. Es ist sicher zu stellen, dass der Startpunkt bei Null (oder bei 180 Grad) liegt und dass der Maximalwert für den jeweiligen Messbereich nicht überschritten wird; wenn z. B. der Messbereich "Pendel" eingestellt wurde, darf der Winkel der Pendelschwingung 20 Grad nicht überschreiten.

# **Drehwinkel-Sensor**



Drehwinkel-Sensor – Best.-Nr. 73155

Bereich:±20° RotationAuflösungsvermögen:0,01°

### Einleitung

Der Smart Q Drehwinkel-Sensor wurde speziell zur Verwendung bei Untersuchungen auf dem Gebiet der Pendeltheorie konstruiert. Er umfasst ein Potentiometer mit sehr geringer Reibung, das von einem Metallgehäuse umschlossen ist, welches an einem Ende mit einem Stativstab versehen ist, um eine zuverlässige Befestigung an Stativmaterial zu ermöglichen. Die Welle ist mit einer durchgehenden Bohrung von 3 mm Durchmesser versehen und mit einer Sicherungsschraube ausgestattet, wodurch Zusatzgeräte sicher festgehalten werden können. Der Sensor hat eine LED-Anzeige für die Nullposition. Der Smart Q Drehwinkel-Sensor ist mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit und Konsistenz der Anzeigewerte beträchtlich erhöht. Der Sensor wird kalibriert geliefert, und die gespeicherte Kalibrierung (in Grad) wird automatisch geladen, wenn der Drehwinkel-Sensor an den CorEx Logger angeschlossen wird.



### Anschließen

Der CorEx Logger erkennt, dass der Drehwinkel-Sensor angeschlossen ist.

- 1. Schließen Sie das Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers so an, dass sich der Markierungspfeil oben befindet.
- 2. Stellen Sie das Pendel auf Null ein, d. h. so, dass das Pendel, wenn es sich in seiner Ruhestellung befindet, dem Nullpunkt in der grafischen Darstellung entspricht.

Für Pendelversuche wird dies wie folgt erreicht:

- Spannen Sie den Stab des Drehwinkel-Sensors in Stativmaterial ein, so dass das Kabel herabhängt.
- Stecken Sie ein gerades Drahtstück durch die Bohrung in der Welle hindurch und ziehen Sie die Sicherungsschraube fest. Im Allgemeinen ist eine Länge von ca. einem Meter geeignet, sie liefert eine Periode von ca. 2 Sekunden. Eine Pendelmasse am Ende des Drahtes hilft, ihn in seiner Position zu halten. Wir empfehlen den Pendelstab mit Masse (Best.-Nr. 73256).
- Stellen Sie das Stativ so auf, dass das Pendel frei über den Rand der Oberfläche herabhängt.

# **Drehwinkel-Sensor**

• Während das Pendel **ruhig** und frei in der Ruheposition hängt, lösen Sie die Stativklemme und **drehen** Sie das **Gehäuse** des Sensors, bis die **rote LED aufleuchtet**. In dieser Stellung ist der Nullpunkt des Pendels derselbe wie in der grafischen Darstellung. Spannen Sie den Sensor in dieser Position wieder fest ein.

**Hinweis:** Es ist möglich, dass die Welle um 180° phasenverschoben ist. Schrauben Sie in diesem Falle das Pendel los, drehen Sie die Welle um 180° und befestigen Sie das Pendel wieder.

### Mögliche Versuche

- Die Periode eines Pendels Einstellen der Amplitude
- Periode und Länge Einstellen der Länge der Pendelstange
- Gedämpfte Schwingungen Verwendung von Kartonstücken unterschiedlicher Größen zur Erzeugung eines Luftwiderstandes
- Einfache harmonische Bewegung
- Beobachtung des Wachstums von Pflanzen\*
- Volumenvergrößerung von Brotteig\*
- Reaktionsgeschwindigkeiten\*

\* Für diese Untersuchungen wird der Drehwinkel-Sensor mit einer an der Welle befestigten Hebelstange (Best.-Nr. 73157) verwendet. Wenn sich der Hebel bewegt, dreht er den Sensor.

### Pendeluntersuchungen

In der Mechanik ist ein einfaches Pendel als ein kleiner, schwerer Körper definiert, der mittels eines leichten, nicht dehnbaren Fadens aufgehängt ist.

Eine vollständige Hin- und Herbewegung des Pendels wird eine **Schwingung** genannt. Die für eine vollständige Schwingung benötigte Zeit ist die **Periode**. Die Länge des Pendels (*I*) ist als die Entfernung vom Aufhängungspunkt zum Schwerpunkt der Masse definiert. Wenn das Pendel hin- und herschwingt, wird die maximale Auslenkung der Masse in Bezug auf die Ruheposition die **Amplitude** genannt.





Galileo zeigte als erster, dass die Schwingungsperiode eines Pendels von seiner Amplitude unabhängig ist.

Die Schwingungsperiode wird durch folgende Formel angegeben:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g}}$ Da  $\pi$  und g Konstanten sind, bedeutet dies, dass  $T^2 \sim I$  gilt.

 $l = Länge in m und g = Schwerebeschleunigung in m/s^2$ .

Da die Schwingungsperiode sowohl von der Masse als auch von der Amplitude unabhängig ist, ist es möglich, durch Messen der Schwingungsperiode einen Wert für **g** zu bestimmen.

### Grafische Darstellungen des Weges

Mit diesem Sensor ist es möglich, den Einfluss von Amplitude, Länge und Masse eines Pendels auf seine Periode zu untersuchen. Mit Hilfe der Analysewerkzeuge der SENSING SCIENCE Software kann eine grafische Darstellung des Weges differenziert werden, um grafische Darstellungen von Geschwindigkeit und Beschleunigung zu erhalten.

- Schließen Sie den Drehwinkel-Sensor an den CorEx Logger an und spannen Sie ihn in ein Stativ ein. Bringen Sie ein Pendel mit einer Masse an der Achse des Drehwinkel-Sensors an. Stellen Sie das Pendel auf Null ein.
- Öffnen Sie den Programmteil Grafik. Wählen Sie die Schaltfläche Erfassungs-Assistent, als Verfahren Echtzeit sowie den erforderlichen Wert für die Zeitspanne (es wird eine Zeit von 10 oder 20 Sekunden empfohlen). Weiter.
- Wählen Sie den Anfangszustand so, dass Sie in einem festen Referenzpunkt mit dem Protokollieren beginnen, z. B. Auslösen, wenn der Drehwinkel-Sensor über einen Wert von 0.00 ansteigt. Beenden.
- Lenken Sie das Pendel aus und klicken Sie dann auf die Schaltfläche **START**. Als Ergebnis wird eine Kurve der Pendelbewegung gezeichnet.
- Um die Aufzeichnung mit anderen Bedingungen, z. B. einer anderen Amplitude, zu wiederholen, wählen Sie aus dem Ausgabe-Assistent im Menü Ausgabe die Option Überlagerung, wählen Sie "Eingang 1" und klicken Sie auf das Kästchen zum Aktivieren.

Die Parameter für diesen Versuch können mit Hilfe von "Speichern" aus "Setup" im Menü "Datei" als eine Setup-Datei gespeichert werden. Es könnte ein Arbeitsblatt erstellt werden, dass diese Setup-Datei begleitet, so dass der gesamte Versuch über den Programmteil **Arbeitsblätter** der SENSING SCIENCE Software geöffnet werden kann.



### Verwendung der Daten "Weg in Abhängigkeit von der Zeit"

### Berechnung der Winkelgeschwindigkeit:

Entscheiden Sie, welcher Datensatz verwendet werden soll. Um die anderen Pendelkurven zu verbergen, entfernen Sie die Markierung des zugehörigen Kästchens "Anzeigen/Verbergen".

Wählen Sie aus dem Menü **Werkzeuge** die Option **Funktionen-Assistent**. Wählen Sie als Funktion **a dx/dt** und als **x** die gewählte Pendelbewegungskurve, z. B. [1] Pendel. Geben Sie in das Feld Name "Geschwindigkeit" ein.

Klicken Sie auf **Übernehmen**, woraufhin die Geschwindigkeitskurve im Diagramm erscheint. Falls die Linie gegenüber der Achse versetzt erscheint, ersetzen Sie den Wert der

Function Wizard X
Function
Function a dx/dt
x= (1) Pendulum 💌 a= 0.5
y= time (s) <b>•</b> b= 1
c= 0
Number of decimal places to be shown: 2
max 20.00 name Velocity
min -20.00 unit deg/s
OK Apply Cancel

# **Drehwinkel-Sensor**

Konstanten (a) durch eine besser geeignete Zahl, z.B. 0,5, und klicken Sie erneut auf Übernehmen. Wenn die Kurve in Ordnung ist, klicken Sie auf **OK**, um sie zu laden.

# Zeichnen einer Kurve **Weg in Abhängigkeit** von der Geschwindigkeit:

Wählen Sie aus dem Menü **Ausgabe** die Option **Ausgabe-Assistent**. Wählen Sie **Punkte zeichnen** und als X-Achse **Sensor**. **Beenden**.

Falls erforderlich, verändern Sie die Anzeige (indem Sie links neben die Achse klicken), so dass sich das Pendel auf der Y-Achse und die Geschwindigkeit auf der X-Achse befindet.



Berechnung der Beschleunigung:

Wählen Sie aus dem Menü **Werkzeuge** die Option **Funktionen-Assistent**, wählen Sie als Funktion **a dx/dt**, wählen Sie als **x** die **Geschwindigkeits**-Kurve. Geben Sie in das Feld Name **"Beschleunigung"** ein. Klicken Sie auf **Übernehmen**, woraufhin die Beschleunigungskurve im Diagramm erscheint. Falls die Linie gegenüber der Achse versetzt erscheint, ersetzen Sie den Wert der Konstanten **(a)** durch eine besser geeignete Zahl, z. B. 0,5, und klicken Sie auf Anwenden. Wenn Sie mit der Linie zufrieden sind, klicken Sie auf OK.

Zeichnen einer Kurve **Beschleunigung in** Abhängigkeit von der Zeit:

Wählen Sie aus dem Menü **Ausgabe** die Option **Ausgabe-Assistent**. Wählen Sie **Linie zeichnen** und wählen Sie für die X-Achse **Zeit**. **Beenden**.

Verbergen Sie die Geschwindigkeitskurve, so dass nur der Pendelweg und die Beschleunigung angezeigt werden.



Zeichnen einer Kurve **Beschleunigung in Abhängigkeit vom Weg**:

Wählen Sie aus dem Menü Ausgabe die Option Ausgabe-Assistent. Wählen Sie Linie zeichnen und für die X-Achse Sensor. Beenden.

Wählen Sie als X-Achse "Pendel" und als Y-Achse "Beschleunigung".





Elektrokardiogramm (EKG)-Sensor – Best. Nr. 73279

Nur verwendbar mit CorEx Logger oder CorEx Link

Messbereich: 0-4.000 µV

### Einführung

Der Smart Q- EKG-Sensor zeichnet die elektrische Energie auf, die während eines Herzschlages erzeugt wird. Die Änderung dieser elektrischen Energie wird über drei Elektroden in Relation zu einem Basissignal gemessen. Die Energie wird in einer Wellenform am Bildschirm ausgegeben.

Der EKG-Sensor wird mit einer Packung von 100 Elektroden-Pflastern geliefert, die auf die Haut der Testpersonen geklebt werden. Ersatz-Pflaster können bei Cornelsen Experimenta unter der Best.-Nr. 73286 nachbestellt werden.

**Hinweis:** Der Sensor ist lediglich zur Demonstration der EKG-Wellenform geeignet. Er kann und darf nicht für medizinische Diagnosen verwendet werden.

Alle aus dem gemessenen Signal ableitbaren Informationen müssen so betrachtet werden, als dass sie keine medizinische Bedeutung haben.

### Anschluss

- Das Sensorgehäuse wird mit dem Smart Q-Aufkleber nach oben gehalten.
- Ein Ende des Sensorkabels (im Lieferumfang des CorEx Loggers enthalten) wird mit dem Pfeil am Stecker nach oben in die Buchse am Gehäuse gesteckt.
- Das andere Ende des Sensorkabels wird mit dem Pfeil am Stecker nach oben in eine freie Anschlussbuchse am CorEx Logger gesteckt.
- Der CorEx Logger erkennt, dass der EKG-Sensor angeschlossen ist.



### **Die Elektroden-Pflaster**

Die Pflaster bestehen aus einer Trägerfolie mit einer Silber/Silberchlorid-Gelbeschichtung. Das Gel ist antiallergen und klebt auf der Haut. Die Trägerfolie gewährleistet eine großflächige Kontaktsicherheit und das Gel erzeugt einen permanenten Elektrodenwiderstand. Um einen guten Hautkontakt der Elektrode zu erreichen, sollte die Hautstelle sauber, fettfrei, schuppenfrei und unbehaart sein. Ein vorheriges Abreiben mit Alkohol wird empfohlen. Für jede Testperson werden mindestens drei Elektroden-Pflaster benötigt. Besser sind vier, um alle Anbringungskombinationen zu testen. Die Folie wird von dem Schutzpapier abgezogen und mit der Gelseite auf die Haut gepresst. Dabei sollte der nicht klebende Pflasteransatz so platziert sein, dass das Anschlusskabel frei hängen kann. Das Pflaster muss fest auf die Haut gedrückt werden, um einen sicheren Kontakt zu gewährleisten.

Nach Abschluss der Versuche werden die Pflaster vorsichtig nach oben abgezogen. Gebrauchte Elektroden-Pflaster sind nicht wiederverwendbar und deshalb gleich zu entsorgen.

**Hinweis:** Wenn eine Packung Pflaster geöffnet wurde, muss sie an einem kühlen Ort (Kühlschrank) in einem sauberen, luftdichten Behälter aufbewahrt werden. Die Elektroden-Pflaster können austrocknen. Deshalb sollte die Verpackung erst bei Bedarf geöffnet und auf das Verfalldatum geachtet werden. Nach dem Öffnen des Verpackungsbeutels sollte die Öffnung zum Verschließen umgeschlagen und mit einer Büroklammer fixiert werden.

### Anbringen der Elektroden-Pflaster

**Hinweis:** Die Testperson braucht zum Tragen der Pflaster und Elektrodenkabel keine Hilfestellung durch eine zweite Person. Wenn erforderlich, können die Pflaster und Kabel auch unter der Kleidung der Testperson versteckt werden.

Es gibt vier empfohlene Positionen für die Anbringung der Elektroden-Pflaster: Der innere, obere linke und rechte Arm im Bereich der Achselhöhlen und das linke und rechte Bein im Bereich des Fußgelenkes.

Je dichter die oberen Elektroden in Herznähe angebracht werden können, desto deutlicher wird die EKG-Wellenform aufgezeichnet.

Am EKG-Sensorgehäuse befinden sich drei Elektrodenkabel mit farbcodierten Krokodilklemmen. Die Isolierung der Krokodilklemme für die **Plus-Leitung** ist **rot**, für die **Minus-Leitung grün** und für die **Referenzleitung** (isoelektrische Leitung) **schwarz**.

Für die Anbringung der Elektrodenkabel an den Pflastern gibt es drei Möglichkeiten. Jede Kombination von Kabel und Pflaster erzeugt eine andere

Wellenform und Intensität der EKG-Kurve und wird nachfolgend als Leitungs-Version bezeichnet. Bei der Mehrzahl der Individuen erreicht man mit den Leitungs-Versionen I oder II die typische EKG-Wellenform.

Leitung	Rote Leitung (+)	Grüne Leitung (–)	Schwarze Leitung (Referenz)
Version I	linker Arm	rechter Arm	rechtes Bein
Version II	linkes Bein	rechter Arm	rechtes Bein
Version III	linkes Bein	linker Arm	rechtes Bein

### Die Lage der Herzachse

Es ist möglich, die ungefähre Lage der Herzachse der Testperson zu ermitteln, wenn man jeweils die R-Welle (siehe <u>Wellenform eines EKGs</u>) der in allen drei Kombinationen erfassten EKGs untersucht.

Erreicht die R-Welle bei Version I die größte Amplitude, ist die Lage der Herzachse annähernd bei 0°, gemessen von einer gedachten horizontalen Linie zwischen den Schultern der Testperson. Die Herzachse liegt waagerecht.

Wird bei der Version II der größte Ausschlag der R-Welle gemessen, befindet sich die Herzachse ca. 60° unterhalb der gedachten Horizontlinie.

Wird das Maximum bei Version III gemessen, liegt die Herzachse 120° unterhalb der gedachten Horizontlinie.

Wenn die R-Welle bei zwei nebeneinander liegenden Versionen den gleichen Ausschlag hat, befindet sich die Herzachse der Testperson auf der Mitte zwischen den Werten der beiden Versionen. Ist z. B. der Wert der R-Welle bei den Versionen II und III gleich groß, ist die Herzachse auf der Differenz zwischen 60° und 120° = 90° positioniert. Die Herzachse steht fast senkrecht. Die Lage der Herzachse hängt von der individuellen Physiognomie der Testperson ab. Schlanke, große Personen tendieren zu einem mehr senkrecht stehenden Herzen. Kleine, gedrungene

Menschen haben öfter eine horizontale Herzachsenlage.

### Leitungs-Version I

- Die für die Elektroden-Pflaster vorgesehenen Hautstellen werden mit einem mit Alkohol benetzten Papiertuch gereinigt. Ein Pflaster wird am rechten oberen Arm innen in der Nähe der Achselhöhle aufgeklebt. Ein weiteres Pflaster an der selben Stelle des linken Armes und ein Pflaster am rechten Bein in der Nähe des Fußgelenkes.
- 2. Die Krokodilklemme mit der **grünen** Isolierung wird am Pflaster des **rechten Armes** angeklemmt.
- 3. Die Krokodilklemme mit der **roten** Isolierung wird am Pflaster des **linken Armes** befestigt.
- 4. Die **schwarze** Krokodilklemme wird am Pflaster des **rechten Beines** angebracht.

**Hinweis:** Für den Fall, dass das Beinpflaster nicht angebracht werden kann, weil die Testperson Strumpfhosen trägt, kann folgende Alternative gewählt werden:

- 1. Je ein Elektroden-Pflaster wird am inneren Ellbogen des linken und rechten Armes sowie am rechten Handgelenk aufgeklebt (siehe Abb. rechts).
- 2. Die grüne Klemme wird am Pflaster des rechten Ellenbogens angeklemmt.
- 3. Die rote Klemme wird am Pflaster des linken Ellenbogens angeklemmt.
- 4. Die schwarze Klemme wird am Pflaster des rechten Handgelenkes angebracht.





### Leitungs-Version II

- 1. Die für die Elektroden-Pflaster vorgesehenen Hautstellen werden mit einem mit Alkohol benetzten Papiertuch gereinigt. Ein Pflaster wird am linken oberen Arm innen in der Nähe der Achselhöhle aufgeklebt. Je ein weiteres Pflaster am linken und rechten Bein innen in der Nähe des Fußgelenkes (siehe Abb. rechts).
- 2. Die Krokodilklemme mit der **grünen** Isolierung wird am Pflaster des **rechten Armes** angeklemmt.
- 3. Die Krokodilklemme mit der **roten** Isolierung wird am Pflaster des **linken Beines** befestigt.
- 4. Die **schwarze** Krokodilklemme wird am Pflaster des **rechten Beines** angebracht.

### Leitungs-Version III

- 1. Die für die Elektroden-Pflaster vorgesehenen Hautstellen werden mit einem mit Alkohol benetzten Papiertuch gereinigt. Ein Pflaster wird am rechten oberen Arm innen in der Nähe der Achselhöhle aufgeklebt. Ein weiteres Pflaster an der selben Stelle des linken Armes und ein Pflaster am rechten Bein in der Nähe des Fußgelenkes (siehe Abb. rechts).
- 2. Die Krokodilklemme mit der **grünen** Isolierung wird am Pflaster des **linken Armes** angeklemmt.
- 3. Die Krokodilklemme mit der **roten** Isolierung wird am Pflaster des **linken Beines** befestigt.
- 4. Die **schwarze** Krokodilklemme wird am Pflaster des **rechten Beines** angebracht.

### Ablauf der Messung

Nachdem die Kabel mit den Elektroden-Pflastern verbunden sind, werden weitere 15 Sekunden abgewartet, bevor mit der Datenerfassung begonnen wird. Diese Zeit ist erforderlich, um der schwarzen Referenzelektrode Gelegenheit zu geben, die Kurvenform zu stabilisieren. Die Länge der notwendigen Zeitverzögerung ist auch abhängig von der Physiognomie der Testperson und der Leitungs-Version.

Da der durchschnittliche Herzschlagzyklus 0,7–0,8 s beträgt, muss die Aufnahme der Daten im Schnell-Modus erfolgen. Dieser kann im Programmteil Grafik der Sensing Science Software oder direkt am CorEx Logger als Schnellerfassungs-Modus gewählt werden.

### Schnellerfassung im Programmteil Grafik

- 1. Der Aufnahme-Assistent wird angeklickt.
- 2. Echzeit, Zeitspanne und Schnell werden markiert. Der Schnellerfassungs-Assistent wird geöffnet.
- 3. Der Loggereingang, an dem der EKG-Sensor angeschlossen ist, wird markiert. Die Anzahl der Messwerte und der Messzeitintervall werden gewählt. Die Wahl des Messzeitintervalls hängt von der Anzahl der Herzschlagzyklen ab, die gemessen werden sollen (s. folgende Tabelle).





Messzeitintervall	Anzahl Messwerte	Erfassungszeit (s)	Anzahl Zyklen
500 µs	3000	1,50 s	2
500 µs	4000	2 s	3
1 ms	2000	2 s	3
1 ms	3000	3 s	4
1 ms	4000	4 s	5
2 ms	1000	2 s	3
2 ms	2000	4 s	5
2 ms	3000	6 s	8

Mögliche Einstellungen für die Schnellerfassung:

- 4. Beenden wird angeklickt.
- 5. Wenn die Testperson still sitzt, wird Start angeklickt. Nachdem die Erfassung beendet ist, erscheint die EKG-Kurve auf dem Bildschirm.

**Hinweis:** In diesem Fall wurde die Sensorachsenbegrenzung gewählt, um den angezeigten Messbereich des Sensors zu reduzieren.



### Praktische Informationen

- Ein guter Kontakt zwischen der Haut und dem Elektroden-Pflaster ist entscheidend für gute Messergebnisse. Um ein ausreichende Haftung zu gewährleisten, soll die Hautstelle sauber, fettfrei, ohne tote Hautpartikel und unbehaart sein. Vor dem Anbringen der Pflaster wird eine Reinigung mit einem mit Alkohol angefeuchteten Papiertuch empfohlen.
- Neuen Testpersonen sollte das Anlegen der Elektroden-Pflaster zunächst demonstriert werden.
- Wenn die Pflaster angebracht und mit den Elektrodenkabeln verbunden sind, sollte man 15 Sekunden bis zum Messbeginn verstreichen lassen, um der Referenzelektrode Gelegenheit zu geben, eine stabile Wellenform aufzubauen. Die genaue Zeitverzögerung hängt von der Physiognomie der Testperson und der verwendeten Leitungs-Version ab. Aufnahmen, die vor der Zeit gestartet werden, können eine flache Wellenform oder verfälschte Werte anzeigen.
- Husten, Niesen, Lachen, Bewegung und Sprechen beeinflussen die Messung. Die Testperson sollte entspannt, bewegungslos sitzen.
- Die vorgeschlagenen Kabelverbindungen beziehen sich auf die Leitungs-Versionen I-III. In der medizinischen Diagnose werden zusätzlich weitere Kabelverbindungen verwendet, die hier nicht beschrieben werden.
- Während die Messergebnisse untersucht werden, können die Kabel von den Pflastern gelöst werden. Die Pflaster sollten jedoch an ihrem Platz bleiben. Nach der Auswertung der Messer-

gebnisse werden die Kabel wieder angeklemmt und man kann mit der Überlagerungsfunktion aus dem Menü **Werkzeuge** der Sensing Science Software eine neue Messreihe aufnehmen ohne die vorhergehende zu löschen.

- Die Elektroden-Pflaster bestehen aus einer Trägerfolie mit einer Silber/Silberchlorid-Gelbeschichtung. Das Gel hat Klebeeigenschaften, die die Elektrode fest auf der Haut haften lassen. Das Gel ist antiallergen und verursacht keine Hautreaktionen.
- Die Elektroden-Pflaster sind nicht wiederverwendbar und nach einmaligem Gebrauch zu entsorgen. Aus hygienischen Gründen sollten sie nicht von einer auf eine andere Testperson übertragen werden.
- Wenn eine Packung Pflaster geöffnet wurde, muss sie an einem kühlen Ort (Kühlschrank) in einem sauberen, luftdichten Behälter aufbewahrt werden. Die Elektroden-Pflaster können austrocknen. Deshalb sollte die Verpackung erst bei Bedarf geöffnet und auf das Verfalldatum geachtet werden. Nach dem Öffnen des Verpackungsbeutels sollte die Öffnung zum Verschließen umgeschlagen und mit einer Büroklammer fixiert werden.
- Der EKG-Sensor ist spannungssicher bis 3000 V AC.
- Es wird empfohlen, vor den Messungen sicher zu stellen, dass
  - A) die Testperson nicht mit dem PC oder einer Stromversorgung, die an das Gerät angeschlossen ist, in Berührung kommt;
  - B) der PC elektrisch sicher ist und der IEC-Norm 60950 entspricht.

### Fachliche Informationen

In allen tierischen Zellen besteht ein elektrisches Potenzial gegenüber ihren Zellmembranen. Das Potenzial bildet sich durch eine Ionenbewegung gegen die Zellmembran, bei der Energie aufgewendet wird. Das Potenzial liegt in der Regel im Bereich von 100 mV und das Zellinnere ist gegenüber dem Zelläußeren negativ gepolt.

Herzzellen haben ein Potenzial von ca. 90 mV bei voller Polarisation. Diese Spannung wird Ruhepotenzial genannt und ist für die meisten Zellen konstant. In einigen Zellen durchdringt die Ionenwanderung die Zellmembran durch spezielle Poren und es findet eine plötzliche Entpolarisierung statt. Diese Entpolarisierungen werden besonders bei der Entstehung und Weiterleitung eines Impulses entlang eines Neurons wirksam. Herzzellen haben eine eigene Tendenz zur Entpolarisierung und Wiederpolarisierung in einem stetigen Rhythmus. Bei dem Vorgang der Entpolarisierung zieht sich die Herzzelle gleichzeitig zusammen. Die Menge der Herzzellen, die diesem Rhythmus folgen, bilden eine große schlagende Muskelmasse. Im oberen Teil des rechten Vorhofes befindet sich ein Bündel von Neuronen, das sinoatrialer Nullpunkt oder Sinuspunkt genannt wird. Er kontrolliert den Rhythmus der Spannungsänderungen und dient als natürlicher Schrittmacher für das regelmäßige Pumpen des Herzens. Eine EKG (Herzstromkurve) zeichnet die elektrischen Spannungsänderungen auf, die im Verlaufe eines Herzschlag-Zykluses auftreten. Die über die Haut erfassten elektrischen Impulse sind sehr schwach und neigen dazu, von Störungen, die von anderen körperlichen Ereignissen herrühren, die ebenfalls elektrische Energie erzeugen wie z. B. die Bewegung von Gliedmaßen, überlagert zu werden.

Der Herzschlag wird von einer Welle elektrischer Energie angetrieben, die im Sinuspunkt erzeugt wird. Das Bewegungsmuster wird durch die Struktur des Herzens und die sich ändernden elektrischen Eigenschaften des Herzmuskelgewebes bestimmt. Die Vorhöfe sind elektrisch von den Herzkammern durch ein nichtleitendes, skelettähnliches Gewebe isoliert, das die Herzklappen (Ventile) enthält. Eine elektrisch leitende Verbindung über ein spezielles Erregungsleitungssystem
# Elektrokardiogramm (EKG)-Sensor

aus besonderen Muskelfasern zwischen den Vorhöfen und den Böden der Herzkammern transportiert die elektrische Energie vom Zentrum der Erregung (atrioventricularer Nullpunkt) an die entsprechende Stelle im Herzen um einen koordinierten Herzschlag zu erzeugen. Die Zellen im Sinuspunkt schlagen in einem etwas schnelleren Rhythmus als das restliche Herz und dienen damit als Schrittmacher.

Die Positionen des Sinuspunktes (sinoatrialer Nullpunkt), des atrioventrikularen Nullpunktes (AV Node) sowie das Erregungsleitungssystem mit den Purkinje-Fasern ist rechts dargestellt.



# Abläufe bei der elektrischen Aktivität des Herzens

- 1. Die Zellen im Sinuspunkt entpolarisieren und senden eine Welle von Entpolarisierung über den Vorhof.
- 2. Diese Welle erreicht den Anfang des Erregungsleitungssystems.
- 3. Die Entpolarisierung wandert durch das Erregungsleitungssystem und wird über die Purkinje-Fasern auf das Muskelgewebe der Herzkammer verteilt.
- 4. Die Zellen im Vorhof ziehen sich zusammen und beginnen sich wieder zu polarisieren.
- 5. Die Welle der Entpolarisierung wandert durch die Herzkammern von der Spitze zurück in Richtung Vorhof.
- 6. Die Muskelmasse der Herzkammer zieht sich zusammen.
- 7. Die Herzkammerzellen polarisieren sich wieder.
- 8. Die Polarität der sinoatrialen Zellen schwächt sich langsam auf den Auslösewert für den nächsten Kontraktionszyklus ab.

Das Elektrokardiogramm (EKG) ist die Registrierung der Summe der elektrischen Aktivitäten aller Herzmuskelfasern. Diese elektrischen Potentialänderungen am Herzen kann man an der Körperoberfläche abgreifen und in der Zeitachse aufzeichnen. Es resultiert ein immer wiederkehrendes ziemlich gleichförmiges Bild der elektrischen Herzfunktion.

Die folgenden Informationen beziehen sich auf eine typische, durchschnittliche EKG-Wellenform. Wenn Ergebnisse und Zeiten von diesen Vorgaben abweichen, ist dies kein Grund zur Besorgnis. Es kommt zu erheblichen Abweichungen bei den EKGs bedingt durch unterschiedliche Positionen der Elektrodenanschlüsse, Alter und Geschlecht der Testpersonen, Herzanomalitäten und Arzneimitteleinnahme.

Die medizinische Diagnose eines EKGs bedarf einer besonderen Ausbildung und langer Erfahrung. Der Smart Q-EKG-Sensor ist **nicht** für medizinische Diagnosen geeignet und darf nicht dazu verwendet werden.

Was kann man aus dem EKG ablesen?

- Herzfrequenz
- Blockierungen der Erregungsleitung
- Herzrhythmus
- Herzinfarkt
- Vorhoftätigkeit
- Wandverdickung des Herzens
- Extraschläge
- Rechts- oder Linksbelastungen des Herzens

Was man aus dem EKG nicht ablesen kann:

# Elektrokardiogramm (EKG)-Sensor

- den Blutdruck
- Durchblutungsstörungen des Herzens
- Spezielle Herzklappenprobleme
- Die Pumpleistung des Herzens

# Welche Formen des EKGs gibt es?

- RuheEKG
- LangzeitEKG = Aufzeichnung über 24 Stunden oder länger zur Erkennung von Herzrhythmusstörungen
- BelastungsEKG
- Intrakardiales EKG
- Monitoring

Das folgende Bild zeigt die einzelnen Zacken in der Wellenform eines EKGs. Die Benennung mit P beginnend und dem Alphabet folgend wurde willkürlich eingeführt.



# Die P-Welle

Die P-Welle zeigt die Entpolarisierung im Sinuspunkt – die erfasste Zeit eines elektrischen Impulses, der sich vom Sinuspunkt über den Vorhof-Muskel ausbreitet. Er dauert 0,06 – 0,11 s. Die Amplitude hat ein Maximum von 0,25 mV.

# Der P-R-Intervall

Der P-R-Intervall repräsentiert die erfasste Zeit eines elektrischen Impulses auf dem Weg über den Vorhof zum AV-Punkt und weiter durch die Erregungsleitungen zu den Purkinje schen Fasern. Zeitdauer 0,12 - 0,20 s.

# Der Q-R-S-Komplex

- Der Q-R-S-Komplex repräsentiert die Herzkammererregung. Er besteht aus drei Wellen:
  - 1. Die Q-Welle markiert den Beginn der Entpolarisierung. Sie kann, muss aber nicht sichtbar sein.
  - 2. Die R-Welle ist die erste positive Auslenkung.
  - 3. Die S-Welle ist eine negative Auslenkung, die auf die R-Welle folgt.

Der Q-R-S-Komplex dauert 0,1 s. Die Amplitude variiert entsprechend Alter und Geschlecht der Testperson.







# Elektrokardiogramm (EKG)-Sensor

### **Der Q-T-Intervall**

Es zeigt den zeitlichen Verlauf der Entpolarisierung und Wiederpolarisierung der Herzkammer. Es erstreckt sich vom Beginn des Q-R-S-Komplexes bis zum Ende der T-Welle. Die Dauer ist geschlechts- und altersabhängig.

### Die T-Welle

Die T-Welle stellt die Wiederpolarisierung der Herzkammer-Muskelzellen dar. Die Amplitude ist 2-4 mal stärker als bei der P-Welle.

#### **Der S-T-Intervall**

Der S-T-Intervall zeigt das Ende der Herzkammer-Entpolarisierung und den Beginn der Wiederpolarisierung.

**Hinweis:** Die Amplitude der R-Welle kann sehr unterschiedlich sein. Der bei jedem Menschen unterschiedliche Widerstand von Haut und Gewebe beeinflusst die Stärke der aufgezeichneten Wellenform. Trotzdem sollte die R-Welle ca. 100 mV in der Auslenkung betragen (dieser Wert ist von der elektrischen Herzaktivität abgeleitet). Für den Fall, dass Spannungsmessungen erfolgen sollen, kann die R-Welle als Basis für eine Spannungsskala aufgrund dieser Information dienen.

#### Versuchsvorschläge

- Vergleich des EKGs mit der Wellenform des Pulsfrequenz-Sensors (Best.-Nr. 73147)
- Vergleich eines Ruhe- und eines Belastungs-EKGs.
- Wie ändert sich die Wellenform eines EKGs beim Wechsel der Elektrodenpositionen?
- Die Bedeutung und Beziehungen der P, Q, R, S und T-Welle erklären.
- Aufnahme eines EKGs nach Einnahme von stimulierenden Stoffen (z. B. Koffein).



# **Feuchtigkeits-Sensor**



#### Feuchtigkeits-Sensor – Best.-Nr. 73145

Bereich:	0 bis 95 % rel. Feuchtigkeit
Autiosuriys-	
vermögen:	0,1 % rel. Feuchtigkeit
Genauigkeit:	±2,5 % rel. Feuchtigkeit bei
	55 % rel. Feuchtigkeit,
	±5 % rel. Feuchtigkeit zwischen
	10 und 95 % rel. Feuchtigkeit

#### Einleitung

Der Smart Q Feuchtigkeits-Sensor dient zur Überwachung der relativen Feuchtigkeit. Die Schlitze in der Endkappe ermöglichen die Luftzirkulation. Die Ansprechzeiten dieses Sensors können in Abhängigkeit von der Intensität der Luftzirkulation sehr unterschiedlich sein, d. h. er reagiert bei verstärkter Luftbewegung schneller.

Der Smart Q Feuchtigkeits-Sensor ist mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit des Sensors, die Präzision und Konsistenz der Anzeigewerte beträchtlich erhöht. Die Sensoren werden kalibriert geliefert, und die gespeicherte Kalibrierung (in % rel. Feuchtigkeit) wird automatisch geladen, wenn der Feuchtigkeits-Sensor angeschlossen wird.

#### Anschließen

Der CorEx Logger erkennt, dass der Feuchtigkeits-Sensor angeschlossen ist.

- 1. Halten Sie das Sensorgehäuse so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- 2. Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse am Sensorgehäuse, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- 3. Schließen Sie das andere Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Logger an, so dass sich der Markierungspfeil oben befindet.



#### **Praktische Informationen**

Betriebstemperaturbereich: Temperaturkoeffizient (10 bis 50 °C): Ansprechzeit: -30 bis 60°C
0,1% rel. Feuchtigkeit /°C
5 Sekunden für 63 % Reaktion auf eine sprungartige Änderung von 33 auf 75 % rel. Feuchtigkeit
-30 bis 70 °C

Aufbewahrungstemperatur:

Wenn im Messraum eine hohe Feuchtigkeit vorherrscht, sollte der CorEx Logger nicht in derselben Umgebung wie der Feuchtigkeits-Sensor aufgestellt werden, da dies zu Beschädigungen oder Funktionsstörungen führen kann.

# **Feuchtigkeits-Sensor**



Der Feuchtigkeits-Messwertgeber wird durch eine gelegentliche Kondensation nicht beschädigt, sollte jedoch nicht in Flüssigkeit eingetaucht werden. Wenn eine Kondensation erfolgt ist, ist der Feuchtigkeits-Sensor nicht in der Lage, bei einer geringeren Feuchtigkeit zuverlässige Messwerte zu liefern, solange nicht alle Tröpfchen verdunstet sind. Die Verdunstung kann durch Bewegung des Sensors durch die Luft oder mit Hilfe eines Ventilators beschleunigt werden.

Der elektronische Schaltkreis im Sensor selbst kann nicht vollständig gegen-über der Atmosphäre abgedichtet werden. Wenn der Sensor in einer Umgebung verwendet werden soll, in der die Gefahr einer Kondensation besteht, muss sichergestellt werden, dass keine Flüssigkeit in diesen Teil des Sensors eindringen kann.

Soll der Sensor in einer verschmutzten Umgebung verwendet werden, schützen Sie ihn mit Hilfe eines Stückes Nylonstrumpfgewebe vor Verunreinigung.

Der Feuchtigkeits-Messwertgeber ist nicht lichtempfindlich.

Setzen Sie den Sensor nicht der Einwirkung chemischer Dämpfe (Aceton, organischen Lösungsmittel oder Chlor) aus. Diese sind für den Sensor schädlich.

### Theorie

Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasserdampf kann sie "halten". Feuchtigkeit ist ein Ausdruck, der verwendet wird, um die Menge an Wasserdampf in der Luft zu beschreiben. "Relative Feuchtigkeit" ist der Begriff, der in für die Öffentlichkeit bestimmten Wetterinformationen meist verwendet wird.

Die relative Feuchtigkeit ist das Verhältnis der tatsächlich in der Luft befindlichen Wasserdampfmenge zu der Wasserdampfmenge, die bei der betreffenden Lufttemperatur benötigt wird, um die Luft zu sättigen. Sie wird als prozentualer Anteil ausgedrückt und kann auf unterschiedliche Weise berechnet werden.

z. B. % rel. Feuchtigkeit =  $100 \times P_w / P_s$  (t)

Hierbei ist

 $P_w = Partialdruck des Wassers$ 

- P<sub>s</sub><sup>w</sup> = Sättigungsdruck des Wasserdampfes t = Umgebungstemperatur in °C

# **Beispiel:**

- 1. Die Lufttemperatur beträgt 30 Grad und die Luft enthält 9 Gramm Wasserdampf pro Kubikmeter Luft. Indem man 9 durch 30 dividiert und mit 100 multipliziert, erhält man eine relative Feuchtigkeit von 30 %, d. h. die Luft enthält 30 % des Wasserdampfes, den sie bei ihrer gegenwärtigen Temperatur halten könnte.
- 2. Die Lufttemperatur sinkt auf 20 Grad ab. Indem man 9, die tatsächlich in der Luft enthaltene Dampfmenge, durch 17, die Dampfmenge, welche die Luft bei ihrer neuen Temperatur halten könnte, dividiert und mit 100 multipliziert, erhält man eine relative Feuchtigkeit von 53 %.
- 3. Die Luft kühlt sich auf 10 Grad ab; indem man 9 durch 9 dividiert und mit 100 multipliziert, erhält man eine relative Feuchtigkeit von 100 % – die Luft enthält nunmehr den gesamten Dampf, den sie bei ihrer neuen Temperatur halten kann.

# Definitionen

Absolute Feuchtigkeit: Die Masse des Wasserdampfes in einem gegebenen Luftvolumen. Effektiver Dampfdruck: Der Partialdruck, der von dem vorhandenen Wasserdampf ausgeübt

wird. Mischungsverhältnis: Die Masse des Wasserdampfes dividiert durch die Masse der trockenen Luft.

Sättigung der Luft: Der Zustand, in dem die Menge an Wasserdampf in der Luft bei der betreffenden Temperatur und dem betreffenden Druck den maximal möglichen Wert hat.

Sättigungsdampfdruck: Der maximale Partialdruck, den die Wasserdampfmoleküle ausüben würden, wenn die Luft bei einer bestimmten Temperatur mit Dampf gesättigt wäre.

**Spezifische Feuchtigkeit:** Die Masse des Wasserdampfes dividiert durch die Gesamtmasse der Luft.

Taupunkt: Die Temperatur, auf welche die Luft abgekühlt werden müsste, damit eine Sättigung eintritt.

# Anwendungen

Die Feuchtigkeit der Atmosphäre beeinflusst viele Dinge, darunter:

- Lebensraum Menschen und Tiere regeln ihre Körpertemperatur durch Transpiration. Die ideale Luftfeuchtigkeit für Menschen beträgt 40 bis 60 %. Bei hoher Luftfeuchtigkeit ist Transpiration als Regulativ weniger wirksam, so dass wir das Gefühl haben, dass es heißer ist. Trockene Luft fühlt sich bei Raumtemperatur kälter an und führt zu Unbehagen, geringerer Produktivität und Bedarf an mehr Heizung. Wenn die relative Feuchtigkeit ideal ist, können die Temperaturen in Gebäuden verringert werden, ohne dass dies bei den darin lebenden Personen Unbehagen hervorruft.
- Wachstum von Pflanzen und Schimmelpilzen Pflanzen bevorzugen jeweils einen bestimmten Feuchtigkeitsgrad, z. B. Kakteen einen niedrigen und Pflanzen des tropischen Regenwaldes einen hohen. Pilze, Schimmelpilze und Mikroben gedeihen gut bei hoher Feuchtigkeit.
- Material, das gelagert wird Werkstoffe werden bei hoher Feuchtigkeit schneller unbrauchbar, z. B. Holz fault. Rost und Korrosion von Metallen nehmen bei einer relativen Feuchtigkeit von mehr als 60 % zu. Gemüse hat einen hohen Wassergehalt. Wenn es unter trockenen Bedingungen gelagert wird, verliert es durch die Verdunstung an Wert!
- Statische Elektrizität Bei geringer Feuchtigkeit nimmt die statische Elektrizität zu, da trockene Luft ein besserer Isolator ist als feuchte Luft. Dies kann elektrische Schläge bei Berührung geerdeter Gegenstände nach dem Laufen auf synthetischen Teppichen, Probleme mit Kopiergeräten, die Gefahr von Funkenentladungen und von Explosionen von Gasen und Dämpfen, eine Beschädigung elektronischer integrierter Schaltkreise verursachen. Durch eine Feuchtigkeit im Bereich von 40 bis 60 % kann dieses Problem verringert werden.
- Gesundheit Bei geringer Feuchtigkeit erhöht sich die Anzahl der Staubteilchen in der Luft. Bakterien und Viren haben eine längere Lebensdauer und können Bestandteil des schwebenden Staubes werden. Bei hoher Feuchtigkeit vermehren sich Pilze und Mikroben und verursachen Legionärskrankheit und Farmerlunge, allergische und asthmatische Reaktionen.
- Prozesssteuerung Die physikalischen Eigenschaften von Werkstoffen ändern sich in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit und müssen daher bei Fertigungsprozessen kontrolliert werden, um konstante Ergebnisse zu erhalten, z. B. Papier, Pulver, Textilien und Kunststoffe.

# **Feuchtigkeits-Sensor**

### Versuchsbeispiele

- Transpiration von Pflanzen
- Untersuchungen in Treibhäusern oder Terrarien
- Verbrennung
- Feuchtigkeit in ausgeatmeter Luft
- Luftfeuchtigkeitsmessung
- Bestimmung des Taupunktes
- Untersuchung unterschiedlicher Lebensräume
- Auswirkung auf die statische Elektrizität



#### Wetterbeobachtung

In diesem Diagramm wurden die Wetterbedingungen in einem Zeitraum aufgezeichnet, für den Regen nach einer Hitzewelle vorhergesagt war.



• Regulierung der Körpertemperatur Um den Wärmeverlust durch Schweißabsonderung zu überwachen, wurde ein Temperaturfühler ohne Gehäuse an einer Fingerspitze befestigt. Anschließend wurde die Hand zusammen mit einem weiteren Temperaturfühler und einer Feuchtigkeitssonde mit einem Kunststoffbeutel umhüllt.



Fotometer-Sensor – Best.-Nr. 73275

 Bereich:
 0–110%D

 Auflösung:
 0,1%

 Absorptionsbereich:
 0,0500–1,0500 Abs

### Einführung

Das Smart Q-Fotometer wird zur Messung der Lichtintensität nach dem Durchdringen einer Probelösung verwendet. Als Lichtquelle dient eine weiße LED. Die Verwendung einer LED hat den Vorteil, dass die Probelösung nicht erwärmt wird und sich bei Reaktionsablauf-Untersuchungen bessere Ergebnisse erzielen lassen. Die Versorgungsspannung der LED wird vom *CorEx Logger* geliefert.

Das Fotometer ist mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit, Präzision und Wiederholbarkeit eines Ergebnisses deutlich erhöht. Er wird werksseitig kalibriert geliefert und die gespeicherte Kalibrierung wird automatisch in den Logger übernommen, wenn das Gerät angeschlossen wird.

Das Smart Q-Fotometer kann mit zwei Messbereichen verwendet werden:

- 1. Durchlässigkeit (in %D) die vom Sensor empfangene Lichtmenge im Vergleich zur ausgesandten Lichtmenge.
- 2. Absorption (Abs) die von einer Probelösung absorbierte Lichtmenge.

Ein Drehregler erlaubt die Einstellung eines maximalen Lichtwertes für die Messung. Bei Drehung des Reglers im Uhrzeigersinn wird die Lichtleistung der LED erhöht.

Das Fotometer hat einen dicht schließenden Schnappdeckel, der verhindert, dass Streulicht aus der Umgebung in das Innere der Messkammer eindringen kann.

Zum Schließen wird der Deckel fest heruntergedrückt, bis der Schnappverschluss hörbar einrastet.

Wenn sich eine Küvette mit Probelösung in der Messkammer befindet und der Schnappdeckel geöffnet wird, sorgt eine Spiralfeder am Boden der Messkammer dafür, dass die Küvette griffbereit angehoben wird.

Um den Deckel zu öffnen, wird ein Finger leicht gegen die Deckelplatte gehalten und der Schnappverschluss mit dem Daumen zurückgedrückt. Der Deckel kann jetzt langsam angehoben und zurückgeklappt werden.

**Hinweis:** Das Öffnen des Deckels muss kontrolliert erfolgen, weil sonst die Küvette durch den Federdruck herausspringen und eventuell der Küvetteninhalt austreten kann.

Um die Wellenlänge des Lichtes für eine Untersuchung zu ändern, liegen dem Gerät 4 Farbfilter bei, die zwischen LED und Messkammer eingesetzt werden können: Rot (630 nm), Orange (600 nm), Grün (560 nm) und Blau (470 nm).

Fünf Küvetten aus optischem Polystyrol mit Deckel liegen ebenfalls bei. Jede Küvette hat einen Inhalt von ca. 4 ml.

Das Smart Q-Fotometer kann für Untersuchungen zum Beer´schen Gesetz und für Reaktionsablauf-Versuche eingesetzt werden, bei denen Farbumschläge oder Opazitätsänderungen auftreten. Die Änderung der Lichtdurchlässigkeit einer Lösung oder der Ablauf einer Reaktion kann mit Hilfe des *CorEx Loggers* und der *CorEx Sensing Science Software* erfasst, beobachtet und ausgewertet werden.



Das Licht von der LED durchdringt die Küvette, die mit einer Probelösung gefüllt ist. Ein Teil des Lichtes wird von der Lösung absorbiert, so dass das von der Fotodiode empfangene Licht eine geringere Intensität hat. Die Fotodiode erzeugt entsprechend der empfangenen Lichtmenge eine Spannung, die mit dem Logger gemessen und in %D oder Abs-Werte umgewandelt wird.

# Anschließen

Der CorEx Logger erkennt automatisch, dass der Fotometer-Sensor angeschlossen ist.

- Stecken Sie ein Ende des mit dem *CorEx Logger* mitgelieferten langen Sensorkabels in die Buchse an der Seite des Fotometer-Sensors, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse des *CorEx Loggers* an, so dass sich der Markierungspfeil oben befindet.



Der *CorEx Logger* versorgt das Fotometer mit der erforderlichen Betriebsspannung. Durch die Verwendung einer LED als Beleuchtung entfällt eine Anwärmzeit oder Drift. Der Logger zeigt Lichtwerte in dem zuvor gewählten Messbereich Durchlässigkeit (%D) oder Absorption (Abs) an.

# Messbereichswahl

Die Wahl des gewünschten Messbereichs erfolgt im Programmteil **Sensor-Konfiguration** der *CorEx Sensing Science Software* wie folgt:

- Schließen Sie den Fotometer-Sensor an den CorEx Logger an und führen Sie das Programm **Sensor-Konfiguration** aus.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen ist, aus der Liste aus.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bereich einstellen**. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben.
- Wählen Sie den gewünschten Bereich und klicken Sie auf OK.
- Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Die Messbereichswahl kann auch am *CorEx Logger* vorgenommen werden:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü **System**, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile **Sensorbereich einstellen**, ENTER.
- Wählen Sie die Nummer des Eingangs, an den der Fotometer-Sensor angeschlossen ist, z. B. Eingang 1, ENTER.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die verfügbaren Bereiche anzeigen: Durchlässigkeit, Absorption.
- Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken Sie ENTER, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken Sie STOP, um zum Hauptmenü zurückzukehren.

# Die Beziehung zwischen Durchlässigkeit (D) und Absorption (Abs)

Durchlässigkeit: D Absorption: Abs

Die Lichtmenge, die eine Lösung durchdringt bezeichnet die Durchlässigkeit. Es ist das Verhältnis der von der Lösung durchgelassenen Lichtintensität (*ld*) zur Intensität des ursprünglichen Lichtstrahls (*lu*).

 $\mathsf{D} = \frac{ld}{lu}$ 

Die Durchlässigkeit einer Lösung variiert mit log (Basis 10) und drei Variablen:

- 1. Der molaren Absorptionsfähigkeit der Lösung E
- 2. Der Küvettenbreite b
- 3. Der molaren Konzentration C

Dies kann ausgedrückt werden als:  $\log\left[\frac{l}{D}\right] = EbC$ 

Zunächst scheint die Absorption ein umgekehrtes Verhältnis zur Durchlässigkeit zu haben. Tatsächlich zeigt sich jedoch keine Linearität bei der Durchlässigkeit mit steigender Konzentration der Lösung. Die Beziehung ist umgekehrt und logarithmisch (Basis 10).

Sensor auswähle	n	
C Sensor 1	Temperatur	
C Sensor 2	Kein Sensor	
C Sensor 3	Kein Sensor	
C Sensor 4	Kein Sensor	
C Sensor 5	Kein Sensor	
C Sensor 6	Kein Sensor	
sbereich einrich	Kalibrieren	Version
CorEx Logger Info	ormation	CorEx Logger

Sensor Messbereich einr 🗙
Sensor 1
Den gewünschten Bereich
pH Sensor
Default Cal User Cal
<b>OK</b>

Abs = log 
$$\left[\frac{l}{D}\right]$$
 oder Abs = EbC

Bei Verwendung von Küvetten gleicher optischer Eigenschaften sind E und b konstant. Und die Gleichung, auch als Beer'sches Gesetz bekannt, lautet

Abs = kC

C ist die molare Konzentration der Lösung, k ist eine Konstante. So kann die Absorption als Maß für die Messung der Konzentration einer Lösung verwendet werden. Die lineare Beziehung zwischen Absorption und Konzentration gilt nicht für den gesamten Durchlässig-keitsbereich von 0–100 %. Absorptionswerte unter 0,045 Abs (D = 90%) und oberhalb 0,700 Abs (D = 20%) müssen als nicht zuverlässig betrachtet werden. Versuche, bei denen der Absorptions-Messbereich gewählt wird, müssen so geplant werden, dass das Messergebnis nicht in die genannten Bereiche fällt.

Durchlässigkeitswert %D	Aussehen der Lösung	Absorptionswert Abs	Bewertung
90	hell	0,7	Wenig Licht wird absor- biert, das meiste Licht wird von der Lösung durchgelassen
20	dunkel	0,045	Das meiste Licht wird absorbiert, nur wenig Licht wird von der Lösung durchgelassen

# Versuchsbeispiele mit Verwendung des Durchlässigkeits-Messbereiches

- Reaktionsablauf z. B. Natriumthiosulfat und Säure
- Wachstum von Hefe in einer Zuckerlösung
- Spaltung von Stärke durch Amylase
- Verwendung von Sauerstoff bei der Atmung
- Wachstumskurve von Chlorella

# Versuchsbeispiele mit Verwendung des Absorptions-Messbereiches

- Reaktionsablauf von Kristallviolett
- Fotometrische Bestimmung von Mangan in einer metallischen Büroklammer
- Schätzung von Chlor in Wasser
- Bestimmung einer Glukose-Konzentration

#### Wellenlängenbereiche

Einfache Farbfilter können zur Wahl einer Wellenlänge verwendet werden. Wählen Sie einen Filter, der ein Licht erzeugt, das von der Probelösung absorbiert und nicht durchgelassen wird. Zum Beispiel lässt eine blaue Kupfersulfatlösung blaues Licht durch. Bei Verwendung eines roten Farbfilters wird ein Licht erzeugt, das von der Lösung absorbiert wird, d.h. der gewählte Farbfilter sollte nicht die gleiche Farbe wie die Probelösung haben.

Um herauszufinden, welcher Filter geeignet ist, setzen Sie die Küvette mit der Probelösung in die Messkammer und stellen Sie fest, mit welchem der beiliegenden Farbfilter der größte Absorptionswert erreicht wird.

Die Farbfilter reduzieren die Lichtintensität, die von der Fotodiode empfangen wird. Ein Ausgleich kann durch Erhöhung der Lichtleistung der LED erfolgen (Drehen des Regelknopfes im Uhrzeigersinn).

#### Der Durchlässigkeits-Messbereich (%D):

Die am wenigsten konzentrierte (hellste) verwendete Probelösung ist für die Kalibrierung zu verwenden. Mit ihr ist der Durchlässigkeitswert auf 100% oder geringfügig darüber einzustellen. Die Skala erlaubt eine Abweichung bis 110%. Die Justierung sollte so nah wie möglich an den 100%-Wert herankommen.

### Der Absorptions-Messbereich (Abs):

Die am stärksten konzentrierte (dunkelste) Probelösung wird für die Kalibrierung verwendet und ein Wert für die Absorption von 0,70 eingestellt. Alternativ dazu sollte die am wenigsten konzentrierte (hellste) Lösung einen Absorptionswert von 0,05 anzeigen.

### Die Verwendung von Küvetten

Die optische Qualität der für eine Versuchsreihe verwendeten Behälter für die Probelösung (Küvette) sollte immer gleich bleiben. Die beiliegenden optischen Küvetten aus Polystyrol haben untereinander eine maximale Abweichung bei der Lichtdurchlässigkeit von 1 %. Für Klassenraum-Experimente können sie als gleichwertig angesehen werden. Die Ausführung der Küvette und der Messkammer ist so konstruiert, dass die Position und der Abstand zwischen Lichtquelle, Fotodiode und Probelösung immer konstant ist.

Die Küvette hat zwei glasklare und zwei geriffelte Seitenwände. Die glasklaren Wände sind für die Durchleuchtung und die geriffelten Wände für die Handhabung der Küvette vorgesehen. Beim Einsetzen der Küvette in die Messkammer ist deshalb zu beachten, dass sich die glasklaren Wände in der optischen Achse mit der Lichtquelle und der Fotodiode befinden. Bei Drehung der Küvette um 180° können geringfügige Abweichungen bei der Durchlässigkeit auftreten. Deshalb sollte eine der glasklaren Wände zur besseren Orientierung mit einer Markierung versehen werden. Die mitgelieferten Küvetten haben diese Markierung bereits.

Die Küvetten fassen ein Volumen von ca. 4 ml. Um ein Verschütten beim bewegten Umgang mit der Küvette zu vermeiden, sollte sie nur mit ca. 3,5 ml Flüssigkeit gefüllt werden. Wenn die Küvette in der Messkammer befüllt wird, kann bis zu 4 ml eingefüllt werden. Zu den Küvetten werden kleine Deckel mitgeliefert. Sie können aufgesetzt werden, wenn die Lösung zum Mischen geschüttelt werden muss oder wenn die Lösung während des Versuches verdampfen könnte.

**Hinweis:** Bei manchen Experimenten (z. B. Reaktionsabläufe) kann die für das Aufsetzen des Deckels erforderliche Zeit den Verlust der Anfangsdaten der Reaktion bedeuten.

Kleine Kratzer auf der glasklaren Oberfläche der Küvette können das Messergebnis beinträchtigen. Die optische Oberfläche erfährt auf Dauer eine Trübung, die zu einem Verlust an Lichtdurchlässigkeit führt. Dies ist kein Problem, wenn in einer Versuchsreihe nur diese Küvette verwendet wird.

Ersatzküvetten müssen eine Grundfläche von 10 x 10 mm und einen Inhalt von 4 ml haben. Sie erhalten Ersatzküvetten bei Cornelsen Experimenta unter der Best.-Nr. 72275.

### Praktische Informationen

Lassen Sie keine Probenflüssigkeit in das Fotometer-Gehäuse eindringen. Verwenden Sie keine organischen Verbindungen von Aromaten, Halogenen, Aliphaten, Ketonen, Aldehyden oder Estergruppen in den Polystyrol-Küvetten.

#### Einsatzmöglichkeiten

#### **Beer'sches Gesetz**

Das Beer'sche Gesetz kann zur Bestimmung der Konzentration einer unbekannten Lösung eingesetzt werden. Es können leicht verschiedene Lösungen in der Schule hergestellt werden, um diese Gesetzmäßigkeit zu demonstrieren.

#### Versuchsbeispiele

#### Kristallviolett

Mit verdünnten Lösungen von Kristallviolett lassen sich gute Ergebnisse mit dem Beer'schen Gesetz darstellen. Verwenden Sie den grünen Farbfilter und stellen Sie eine Vorratslösung von 8,0 x 10<sup>-5</sup> M Kristallviolett her. Die Vorratslösung wird aus 65,3 mg Kristallviolett und 2 l Wasser hergestellt. Daraus können eine Reihe weiterer Verdünnungen hergestellt werden, um verschiedene Absorptionsmessungen durchzuführen. Kristallviolett ist ein intensives Färbemittel und sollte mit Vorsicht behandelt werden. Zur Reinigung der Küvetten und Glasgeräte empfiehlt sich eine verdünnte Säure. Zur Entfernung intensiver Verfärbungen kann die Säure auch länger angewendet oder in der Konzentration erhöht werden.

Kristallviolett können Sie bei Cornelsen Experimenta unter der Bestell Nr. 92410 bestellen.

#### Lebensmittelfarben

Mit verdünnten Lebensmittelfarben lässt sich das Beer'sche Gesetz ebenfalls einfach demonstrieren. Einem Liter Wasser wird eine Spatelspitze Färbemittel zugegeben. Das entspricht einer 100%igen Konzentration. Weitere Verdünnungen können mit 80, 60, 40 und 20%iger Konzentration daraus hergestellt werden.

Für eine blaue Lebensmittelfarbe wird der rote Farbfilter verwendet.

Für eine rote Lebensmittelfarbe wird der blaue Farbfilter verwendet.

Für eine gelbe Lebensmittelfarbe wird der grüne Farbfilter verwendet.

Färbemittel können Sie bei Cornelsen Experimenta bestellen: Färbemittel Rot Bestell Nr. 12921 Färbemittel Blau Bestell Nr. 12913 Färbemittel Gelb Bestell Nr. 12930

#### Kupfersulfat

Stellen Sie Kupfersulfatlösungen mit einer Konzentration von 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 M her und verwenden Sie den roten Farbfilter.

Kupfersulfat können Sie bei Cornelsen Experimenta unter Bestell Nr. 70148 bestellen.

Die Messmethode ist für alle Konzentrationen die folgende:

- 1. Bereiten Sie Lösungen und Küvetten mit 80, 60, 40 und 20%iger Lösung zur Untersuchung vor.
- 2. Verbinden Sie den Fotometer-Sensor mit dem *CorEx Logger* und wählen Sie den Messbereich **Absorption**.
- 3. Öffnen Sie den Programmteil Grafik der CorEx Sensing Science Software.
- 4. Wählen Sie den Erfassungs-Assistenten und die Erfassungsmethode Schnappschuss-Modus.
- 5. Wählen Sie **Testmodus** aus dem **Werkzeuge**-Menü und setzen Sie die Küvette mit der stärksten Konzentration in die Messkammer des Fotometers. Schließen Sie den Deckel und setzen Sie den passenden Farbfilter in den Schlitz auf der Oberseite des Fotometers.
- 6. Bewegen Sie den Drehknopf der Lampenjustierung gegen den Uhrzeigersinn, bis ein Absorptionswert von 0,7 Abs angezeigt wird. Entnehmen Sie die Küvette dem Fotometer.
- 7. Klicken Sie die Schaltfläche **Start** an, um die Datenerfassung zu beginnen. Setzen Sie die am wenigsten gefärbte Lösung in das Fotometer und klicken Sie in das Diagrammfeld, um den Absorptionswert der Probe zu messen.
- 8. Wiederholen Sie den Vorgang mit den anderen Lösungen in der Reihenfolge von der schwächsten zur stärksten Konzentration. Notieren Sie den Wert und die Konzentration in der **Bemerkung-Spalte** der **Tabelle.**



**Hinweis:** Wenn die Absorptionswerte der schwächeren Lösungen das gleiche Ergebnis zeigen, ist die Messung mit der schwächsten Lösung und einer Justierung auf den Absorptionswert 0,05 Abs zu wiederholen.

# Untersuchung des Reaktionsverlaufes zwischen Natriumthiosulfat und Salzsäure.

Natriumthiosulfat zerfällt und bildet kolloidalen Schwefel im Beisein von Salzsäure als Katalysator. Bereiten Sie eine Reihe von Versuchen vor, bei denen die Konzentration der Salzsäure konstant und die Konzentration des Natriumthiosulfates verändert wird. Die Auswirkung der Konzentration auf den Reaktionsverlauf wird untersucht.

Natriumthiosulfat können Sie unter der Best.-Nr. 70100 und Salzsäure unter der Bestell Nr. 93329 bei Cornelsen Experimenta bestellen.

- 1. Verbinden Sie den Fotometer-Sensor mit dem *CorEx Logger* und wählen Sie den **Durchlässigkeits**-Messbereich.
- 2. Füllen Sie eine Küvette mit klarem Wasser und setzen Sie sie in die Messkammer des Fotometers. Setzen Sie den blauen Farbfilter in den Schlitz auf der Oberseite des Fotometers.
- 3. Öffnen Sie den Programmteil Grafik der CorEx Sensing Science Software.
- 4. Wählen Sie **Testmodus** aus dem **Werkzeuge**-Menü und regeln Sie den Drehknopf der Lichtquelle bis ein Durchlässigkeitswert von 100% angezeigt wird. Entnehmen Sie die Küvette dem Fotometer.
- 5. Wählen Sie den **Erfassungs-Assistenten**. Wählen Sie **Echtzeit** und eine Zeitspanne von 5 Minuten. Wählen Sie **Überlagerung** aus dem **Anzeige-Assistenten** im **Anzeige**-Menü.
- 6. Füllen Sie 0,5 ml Salzsäure 1M in eine Küvette und setzen Sie sie in die Messkammer des Fotometers.
- 7. Füllen Sie mit einer Pipette oder Spritze 3,5 ml einer 40g/l Natriumthiosulfatlösung in die Küvette zu der Salzsäure. Schließen Sie den Messkammerdeckel und klicken Sie auf die Schaltfläche **Start**.
- 8. Nach Beendigung der Aufzeichnung entnehmen Sie die Küvette, entsorgen Sie den Inhalt ordnungsgemäß, waschen und trocknen Sie die Küvette und setzen Sie sie wieder in die Messkammer. Wiederholen Sie die Schritte 6.–8. unter Verwendung der in der unten stehenden Tabelle aufgeführten Volumen.

Probelösung	Volumen 40g/l Natriumthiosulfat ml	Volumen Wasser ml	Volumen 1M HCl ml	Gesamtvolumen ml
1	3,5	0,0	0,5	4,0
2	2,5	1,0	0,5	4,0
3	1,5	2,0	0,5	4,0
4	0,5	3,0	0,5	4,0

Bei der Reaktion wird kolloidaler Schwefel gebildet, der die Lösung undurchsichtig macht und die Lichtdurchlässigkeit reduziert. Die Ergebnisse zeigen im Verlauf der Zeit eine Abnahme der Durchlässigkeit.



# Untersuchung der Enzym-Konzentration bei einer Reaktion von Proteinase Enzym mit Milcheiweiß.

Stellen Sie von Proteinase Enzym eine 0,05% ige Lösung her. Stellen Sie von Milchpulver eine 1% ige Lösung her. Der Versuch soll bei Raumtemperatur ablaufen.

Proteinase Enzym können sie unter der Bestell Nr. 93074 bei Cornelsen Experimenta bestellen.

Enzyme spalten ein Substrat in kleinere Fragmente auf. Milcheiweiß kann mit einem Proteinase Enzym aufgespalten werden. Die undurchsichtige weiße Farbe der Milchpulverlösung ändert sich in eine blasse strohfarbene Lösung von Aminosäure-Fragmenten.

#### Vorbereitung einer Standardlösung

- 1. Bereiten Sie eine Standard-Referenz-Küvette vor, in die Sie 2 ml Enzym z. B. 0,05 % Proteinase und 3 ml einer 1%igen Milchpulverlösung geben. Lassen Sie die Küvette 5–10 Minuten ruhen, bis die Lösung klar geworden ist.
- 2. Verbinden Sie den Fotometer-Sensor mit dem CorEx Logger.
- 3. Öffnen Sie den Programmteil **Grafik** der CorEx Sensing Science Software und wählen Sie den Messbereich **Durchlässigkeit** (%D).
- 4. Setzen Sie die Referenz-Küvette in die Messkammer des Fotometers und wählen Sie Testmodus aus dem Werkzeuge-Menü. Setzen sie den blauen Farbfilter in den Schlitz auf der Oberseite des Fotometers und regulieren Sie mit dem Drehknopf die Lichtintensität so, dass die Durchlässigkeit mit 100% angezeigt wird.

#### Durchführung des Versuches

1. Wählen Sie den **Erfassungs-Assistenten** und **Echtzeit** mit einer Zeitspanne von 5 Minuten. Wählen Sie **Überlagerung** aus dem **Anzeige-Assistenten** im **Anzeige-**Menü.

**Hinweis:** Es kann erforderlich sein, die Zeitspanne zu ändern. Dies hängt von der Aktivität des Enzyms ab.

- 2. Geben Sie 1 ml Enzym und 1 ml Wasser in eine Küvette und setzen Sie sie in das Fotometer.
- 3. Geben Sie 2 ml Milchpulverlösung dazu und klicken Sie die Schaltfläche Start an.
- 4. Wiederholen Sie den Versuch mit Küvettenfüllungen gemäß der untenstehenden Tabelle.

Probelösung	Enzymvolumen ml (Konzentration)	Milchvolumen 1% Lösung ml	Wasservolumen ml	Gesamtvolumen ml
1	1,0	2,0	1,0	4,0
2	1,5	2,0	0,5	4,0
3	2,0	2,0	0,0	4,0

Das Ergebnis dieser Versuchsreihe zeigt eine steigende Lichtdurchlässigkeit im Verlauf der Zeit.

**Hinweis:** Sie können auch pH-Pufferlösungen mit unterschiedlichen pH-Werten anstelle des Wassers bei der Testlösung 1 verwenden und die Auswirkung des pH-Wertes auf die Enzymaktivität untersuchen.

Die Farbe der Enzymlösung kann am Ende jeder Reaktion unterschiedlich ausfallen. Dies kann Auslöser für Diskussionen über unerwartete Ergebnisse oder Fehler sein.



# Gasdruck-Sensoren

Es stehen 4 Gasdruck-Sensoren für die verschiedensten Anwendungen zur Verfügung:

#### Differenzgasdruck-Sensor – Best.-Nr. 73141

Bereich 1:±200 kPa – Auflösungsvermögen: 0,1 kPaBereich 2:±30 psi – Auflösungsvermögen: 0,02 psiAnzahl der Druckanschlüsse: 2

#### Differenzgasdruck-Sensor – Best.-Nr. 73139

Bereich 1:±10 kPa – Auflösungsvermögen: 0,01 kPaBereich 2:±1,5 psi – Auflösungsvermögen: 0,001 psiAnzahl der Druckanschlüsse: 2

### Absolutgasdruck-Sensor, Barometer oder Höhenmesser – Best.-Nr. 73140

Bereich 1:	0 bis 110 kPa absoluter Druck –
	Auflösungsvermögen: 0,1 kPa
Bereich 2:	0 bis 33 Zoll Hg –
	Auflösungsvermögen: 0,01 Zoll Hg
Bereich 3:	Höhe –500 bis 12000 m –
	Auflösungsvermögen: 4 Meter
Anzahl der D	ruckanschlüsse: 1





### Absolutgasdruck-Sensor – Best.-Nr. 73142

Bereich 1:	0 bis 700 kPa absoluter Druck – Auflösungsvermögen: 0,3 kPa
Bereich 2:	0 bis 100 psi – Auflösungsvermögen: 0,1 psi
Anzahl der [	Druckanschlüsse: 1

# Einleitung

Druck ist als Kraft pro Flächeneinheit definiert und kann unter Verwendung verschiedener Maßeinheiten gemessen werden. Die Standard-Maßeinheit für den Druck nach dem Internationalen Einheitensystem SI ist Pascal (Pa). Andere mögliche Maßeinheiten sind Millimeter Quecksilbersäule (mmHg), Newton pro Quadratzentimeter (Ncm<sup>-2</sup>) und Millibar (mbar).

Die Smart Q Gasdruck-Sensoren sind mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit, die Präzision und die Konsistenz der Anzeigewerte beträchtlich erhöht. Sie werden kalibriert geliefert, und die gespeicherte Kalibrierung wird automatisch geladen, wenn der Druck-Sensor angeschlossen wird.

Das Fühlerelement im Smart Q Gasdruck-Sensor ist eine Membran, die sich verändert, wenn sich der Druck ändert. Der Sensor verfügt über eine Temperaturkompensation, so dass Änderungen der Raumtemperatur die Messwerte nicht beeinflussen.

Es sind 4 Gasdruck-Sensoren erhältlich, deren Bereiche so bemessen sind, dass sie für Schulversuche geeignet sind:

- 1. Der Smart Q Differenzgasdruck-Sensor (Best.-Nr. 73141) hat zwei Anschlüsse und liefert ein Ausgangssignal, das sich auf die Druckdifferenz zwischen den zwei Anschlüssen bezieht. Wenn der zweite Anschluss zur Atmosphäre hin offen gelassen wird, so wird der Druck relativ zum atmosphärischen Druck gemessen. Die Werte werden in Pascal angezeigt.
- 2. Der Smart Q Differenzgasdruck-Sensor (Best.-Nr. 73139) ist ähnlich wie Best.-Nr. 73141, besitzt jedoch einen empfindlicheren Messbereich. Dadurch ist er für die Messung von geringfügigen Druckänderungen mit einem hohen Auflösungsvermögen geeignet.

# Gasdruck-Sensoren

- 3. Der Smart Q Sensor für Absolutgasdruck, barometrischen Druck oder Höhe (Best.-Nr. 73140) kann verwendet werden, um den absoluten Druck in Pascal oder die Höhe über dem Meeresspiegel in Metern zu messen.
- 4. Der Smart Q Sensor für absoluten Gasdruck (Best.-Nr. 73142) ist ähnlich wie Nr. 73140, er kann jedoch in einem hohen Druckbereich bis 700 kPa messen.



Die Smart Q Differenzgasdruck-Sensoren verfügen über zwei Anschlüsse, um auf beide Seiten der Membran einen Druck wirken zu lassen. Es wird die **Differenz** zwischen den Drücken gemessen, die auf die beiden Anschlüsse einwirken.

Werden beide Anschlüsse zur Atmosphäre hin offen gelassen, hebt sich die Wirkung des atmosphärischen Druckes an den beiden Anschlüssen auf, und die Differenz zwischen den Anschlüssen beträgt Null.

Wenn nur ein Anschluss verwendet und der nicht verwendete Anschluss zur Atmosphäre hin offen gelassen wird, misst der Sensor den Druck relativ zum atmosphärischen Druck, d. h. den Manometerdruck.

**Beispiel:** Diese Sensoren können für Messungen verwendet werden, für die man sonst ein Manometer benutzen würde. Ein Anschluss wird mit der "lebenden" Kammer verbunden, welche die Tiere enthält. Der andere Anschluss wird mit einer "nicht lebenden" Kammer verbunden, die als ein Thermobarometer wirkt. Das von den atmenden Lebewesen abgegebene CO<sub>2</sub> wird von dem Kaliumhydroxid absorbiert, wodurch eine Druckänderung hervorgerufen wird.

**Hinweis:** Der maximale Druck, bei dem diese Sensoren ohne eine dauerhafte Beschädigung verwendet werden können, beträgt:

BestNr.	73141	73139
Bereich	±200 kPa	±10 kPa
Anschluss 1	400 kPa	100 kPa
Anschluss 2	200 kPa	100 kPa



# Sensor für absoluten Gasdruck, barometrischen Druck oder Höhe – Best.-Nr. 73140

Messbereiche:

Bereich 1: 0 bis 110 kPa absoluter Druck

Bereich 2: 0 bis 33 Zoll Hg

Bereich 3: Höhe –500 bis 12000 m

Dieser Smart Q Gasdruck-Sensor wird verwendet, um den **absoluten** Druck zu messen – den Ist-Gasdruck am Anschluss gegen Null. Der Druck wird als Differenzdruck zu einem eingebauten internen Referenzvakuum gemessen. Der Sensor erzeugt dann eine Ausgangsspannung, die sich mit dem absoluten Druck ändert.

Wird der Anschluss zur Atmosphäre hin offen gelassen, zeigt der Sensor den Wert des atmosphärischen Druckes an (Druck, der durch die nach unten gerichtete Schwerkraft der Erde hervorgerufen wird, welche die Luft auf die Erdoberfläche herunterdrückt). Der durchschnittliche Druck, der in Deutschland auf Meeresspiegelhöhe von der Atmosphäre ausgeübt wird, beträgt 101,325 kPa. Frühere, nicht mehr verwendete, äquivalente Werte waren:

101,325 kPa = 760 mm Hg = 1013 mbar = 1 atm.

Dieser Sensor kann verwendet werden, um den **barometrischen Druck** für Wetteruntersuchungen zu messen. Da sich die Erde dreht, kommt es in Teilen der Erdatmosphäre zur Bildung von Wirbeln. In diesen Gebieten kann ein Druck vorliegen, der über oder unter dem durchschnittlichen Wert liegt. Energie aus Wasserdampf, der in kälterer Luft kondensiert und von Konvektionsströmen, die sich durch die Atmosphäre bewegen und dabei unser Wetter verändern, kann diese Effekte verstärken. Um das Muster von Druckänderungen zu zeigen, werden alle Orte auf der Karte, an denen derselbe Luftdruck herrscht, durch Linien miteinander verbunden, die man Isobaren nennt. An den Isobaren wird der entsprechende Druck in Hektopascal (hPa) angegeben.

**Hinweis:** Der von Flughäfen und Wetterstationen gemeldete Wert des barometrischen Druckes wird gewöhnlich für den Druck auf Meeresspiegelhöhe angegeben, d. h. es wird eine solche Korrektur vorgenommen, dass man den äquivalenten Druck auf Meeresspiegelhöhe erhält. Bei dem mit diesem Sensor erhaltenen Wert handelt es sich um den Druck am tatsächlichen Standort des Sensors.

Dieser Sensor kann auch Werte für die **Höhe** anzeigen. Gleichgültig, wie sich die Wettersysteme verhalten, nimmt der Luftdruck mit zunehmender Höhe ab. Die Höhenskala wurde so geeicht, dass die Höhe anstelle des Druckes gemessen wird. Für die Umrechnung des Druckes in Höhenangaben wird ein Druck von 101,325 kPa auf Meeresspiegelhöhe zugrunde gelegt, so dass der Sensor einen **relativen** und nicht einen absoluten Höhenwert liefert.

**Hinweis:** Um eine exakte Höhe anzugeben, würde man den barometrischen Druck auf Meeresspiegelhöhe für den betreffenden Standort benötigen (dieser beträgt möglicherweise nicht 101,325 kPa). Zum Beispiel: Der Sensor kann auf Meeresspiegelhöhe eine Höhe von 100 Metern anstelle von 0 Metern anzeigen, weil der atmosphärische Druck zum Zeitpunkt der Messung 100,1 und nicht 101,3 kPa beträgt. Wenn der Wert für die Ausgangshöhe bekannt ist, können die Werte unter Verwendung des "Funktionen-Assistenten" im Programm Sensing Science Software korrigiert werden.

**Hinweis:** Der maximale Druck, der auf diesen Sensor einwirken kann, ohne dass er dauerhaft Schaden nimmt, beträgt 200 kPa.

# Sensor für absoluten Gasdruck – Best.-Nr. 73142

Messbereiche:

Bereich 1:0 bis 700 kPa absoluter DruckBereich 2:0 bis 100 psi

Dieser Smart Q Gasdruck-Sensor misst den **absoluten** Druck – den tatsächlichen Luftdruck am Anschluss gegen Null. Der Druck wird als Differenzdruck zu einem eingebauten internen Referenzvakuum gemessen. Der Sensor erzeugt dann eine Ausgangsspannung, die sich mit dem absoluten Druck ändert.

**Hinweis:** Der maximale Druck, der auf diesen Sensor einwirken kann, ohne dass er dauerhaft Schaden nimmt, beträgt 1000 kPa.

### Anschluss

- Halten Sie den Gasdruck-Sensor so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse am Adapter, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse am CorEx Logger so an, dass sich der Markierungspfeil oben befindet.



#### Messbereichswahl

Die Wahl des gewünschten Messbereiches erfolgt im Programmteil **Sensor-Konfiguration** der Sensing Science Software wie folgt:

- Schließen Sie den Druck-Sensor an den CorEx Logger an und führen Sie das Programm **Sensor-Konfiguration** aus.
- Klicken Sie die **Nummer** des Eingangs an, an den der Sensor angeschlossen ist.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bereich setzen**. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben. Wählen Sie den erforderlichen Bereich und klicken Sie auf **OK**.
- Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Die Messbereichswahl kann auch am CorEx Logger vorgenommen werden:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü System, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile Messbereich setzen, ENTER.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen ist, z. B. Eingang 1, **ENTER**.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die verfügbaren Bereiche anzeigen. Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken Sie **ENTER**, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken Sie **STOP**, um zum Hauptmenü zurückzukehren.



# **Praktische Information**

Das Fühlerelement verfügt über eine automatische interne Temperaturkompensation von 0 °C bis 50 °C.

Zulässiger Betriebstemperaturbereich:-40 °C bis 85 °C.Zulässiger Bereich der Lagerungstemperaturbereich:-55 °C bis 125 °C.Feuchtigkeit:0 bis 100% relative FeuchtigkeitDie Anschlüsse an den Druck-Sensoren sind konisch, ihre Außendurchmesser betragen 4 bis 4,3 mm.

Das zusammen mit den Sensoren zu verwendende Zubehör umfasst:

- Kunststoff- oder Silikonschlauch: 3–3,5 mm Innendurchmesser zum Anschließen an die Sensoranschlüsse.
- Stopfen mit Ausflussrohren
- Spritzen
- Schlauchschellen
- Aufsteckbare konische Verbinder
- Dreiweg- und Einweghähne

Mit ihrer Hilfe kann der Sensor zur Atmosphäre hin geöffnet werden, so dass ein Druckausgleich mit dem atmosphärischen Druck erfolgt.

Verwenden Sie die Sensoren nur, um den Druck an nicht korrodierenden/nichtionischen Medien wie Luft oder trockenen Gasen zu messen.

Die Sensoren sind zur Verwendung mit zündfähigen Gasen nicht geeignet.

Der Dampfdruck von Flüssigkeiten kann ebenfalls überwacht werden. Sorgen Sie jedoch dafür, dass **keine** Flüssigkeit in den Sensor gelangt.

Schützen Sie den Sensor vor Witterungseinflüssen – halten Sie ihn trocken.

Der zusammen mit dem Druck-Sensor verwendete Behälter muss für die betreffende Aufgabe geeignet sein und in der Lage sein, dem Druck standzuhalten. Der gewählte Behältertyp ist von der Art der Untersuchung abhängig.

Ein nichtelastischer, luftdichter Behälter wie etwa eine Spritze kann für quantitative Untersuchungen verwendet werden, z. B. zur Untersuchung des Zusammenhangs von Druck und Volumen. Wenn die Untersuchung die Messung eines Druckanstiegs erfordert, kann ein Behälter mit einem druckbetätigten Ventil (z. B. ein Ballon, der an dem seitlichen Ausgang einer Saugflasche befestigt ist) verwendet werden.

Gas, das in einem unter Druck stehenden System eingeschlossen ist, ist stets bestrebt, einen Ausweg zu finden. Je länger sich die Untersuchung hinzieht, desto mehr wächst die Gefahr von Undichtigkeiten. Versuchen Sie deshalb, Versuche so schnell wie möglich durchzuführen.



Geschwindigkeit der Atmung von Pflanzen

#### Versuchsbeispiele

- Untersuchung von Reaktionsgeschwindigkeiten
- Zusammenhänge Temperatur/Volumen
- Boyle-Mariotte'sches Gesetz (Zusammenhang von Druck und Volumen)
- Gay-Lussac'sches Gesetz (Zusammenhang von Druck und absoluter Temperatur)
- Dampfdruck von Flüssigkeiten
- Entwicklung von Gasen in einer abgeschlossenen Atmosphäre (O<sub>2</sub> bei der Photosynthese von Wasserpflanzen)
- Untersuchungen zum Atemvolumen (keimende Samen)
- Überwachung des barometrischen Druckes bei Wetterbeobachtungen
- Gärung von Hefe (Erzeugung von Kohlendioxid)
- Untersuchungen zur Osmose
- Untersuchungen zu Geschwindigkeit der Transpiration (Pflanze an einem windigen oder sonnigen Tag)

# Boyle-Mariotte'sches Gesetz

Zusammenhang von Druck und Volumen

• Schließen Sie ein ca. 2 cm kurzes Stück Schlauch an eine Spritze an.

**Hinweis:** Die Größe der Spritze ist in Abhängigkeit vom Bereich des verwendeten Druck-Sensors zu wählen.

 Bevor Sie das andere Ende des Schlauches an den Sensor anschließen, bewegen Sie die Spritze zu der dem gewünschten Volumen entsprechenden Markierung.



Hinweis: Der Druck in der Spritze ist nunmehr bei dem gewählten Volumen gleich dem atmosphärischen Druck.

- Stecken Sie den Schlauch auf den mit P1 gekennzeichneten Anschluss des Druck-Sensors.
- Laden Sie den Programmteil **Grafik** aus der Sensing Science Software. Wählen Sie den **Erfassungs-Assistent** und als Methode der Datenerfassung **Schnappschussmodus**.
- Wählen Sie aus dem Menü Werkzeuge die Option Funktionen-Assistent. Wählen Sie als Funktion a. Setzen Sie a = 0. Geben Sie als Name Volumen und als Maßeinheit ml ein. Klicken Sie auf Übernehmen.
- Wählen Sie aus dem Menü Ausgabe die Option Ausgabe-Assistent. Wählen Sie als X-Achse Sensor. Beenden.
- Falls erforderlich, ändern Sie den angezeigten Datenkanal (klicken Sie links neben die Achse), so dass "Volumen" auf der X-Achse und der Druck-Sensor auf der Y-Achse angezeigt wird.



- Klicken Sie auf **START**, um mit dem Protokollieren zu beginnen. Klicken Sie in den Bereich des Diagramms, um den Druck aufzuzeichnen. Doppelklicken Sie in das Feld der Volumen-Spalte und bearbeiten Sie den Wert, z. B. geben Sie 10 ein.
- Drücken Sie den Kolben der Spritze schrittweise hinein, so dass sich das Volumen jeweils um den gleichen Betrag verkleinert, z. B. jeweils um 0,5 ml, und klicken Sie in den Bereich des Diagramms, um den Druck aufzuzeichnen. Bearbeiten Sie entsprechend den Volumen-Wert.
- Wiederholen Sie die oben genannten Schritte, bis sich die Werte der oberen Grenze des Sensorbereiches nähern oder es bis es zu schwer wird, den Kolben noch weiter hineinzudrücken.



Typische Ergebnisse:



### Reaktionsgeschwindigkeit bei der Gaserzeugung mit Marmorstücken und Salzsäure

Die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion kann von der Konzentration der reagierenden Chemikalien, der Temperatur, der Teilchengröße und Katalysatoren beeinflusst werden. Der Ablauf der Reaktion zwischen Kalziumkarbonat und Salzsäure kann anhand der Freisetzung von Kohlendioxid verfolgt werden, CaCo<sub>3</sub> + 2HCl  $\rightarrow$  CaCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub>. Das erzeugte Kohlendioxid bewirkt in einem dicht verschlossenen Behälter eine Druckerhöhung.



Marmorstücke oder -pulver

- Bauen Sie den Versuch wie abgebildet auf. Die Menge der Marmorstücke hängt von der Größe des verwendeten Glaskolbens ab. Verwenden Sie z. B. in einem Glaskolben von 250 cm<sup>3</sup> Marmorstücke mit einem Gewicht von etwa 5 g.
- Die beiden Stoffe müssen getrennt aufbewahrt werden, bis Sie bereit sind, mit dem Protokollieren zu beginnen. Ziehen Sie 10 cm<sup>3</sup> einer 0,5 M Salzsäure in die Spritze und befestigen Sie diese an der Nadel. Die Nadel muss durch den Gummistopfen hindurchgeschoben werden, damit die Säure zugegeben werden kann, wenn das System bereits eingerichtet und ,gasdicht' ist.
- STARTEN Sie die Protokollierung und spritzen Sie die in der Spritze befindliche Salzsäure in den Glaskolben ein.

**Hinweis:** Üben Sie einen leichten Druck auf den Gummistopfen und auf den Kolben der Spritze aus, um zu verhindern, dass diese sich heben.

• Der Anstieg der Kurve zeigt die Reaktionsgeschwindigkeit.





Geiger-Müller-Zählrohr – Best.-Nr. 55407

GM-Zählrohr-Adapter – Best.-Nr. 73265

Bereich 1:	Zählimpulse pro Sekunde 0 bis 10.000 ips
Auflösung:	1 ips
Bereich 2:	Kumulative Zählung 0 bis 65.535 Zählimpulse
Auflösung:	1 Zählimpuls
Bereich 3:	Zufallsereignis-Betriebsart 0 bis 100 %

#### Einleitung

Der Smart Q Geiger-Müller-Sensor wird verwendet, um Alpha-, Beta- und Gammastrahlung zu messen. Der Sensor umfasst das Geiger-Müller-(GM-)Sensorgehäuse mit Klinkenstecker-Adapter, einen Geiger-Müller-(GM-)Zähler und einen Stativstab.

Der GM-Zähler ist mit einem eingebauten GM-Zählrohr und einer integrierten Hochspannungs-Stromversorgung ausgestattet. Er verfügt über eine gelb leuchtende LED, die die Zuführung einer Betriebsspannung zum Zähler anzeigt, und über einen Summer, der bei jedem aufgezeichneten radioaktiven Impuls ein akustisches Signal aussendet.

Das Fenster des GM-Zählrohres besteht aus einem sehr dünnen und empfindlichen Material, das leicht zerstört werden kann. Aus diesem Grunde wurde es mit einer Schutzkappe versehen, die an ihm verbleiben kann, außer wenn Alphastrahlung gemessen wird. Die Kappe ist mit einer Belüftungsöffnung versehen, um ein Vakuum zu vermeiden, wenn sie abgenommen wird oder wieder angebracht wird.

**Hinweis:** Es ist äußerst wichtig, dass die Belüftungsöffnung nicht verdeckt ist, wenn die Kappe entfernt oder wieder angebracht wird.

Der GM-Sensor wird mit einem Stativstab geliefert, der in das Montagegewinde am Unterteil des GM-Zählers eingeschraubt werden kann. Der Stab kann zum Festklemmen an Stativmaterial verwendet werden.

#### Technische Daten des Geiger-Müller-Zählrohres

Technische Daten des Fensters:

Dicke:	1,5 bis 2,0 mg/cm <sup>2</sup>
Nutzdurchmesser:	9,14 mm
Material:	Glimmer
Gasfüllung:	Neon, Argon und Halogen

# Anschließen

- Halten Sie das Geiger-Müller-Sensor-Gehäuse so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse am Sensorgehäuse, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Sensorkabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers so an, dass sich der Markierungspfeil oben befindet.
- Verbinden Sie den Klinkenstecker des Geiger-Müller-Zählers mit der Klinkenstecker-Buchse am Sensorgehäuse mit Hilfe des Adapters. Die gelbe LED am Zähler leuchtet auf und zeigt an, dass dem Zähler eine Betriebsspannung zugeführt wird.
- Der CorEx Logger erkennt, dass der Geiger-Müller-Sensor angeschlossen ist und auf welchen Bereich dieser eingestellt ist.



• Stellen Sie den gewünschten Bereich ein.

### Bereiche

Es stehen drei Bereiche zur Verfügung:

- Zählen pro Sekunde Wird verwendet, um die Gesamtzahl der Zählimpulse zu messen, welche der Sensor in einer Sekunde erkennt (ips). Nützlich für Untersuchungen zur Bestimmung der Halbwertzeit und zur Absorption von Strahlung durch unterschiedliche Stoffe.
- Kontinuierliches Zählen Wird verwendet, um eine Gesamtzahl von Zählimpulsen zu messen. Die Anzahl der Zählimpulse wird ab dem Zeitpunkt akkumuliert, zu dem der Knopf am Smart Q Sensorgehäuse gedrückt wird. Wenn Sie den Knopf eine Sekunde gedrückt halten und dann loslassen, wird der Zählerstand auf Null zurückgesetzt.

Wenn der Zählerstand den maximalen Wert (65.535) erreicht hat, wird er automatisch auf Null zurückgesetzt, und der Zählvorgang beginnt von vorn.

Nützlich für die Aufzeichnung von Untergrund-Zählimpulsen und für die Berechnung der mittleren Anzahl von Zählimpulsen aus der Zeit, während der der Zählvorgang erfolgt ist, sowie der Absorption von Strahlung durch unterschiedliche Stoffe.

• Einzelimpulse (nur mit CorEx Logger oder CorEx Link möglich) – Jedes radioaktive Teilchen erzeugt einen Spannungsimpuls. Die auftretenden Impulse werden aufgezeichnet, wodurch der Zufallsprozess des atomaren Zerfalls beschrieben wird.

Die Daten müssen in der Betriebsart SCHNELL erfasst werden. Da ein Impuls eine Länge von nur 250 µs hat, muss ein Abtastintervall gewählt werden, das kleiner als 200 µs ist, da der Impuls sonst eventuell nicht messbar ist.

# Einstellen des Bereiches

Die Wahl des gewünschten Messbereiches erfolgt im Programmteil **Sensor-Konfiguration** der Sensing Science Software wie folgt:

- Schließen Sie den Geiger-Müller-Sensor an den CorEx Logger an und führen Sie das Programm **Sensorkonfiguration** aus.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen ist, aus der Liste aus.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche Bereich setzen. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben.
- Wählen Sie den erforderlichen Bereich und klicken Sie auf **OK**.
- Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Die Messbereichswahl kann auch am CorEx Logger vorgenommen werden:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü System, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile **Messbereich setzen, ENTER**.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Geiger-Müller-Sensor angeschlossen ist, z. B. Eingang 1, **ENTER**.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die verfügbaren Bereiche anzeigen, d. h. Mittl. ips 1s, Zählzeit offen, Impulsausgabe.
- Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken Sie **ENTER**, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken Sie STOP, um zum Hauptmenü zurückzukehren.

Set Sensor Range 🛛 🗙
Sensor 1
Click on the desired range
Geiger Counter
Ave cps 1 sec
Pulse Output
ОК

#### Messverfahren

Radioaktive Quellen, die in Schulen verwendet werden, sind gewöhnlich schwach. Dennoch ist beim Umgang mit ihnen Sorgfalt geboten. Es muss stets eine befugte Person anwesend sein. Stellen Sie sicher, dass alle örtlichen Vorschriften sowie die in relevanten Sicherheitsdatenblättern enthaltenen Empfehlungen eingehalten werden. Nehmen Sie eine Gefahrenbeurteilung vor, bevor der Versuch bzw. die Tätigkeit ausgeführt wird.



**Sicherheit:** Verwenden Sie bei der Handhabung von Quellen radioaktiver Strahlung stets eine Zange oder eine andere Haltevorrichtung. Halten Sie eine Quelle von sich selbst und von anderen Personen fern. Waschen Sie sich anschließend die Hände. Radioaktive Strahlungsquellen müssen auf geeignete Weise in einem abgeschlossenen und entsprechend beschilderten Lager aufbewahrt werden.

- Messen Sie bei weit vom Geiger-Müller-Sensor entfernten radioaktiven Quellen wenigstens zwei Minuten lang die Hintergrundstrahlung im Raum. So können Sie ermitteln, ob die Hintergrundstrahlung vernachlässigt werden kann oder nicht. Dieser Wert ist von den späteren Impulsfrequenz-Messwerten abzuziehen.
- Bei Verwendung zur Messung von Alpha-Strahlung: Entfernen Sie vorsichtig die Schutzkappe; achten Sie dabei darauf, dass die Belüftungsöffnung nicht verdeckt ist. Bringen Sie die fragliche Strahlungsquelle, ohne sie zu berühren, in eine Position, die maximal 6 mm vom Fenster des Geiger-Müller-Zählrohrs entfernt ist (Alphastrahlung legt in Luft keine weiten Strecken zurück). Stellen Sie nach Beendigung der

Untersuchung sicher, dass die Belüftungsöffnung der Schutzkappe **nicht verdeckt** ist, und bringen Sie die Kappe wieder an.

• Bei Verwendung zur Messung von **Beta**- oder **Gamma**-Strahlung: Vergewissern Sie sich, dass die Schutzkappe angebracht ist. Richten Sie das Geiger-Müller-Zählrohr auf die Strahlungsquelle.

### Praktische Informationen

Der Geiger-Müller-Sensor wird direkt vom CorEx Logger aus mit Strom versorgt.

Der GM-Sensor ist aktiv, sobald er angeschlossen ist, selbst dann, wenn der LCD-Bildschirm des CorEx Loggers leer ist.

Das Fenster des GM-Zählrohres besteht aus einem sehr dünnen und empfindlichen Material, das leicht zerstört werden kann. Aus diesem Grunde wurde es mit einer Schutzkappe versehen, die an ihm verbleiben kann, außer wenn Alpha-Strahlung gemessen wird. Die Kappe ist mit einer Belüftungsöffnung versehen, um ein Vakuum zu vermeiden, wenn sie abgenommen wird oder wieder angebracht wird.

**Hinweis:** Es ist äußerst wichtig, dass die Belüftungsöffnung nicht verdeckt ist, wenn die Kappe entfernt oder wieder angebracht wird.

#### Stecken Sie KEINE Gegenstände in das Zählrohr.

Soll das GM-Zählrohr in vertikaler Stellung verwendet werden, bringen Sie es in eine Position über dem zu prüfenden Objekt, um zu vermeiden, dass Teilchen auf das Zählrohr fallen und das Fenster beschädigen.

Wenn der Bereich Zählimpulse pro Sekunde mit einer Zeitspanne verwendet wird, bei der das Abtastintervall weniger als 1 Sekunde beträgt (d. h. die kürzer als 5 Minuten ist), wird der Wert vom GM-Sensor in Abständen von einer Sekunde aktualisiert; z. B. wenn eine Zeitspanne von 2 Minuten gewählt wird und der Zeitabstand zwischen aufeinander folgenden Messungen 0,20 Sekunden beträgt, würde der Wert bei jeder 5. Messung aktualisiert.

Sobald dem GM-Sensor vom CorEx Logger Strom zugeführt wird, wird er aktiviert und beginnt mit der Zählung. Möglicherweise sind bereits Zählimpulse erfolgt, wenn die Aufzeichnung gestartet wird.



Zur Korrektur hinsichtlich der Hintergrund-Zählimpulse ist die Option **Funktionen-Assistent** im Menü **Werkzeuge** der Sensing Science Software zu verwenden. Wählen Sie entweder:

- 1. Die Funktion  $ax^2 + bx + c$ , setzen Sie a = 0, b = 1,
  - c = Mittelwert aus den Hintergrund-Zählimpulsen,

x = Daten "Kontinuierliches Zählen" vom GM-Sensor.

Oder:

2. Die Funktion **[x-a]+b**, setzen Sie x = Daten "Kontinuierliches Zählen" vom GM-Sensor,

a = Mittelwert aus den Hintergrund-Zählimpulsen und b = 1.

Function Wizard
Function
Function (x-a)/b
x= (1) Open Count 💌 a= 2.5
y= time (s) 💌 b= 1
c= 0
Number of decimal places to be shown: 2
max 65535.00 name Correct Count
min 0.00 unit count
OK Apply Cancel

# Das Geiger-Müller-Zählrohr

Das Geiger-Müller-Zählrohr ist dicht verschlossen und enthält Gas unter Niederdruck. Das dünne Glimmerfenster am Ende des Rohres ermöglicht, dass Alpha- und Betateilchen von außen in das Zählrohr einfallen. Gammastrahlung kann auch durch das Kunststoffgehäuse des Rohres hindurch einfallen. Im Inneren des Rohres ionisiert jedes Teilchen bzw. jeder Strahl mehrere Gasatome. Die positiven Ionen werden zur Kathode hin angezogen, die negativen Elektronen zur Anode. Aufgrund des elektrischen Feldes werden die Ionen beschleunigt und stoßen mit anderen Atomen zusammen, wodurch weitere Ionen und Elektronen erzeugt werden. Diese sekundären Ionen werden ebenfalls beschleunigt und stoßen mit anderen Atomen zusammen, wodurch noch mehr Ionen erzeugt werden, die an den Elektroden entladen werden. Wenn die Ionen entladen werden, ändert sich die Potenzialdifferenz zwischen Kathode und Anode kurzzeitig, was einen Spannungsimpuls auslöst.

# Theorie

Auf der Erde ist in relativ kleinen Mengen Strahlung vorhanden, die sowohl aus natürlichen als auch aus künstlichen Quellen stammt. Eine bedeutende natürliche Quelle ist Kohlenstoff-14, der von Pflanzen und Tieren aufgenommen wird. Dieser wird infolge des Bombardements mit kos-mischen Strahlen, die aus dem Weltraum in die Atmosphäre eindringen, ständig aus stabilem Stickstoff-14 erzeugt.

Radioaktivität ist eine Eigenschaft instabiler Atomkerne. Sie hängt damit zusammen, dass sich die Atomkerne spontan in Atomkerne anderer Elemente aufspalten und dabei Strahlen oder Teilchen aussenden (Strahlung), ein Vorgang, der als radioaktiver Zerfall bekannt ist. Ein radioaktives Element ist ein Element, dessen Atomkerne sich auf diese Weise allmählich aufspalten. Es gibt drei Arten von Strahlung, die von radioaktiven Elementen emittiert wird: Ströme von Alphateilchen, die als Alphastrahlen bezeichnet werden, Ströme von Betateilchen (Betastrahlen) und Gammastrahlen.

# Alphateilchen (α – Teilchen).

Es handelt sich um eine Art von Teilchen, die vom Kern eines radioaktiven Atoms emittiert werden. Sie sind positiv geladen, relativ schwer (zwei Protonen und zwei Neutronen), bewegen sich relativ langsam und haben eine geringe Durchschlagskraft. Alphastrahlen haben typischerweise in Luft eine Reichweite von nur wenigen Zentimetern. Die Teilchen werden von einer dünnen Pappe absorbiert, oder wenn sie 10 - 20 cm in der Luft zurücklegen, oder von der Haut.

# Betateilchen (β – Teilchen)

Dies sind sich schnell bewegende Teilchen, die von bestimmten radioaktiven Atomkernen etwa mit Lichtgeschwindigkeit ausgesendet werden. Betateilchen sind Elektronen. Sie können Objekte durchdringen, die eine geringe Dichte und/oder Dicke aufweisen, wie etwa Papier; von einem Aluminiumblech werden sie jedoch absorbiert. Ihre maximale Reichweite in Luft beträgt typischerweise 30 cm.



### Gammastrahlen (y – Strahlen)

Bei Gammastrahlen handelt es sich um elektromagnetische Strahlung, die vom Kern eines Atoms ausgesendet wird. Sie haben eine sehr kurze Wellenlänge (kürzer als bei Röntgenstrahlen) und sind sehr energiegeladen. Diese Strahlen besitzen eine sehr hohe Durchschlagskraft. Von mehreren Zentimetern Blei werden sie abgeschwächt, aber nicht vollständig absorbiert.

# So bestimmen Sie, ob es sich bei einer Strahlung um Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung handelt:

Gehen Sie entsprechend der Verfahrensweise zur Erkennung von Alphastrahlung vor. Bringen Sie ein Stück dicke Pappe zwischen der radioaktiven Quelle und dem Fenster des GM-Zählrohres an. Werden die radioaktiven Impulse gestoppt, handelt es sich wahrscheinlich um Alphastrahlung. Wenn sich die Impulse fortsetzen, bringen Sie ein 3 mm dickes Aluminiumblech zwischen dem Fenster und der Quelle an. Werden die Impulse gestoppt, handelt es sich wahrscheinlich um Betastrahlung. Wenn sich die Impulse fortsetzen, handelt es sich wahrscheinlich um Gammastrahlung.

### **Radioaktiver Zerfall**

Radioaktiver Zerfall ist der Prozess, bei dem die Atomkerne eines radioaktiven Elements einer Reihe von Zerfallsvorgängen (einer Zerfallsreihe) unterliegen, in deren Ergebnis sie stabil werden. Es ist unmöglich vorherzusagen, welcher Atomkern als nächster ausreichend instabil wird, um zu zerfallen; es ist jedoch möglich, mit Hilfe des Geiger-Müller-Sensors die Atomkerne zu zählen, die in einer radioaktiven Probe pro Sekunde zerfallen. Die Halbwertzeit ist die Zeit, die es dauert, bis die Hälfte der Atome in einer Probe dem radioaktiven Zerfall unterlegen ist und sich daher die Anzahl der ausgesendeten radioaktiven Impulse halbiert hat.

### Ein Verfahren zur Bestimmung der Halbwertzeit einer Quelle:

Klicken Sie auf die Kurve, um einen Punkt im oberen Bereich der Kurve zu wählen, z. B. 10,84 ips. Notieren Sie die diesem Datenpunkt entsprechende Zeit (sie wird in der Tabelle hervorgehoben), z. B. 27,00 s. Dividieren Sie die Anzahl der Zählimpulse durch 2, z. B. 10,84 : 2 = 5,42 ips. Bewegen Sie sich in der Tabelle nach unten, ermitteln Sie den Wert, der dieser Anzahl am nächsten kommt, und notieren Sie die diesem Punkt entsprechende Zeit, z. B. 134 Sekunden. Die Zeit, die



es dauert, bis sich die Zählimpulsfrequenz halbiert hat (die Halbwertzeit), ist demzufolge die Differenz dieser beiden Zeitdauern, z. B. 134 – 27 = 107 Sekunden (1 Minute und 47 Sekunden). Radioaktive Isotope sind Atome oder Ionen ein und desselben Elements, die unterschiedliche Anzahlen von Protonen und Neutronen (Nukleonen) aufweisen, d. h. dieselbe Anzahl von Protonen, jedoch eine unterschiedliche Anzahl von Neutronen. Die Halbwertzeiten radioaktiver Isotope schwanken in weiten Grenzen; einige Beispiele sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Element	Isotop	Emittierte Strahlung	Halbwertzeit
Americium	Am-241	α	458 Jahre
Barium	Ba-133	γ	10,5 Jahre
Kobalt	Co-60	βγ	5,27 Jahre
	Co-57	γ	271 Tage
	Co-57	β	270 Tage
Kadmium	Cd-109	γ	464 Tage
Zäsium	Cs-137	βγ	30,2 Jahre
Kohlenstoff	C-14	β	5730 Jahre
Jod	I-131	β	8,1 Tage
Mangan	Mn-54	γ	313 Tage
Plutonium	Pu-240	α	6580 Jahre
Polonium	Po-210	α	138 Tage
Kalium	K-40	β	1,3 x 10 <sup>9</sup> Jahre
Uran	U-235	α	7,1 x 10 <sup>8</sup> Jahre
Strontium	Sr-90	β	28,6 Jahre
Natrium	Na-22	βγ	2,60 Jahre
	Na-24	γ	15 Stunden
Thallium	TI-204	β	3,78 Jahre

# Maßeinheiten

Radioaktive Quellen müssen unter Zugrundelegung ihrer Aktivität und nicht ihrer Masse gemessen werden. Eine Aktivität von einem Zerfall pro Sekunde wird als ein **Becquerel** (Bq) bezeichnet. Früher war es üblich, Quellen in Curie (Ci) zu messen. 1 Curie = 3,7 x 10<sup>10</sup> Bq. Die Strahlungsdosis, die auf eine Person eingewirkt hat, wird unter Verwendung der Maßeinheit Sievert (Sv) gemessen, welche die Art der Strahlung und die betroffenen Organe berücksichtigt. Die Auswirkung von Strahlung auf menschliches Gewebe ist für die drei Strahlungsarten unterschiedlich, wobei Alphastrahlung ungefähr 20-mal so viel Energie pro Einheit der zurückgelegten Wegstrecke im Gewebe freisetzt.

# Untersuchungen

- Radioaktiver Zerfall Protactinium hat eine Halbwertzeit von nur 72 Sekunden und stellt eine ideale radioaktive Quelle für dieses Experiment dar. Die Zählimpulsfrequenz wird gemessen, nachdem eine bestimmte Zeit vergangen ist, und die Messwerte werden verwendet, um die Halbwertzeit des Stoffes zu berechnen.
- Durchdringungsfähigkeit unterschiedlicher radioaktiver Quellen
- Radioaktive Durchdringung verschiedener Stoffe, die zwischen der Quelle und dem Geiger-Müller-Zählrohr angebracht werden.
- Bride Class
   Sone of Sone American

   Bride Class
   Sone of Sone American

   Sone of Sone of Sone American
   Sone American

   Sone of Sone of Sone of Sone American
   Sone American

   Sone of Sone of Sone of Sone American
   Sone of Sone American

   Sone of Sone of Sone of Sone of Sone American
   Sone of Sone o
- Überwachung von Strahlungspegeln im Rahmen des Umweltschutzes
- Radioaktive Durchdringung
- Einfluss des Abstandes von der Strahlungsquelle auf die Zählimpulsfrequenz die Abschwächung der Strahlung hängt von zwei Faktoren ab:
  - 1. Gesetz der zum Quadrat des Abstands umgekehrt proportionalen Abnahme
  - 2. Absorption durch das Medium

Im Falle von Gammastrahlen in Luft ist nur eine sehr geringe Absorption vorhanden, während die Absorption bei  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen die Hauptrolle spielt.

# Herzfrequenz-Sensor



#### Herzfrequenz-Sensor – Best.-Nr. 73147

Pulsfrequenz Bereich: 0 bis 200 Schläge pro Minute Auflösungsvermögen: 1 Schlag pro Minute

*Wellenform* Bereich: –2000 bis 2000 mV Auflösungsvermögen: 1 mV

#### **Einleitung**

Der Smart Q Herzfrequenz-Sensor überwacht den Helligkeitsgrad des Lichtes, das durch das vaskuläre Gewebe der Fingerkuppe oder des Ohrläppchens durchgelassen wird und die entsprechenden Änderungen der Lichtstärke, die auftreten, wenn sich das Blutvolumen im Gewebe ändert.

Der CorEx Logger kann erkennen, dass der Smart Q Herzfrequenz-Sensor angeschlossen ist und auf welchen Bereich er eingestellt ist.

#### Anschließen

- Halten Sie das Herzfrequenz-Sensor-Gehäuse so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse am Ende des Sensorgehäuses, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.



- Schließen Sie das andere Ende des Sensorkabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers so an, dass sich der Markierungspfeil oben befindet.
- Stecken Sie den Klinkenstecker des Finger-/Ohrläppchen-Clips (Plethysmograph) in die Klinkenstecker-Buchse am Ende des Sensorgehäuses.
- Der CorEx Logger erkennt, dass der Smart Q Herzfrequenz-Sensor angeschlossen ist. Wählen Sie den gewünschten Bereich.

#### Messbereichswahl

Die Wahl des gewünschten Messbereiches erfolgt im Programmteil **Sensor-Konfiguration** der Sensing Science Software wie folgt:

- Schließen Sie den Herzfrequenz-Sensor an den *CorEx Logger* an und führen Sie das Programm **Sensor-Konfiguration** aus.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen ist, aus der Liste aus.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bereich setzen**. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben.

Set Sensor Range	×
Sensor 1	
Click on the desired on as	
Llick on the desired range	
Heart Monitor	1
Waveform	
Beats / min	
1	
OK	

# Herzfrequenz-Sensor

• Wählen Sie den erforderlichen Bereich und klicken Sie auf OK.

Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Die Messbereichswahl kann auch am CorEx Logger vorgenommen werden:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü System, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile Messbereich setzen, ENTER.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Herzfrequenz-Sensor angeschlossen ist, z. B. Eingang 1, **ENTER**.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die verfügbaren Bereiche anzeigen, d. h. Wellenform oder Schläge/min. Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken Sie **ENTER**, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken Sie **STOP**, um zum Hauptmenü zurückzukehren.

### Messverfahren

1. Befestigen Sie den Plethysmograph (Finger-/Ohrläppchen-Clip) entweder an der Fingerkuppe oder am Ohrläppchen.

**Hinweis:** Üben Sie keinen Druck auf den Plethysmograph aus, da dies das Signal beeinflussen könnte.



2. Warten Sie kurze Zeit, bis sich das Signal stabilisiert hat. Die Person, deren Herzfrequenz gemessen wird, sollte sich möglichst wenig bewegen, da Muskelbewegungen das Signal beeinflussen. Die rote LED am Sensorgehäuse beginnt im Takt des Herzschlages zu blinken. Bei Verwendung am Finger fühlt die Person möglicherweise ein Klopfen.

**Hinweis:** Falls die rote LED nicht zu blinken beginnt und das Display am CorEx Logger leer bleibt, drücken Sie einen der Taster auf der Deckplatte des CorEx Loggers, um das Gerät zu aktivieren.

3. Sobald eine gleichmäßige Herzfrequenz erkannt worden ist, können Sie mit der Aufzeichnung von Daten beginnen.

#### Sachinformationen

Der Smart Q Herzfrequenz-Sensor wird verwendet, um die kardiovaskuläre Pulswelle zu messen, die im gesamten menschlichen Körper zu finden ist. Diese Pulswelle bewirkt eine Änderung des Volumens des arteriellen Blutes mit jedem Pulsschlag. Diese Änderung des Blutvolumens kann in peripheren Körperteilen, wie etwa in einer Fingerkuppe oder in einem Ohrläppchen, mit Hilfe der Photoplethysmographie erkannt werden. Das entsprechende Messgerät heißt Plethysmograph.

Der Plethysmograph besteht aus:

- einer Infrarot-LED, die das Gewebe beleuchtet und
- einem lichtempfindlichen Detektor, der auf dieselbe Farbfrequenz wie die LED abgestimmt ist und die Lichtmenge erkennt, die vom Gewebe durchgelassen wird.

Der mit diesem Sensor mitgelieferte Plethysmograph ist ein Gerät, das ein mit Hilfe des Durchlassverfahrens erzeugtes plethysmographisches Signal (PPG) liefert und durchgelassenes Licht verwendet, um die Absorption zu schätzen.

Die Infrarot-LED und der lichtempfindliche Detektor sind in einer Federklemme eingebaut, die an eine Fingerkuppe oder ein Ohrläppchen angeklemmt werden kann.



Das von der LED ausgesendete Infrarotlicht wird durch das Gewebe des Fingerkuppe bzw. des Ohrläppchens diffus zerstreut. Ein lichtempfindlicher Detektor, der auf der gegenüberliegenden Seite so angebracht ist, dass er an der Oberfläche der Haut anliegt, kann das durchgelassene Licht für einen gewissen Tiefenbereich messen.

Infrarotlicht wird in Blut gut und in Gewebe schwach absorbiert. Jede Änderung des Blutvolumens wird registriert, da ein sich veränderndes Volumen mehr oder weniger Absorption bewirkt. Unter der Annahme, dass die Person sich nicht bewegt, bleibt der Absorptionsgrad des Gewebes und von nicht pulsierenden Flüssigkeiten derselbe.



#### Praktische Informationen

Die Lichtmenge, die von dem lichtempfindlichen Detektor erkannt werden kann, ist für verschiedene Personen sowie je nachdem, ob der Plethysmograph an einer Fingerkuppe oder an einem Ohrläppchen befestigt ist, unterschiedlich. Wenn der Herz-Wellenbereich gewählt ist, verdeutlicht die Amplitude der Herz-Welle diesen Effekt.

Bei Befestigung an einem Finger:

- Es ist günstiger, den Plethysmograph so anzubringen, dass sich der lichtempfindliche Detektor auf der Fleischseite des Fingers befindet.
- Die Finger sollten sauber sein.
- Nagellack kann dazu führen, dass zu niedrige Werte angezeigt werden.
- Manche Personen haben eine geringe periphere Zirkulation (der Grad, in dem die Blutgefäße in der Fingerkuppe mit Blut gefüllt werden). In diesem Falle sollte eine andere Person gewählt werden.
- Wenn sich die Herzfrequenz nicht zu stabilisieren scheint, versuchen Sie, die Hände durch Reiben zu wärmen, um den Blutstrom zu verstärken.
- Falls die Anzeigewerte niedriger als erwartet sind, versuchen Sie, die Position des Plethysmographen zu ändern, um sicherzustellen, dass ein zuverlässiger Kontakt hergestellt wird.
Bei Befestigung an einem Ohrläppchen:

- Entfernen Sie vor der Befestigung am Ohrläppchen ggf. die Ohrringe.
- Der Plethysmograph kann sicherer befestigt werden, indem das Kabel um den hinteren Teil des Ohres geschlungen wird, oder indem er mit Hilfe des an der Leitung angebrachten Clips an der Kleidung der Person befestigt wird.
- Wenn sich die Herzfrequenz nicht stabilisiert, oder wenn die Anzeigewerte niedriger als erwartet sind, versuchen Sie, die Position des Plethysmographen zu ändern, um sicherzustellen, dass ein zuverlässiger Kontakt hergestellt wird.

Wenn der Plethysmograph an einer Fingerkuppe oder an einem Ohrläppchen befestigt wird, warten Sie stets, bis sich das Signal stabilisiert hat, bevor Sie mit dem Aufzeichnen von Daten beginnen – das instabile Signal zu Beginn ist auf den bei der Befestigung des Plethysmographen ausgeübten Druck zurückzuführen.

Bewegen Sie sich während der Aufzeichnung der Daten möglichst wenig. Bewegungen wie z. B. das Heben und Senken einer Hand ändern den Druck, den der Finger auf den Plethysmograph ausübt, und bewirken gleichzeitig eine Änderung im venösen Blut, welche die Lichtdurchlässigkeit des Gewebes beeinflusst.

Es ist möglich, die Herzfrequenz durch einfache Verringerung der Atemfrequenz und durch Entspannen zu ändern. Fordern Sie die Person auf, normal zu atmen.

Wenn der Plethysmograph "den Kontakt mit dem Puls verliert", versucht der Sensor, die Kommunikation wiederherzustellen. Dies kann zur Folge haben, dass die Anzeigewerte kurzzeitig auf Null absinken.

Um eine geglättete Anzeige zu erhalten, wird die Herzfrequenz über jeweils fünf Herzschläge gemittelt.

Dieser Sensor ist **nicht** für die medizinische Diagnose bestimmt. Seien Sie nicht beunruhigt, wenn die Ergebnisse nicht den angegebenen Werten entsprechen. Diese Werte stellen typische Durchschnittswerte dar, und viele gesunde Herzen weisen Daten auf, die außerhalb dieser Parameter liegen. Es ist ziemlich normal, dass das Herz gelegentlich einen Herzschlag lang aussetzt.

Es ist möglich, dass die dikrote Incisur als ein separater Pulsschlag aufgezeichnet wird.

Dieser Sensor ist nicht wasserdicht. Reinigen Sie den Plethysmograph, indem Sie ihn mit einem zuvor in Desinfektionsmittel gespülten Tuch abwischen.

Der lichtempfindliche Detektor im Plethysmograph kann gegenüber Umgebungs-Infrarotlicht von hoher Intensität wie z. B. starkem Sonnenlicht empfindlich sein.



Beispiel des Typs von dikroter Incisur, welcher die Herzfrequenz-Daten beeinflussen kann.

## Herzfrequenz

Das Blut strömt in zwei Phasen, die einander ständig abwechseln, durch das Herz.

Diastole (Herzerweiterung)	Systole (Herzkontraktion)	
Die Muskeln der Herzkammern erschlaffen.	Die Muskeln der Herzkammern ziehen sich zusammen.	
Die atrioventrikulären Klappen öffnen sich.	Die atrioventrikulären Klappen schließen sich.	
Die arteriellen Klappen schließen sich.	Die arteriellen Klappen öffnen sich.	
Blut strömt aus den Arterien in die Herzkammern.	Blut strömt aus den Herzkammern in die Arterien.	

Das Blut, das während der Systole in die Hauptschlagader gepresst wird, bewegt das Blut in den Gefäßen vorwärts und erzeugt eine Druckwelle, die sich entlang der Arterien fortpflanzt. Diese Druckwelle dehnt, während sie sich fortpflanzt, die Arterienwände aus und ist als Puls spürbar.

Der Puls kann an Stellen gefühlt werden, an denen Arterien über Knochen verlaufen und die als Druckpunkte bekannt sind, z. B. am Handgelenk und am Hals. Die Pulsfrequenz ist ein direktes Maß für die Anzahl der Herzzyklen pro Minute (Herzfrequenz).

Die Herzfrequenz verändert sich mit zunehmendem Alter wie nachfolgend angegeben:

Alter	Durchschnittliche Herzfrequenz (Schläge pro Minute)
Neugeborenes	140
7 Jahre	85 bis 90
14 Jahre	80 bis 85
Erwachsener	70 bis 80

Bei normalen, gesunden Personen ändert sich die Herzfrequenz und damit die Pulsfrequenz in Abhängigkeit von den Atmungsphasen. Unregelmäßige Änderungen der Herzfrequenz treten bei allen Menschen auf. Die Herzfrequenz kann sich durch körperliche Betätigung, nervliche Erregung, Stress infolge geistiger Anstrengung, durch in den Blutstrom gelangendes Adrenalin oder mit einem durch Fieber verursachten Temperaturanstieg erhöhen.

Die Herzfrequenz sinkt während des Schlafes und bestimmte medizinische Indikationen können ebenfalls ein Absinken bewirken.

## Einfluss sportlicher Betätigung

Durch körperliches Training kann die Leistungsfähigkeit des Herzens gesteigert werden, wodurch sich die Ruheherzfrequenz verringert. Das Herz eines Sportlers ist gewöhnlich größer als das einer nicht trainierten Person. Ständiges Training führt infolge der erhöhten Belastung, unter der sich das Herz zusammenziehen muss, zu einer Vergrößerung der Herzmuskelfasern mit dement-sprechenden biochemischen Veränderungen. Dadurch ändert sich die Leistungsfähigkeit des Herzens, wobei sich das Herzschlagvolumen (das Blutvolumen, das bei jedem Schlag vom Herzen gepumpt wird) vergrößert und es dem Sportler möglich wird, dieselbe Pumpleistung bei

einer langsameren Herzfrequenz zu erreichen. Die Ruheherzfrequenz eines Sportlers kann eventuell nur 40 bis 50 Schläge pro Minute betragen, jedoch bei einem erhöhten Herzschlagvolumen von 100 bis 110 ml, im Vergleich zu 70 bis 80 ml bei einer nicht trainierten Person. Bei erhöhter Herzfrequenz wäre zu erwarten, dass sich das Herzschlagvolumen verringert, da weniger Zeit zum Füllen zur Verfügung steht. In Wirklichkeit bewirkt bei körperlicher Betätigung das Nervensystem des Sympathikus eine Vergrößerung dieses Volumens, indem es die Herzmuskelkontraktion verstärkt. Im Ergebnis dessen wächst der Blutausstoß des Herzens annähernd proportional zur Herzfrequenz.

## Erholungszeit

Nach sportlicher Betätigung wird eine gewisse Zeit benötigt, bis die Herzfrequenz wieder ihren Ruhewert erreicht hat. Dies ist die Erholungszeit, die Rückschlüsse auf die Fitness der betreffenden Person ermöglicht. Die Erholungszeit kann von weniger als fünf Minuten bei Personen mit sehr guter Kondition bis etwa 15 Minuten variieren.

## Sichere Pulsfrequenzen

Bei Versuchen darf die sichere Herzfrequenz nicht überschritten werden. Die sichere Herzfrequenz wird wie folgt ermittelt: Maximale Herzfrequenz für das betreffende Alter minus 20 Schläge pro Minute. Maximale Herzfrequenz =  $210 - (0,65 \times Alter)$ 

Es ist wichtig, dass die Untersuchung nicht zu einem Wettkampf ausar-	Alter	Maximale Herzfrequenz	Sichere Herzfrequenz
	12	202	182
tet. Achten Sie auf even-	13	202	182
Probleme, wenn Sie die	14	201	181
Person auswählen.	15	200	180
	16	199	179
	17	199	179
	18	198	178

## Wellenform

Der Herzschlag, der vom Smart Q Herzfrequenz-Sensor aufgezeichnet wird, wird dadurch geglättet, dass das Blut durch die Kapillaren strömt, und das Drucksignal weist keine Ähnlichkeit mit dem Puls auf, der in einem Elektrokardiogramm zu sehen ist.\* Es wird angewendet, um die elektrische Aktivität des Herzens aufzuzeichnen. Die Periodizität des Signals ist jedoch unverändert und der Herzfrequenz-Sensor kann wirkungsvoll eingesetzt werden, um Änderungen der Herzfrequenz zu erkennen.



# Herzfrequenz-Sensor

Der **aufsteigende Ast**, der als anakroter Pulsschenkel bezeichnet wird, verläuft steil und ist auf die Kontraktion der Herzkammer zurückzuführen (Systole). Der **absteigende Ast** verläuft weniger steil und entspricht dem elastischen Zurückweichen der Arterienwände. Der absteigende Ast weist regelmäßig eine Schwankung auf, die als die dikrote Incisur bekannt ist. Dies ist auf Schwingungen zurückzuführen, die erzeugt werden, wenn sich die Aortenklappe schließt, und hat keine nennenswerte Bedeutung für die Beurteilung des Gesundheitszustands.



Bei einer gesunden Person im Ruhezustand schlägt das Herz durchschnittlich mit 60 Schlägen pro Minute bzw. einmal pro Sekunde, d. h. mit 1 Hz. Diese Frequenz ist nicht konstant (nicht einmal bei einer gesunden Person im Ruhezustand).

Die Aufzeichnung einer kompletten Welle dauert nur ungefähr eine Sekunde; deshalb ist es gewöhnlich am besten, eine kurze Aufzeichnungsdauer zu wählen.



\* Ein Elektrokardiogramm (EKG) ist eine Messung des Herzrhythmus und der elektrischen Impulse des Herzens. Die Kontraktion des Herzens vollzieht sich infolge elektrischer Impulse, die im Herz erzeugt werden. Die P-Zacke stellt den Impuls auf dem Weg durch die Herzvorkammern zum Atrio-Ventrikularknoten dar. Der QRS-Komplex stellt den Impuls dar, während er die Herzkammern durchquert. Die T-Zacke stellt die erneute Polarisierung der Herzkammern dar.

## Schnellerfassung

Öffnen Sie den Programmteil **Grafik** der Sensing Science Software. Wählen Sie den **Erfassungs-Assistent** und als Verfahren **Schnell**. Wählen Sie 100 Messwerte mit einem Messintervall von 20 ms.

## Versuchsbeispiele

- Prüfen der Fitness nach einem Training wird der Puls gemessen, bis er sich wieder auf die normale Ruheherzfrequenz verlangsamt hat. Dies lässt sich erreichen, indem man in einer sitzenden Stellung verbleibt und die Beine bewegt.
- Überwachung des Ausruhens.
- Änderungen durch leichte Anregungsmittel (Kaffee oder Cola dies könnte bei Personen, die an große Mengen Koffein gewöhnt sind, weniger Wirkung zeigen).
- Veränderung des Blutstroms. Bei Personen, die an kalten Fingern leiden, wird ein sehr geringer Blutstrom in den Venen vorhanden sein. Versuchen Sie, ihre Hände zu wärmen.
- Untersuchung der Pulsfrequenz bei verschiedenen Körperstellungen: sitzend, hockend, stehend, liegend...
- Der Einfluss von Musik auf die Pulsfrequenz.
- Der Einfluss des strengsten Lehrers, wenn er den Raum betritt!



## Infrarot-Sensor – Best.-Nr. 73278

Wellenlänge	nbereich:
ohne Filter	0,23 Mikrometer bis 40 Mikrometer
mit Filter	0,23 Mikrometer bis 4 Mikrometer

## Einführung

Das Messelement des Smart Q Infrarot-Sensors ist ein Thermosäulendetektor, der dazu dient die Intensität der Infrarot-Wärmestrahlung zu messen.

Das Detektorfenster des Infrarot-Sensors besteht aus Kaliumbromid (KBr). Kaliumbromid ist lichtdurchlässig für Energiequellen, die im Wellenlängenbereich von 230 nm – 40.000 nm strahlen, d.h. vom ultravioletten Teil des Spektrums bis zum hohen Infrarotbereich.



Der Smart Q Infrarot-Sensor ist ausgerüstet mit einem abnehmbaren Filter aus 2 mm dickem, wasserfreiem Kieselglas. Dieser Filter lässt das sichtbare und nahe Infrarot passieren (d.h. von 0,155 nm–4.000 nm) und blockiert mittlere und hohe/lange Infrarotwellen (*Thermales Infrarot*). Wird der Filter aufgesetzt, wird die Sensivität des Sensors auf den Wellenbereich von 0,23 Mikrometer–4 Mikrometer beschränkt.



Die Messungen können sowohl für den Bereich **Strahldichte** (hier wird die Intensität der thermischen Energie gemessen, die eine Quelle ausstrahlt) als auch für den Bereich **Bestrahlungsstärke** (hierbei wird die auf dem Sensor erfasste Gesamtmenge der thermischen Strahlung gemessen) in drei unterschiedlichen Stufen aufgezeichnet werden.

- Die Stufen des Messbereichs Strahldichte sind 0–30 W/m<sup>2</sup> sr<sup>-1</sup>, 0–300 W/m<sup>2</sup> sr<sup>-1</sup> und 0–3000 W/m<sup>2</sup> sr<sup>-1</sup>
- Die Stufen des Messbereichs Bestrahlungsstärke sind 0–20 W/m<sup>2</sup>, 0–200 W/m<sup>2</sup> und 0–2000 W/m<sup>2</sup>.

Der Messbereich **Strahldichte** wird benutzt, um die Wärme ausströmenden Eigenschaften einer Oberfläche zu untersuchen. Dabei wird der Sensor normalerweise ganz nah an die Energiequelle gehalten.

Ein Beispiel hierfür wäre die Untersuchung verschiedener, Wärme ausstrahlender Oberflächen bei gleicher Temperaturumgebung mit Hilfe eines Leslie Würfels.

Der Leslie Würfel weist vier verschiedene Oberflächen (weiß, schwarz, matt und verspiegelt) auf und ist ein typisches Demonstrationsobjekt für die Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Oberfläche eines Körpers.

Bei der Nutzung des Messbereichs **Strahldichte** ist besonders auf den Abstand zwischen Infrarot Sensor und der Energiequelle zu achten (siehe <u>Praktische Information</u>).

Der Messbereich **Bestrahlungsstärke** wird hingegen genutzt, um die Intensität der Energie zu untersuchen, die von einer Quelle austretend auf einen Punkt oder eine Oberfläche trifft. Dies ist die meistgenutzte Art der Messung.

Der Smart Q Infrarot-Sensor ist mit einem Mikrocontroller ausgestattet, der die Genauigkeit, Präzision und Konsistenz der Messungen noch erhöht. Der Mikrocontroller beinhaltet die Kalibrierung für die sechs Messbereiche. Die dem gewählten Messbereich zugehörige Kalibrierung wird automatisch geladen, wenn der Infrarot-Sensor an den CorEx Logger angeschlossen wird.

## Anschluss

Der CorEx Logger erkennt automatisch, dass der Infrarot-Sensor angeschlossen ist

- Halten Sie das Gehäuse des Sensors so, dass die Smart Q Aufschrift nach oben zeigt
- Stecken Sie das eine Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse an der Seite des Infrarot-Sensors, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers so an, dass sich der Markierungspfeil oben befindet.
- Der CorEx Logger erkennt, dass der Infrarot-Sensor angeschlossen ist und er erkennt den gewählten Messbereich. Wechseln Sie den gewählten Messbereich falls erforderlich.



## Messbereichswahl

Die Wahl des gewünschten Messbereichs erfolgt im Programmteil "Sensor-Konfiguration" der CorEx SensingScience Software wie folgt:

- Schließen Sie den Infrarot-Sensor an den CorEx Logger an und führen Sie das Programm **Sensor-Konfiguration** aus.
- Die **Nummer** des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen ist, wird angeklickt. Der aktuell eingerichtete Messbereich ist markiert.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bereich setzen**. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben.
- Wählen Sie den erforderlichen Bereich und klicken Sie auf **OK**.
- Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Der Messbereich kann auch am CorEx Logger vorgenommen werden.

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü System, ENTER
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) Messbereich setzen, ENTER
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Infrarot-Sensor angeschlossen ist (z. B. Eingang 1, **ENTER**)
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die verfügbaren Bereiche anzeigen (Strahldichte 0–30 W/m<sup>2</sup> sr<sup>-1</sup>, 0–300 W/m<sup>2</sup> sr<sup>-1</sup>und 0–3000 W/m<sup>2</sup> sr<sup>-1</sup>, Bestrahlungsstärke 0–20 W/m<sup>2</sup>, 0–200 W/m<sup>2</sup> und 0–2000 W/m<sup>2</sup>)
- Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken Sie ENTER, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken Sie STOP, um zum Hauptmenü zurückzukehren.



80

# **Infrarot-Sensor**

## Handhabung des Filters

Wenn der Kieselglasfilter aufgesetzt wird, verändert er die Aufnahmefähigkeit des Infrarot-Sensors hin zu einem effektiven Messbereich von 230 nm – 4.000 nm. Dies lässt die sichtbaren und nahen Infrarotstrahlen passieren und blockiert den mittleren und hohen Infrarotteil des Spektrums.

## Zusammensetzung des Filters:

- 1. Drehen Sie die Endkappe vom Sensor ab und nehmen Sie sie herunter.
- 2. Legen Sie den Glasfilter so in die Endkappe, dass er darin aufliegt
- 3. Halten Sie den Infrarot-Sensor vertikal mit der Öffnung nach unten und schrauben Sie die Endkappe mit dem darin liegenden Glasfilter darauf. Schrauben Sie die Endkappe nur fingerfest. Ein zu festes Zuschrauben kann die Glaslinse beschädigen
- 4. Das Entfernen des Filters erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.
- 5. Bewahren Sie den Filter an einem sicheren Platz, da er leicht zerkratzt werden kann.



**Hinweis:** Die Endkappe kann auch auf dem Infrarot-Sensor aufgeschraubt bleiben, wenn der Filter nicht benutzt wird.

## **Praktische Information**

- Vermeiden Sie Feuchtigkeit. Das Detektorfenster (es wird sichtbar, wenn Sie durch den Kollimator schauen) besteht aus Kaliumbromid (KBr) und hat die Eigenschaft Feuchtigkeit zu absorbieren. Der Kollimator ist der Teil eines Spektrometers, der die ankommenden Lichtstrahlen parallelisiert/bündelt.
- Lagern Sie den Infrarot Sensor an einem kühlen und trockenem Platz. Herrscht eine hohe Luftfeuchtigkeit, legen Sie bitte ein Silicat dazu, (z. B. Kieselgel) um die Umgebungsluft trocken zu halten.
- Kaliumbromid ist löslich in Schmelzlösungen wie z. B. Wasser und Ethanol. Lassen Sie daher keine Schmelzlösungen mit dem Detektorfenster in Kontakt treten.
- Verhindern Sie Fingerkontakt auf dem Detektorfenster, da dies Abdrücke hinterlässt, die die Messungen beeinträchtigen können.
- Stecken Sie keine Teile in den Kollimatortubus.
- Halten Sie den Infrarot-Sensor im Anwendungsfall stets so, dass das Detektorfenster vor Feuchtigkeit, Schmelzlösungen und sonstigen Schmutzpartikeln geschützt wird.
- Wenn der Sensor längere Zeit zur Darstellung von Infrarotwellenwechseln genutzt wird, sollten Sie ein Strahlenschutzschild gebrauchen, um eine Überhitzung des Thermodetektors durch die durch die Strahlung auftretende Energie zu vermeiden. Nutzen Sie den Strahlenschutzschild, wenn gerade keine aktive Messung vorgenommen wird. Einen nützlichen Strahlenschutzschild können Sie sich aus einem Stück Wellpappe herstellen, das Sie beidseitig mit Aluminiumfolie überziehen (mit der glänzenden Seite nach außen). Der Strahlenschutzschild wird zwischen den Sensor und die Energiequelle gestellt (ohne jedoch die beiden Objekte zu berühren).
- Der Infrarot-Sensor liefert nur dann genaue Messungen, wenn der im Sensor aufgenommene

© Cornelsen Experimenta

Sicht ins Innere des Kollimators



Energiestrahl stärker ist als der austretende Strahl. Beispiel: An einem kalten Tag kann der Sensor wärmer strahlen, als die ihn umgebende Raumtemperatur, so dass die Messergebnisse statisch oder nur sehr gering ausfallen.

- Wechselt der Infrarot Sensor in eine Position oder eine Umgebung, die einen spürbaren Temperaturwechsel mit sich zieht, lassen Sie dem Sensor ca. fünf Minuten Zeit zur Akklimatisierung, d.h. zur Angleichung an die Raumtemperatur.
- Wird der Messbereich **Strahldichte** gewählt, kommt der Distanz zwischen dem Infrarot-Sensor und der Strahlenquelle

Sensor und der Strahlenquelle besondere Bedeutung zu. Je weiter der Abstand zur Strahlenquelle, desto größer ist die vom Sensor abgetastete und gemessene Oberfläche. Um zu gewährleisten, dass die Messungen auch direkt von der Quelle stammen und nicht von der sie umgebenden Fläche, muss die Messfläche des Infrarot Sensors kleiner sein als die Fläche der Strahlenquelle. Dies wird erreicht, in dem der Infrarot Sensor so nah



an die Quelle gesetzt wird, dass die Fläche der Strahlenquelle das Messfeld des Sensors ausfüllt.

Die nachstehende Tabelle zeigt die Messfläche (Zielfläche) des Sensors in Abhängigkeit von unterschiedlichen Messdistanzen.

**Hinweis:** Aus Vereinfachungsgründen wurde die Messdistanz vom Sensorgehäuse an gemessen.

## Hintergrund

Das Messelement des Smart Q Infrarot-Sensors ist ein Thermosäulendetektor, der dazu dient, die Intensität der Wärmestrahlung zu messen.

Der Infrarot-Sensor weist mehrere Verbindungen unterschiedlicher Metalle auf, die in Serien zusammengeschlossen sind. Wenn nun Energiestrahlen auf diese Verbindungen treffen, wird ein kleiner Elektronenstrom ausgelöst. Die Anordnung der Metallverbindungen erzeugt einen in Stufen, mit rasch zunehmender Teilchenzahl, ablaufenden Prozeß, der den Elektronenstrom verstärkt. Dieser Elektronenfluß steigt somit proportional zur im Sensor aufgefangenen Energie an.

Die Thermosäule basiert darauf, dass ein Temperaturunterschied zwischen dem vorderen und dem hinteren Teil der Metallverbindung existiert.

Bei einer Distanz vom Sensorgehäuse zur Strahlenquelle von Xmm	beträgt die Messfläche einen Durchmesser von Y mm
20	20
25	25
30	30
40	45
50	55
60	70
70	80
80	90
90	100
100	115
110	125
120	140
130	150
140	165
150	175

Während des Messvorgangs erhitzt sich die Thermosäule und der Temeraturunterschied zwischen dem Vorder- und dem Hinterteil steigt an. Wird der Sensor der Strahlenquelle daher übermäßig lange ausgesetzt, beeinträchtigt dies die Messungen. Ein Strahlenschutzschild kann diesen Effekt reduzieren (siehe <u>Praktische Information</u>).

## Infrarotstrahlung

Die Infrarotstrahlung als Teil des elektromagnetischen Strahlenspektrums ist unsichtbar und kann zumeist aufgrund ihrer Wärmewirkung nachgewiesen werden. Elektromagnetische Strahlung entsteht durch Wellen, die durch Schwingung oder Beschleunigung elektrischer Ladungen erzeugt werden.

Die Bestandteile des elektromagnetischen Spektrums werden nach ihrer Frequenz und Wellenlänge unterschieden. Infrarotstrahlung weist einen Wellenlängenbereich auf, der länger ist als der des sichtbaren Lichts. Nahes Infrarotlicht liegt dicht am Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts währenddessen der weite Infrarotwellenbereich an die Mikrowellenlängen-Region des Elektromagnetischen Spektrums angrenzt.

Die Infrarot-Wellenlänge wird normalerweise in Mikrometer angegeben.

Da keine allgemein übereinstimmende Klassifizierung der Infrarotwellenregionen existiert, definieren wir in dieser Gebrauchsanleitung den nahen Infrarotwellenbereich zwischen 0,75 Mikrometer–3 Mikrometer (750 nm–3000 nm), den mittleren Infrarotwellenbereich zwischen 3 Mikrometer–25 Mikrometer (3000 nm–25.000 nm) und den weiten Infrarotwellenbereich zwischen 25 Mikrometer–1000 Mikrometer (25.000–1.000.000 nm). Wellenlängen über 30 Mikrometer sind praktisch nicht messbar, da die Energie der Strahlung zu gering ist.

Wenn ein Objekt nicht warm genug ist, um sichtbares Licht auszustrahlen, dann emittiert es einen Großteil seiner Energie durch Infrarotstrahlung. Dies läßt sich am Beispiel der elektrischen Glühlampe darstellen. Wenn der Glühfaden nur mit minimalem elektrischen Strom versorgt wird, fängt er noch nicht an zu leuchten, sondern sendet zuerst Infrarotstrahlen aus, die als Wärme empfunden werden. Je mehr jedoch elektrische Energie zugeführt wird, umso wärmer wird der Faden und er beginnt rot zu glühen (Austritt sichtbarer Strahlung). Der Gipfelpunkt der Wellenlänge nimmt in dem Maße ab, in dem die Temperatur ansteigt, was der Grund dafür ist, dass Glühfäden zuerst rot, dann orange-rot und letztlich gelb glühen (in der Reihenfolge in der sie sich erwärmen).

Jedes Objekt, dass eine Temperatur unter null Grad aufweist, strahlt im Infrarotbereich. Selbst Objekte, von denen wir wissen, dass sie sehr kalt sind, wie etwa Eis, strahlen Infrarotwellen aus. Infrarotdetektoren können Objekte in der Dunkelheit erkennen, die für Menschen nicht sichtbar sind. So besitzen z. B. einige Reptilien, wie die Klapperschlange, Grubenorgane an den Seiten des Kopfes, die der Thermorezeption dienen. Mit Hilfe dieser Grubenorgane können Schlangen ihre warmblütigen Beutetiere aufspüren, die sich in einem dunklen Erdloch versteckt halten, in dem sie deren ausgestrahlte Infrarotwärme absorbieren (vorausgesetzt, dass die Temperatur des Erdlochs kälter ist, als die des Beutetieres).

Wir erfahren Infrarotstrahlung jeden Tag. Die Wärme des Sonnenlichts, eines Feuers oder eines Radiators, die wir spüren, besteht aus Infrarotstrahlen. Obwohl unsere Augen die Infrarotstrahlung nicht sehen können, wird sie doch von unseren Hautnerven als Wärme empfunden. Menschen mit einer normalen Körpertemperatur strahlen Infrarotwärme in einer Wellenlänge von ca. 10 Mikrometer aus.

Die Intensität der emittierten Infrarotenergie eines Objekts steigt und fällt im Verhältnis zu dessen Temperatur. Wilhelm Wiens Gesetz zur Wärmestrahlung besagt, dass die Intensität einer Strahlenquelle bei einer bestimmten Wellenlänge einen Höhepunkt erreicht. Je höher die Temperatur umso kleiner wird dieser Wellenlängehöhepunkt.

Dunkle, matte Oberflächen emittieren und absorbieren Infrarotstrahlung besonders gut. Helle und glänzende Oberflächen dagegen kaum.

## Versuchsvorschläge

- Untersuchung der restlichen, verbleibenden Wärme auf unterschiedlichen Oberflächen, z. B. durch einen Fingerabdruck auf der Arbeitsfläche.
- Lokalisieren eines warmen Gegenstands, z. B. eines abgebrannten Streichholzes.
- Nutzung von Infrarotstrahlen zur Lokalisierung eines verunglückten Opfers.
- Herschel's Entdeckung der Infrarotversuche.
- Untersuchung des inversen Verhältnisses zwischen der Wärmestrahlung einer Quelle und deren Entfernung zum Messgerät.
- Untersuchung der Energiestrahlung, z. B. Wärme, die von einem Leslie Würfel ausgeht.
- Untersuchung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes mittels eines Wolframfadens.
- Messung der Effizienz einer Isolierung der Infrarotstrahlung durch Verhüllung oder Baumaterialien.
- Effizienzmessung einer Glühlampe.
- Untersuchung der Infrarotstrahlung in der Umgebung.
- Infrarotmessung an Objekten mit schwarzen Oberflächen.
- Untersuchung der Wärmeverteilung entlang eines erhitzten Metallstabes.
- Darstellung der kontaktlosen Thermometrie.

## Anwendungsbeispiel

## Nutzung der Infrarotstrahlen-Messung zur Lokalisierung eines verunglückten Opfers

In den frühen Stadien nach einem Erdbeben werden große Anstrengungen unternommen, um möglichst viele Überlebende in den Trümmern zusammengefallener Gebäude aufzuspüren. Vielleicht erinnern Sie sich an Fernsehbilder von Rettungskräften, die mit Wärmedetektoren ausgestattet waren.

In diesem Experiment nehmen Sie zwei Flaschen, gefüllt mit heißem Wasser, die die Wärme ausstrahlenden, verschütteten Personen simulieren sollen. Die Flaschen werden unter "Geröll" (hier z. B. Styroporchips) versteckt und mit dem Infrarot Sensor ausfindig gemacht.

## Versuchsablauf

- 1. Nehmen Sie den Kieselglasfilter aus der Endkappe, falls er sich noch auf dem Infrarot-Sensor befindet.
- 2. Benutzen Sie ein langes Sensorkabel, um den Infrarot Sensor an den CorEx Logger anzuschließen.
- 3. Schließen Sie den CorEx Logger an den Computer an und wählen Sie in der CorEx SensingScience Software den entsprechenden Messbereich **Bestrahlungsstärke** aus (siehe <u>Messbereichswahl</u>).



**Hinweis:** Sie können die Messungen auch unabhängig von der CorEx SensingScience Software am LCD Display des CorEx Loggers vornehmen, indem Sie am CorEx Logger den Messbereich festlegen.

- 4. Führen Sie einen Versuchstest durch, um zu ermitteln, ob die Messungen des Infrarot-Sensors auch in dem gewählten Messbereich liegen (dies ist von der Wassertemperatur in den Flaschen und der Dicke der darüberliegenden Isolationsschicht aus Styroporchips abhängig). Wenn nötig, wechseln Sie zu einem passenderen Messbereich.
- 5. Führen Sie den Infrarot Sensor langsam über die "Unglücksstelle" und suchen Sie den Unglücksbereich systematisch nach den Wärme ausstrahlenden Objekten ab. Plazieren Sie eine Markierung über den Ort der gefundenen Wärmequellen. Wenn die gesamte Unglücksfläche abgetastet wurde, graben Sie, ausgehend von der markierten Unglücksstelle, in die Tiefe, um die "Überlebenden" zu finden.

## Beziehung zwischen der Infrarot-Energie (Wärmestrahlung) und der Temperatur

Dem österreichischen Wissenschaftler Josef Stefan gelang es, die Energiestrahlung einer Oberfläche in Beziehung zu ihrer absoluten Temperatur zu setzen. Auf experimentelle Daten gestützt, wies Stefan nach, dass die Abstrahlungsrate eines heißen Körpers der vierten Potenz seiner absoluten Temperatur proportional ist.

In diesem Versuch soll die Oberflächentemperatur eines Behälters, z. B. eines mit heißem Wasser gefüllten Leslie Würfels und die dabei emitierte Wärmestrahlung gemessen werden. Wenn eine Beziehung zwischen der Wärmestrahlung und der Temperatur besteht, wird die Verhältniskurve einen ansteigenden Verlauf aufweisen.

- 1. Nehmen Sie den Kieselglasfilter aus der Endkappe, falls er sich noch auf dem Infrarot-Sensor befindet. Schließen Sie den Infrarot-Sensor an den CorEx Logger an.
- 2. Schließen Sie den CorEx Logger an den Computer an und wählen Sie den entsprechenden Messbereich **Strahldichte** in der CorEx SensingScience Software aus (siehe <u>Messbereichswahl</u>). Die richtige Wahl des Messbereichs ist abhängig von der Wassertemperatur in dem Würfel.
- 3. Schliessen Sie einen Temperatur-Sensor an den CorEx Logger an.
- 4. Halten Sie den Temperatur-Sensor gegen die matte, schwarze Außenwand des Würfels. Achten Sie darauf, dass ein vollständiger Kontakt besteht (ein Wärme-Leitmittel zur Kontaktierung des Temperatur-Sensors wird empfohlen).



- 5. Öffnen Sie den Programmteil **Grafik** der CorEx SensingScience Software und wählen Sie aus dem Schaltfeld **Werkzeuge** den **Testmodus** aus.
- 6. Füllen Sie den Würfel mit kochendem Wasser.
- 7. Positionieren Sie den Infrarot-Sensor so nah an den Würfel, dass sich die Messfläche vollständig auf der Behälteraußenwand befindet (siehe <u>Praktische Information</u>).
- 8. Prüfen Sie, ob die Messungen des Infrarot-Sensors im Messbereich liegen, sonst wechseln Sie zu einem passenderen Messbereich.
- Klicken Sie auf Neuen Datensatz erfassen. Klicken Sie Erfassungs-Assistent und wählen Sie Echtzeit. Klicken Sie Zeitspanne und wählen Sie Aufnahmedauer 5 Minuten. Beginnen Sie mit START die Aufzeichnung der Daten.

10. Erstellen Sie aus den erfassten Daten "Infrarotenergie" in Abhängigkeit der "Temperatur"-Daten eine Grafik wie folgt:



- Klicken Sie die Zeigen/Verbergen-Box im Display Menü an und wählen Sie die X-Achse als Sensor aus.
- Klicken Sie im Diagramm links von der vertikalen Achse, um den angezeigten Datenkanal zu wechseln bis Infrarot angezeigt wird. Klicken Sie im Diagramm unterhalb der horizontalen Achse, um den angezeigten Datenkanal zu wechseln bis **Temperatur** erscheint.
- Eine fast gerade 45°-Linie wird ausgegeben, die anzeigt, dass eine direkte Beziehung zwischen der Infrarotenergie (Wärmestrahlung) und der Temperatur besteht.

# **Kraft-Sensor**



## Anschluss

- Halten Sie den Kraft-Sensor-Adapter so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse am Adapter, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse am CorEx Logger so an, dass sich der Markierungspfeil oben befindet.



# **Kraft-Sensor**

## Anwendungsvorschläge für den Kraft-Sensor

#### Messen der Federkraft

- 1. Mit Hilfe der Feststellschraube wird der Sensor an Stativmaterial befestigt.
- 2. Der Haken wird in die Gewindebohrung unterhalb des Sensors geschraubt.
- 3. Ein Ende der Spiralfeder wird in den Haken gehängt und das andere Ende mit Massestücken belastet. (Die Feder hat eine Tragkraft von bis zu 2 kg)
- 4. Wenn sich die Feder in Ruhestellung befindet, kann der Wert für die Gewichtskraft in der Funktion **Testmodus** im Programmteil **Grafik** der SENSING SCIENCE Software ermittelt werden. Der Wert kann auch direkt am CorEx Logger nach Betätigen der Taste **METER** abgelesen werden.
- 5. Mit dem Justierknopf am Sensor wird der Wert auf Null reguliert.

## Stoßversuche unter Verwendung des elastischen oder unelastischen Puffers

- 1. Einer der Puffer wird anstelle des Hakens in den Sensor eingeschraubt.
- 2. Der Sensor wird so am unteren Ende einer schiefen Ebene (Fahrbahn) befestigt, dass ein Wagen oder Schlitten gegen den Puffer stößt.
- Der aktuelle Sensorwert wird in der Funktion Testmodus im Programmteil Grafik der SENSING SCIENCE Software ermittelt oder direkt am CorEx Logger nach Betätigen der METER-Taste abgelesen.
- 4. Mit dem Justierknopf am Sensor wird der Wert auf Null reguliert.





# Kohlenstoffdioxid-Sensor



## Kohlenstoffdioxid-Sensor – Best.-Nr. 73152

Messbereich: 0-50.000 parts per million (ppm)

Genauigkeit: Zwischen 0–20.000 ppm: 100 ppm oder 10 % des Messwertes Über 20.000 ppm (20.000–50.000): 250 ppm oder 20 % des Messwertes

## Einführung

Der Smart Q Kohlenstoffdioxid-Sensor misst den  $CO_2$ -Gehalt von Gasen z. B. in der Luft. Sein Messbereich ermöglicht die Anwendung bei der  $CO_2$ -Messung bei kleinen Tieren (wie Larven und Maden), Pflanzen, keimendem Saatgut und bei Luftgütemessungen.

Der Sensor funktioniert über einen Infrarotstrahl, welcher in der Messöffnung vielfach reflektiert wird. Da CO<sub>2</sub> infrarotes Licht stark absorbiert, kann anhand des Absorbtionsgrades des Lichtes die Menge von CO<sub>2</sub> im Gas bestimmt werden

Der CorEx Logger erkennt den Kohlenstoffdioxid-Sensor automatisch. Der Sensor wird kalibriert geliefert und die gespeicherte Kalibrierung wird automatisch geladen, wenn Logger und Sensor verbunden werden – Sie müssen den Sensor also nicht kalibrieren bevor Sie ihn benutzen.

Der Sensor wird mit einem Gewindestab geliefert, welcher in ein Stativsystem eingespannt werden kann.



# Kohlenstoffdioxid-Sensor

Das Sensorgehäuse ist so ausgelegt, dass es auf einem normalen Becherglas als Deckel benutzt werden kann. Durch die Messöffnungen im Gehäuse ist es möglich, zusätzlich noch einen Temperatursensor und eine Elektrode (z. B. Sauerstoff, pH oder Leitfähigkeit) im Becherglas zu verwenden. Die große Öffnung für die Elektrode kann auch genutzt werden, um während des Versuches Materialien in das Glas zu geben.

Achten Sie darauf, dass der Sensor unter keinen Umständen **nass** wird. Der Sensor ist nur für die Messung von CO<sub>2</sub> in Gasen und nicht in Flüssigkeiten ausgelegt.

Der Kohlenstoffdioxid-Sensor ist nur für den Schulgebrauch gedacht. Er kann nicht benutzt werden um die Einhaltung von Umweltrichtlinien zu überwachen.

## Anschluss des Kohlenstoffdioxid-Sensors

- Verbinden Sie den Logger mit einer Stromversorgung (Netzteil oder USB)<sup>1</sup> oder stellen Sie sicher, dass die Batterien voll aufgeladen sind.
- Schließen Sie das eine Ende des Sensorkabels (im Lieferumfang des Loggers) an die Passformbuchse am Kohlenstoffdioxid-Sensor an (mit dem Pfeilsymbol nach oben zeigend).
- Verbinden Sie das andere Ende mit dem Logger (Pfeilsymbol zeigt nach oben).
- Der Logger erkennt automatisch, wenn der Kohlenstoffdioxid-Sensor angeschlossen wurde. Der Infrarotdetektor (sichtbar durch die Ventilationslöcher) blinkt dann während der Messung. Der Kohlenstoffdioxid-Sensor benötigt ca.
   90 Sekunden zum Aufwärmen bevor Sie mit der Messung beginnen können.





Wenn Sie den Kohlenstoffdioxid-Sensor an einem Logger ohne Stromversorgung betreiben, kontrollieren Sie den Batteriestatus mit angeschlossenem Kohlenstoffdioxid-Sensor um sicherzustellen, dass der Logger über genügend Energie für diesen Versuch verfügt.

**Hinweis:** Wenn der Infrarotdetektor nicht blinkt oder der Sensor nicht vom Logger erkannt wird, ist es möglich, dass der Batteriestatus zu niedrig für diesen Sensor ist. Schließen Sie dann bitte eine externe Stromversorgung an (Netzteil oder USB).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Wir empfehlen, den Kohlenstoffdioxid-Sensor nur mit einer externen Stromversorgung zu betreiben, da er relativ viel Strom verbraucht und so den Akkumulator des Loggers stark beansprucht.

## Informationen zum Umgang mit dem Kohlenstoffdioxid-Sensor

• Der Kohlenstoffdioxid-Sensor benötigt ca. 90 Sekunden Warmlaufzeit bevor Daten erfasst werden können.

Hinweis: Diese Aufwärmzeit wird jedes Mal benötigt, wenn der Sensor vom Logger getrennt wurde.

- Geben Sie dem Sensor einige Zeit, sich vor der Messung zu stabilisieren, wenn er in einer neuen Messumgebung eingesetzt wurde. Das gibt dem Gas die Möglichkeit in den Infrarotdetektor zu diffundieren und der Sensor kann sich an die veränderten Luftdruck- und Temperaturbedingungen anpassen.
- Vermeiden Sie während der Messung alle Störeinflüsse, wie plötzliche Luftbewegungen oder die Zuführung von Atemluft (Anpusten), da dies die Messergebnisse beeinflussen kann.
- Die Messrate des Kohlenstoffdioxid-Sensors ist auf 250 Millisekunden eingestellt. Stellen Sie also am Logger keine schnellere Messrate als 250 Millisekunden ein.
- Da der Kohlenstoffdioxid-Sensor nicht für Schnellerfassung geeignet ist, empfehlen wir ihnen Messzeiten über 5 Minuten einzustellen.
- Der Sensor ist ausgelegt für:
  - 1. Die Benutzung z. B. auf einem Tisch. Der Infrarotdetektor zeigt dann nach oben und kann den CO<sub>2</sub>-Gehalt der zirkulierenden Luft erfassen.
  - 2. Die Benutzung als Deckel für ein Becherglas. Der Infrarotdetektor zeigt dann nach unten in das Becherglas hinein.
  - 3. Die Benutzung in einem Stativsystem. Der Sensor wird dann mit der anmontierten Gewindestange in das System eingespannt.
- Flüssigkeiten können den Sensor **dauerhaft beschädigen**. Wenn Sie den Sensor also in Messumgebungen mit starker Kondensfeuchtigkeit (z. B. Pflanzen in einer Plastiktüte) benutzen wollen, stellen Sie sicher, dass keine Kondensflüssigkeiten in den Infrarotdetektor gelangen können. Benutzen Sie z. B. ein Stativsystem um den Sensor über einer Pflanze zu positionieren.





- Vermeiden Sie die Benutzung des Sensors in staubigen und windigen Umgebungen. Um den Sensor vor extremer Verschmutzung zu schützen, können Sie ein Stück Nylonstoff (z. B. von einem Strumpf) benutzen.
- Positionieren Sie den Sensor so, dass kein direktes Sonnenlicht auf den Infrarotdetektor fällt.

# Kohlenstoffdioxid-Sensor

- CO<sub>2</sub> ist ein Gas, welches schwerer als Luft ist und deshalb die Tendenz hat, zum Boden (z. B. eines Reagenzglases) zu sinken. Dimensionieren Sie also Ihr Messgefäß so klein wie möglich, um einen konzentrierten und ausgeglichenen CO<sub>2</sub>-Gehalt zu erreichen. Da das CO<sub>2</sub> zu Boden sinkt, besteht keine unbedingte Notwendigkeit den Sensor und das Becherglas luftdicht miteinander zu verbinden der Sensor wirkt wie ein Deckel und verhindert ungewollte Luftbewegungen während der Messung.
- Wenn eine bessere Abdichtung erwünscht ist, verschließen Sie das Gefäß z.B. mit Frischhaltefolie und machen Sie nur eine Öffnung für den Infrarotdetektor. Die Folie dichtet dann auch die Gehäuseoberfläche des Sensors ab. Ein Gummi-Stopfen mit einem Durchmesser von 11–13 mm kann zum Verschließen der Elektrodenöffnung verwendet werden. Sie können den Sensor auch mit einer nicht abfärbenden Knetmasse auf einem Messbecher befestigen.
- Das CO<sub>2</sub>-Gas muss durch die Ventilationsöffnungen zum Infrarotdetektor diffundieren, bevor Veränderungen in der Konzentration erfasst werden. Da die Diffusion von Gasen ziemlich langsam erfolgt, kommt es zu einer verzögerten Erfassung von Konzentrationsänderungen des CO<sub>2</sub>-Gehaltes.
- Der Kohlenstoffdioxid-Sensor kann keine CO<sub>2</sub>-Konzentrationen über 50.000 ppm feststellen. Wenn der CO<sub>2</sub>-Gehalt über diesen Wert ansteigt (z. B. wenn ausgeatmete Luft direkt in den Infrarotdetektor geblasen wird), wird kontinuierlich eine Konzentration von 50.000 angezeigt, bis wieder ein niedrigerer CO<sub>2</sub>-Gehalt vorliegt. Es kann einige Minuten dauern, bis der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Infrarotdetektor wieder unter diesen Wert gesunken ist. Um den Vorgang zu beschleunigen, kann man den Infrarotdetektor mit einem Ventilator o. Ä. belüften.
- Die CO<sub>2</sub>-Messungen werden immer über 8 Messungen gemittelt, um einen glatteren Graph zu erhalten. Trotzdem kann es zu Schwankungen kommen die den Graphen variieren lassen (der Graph sieht gezackt aus). Die gesammelten Daten können dann noch mit der Sensing Science Software bearbeitet werden – z. B. mit dem Glätten-Werkzeug oder mit Hilfe der Durchschnittsfunktion.
- Der Kohlenstoffdioxid-Sensor verbraucht relativ viel Strom. Wenn ihre Batterien gewechselt werden müssen, weil sie selbst im voll geladenen Zustand schnell an Ladung verlieren, dann ist auch die Batteriestatusanzeige unzuverlässig. Benutzen Sie in diesem Fall besser eine externe Stromversorgung für den Logger um die Messungen fortzusetzen.
- CO<sub>2</sub> besteht aus einer Verbindung von Kohlenstoff und Sauerstoff. In der Erdatmosphäre liegt nur eine geringe Konzentration von ca. 0,04 % vor – z. B. ergaben die Messungen am Mauna Loa Observatorium einen Wert um 379 ppm im März 2004.
- Die CO<sub>2</sub>-Konzentration wird in parts per million (ppm) (Teilchen pro Million) gemessen. Das heißt, dass bei einer Konzentration von 1 ppm ein Teilchen auf eine Million anderer Teilchen kommt. Zur Umrechnung in Prozent dividieren Sie die ppm-Angabe durch 10.000 also z. B. 380 ppm entspricht 0,038 %.

## **Technische Daten**

Messbereich:	0–50.000 ppm CO <sub>2</sub>
Genauigkeit (bei normalem Luftdruck):	0–20.000 ppm: 100 ppm oder 10 % des Wertes 20.000–50.000 ppm: 250 ppm oder 20 % des Wertes
Ansprechzeit:	2 Sekunden
Temperaturbereich:	20 bis 40 °C
Luftfeuchtigkeitsbereich:	5 bis 95 % relative Luftfeuchtigkeit, nicht kondensierend
Gewindestange:	80 mm Länge x 10 mm Ø mit einem M6-Gewinde

## Versuche

- Überwachen des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atemluft von kleinen Tieren (z. B. Maden) bei verschiedenen Temperaturen
- CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Luft bei Pflanzen
- Luftqualität Überwachen des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Luft in geschlossenen Räumen und der Effekt der Raumbelüftung (Öffnen eines Fensters)
- Zellatmung von keimenden Pflanzen, z. B. Erbsen oder Bohnen
- Die Dauer, welche benötigt wird um CO<sub>2</sub> aus einer abgeschlossenen Atmosphäre mit Natriumhydroxid oder Kaliumhydroxid wieder zu entfernen
- Die Geschwindigkeit der CO<sub>2</sub>-Produktion bei einer chemischen Reaktion von z. B. Salzsäure mit Natriumbikarbonat
- CO<sub>2</sub>-Produktion während der Vergärung von Zucker
- CO<sub>2</sub>-Gehalt von verbrauchter Luft: Platzieren Sie den Sensor in einer Plastiktüte und atmen Sie in die Tüte – die Atemluft hat ein CO<sub>2</sub>-Gehalt von 35.000 bis 50.000 ppm. Wenn Sie weiter in die Tüte atmen oder direkt auf den Sensor blasen, wird der CO<sub>2</sub>-Gehalt kontinuierlich über diesen Wert ansteigen.

## Überwachen des CO<sub>2</sub>-Gehaltes bei grünen Pflanzen

Der Fotosyntheseprozess und die Zellatmung sind eng miteinander verknüpft. Fotosynthese produziert Sauerstoff und Kohlenhydrate (wird für die Zellatmung benötigt) und die Zellatmung produziert CO<sub>2</sub> und Wasser (wird für die Fotosynthese benötigt). Meistens verläuft ein Prozess schneller als der andere und es werden überschüssige Anteile frei.

- Tag (Sonnenlicht) = CO<sub>2</sub> wird absorbiert und Sauerstoff freigesetzt
- Nacht (kein Licht) = CO<sub>2</sub> wird freigesetzt und Sauerstoff absorbiert

Wenn der Kohlenstoffdioxid-Sensor in Verbindung mit dem Sauerstoff-Sensor benutzt wird, ist es möglich die veränderten Anteile an beiden Gasen zu erfassen. Ein 100.000 Lux Licht-Sensor kann zusätzlich benutzt werden um den Lichteinfall zu dokumentieren.

# Kohlenstoffdioxid-Sensor



## Hinweise

- Versuchen Sie die Gasproduktion von Mikroben im Erdboden auszuschließen, indem Sie den Wurzelballen in eine extra Plastikfolie wickeln oder indem Sie einen **frischen** Trieb in eine Nährlösung stellen.
- Ideal für solche Versuche sind Pflanzen die schnell wachsen und viel Licht benötigen (die Fotosynthese lässt sich dann leichter über den Lichteinfall regulieren).
- Sie müssen, um brauchbare Ergebnisse zu erhalten, die Messung über mindesten eine Stunde anlegen. Beleuchten Sie die Pflanze für 30 Minuten mit einer Lampe (um die Fotosynthese anzuregen) und decken Sie sie danach mit einem dunklen Tuch ab um Nacht zu simulieren.
- Wenn möglich, erfassen Sie den Versuch im **EasyLog**-Modus über einen Zeitraum von 24 Stunden (normaler Tag-Nacht-Zyklus). Platzieren Sie den Versuch an einem Ort, an dem tagsüber viel Sonnenlicht einfällt und an dem es nachts dunkel ist.
- Wenn es nicht die Möglichkeit gibt, den Logger an eine externe Stromversorgung anzuschließen, sorgen Sie dafür, dass die Batterien voll aufgeladen sind.
- Wenn sie zusätzlich einen Sauerstoffsensor benutzen, achten Sie auf die dazugehörige Bedienungsanleitung bezüglich des Vorbereitens und der Einstellung des Sensors (setzen Sie den Messbereich auf 0–25 % Gas und lassen Sie den Sensor 20 Minuten vor dem Versuch am Logger angeschlossen, justieren Sie den Sensor dann so, dass ein Wert von 20,9 % angezeigt wird).
- Platzieren Sie den Sensor so, dass kein Kondenswasser in den Infrarotdetektor gelangen kann – dies kann dauerhafte Schäden verursachen.

## Überwachen der CO<sub>2</sub>-Produktion bei lebenden Organismen

Der Kohlenstoffdioxid-Sensor kann das Ansteigen des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Atemluft von lebenden Organismen anzeigen – für diesen Versuch benötigen Sie Maden oder Mehlwürmer.

- Tun Sie die Maden in ein kleines Becherglas.
- Platzieren Sie den Sensor wie einen Deckel auf dem Glas (so, dass der Infrarotdetektor nach innen zeigt).
- Erfassen Sie den CO<sub>2</sub>-Gehalt im Glas für 10 Minuten.
- Legen Sie dann den Kohlenstoffdioxid-Sensor beiseite und fächern Sie frische Luft in das Glas. Verändern Sie die Temperatur des Glases um die Maden zu kühlen oder zu erwärmen.
- Wählen Sie **"Überlagern"** in der **Sensing Science Software** und wiederholen Sie den obigen Versuch.





#### Ladungs-Sensor – Best.-Nr. 73268

Ladungs-Messbereiche ±10 nCoulomb (nC) Auflösung: 0,01 nC ±100 nCoulomb (nC) Auflösung: 0,1 nC ±220 nCoulomb (nC) Auflösung: 1 nC

Spannungs-Messbereiche ±0,5 V (500 mV) Auflösung: 0,001 V ±2 V Auflösung: 0,01 V ±10 V Auflösung: 0,01 V

## Einführung

Mit dem Smart Q-Ladungs-Sensor kann die Ladungsmenge an Quellen mit geringer Ladung z. B. an verschiedenen elektrostatischen Experimenten gemessen werden. Er kann das klassische Elektroskop ersetzen und zeigt nicht nur die Polarität sondern erlaubt auch quantitative Messungen. Es lassen sich auch Potenzialdifferenzen zwischen zwei Punkten messen.

Der Ladungs-Sensor hat einen Eingangskondensator, der parallel zu den Eingangsbuchsen eines Spannungsverstärkers geschaltet ist. Eine angelegte Ladung lädt den Eingangskondensator, was sich zu einem Anstieg der Spannungsgröße gegenüber dem Kondensator auswirkt. Der Sensor nutzt den Wert der Potenzialdifferenz gegenüber dem Kondensator um die Ladung (nC) oder Spannung (V) zu berechnen.

Der Ladungs-Sensor ist ein Spannungs-Sensor mit hoher Impedanz (bis zu 10 Tera Ohm =1012 Ohm), der beim Messen einer Potenzialdifferenz an den Enden eines elektrischen Elementes praktisch keinen Strom zieht.

Der Sensor wird mit einem speziellen, abgeschirmten Kabel mit BNC-Stecker und einer roten und schwarzen (Erde) Krokodilklemme geliefert. Dieses Kabel darf nicht mit einem Kabel anderer Hersteller ausgetauscht werden, weil dies zu fehlerhaften Messergebnissen führen kann. Der Sensor hat eine Kontroll-LED, die den eingeschalteten Zustand anzeigt und einen Reset-Taster zur Entladung des Eingangskondensators. Auf das Kurzschließen der Krokodilklemmen kann so verzichtet werden.



## Anschluss

#### Schritt 1

Der Sensor wird mit dem Smart Q-Aufkleber nach oben gehalten.

Ein Ende eines kurzen Sensorkabels (150 mm, aus dem Lieferumfang des Loggers) wird so in die Buchse am Sensor gesteckt, dass sich der Orientierungspfeil am Stecker oben befindet.

Das andere Ende des Kabels wird in gleicher Weise (Pfeil nach oben) in eine Eingangsbuchse am Datenlogger gesteckt.

Der Datenlogger erkennt den angeschlossenen Sensor.



#### Schritt 2

Der gewünschte Messbereich wird gewählt (siehe unten).

Das beiliegende Messkabel mit BNC-Stecker und Krokodilklemmen wird wie folgt an den Sensor angeschlossen: BNC-Stecker mit den Noppen in die Schlitze der Buchse stecken und den Stecker im Uhrzeigersinn drehen bis er verriegelt ist.

Der Kondensator im Sensor wird durch Drücken des Reset-Tasters für ca. 2 Sekunden entladen. Bei Messungen ist die schwarze Krokodilklemme mit einer guten Erdleitung zu verbinden und die rote Krokodilklemme an das Ladung haltende Objekt anzuschließen.

Der Softwareteil Grafik wird gestartet und geprüft, ob der Sensor "0" anzeigt.

**Hinweis**: Es kann eine geringe Restspannung angezeigt werden, die für ein genaues Ergebnis am Ende von der Messung abgezogen werden kann (siehe <u>Ausgleichen einer Restspannung</u> bei einem Datensatz).

Wegen der extrem hohen Eingangsimpedanz tendiert der Sensor zur Aufnahme von Streuladung aus seiner Umgebung, wenn er ohne eine direkte Eingangsbelastung verbleibt. In diesem Fall ist der Reset-Taster zu betätigen, um den Kondensator vor einer neuen Messung zu entladen.

Nach einer Messung ist das geladene Objekt über die Erdleitung kurzzuschließen und der Reset-Taster am Sensor zu betätigen, um den internen Kondensator zu entladen.

## Messbereichswahl

Die Bereichswahl erfolgt im Programmteil **Grafik** der Sensing Science Software im Menü "Einstellungen" unter "Sensorkonfiguration".

- Der Sensor wird mit dem Datenlogger verbunden und die Funktion "Sensorkonfiguration" aufgerufen.
- Der gewünschte Sensor wird durch Klicken in den Kreis vor dem Sensor gewählt.
- Bereich wechseln wird angeklickt und der eingestellte Messbereich erscheint markiert. Der gewünschte Bereich wird ausgewählt und mit Schließen bestätigt.
- Das Programm wird verlassen. Der Messbereich bleibt solange gespeichert, bis er geändert wird.

Sensorbereich wählen	×
Sensor 1	
Bereich wählen	
Charge Sensor	1
Charge 10nC 1 Charge 220nC Voltage 500mV Voltage 2V Voltage 10V	
ОК	

## **Praktische Information**

Die extrem hohe Eingangsimpedanz des Sensors macht ihn empfindlich für die Aufnahme von Streuladung aus seiner unmittelbaren Umgebung. Um den Einfluss dieser statischen Felder auf die Messergebnisse zu minimieren, wird folgendes empfohlen:

- Bessere Ergebnisse erzielt man, wenn der Experimentierende während der Durchführung der Untersuchung mit einer gut leitenden Erdleitung verbunden ist. Ein elektrostatisches Entladungsgerät (bestehend aus Gelenkband, Erdkabel und Erdungsstecker für eine Netzsteckdose), das von professionellen Netztechnikern verwendet wird, liefert eine gute Erdverbindung. Während dieser Erdverbindung muss das Berühren Spannung führender Teile unbedingt vermieden werden.
- 2. Wenn keine direkte Erdverbindung möglich ist, soll der Experimentierende das Bewegen der Schuhe auf dem Boden (Reibungselektrizität) unbedingt vermeiden.
- 3. Bewegungen von Personen im Umfeld der Messung können ebenfalls statische Felder erzeugen, die die Messung beeinflussen.
- 4. Bei der Durchführung nicht nur vergleichender sondern besonders genauer Messungen, empfiehlt es sich, den Sensor an einem Stativ fest einzuspannen, damit er sich nicht während der Messung auf einem Untergrund bewegen kann.
- 5. Es wird empfohlen, zur Verbindung des Sensors mit dem Datenlogger nur das kurze Verbindungskabel (150 mm lang) zu verwenden.
- 6. Der Ladungs-Sensor ist so empfindlich, dass er Ladungsansammlungen auf dem Verbindungskabel zum Datenlogger erfasst, wenn dieser mit dem Sensor zwischen zwei Messungen verbunden bleibt. Bevor eine neue Messung gestartet wird, ist deshalb der interne Kondensator des Sensors durch Betätigen des Reset-Tasters oder durch Kurzschließen der beiden Krokodilklemmen zu entladen.
- 7. In besonderen Fällen kann das Einwickeln des Sensors in Aluminiumfolie zur Stabilisierung der Ergebnisse hilfreich sein.
- 8. Bestimmte Wetterverhältnisse können eine Auswirkung auf die Messungen haben. Bei trockenem Wetter oder geheizten Räumen sollte die Bewegung von Menschen auf ein Minimum reduziert werden, um statische Felder zu verhindern. Bei sehr feuchtem Wetter besteht die Gefahr, dass sich Ladungen in die Umgebung verflüchtigen, bevor Messungen erfolgen können.
- Geräte für elektrostatische Experimente müssen staubfrei und trocken sein. Auch unter feuchten Bedingungen müssen die Geräte trocken gehalten werden. Dazu empfiehlt sich die Aufbewahrung von Reibtüchern, Reibstäben und anderen Geräten auf einer Metallunterlage auf einem Heizkörper oder der Einsatz eines Föns.
- Wenn sich das verwendete Gerät nur schwer entladen lässt, hilft ein leichtes darüber Blasen. Die Feuchtigkeit und Wärme der Atemluft reicht in der Regel aus, noch vorhandene Ladungen zu entfernen. Die gelbe Bunsenbrennerflamme, vorsichtig eingesetzt, ist ebenfalls geeignet, Isolatoren zu entladen. Die heißen Gase, die von der Flamme aufsteigen, sind ionisiert und neutralisieren Oberflächenladungen auf Isolatoren.
- Der Ladungs-Sensor wird von Geräten beeinflusst, die elektromagnetische Felder aufbauen. Geräte, die derartige Störungen hervorrufen können sind Computer-Monitore, Mobiltelefone, Fernsehgeräte, getaktete Stromversorgungsgeräte, Elektromotoren u. a.
- Auch nach dem Entladen des Kondensators im Sensor kann eine geringe Restspannung angezeigt werden, die eine exakte Nullanzeige verhindert. Diese Differenz kann mit Hilfe der Option "Funktion/Formel nach Erfassung" im Menü "Werkzeuge" der Software nach der Datenerfassung ausgeglichen werden (siehe <u>Ausgleichen einer Restspannung bei einem Datensatz</u>).

 Der Sensor hat einen Überspannungsschutz bis ±40 V. Dieser Schutz schützt den Sensor jedoch nicht gegen die extrem hohen Spannungen von statischen Generatoren (Influenzmaschine, Bandgenerator). Mit direkten Ladungen dieser Geräte darf der Sensor nicht in Verbindung gebracht werden.

Sicherheits-Hinweis: die angeschlossene Spannung darf 40 V nicht übersteigen.

- Hochfrequente Wechselfelder (wie 50 Hz oder mehr) sind **nicht** messbar. Der Sensor hat einen low pass Filter, um sicherzustellen, dass jedes 50/60 Hz Netzsignal abgeschwächt wird. Eingangssignale mit einer Anstiegs-/Fallzeit von schneller als 80 ms werden deutlich im Wert reduziert.
- Für die Messung der Potentialdifferenz zwischen den Enden eines elektrischen Objektes ist der Sensor parallel anzuschließen.
- Im Hinblick auf die Messgenauigkeit bei der Verwendung von einem weiteren Ladungsoder Spannungs-Sensor in einem Stromkreis ist sicherzustellen, dass die gleiche (schwarze) Erdleitung verwendet wird.
- Der Ladungs-Sensor kann für die Messung an Gleichspannungs-Stromkreisen verwendet werden.
- Der Ladungs-Sensor kann für die Messung an Wechselspannungs-Stromkreisen im Niedervoltbereich unter folgenden Bedingungen verwendet werden:
  - 1. Die maximale Spannung darf nicht mehr als 20 V<sub>ss</sub> (Spitze-Spitze) betragen.
    - Der Sensor darf nicht an Netzspannung angeschlossen werden.
  - 2. Die maximale Frequenz ist mit 12 Hz begrenzt.
- Bei der Messung der Ladung eines Kondensators, ist es erforderlich Kondensatorwerte zu wählen, die deutlich unter 22 nF liegen. Für gute Ergebnisse eignen sich Kondensatoren unter 1 nF. Der Fehler liegt in diesem Falle unter 4,6%. Je niedriger der Kondensatorwert desto genauer ist die Messung.

Die **SI-Einheit** für Ladung ist Coulomb. Ein Coulomb entspricht der Ladungsmenge, die einen Punkt in einem Leiter passiert, an dem gleichzeitig während einer Sekunde ein Ampere Strom fließt.

## **Technische Daten**

Eingangs-Impedanz:  $10^{12}$  Ohm, Minimum Eingangs-Kapazität:  $22 \text{ nF} \pm 1\% (0,022 \mu\text{F})$ Eingangs-Spannungsbereich:  $\pm 10 \text{ V}$ Eingangs-Spannungsüberlastschutz:  $\pm 40 \text{ V}$ 

## Ausgleichen einer Restspannung bei einem Datensatz

"Funktion/Formel nach Erfassung" kann zum Ausgleichen einer Restspannung verwendet werden, wenn diese bei Messbeginn eine Nullstellung des Sensors verhindert hat.

Die Option "Funktion/Formel nach Erfassung" im Menü "Werkzeuge" wird geöffnet und die Funktion  $ax^2 + bx + c$  gewählt.

Die  $ax^2$  Komponente der Funktion muss entfernt werden. Dies geschieht mathematisch durch das Setzen von a = 0. Es verbleibt als Funktion bx + c.

- Weiter anklicken und den Sensor für x auswählen.
- Weiter anklicken und einen Namen, eine Einheit und die gewünschten Dezimalstellen für den zu korrigierenden Datensatz einsetzen.

Max und Min-Werte ändern, wenn erforderlich.

• Folgende Daten als Parameter einsetzen:

a = 0

x = die Daten des Ladungs-Sensors

b = 1

c = den Korrekturfaktor. Er hat einen positiven Wert, wenn die Korrektur zu addieren ist, einen negativen Wert, wenn die Korrektur zu subtrahieren ist.

• Beenden anklicken.

#### Versuchsvorschläge

- Stärke und Polung der Ladung an verschiedenen Objekten
- Elektrostatische Phänomene
- Einfache Demonstrationen der Polungen von Ladungen
- Ladungsteilung zwischen Konduktoren
- Versuche mit dem Faraday-Becher und Faraday-Käfig
- Elektrostatische Abschirmung
- Induzierte Ladung
- Ladung durch Induktion
- Ladungsdichte auf der Oberfläche eines Konduktors
- Abhängigkeit der Spannung proportional zur Ladung an einem Konduktor durch "löffeln" von Ladung.
- Entladung eines Kondensators
- Spannungsmessung an chemischen Elementen
- Messen von EMF an chemischen Zellen.

## Versuch 1:

## Bestimmung der Polung einer Ladung

Material:	
Wolltuch	(BestNr. 50055)
Seidentuch	(BestNr. 50051)
Stück Fell	(BestNr. 50050)
Hartgummistab	(BestNr. 50010)
Kunststoffstab	(BestNr. 50015)
Acrylglasstab	(BestNr. 50025)
Glasstab	(BestNr. 50020)

Verschiedene Proben aus Polyethylen, Azetat, Nylon, Luftballon

Kondensatorplatte mit Stift (Best.-Nr. 50124) (Metallscheibe, Münze oder kleiner Metallbecher) Kabel zur Erdverbindung



## Versuchsdurchführung:

- 1. Der Versuch wird gemäß der Abbildung aufgebaut. Als Messbereich für den Sensor wird 100 nC gewählt.
- 2. An die rote Krokodilklemme wird eine kleine Metallplatte (Münze) geklemmt und das Kabel frei über eine Stativklemme gehängt.
- 3. Die schwarze Krokodilklemme wird mit einer Erdleitung verbunden. Die geerdete Leitung kann zusätzlich oder anstatt der Betätigung des Reset-Tasters zur Entladung des Kondensators im Sensor verwendet werden.
- 4. Der Programmteil Messanzeige wird geöffnet und "Ziffernanzeige" gewählt.
- 5. Der Kondensator im Sensor wird durch Drücken des Reset-Tasters entladen.
- 6. Mit Hilfe eines Reiblappens (Wolle, Seide, Fell) und einem Reibstab (Acryl, Glas, Hartgummi) wird durch Reiben eine Ladung erzeugt.
- 7. Eine Materialprobe wird damit durch Abstreifen geladen und in die Nähe der kleinen Metallplatte gebracht.
- 8. Das Ergebnis wird am Bildschirm beobachtet und der Wert und das Vorzeichen festgehalten.
- 9. Der Sensor wird durch Drücken des Reset-Tasters entladen und der Versuch mit anderen Reibungsstäben und Tüchern sowie anderen Proben wiederholt. Die Polungen (Vorzeichen) bei den verschiedenen Materialien werden verglichen.

## Versuch 2: Laden einer Metallscheibe durch Influenz

Material:

Kondensatorplatte	(BestNr. 50124)
Isoliergriff	(BestNr. 50125)
Isolierplatte	(BestNr. 13723)
Wolltuch	(BestNr. 50055)
Kabel für Erdverbindun	q



## Versuchsdurchführung:

- 1. Die Isolierplatte wird mit einem Wolltuch gerieben und damit geladen
- 2. Die Kondensatorplatte wird am Isolierstiel gehalten und auf die geladene Isolierplatte gesetzt und mit einem Kabel geerdet.
- 3. Die Erdung wird entfernt und die Kondensatorplatte am Isolierstiel von der Isolierplatte abgehoben.
- 4. Die Kondensatorplatte ist jetzt ebenfalls geladen. Die Polung ist jedoch entgegengesetzt der Polung der Isolierplatte. Wenn die Isolierplatte aus PVC ist, ist die Ladung negativ, die durch Influenz übertragene Ladung auf der Kondensatorplatte positiv.

#### Versuch 3: Faradays Becher

Faraday verwendete für seinen Versuch einen Metallbecher (Ice Pail) um Folgendes zu demonstrieren:

- Wenn ein geladenes Objekt von einem hohlen Leiter (Zylinder) umschlossen ist, induziert es eine gleich große Ladung auf der Innen- und Außenseite des Leiters. Dabei ist die Polung auf der Innenseite entgegen gesetzt und auf der Außenseite gleich der Polung des geladenen Objektes.
- Die gesamte Ladung innerhalb des hohlen Leiters ist immer Null.

Neben dem Beweis der oben genannten Aussagen eignet sich der Faraday'sche "Eiseimer" als ein nützliches Gerät zum Sammeln und Vergleichen von Ladungen.

Es arbeitet nach dem Prinzip, dass die an der Innenseite einer leitenden Oberfläche angelegte Ladung eine gleiche Ladung auf der Außenseite des Leiters induziert.

Für die Versuche eignet sich ein Metallzylinder, möglichst mit Boden, dessen Verhältnis Höhe zu Durchmesser ca. 3:1 betragen sollte. Der Becher soll auf einem isolierenden Sockel (z. B. Holz) stehen. Zusätzlich hat sich eine Abschirmung aus Drahtnetz ohne Boden für die Versuche als hilfreich erwiesen, das in gleichmäßigem Abstand um den Metallzylinder aufgestellt wird. Der äußere Drahtnetz-Zylinder ist geerdet und schirmt den Metallzylinder ab, der für die Versuche verwendet wird.



Es empfiehlt sich für den Experimentator für die Dauer der Durchführung der Versuche geerdet zu sein, um Streuladungen zu vermeiden. Dazu kann mit einer Hand die Drahtnetzabschirmung berührt werden.

Ein Stück Metalldraht, das an der Drahtnetzabschirmung befestigt wird, kann zum Erden des Metallzylinders verwendet werden (siehe Abb. oben). Der Draht muss so lang sein, dass er den Metallzylinder im Innern der Abschirmung erreicht. Er kann auch zum Entladen geladener Leiter verwendet werden.

Außerdem wird für die Versuche ein Ladungsträger benötigt.

Geeignet ist die Kondensatorplatte 50124 mit dem Isolierstiel 50125

## Versuchsdurchführung:

- 1. Den Versuch wird gemäß der Abbildung (s. Abb. oben) aufgebaut.
- 2. Als Messbereich für den Ladungs-Sensor 100 oder 220 nC wählen.
- 3. Die rote Klemme des Sensorkabels an den Metallzylinder klemmen, die schwarze Klemme (Erde) an die Drahtnetz-Abschirmung klemmen.
- 4. Der Metallzylinder wird durch Anlegen des Drahtes über die Abschirmung geerdet. (siehe Abb. unten). Damit wird jegliche Ladung, die sich auf dem Metallzylinder befinden könnte, über den Draht zur Erde abgeleitet. Dann wird der Draht wieder vom Metallzylinder abgenommen.



5. Den Programmteil **Grafik** der Sensing Science Software öffnen und **Neu** in der Kopfzeile anklicken. Der **Erfassungs-Assistent** öffnet sich und die Sensorauswahl kann bestätigt oder geändert werden.

Weiter anklicken und eine Zeitspanne von 10 Sekunden und einen Messintervall von 50 ms wählen. Weiter anklicken und bei Startbedingungen wählen "Keine" markiert lassen. Auf Beenden klicken.

In der Werkzeugleiste das Feld Überlagerungen anklicken.

- 6. Den **Reset**-Taster am Ladungs-Sensor wird für 2 Sekunden drücken, um den internen Kondensator zu entladen. Im **Werkzeuge-Menü** kann unter **Testmodus** die Nullstellung des Sensorwertes überprüft werden.
- Start anklicken, um die Messung zu beginnen. Die Kondensatorplatte wird am Isolierstiel gehalten und durch Berühren der Metallplatte mit einem zuvor durch Reibung geladenen Reibstab geladen. Die geladene Kondensatorplatte wird in den unteren Bereich des Metallzylinders eingeführt, ohne dass dabei die Innenwand oder der Boden des Zylinders berührt werden. Dann wird die Platte wieder aus dem Zylinder gehoben. Die Kondensatorplatte wird nicht entladen (Ergebnis A)
   Der Metallzwlinder wird über den Drabt am Drabtnetz entladen und der Sensor durch
- 8. Der Metallzylinder wird über den Draht am Drahtnetz entladen und der Sensor durch Drücken des Reset-Taster auf Null gesetzt.
- 9. Start wird angeklickt.

Die aus dem Vorversuch noch geladene Kondensatorplatte wird wieder in den unteren Bereich des Metallzylinders eingeführt, diesmal jedoch mit guter Berührung der Innenwand des Zylinders. Die Kondensatorplatte wird aus dem Zylinder gehoben (Ergebnis B). Der Metallzylinder und die Kondensatorplatte werden nicht entladen.

10. **Start** wird angeklickt.

Die noch immer geladene Kondensatorplatte wird wieder in den unteren Bereich des noch geladenen Metallzylinders eingeführt, wiederum die Innenseite des Zylinders mit der Platte berührt und die Platte aus dem Zylinder gehoben (Ergebnis C).

- 11. Der Metallzylinder wird geerdet und der Versuchsteil 10 wiederholt (Ergebnis D).
- 12. Mit der Funktion **Bemerkungen** aus dem **Werkzeuge-Menü** können die vier gezeichneten Kurven am Bildschirm beschriftet werden.
- 13. Der Reset-Taster am Sensor wird gedrückt um den internen Kondensator zu entladen. Der Metallzylinder wird über den Draht an der Drahtnetzabschirmung entladen und die Versuchsreihe mit einem entgegengesetzt gepolten Ladungsträger wiederholt.

**Hinweis:** Wenn sich der Metallzylinder nur schwer entladen lässt (keine Nullstellung am Sensor), hilft ein leichtes Überblasen des Zylinders. Die Ionen in der feuchten Atemluft reichen aus, um jegliche Restladung auf dem Metallzylinder zu neutralisieren.



## Ergebnisse:

Messung A

Ein geladener Leiter, der in einen hohlen Metallzylinder getaucht wird, induziert durch Influenz eine gleich gepolte Ladung auf der Außenseite des Zylinders.

#### Messung B

Die gesamte Ladung wird bei Berührung mit dem geladenen Leiters auf den Metallzylinder übertragen.

Messung C

Bestätigt, dass die gesamte Ladung übertragen wurde und dass keine Ladung auf der Innenseite des Metallzylinders zurückgeblieben ist.

Messung D

Ist eine weitere Bestätigung dafür, dass die gesamte Ladung übertragen wurde.

# Leitfähigkeits-Sensor





## Leitfähigkeits-Sensor

#### Der Leitfähigkeits-Adapter – Best.-Nr. 73135

Messbereiche: Bereich 1: 0 bis 100 mS Bereich 2: 0 bis 1000 mS Bereich 3: 0 bis 10 mS (10.000 mS) Bereich 4: 0 bis 100 mS (100.000 mS)

#### Die Leitfähigkeits-Elektrode – Best.-Nr. 73136

Eingebaute automatische Temperaturkompensation. Toleranz der Widerstandskapazität: ±20 %

#### Einleitung

Der Smart Q Leitfähigkeits-Adapter ermöglicht es, die Leitfähigkeits-Elektrode an einen CorEx Logger anzuschließen. Der CorEx Logger erkennt dann, dass der Leitfähigkeits-Adapter angeschlossen ist und welcher Bereich eingestellt wurde.

Der Smart Q Leitfähigkeits-Sensor wird zur Messung der Leitfähigkeit einer Lösung verwendet. Die Leitfähigkeits-Elektrode ist eine einfache Kohleelektrode (Graphitplatten-Elektrode) mit Epoxidgehäuse, die aufgrund ihrer guten Haltbarkeit unter Einsatzbedingungen gewählt wurde. Sie eignet sich hervorragend zur Messung der Salzhaltigkeit und von Änderungen der Leitfähigkeit einer Wasserprobe. Mithilfe dieser Elektrode können Chemiker den Unterschied zwischen ionischen und molekularen Verbindungen in einer wässerigen Lösung untersuchen. Zwar können nicht die einzelnen vorhandenen Ionen bestimmt werden, jedoch die Gesamtkonzentration der Ionen in einer Probe.

Die SI-Einheit der Leitfähigkeit ist Siemens pro cm (S/cm). Früher wurden die Einheiten mhos (entspricht S/cm) oder CF (mS/cm x 10) verwendet. Siemens ist eine große Einheit, so dass der Wert für wässerige Proben im Allgemeinen in Mikrosiemens ( $\mu$ S) ausgedrückt wird.

#### Anschließen

- Halten Sie das Gehäuse des Leitfähigkeits-Adapters so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die mit einem Tubus ver-sehene Buchse am Adapter, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Sensorkabels an eine Eingangsbuchse am CorEx Logger an, so dass sich der Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie die Leitfähigkeits-Elektrode an den Leit-fähigkeits-Adapter an (so dass sich der Markierungspfeil oben befindet).



• Der CorEx Logger erkennt dann, dass der Leitfähigkeits-Sensor angeschlossen ist. Wählen Sie den erforderlichen Bereich aus.

© Cornelsen Experimenta

# Leitfähigkeits-Sensor

## Den Bereich einstellen

Zur Bestimmung des erforderlichen Bereichs ist möglicherweise die vorherige Ermittlung eines ungefähren Wertes für die Probe nötig.

Alle Smart Q Sensoren werden kalibriert geliefert. Die für diesen Sensor gespeicherten Kalibrierungen umfassen folgende Bereiche: **100 mS**, **1000 mS**, **10 mS**, **100 mS**.

Für genauere Anzeigewerte kann der Benutzer die Kalibrierungskonstanten der Elektrode anpassen. Diese sind als die vier Benutzerbereiche gespeichert, d.h. **100 mS User**, **1000 mS User**, **10 mS User**, **100 mS User** (siehe <u>Kalibrierung</u>).

Die Wahl des gewünschten Messbereichs erfolgt im Programmteil Sensor-Konfiguration der Sensing Science Software wie folgt:

- Schließen Sie den Leitfähigkeits-Sensor an den CorEx Logger an und führen Sie das Programm **Sensorkonfiguration** aus.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen ist, aus der Liste aus.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bereich setzen**. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben.
- Wählen Sie den erforderlichen Bereich und klicken Sie auf **OK**. Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Die Messbereichswahl kann auch am CorEx Logger vorgenommen werden:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü System, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile Messbereich setzen, ENTER.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Leitfähigkeits-Sensor angeschlossen ist, z. B. Eingang 1, **ENTER**.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die verfügbaren Bereiche anzeigen, d. h. 100  $\mu$ S, 1000  $\mu$ S, 100 mS, 100 mS, 100  $\mu$ S User, 1000  $\mu$ S User, 10 mS User, 100 mS User.
- Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken Sie ENTER, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken Sie **STOP**, um zum Hauptmenü zurückzukehren.

## Erforderliche Maßnahmen



- Tauchen Sie die Spitze der Leitfähigkeits-Elektrode nach Möglichkeit ungefähr 30 Minuten in entionisiertes Wasser ein, um sicherzustellen, dass die Elektroden sauber sind. Ist dies nicht möglich, spülen Sie die Spitze vor der Verwendung gründlich mit entionisiertem Wasser ab.
- Wischen Sie das Gehäuse der Elektrode außen mit einem sauberen Papiertuch ab. Schütteln Sie die Elektrode kräftig, um eventuell vorhandene Tröpfchen aus der Zellenkammer zu entfernen. Waschen Sie die Spitze nach Möglichkeit in einer Probe der zu prüfenden Lösung.
- Setzen Sie die Leitfähigkeits-Elektrode in die zu prüfende Lösung ein. Diese muss wenigstens 3 cm tief sein, um sicherzustellen, dass die Zellenkammer vollständig eingetaucht ist.



• Rühren Sie die Lösung behutsam um, um eventuell in der Zellenkammer eingeschlossene Luftbläschen zu entfernen. Warten Sie 10 Sekunden, damit sich die Anzeigewerte stabilisieren können.

**Hinweis:** Wenn Sie Messungen in einer Lösung vornehmen, die eine Temperatur unter 10 °C oder über 35 °C aufweist, dauert es etwas länger, bis sich die Anzeigewerte stabilisiert haben.

- Liegt der Wert über dem maximalen oder unter dem minimalen Wert des derzeit gewählten Bereiches oder in der Nähe dieser Bereichsgrenzen, stellen Sie einen anderen Bereich des Sensors ein.
- Reinigen Sie die Elektrode nach Beendigung der Prüfung gründlich, um bei der nächsten Verwendung der Elektrode eine Verunreinigung zu vermeiden.

## Kalibrierung

Alle *Smart Q* Sensoren werden kalibriert geliefert. Wenn einer der Standardbereiche gewählt wird, d. h. **100 mS**, **1000 mS**, **10 mS**, **100 mS**, werden die gespeicherten Kalibrierungen dieses Sensors verwendet. Diese Bereiche sind für die meisten Untersuchungen geeignet.

Die Leitfähigkeit wird gemessen, indem eine Spannung an zwei Elektroden (Graphitplatten) angelegt wird, die eine feste Fläche aufweisen und in einem festen Abstand voneinander angeordnet sind. Eine Änderung der Leitfähigkeit der Lösung hat eine Änderung des zwischen den beiden Graphitplatten fließenden Stroms zur Folge.

Jede Leitfähigkeits-Elektrode weist eigene physikalische Kennwerte auf (geringfügige Unterschiede hinsichtlich der genauen Fläche und des Abstandes zwischen den beiden Graphitplatten). Hierdurch wird die Widerstandskapazität (K) definiert (siehe <u>Theorie</u>). Wenn Sie einen Versuch durchführen, der eine sehr genaue Kalibrierung erfordert, haben Sie die Möglichkeit, die Kalibrierung an den K-Wert der Elektrode anzupassen (die **Benutzer**-Kalibrierung).

Der Programmteil **Sensorkonfiguration** der Sensing Science Software ermöglicht dem Benutzer, den Anzeigewert des Sensors an einem Punkt entweder im gewählten Bereich oder in sämtlichen Benutzer-Bereichen anzupassen. Die Genauigkeit der Benutzer-Kalibrierung hängt vom Zustand der Elektrode und von der Genauigkeit der Kalibrierungslösung ab.

Es ist am günstigsten, die Kalibrierung durchzuführen und zu speichern, solange die Elektrode neu und noch nicht verunreinigt ist.

Es wird nur eine Leitfähigkeits-Kalibrierungslösung benötigt, um den K-Wert für die Elektrode zu berechnen. Bei Auswahl einer Standard-Leitfähigkeitslösung wählen Sie diese so, dass sie den erwarteten Probelösungen möglichst nahe kommt.

Eine genaue Kalibrierungslösung ist sehr wichtig. Am besten ist es, zubereitete Lösungen zu verwenden. Auch wenn Rezepturen für die Zubereitung von Kalibrierungslösungen erhältlich sind, ist es äußerst schwierig, eine exakte Lösung herzustellen.

## Die Anwender-Kalibrierung durchführen

- Beachten Sie das Kapitel "Erforderliche Maßnahmen".
- Schließen Sie den Leitfähigkeits-Sensor an den CorEx Logger an und führen Sie den Programmteil **Sensorkonfiguration** der Sensing Science Software aus.
- Wählen Sie den Leitfähigkeits-Sensor aus der Liste aus.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche Bereich einstellen. Wählen Sie den Anwender-Bereich. Dieser

muss für die verwendete Kalibrierungslösung geeignet sein; z. B. für eine Kalibrierungslösung mit 5.000 mS (5 mS) wählen Sie den Anwender-Bereich 10 mS.

- Klicken Sie auf die Schaltfläche Kalibrieren.
- Waschen Sie die Spitze der Elektrode in einer Probe der Leitfähigkeits-Kalibrierungslösung.
- Setzen Sie die Leitfähigkeits-Elektrode in die zu prüfende Lösung ein. Diese muss wenigstens 3 cm tief sein, um sicherzustellen, dass die Zellenkammer vollständig eingetaucht ist.
- Rühren Sie die Lösung behutsam um, um eventuell in der Zellenkammer eingeschlossene Luftbläschen zu entfernen. Warten Sie 10 Sekunden, damit sich die Anzeigewerte stabilisieren können.
- Geben Sie den Wert der Kalibrierungslösung in das Feld Letzter ein und klicken Sie auf Weiter. Der ADC-Wert wird automatisch in das Feld Letzte Werte eingetragen.
- Vom Programm wird der K-Wert f
  ür diese Elektrode berechnet, z. B. K-Wert = 1.0. Dieser Wert kann entweder f
  ür die anderen Anwender-Bereiche übernommen werden (auf Ja klicken) oder nur f
  ür den gewählten Bereich verwendet werden (auf Nein klicken).
- Es erscheint eine Meldung "Der Anwender-Bereich wurde programmiert". Diese Anwender-Kalibrierungswerte werden im Smart Q Sensor gespeichert und bleiben so lange erhalten, bis dieser neu konfiguriert wird.

Calibra	e Sensor			×
Calib	ration Points			
First	0.00	mS	2256	
Last	10.00	mS		
Instru	actions			
Put	the sensor into	the solution	n and press Next.	
			Next	
Curre	nt reading usin	9		
De	fault Calibration	n	0.00	
Cu	rrent User Calib	ration	0.00	
Ra	w ADC		1280	
			Cance	

• Damit die Kalibrierung angewendet wird, trennen Sie den Leitfähigkeits-Sensor vom CorEx Logger und schließen Sie ihn erneut an.

## Praktische Informationen

Die Leitfähigkeits-Elektrode muss sauber und frei von Ablagerungen und sonstigen Rückständen gehalten werden. Dieser Typ von Epoxidzellen-Elektroden weist "reinigungsfreundliche" Graphitplatten auf, die korrosionsbeständig sind und weniger leicht verunreinigt werden.

Bei Verwendung in Lösungen mit einer hohen Ionenkonzentration ist es möglich, dass die Graphitplatten verunreinigt werden. Tauchen Sie den Zellenabschnitt der Elektrode 15 Minuten in Wasser ein, dem ein mildes Waschmittel zugegeben wurde. Tauchen Sie ihn dann weitere 15 Minuten in eine verdünnte Säurelösung ein, wie etwa 0,1 M Salzsäure oder 0,5 M Essigsäure. Spülen Sie anschließend gründlich mit destilliertem Wasser.

Die häufigste Ursache für ungenaue Messungen ist die Verunreinigung von Proben durch andere Proben. Achten Sie darauf, dass Sie keine Tröpfchen aus einer Probe zu einer anderen übertragen. Waschen Sie die Elektrode zwischen Prüflösungen mit destilliertem Wasser und schütteln Sie sie kräftig, um Tröpfchen zu entfernen. Am günstigsten ist es, wenn Sie sie an der Luft trocknen lassen und dann die Zelle in einer Probe der Lösung waschen, die gemessen werden soll.

Stellen Sie sicher, dass die Proben abgedeckt werden, um eine Verdunstung zu vermeiden. Am besten ist es, die Flaschen mit den Proben bis zum Rand zu füllen, um zu verhindern, dass sich Gase wie z. B. Kohlendioxid in der Wasserprobe lösen.

Vermeiden Sie jede Verwendung, die zu einer Beschädigung der Graphitplatten in der Zellenkammer führen könnte. Versuchen Sie nicht, die Zelle innen abzutupfen oder auszuwischen.

Die automatische Temperaturkompensation für diese Elektrode funktioniert im Bereich von 10 °C bis 35 °C; die Elektrode kann jedoch innerhalb eines Temperaturbereichs von 0 bis 80°C in Lösungen eingesetzt werden.

Bei Verwendung in Lösungen mit einem Leitwert von mehr als 20 mS (20.000 mS) kann es zu einer Verringerung der Genauigkeit kommen. Messungen bei mehr als 50 mS liefern nur
Näherungswerte. Wenn Proben verdünnt werden müssen, verwenden Sie dazu frisches entionisiertes Wasser (um die durch eine Änderung der Leitfähigkeit des entionisierten Wassers hervorgerufene Ungenauigkeit zu verringern).

Die Leitfähigkeits-Elektrode misst nicht nur die Leitfähigkeit zwischen den Graphitplatten, sondern auch, wenn auch in geringerem Grade, in dem Bereich zu beiden Seiten der Elektrode. In einem engen Gefäß können die Wände eine Störbeeinflussung dieses Bereiches verursachen. Wird die Elektrode zu nahe an der Oberseite des Flüssigkeitsspiegels oder an anderen Objekten gehalten (z. B. am Boden eines Becherglases), kann dies einen fehlerhaften Anzeigewert zur Folge haben.

Wenn Sensoren vom elektrochemischen Typ (**pH-**, **Sauerstoff-** und **Leitfähigkeits-Sensoren**) zur gleichen Zeit in dieselbe Lösung eingesetzt werden und an denselben CorEx Logger angeschlossen sind, kann es zu einer Störbeeinflussung zwischen ihnen kommen. Dies liegt daran, dass diese Sensoren eine elektrische Verbindung zur Lösung herstellen, wodurch über die Lösung ein Strompfad zwischen den Sensoren vorhanden ist. Bringen Sie die Sensoren so weit wie möglich voneinander entfernt an, um diesen Effekt zu minimieren; der erforderliche Abstand hängt von der Leitfähigkeit der Lösung ab.

Werden die Sensoren in einer Lösung verwendet, die eine relativ hohe Leitfähigkeit besitzt, wie z. B. Meerwasser,

- schließen Sie entweder die Sensoren an verschiedene CorEx Logger an, oder
- lesen Sie unter Verwendung jeweils immer nur eines Sensors Messwerte ab (setzen Sie einen Sensor in die Lösung ein, lesen Sie einen Messwert ab und nehmen Sie den Sensor wieder aus der Lösung heraus. Setzen Sie den nächsten Sensor in die Lösung ein, lesen Sie einen Messwert ab und nehmen Sie den Sensor wieder heraus.)

Der Gesamtgehalt an Feststoffen (TDS) kann in ppm (parts per million), d. h. mg/l, geschätzt werden, indem der Anzeigewert in Mikrosiemens mit 0,67 multipliziert wird. Zum Beispiel 200 mS x 0,67 = 134 ppm.

Setzen Sie die Elektrode nicht ein in:

- dickflüssige organische Flüssigkeiten, wie etwa Schweröle, Glyzerin oder Ethylenglykol,
- Aceton,
- nichtpolare Lösungsmittel, wie etwa Pentan oder Hexan.

#### Theorie

Elektrische Leitfähigkeit ist eine Eigenschaft, die den meisten Stoffen innewohnt. In einem Metall sind Elektronen die Träger des elektrischen Stroms; in Wasser fließt der elektrische Strom mit Hilfe von geladenen Ionen. Die Leitfähigkeit einer Lösung wird durch ihre Fähigkeit bestimmt, einen elektrischen Strom zwischen zwei Elektroden zu leiten. Diese hängt von der Anzahl der Ladungsträger ab, davon, wie schnell sie sich bewegen, und davon, wie viel Ladung jeder von ihnen trägt.

Für die meisten wässerigen Lösungen gilt, dass die Leitfähigkeit um so höher ist, je höher die Konzentration der gelösten Salze ist und je mehr Ionen demzufolge vorhanden sind. Eine geringe Leitfähigkeit weist auf ein Fehlen von Ionen und somit auf die Reinheit des Wassers hin. Die Leitfähigkeit wird gemessen, indem eine Spannung



an zwei Elektroden angelegt wird, die eine feste Fläche aufweisen und in einem festen Abstand voneinander angeordnet sind. Eine Änderung der Leitfähigkeit der Lösung hat eine Änderung des zwischen den beiden Elektroden fließenden Stroms zur Folge. Jede Leitfähigkeits-Elektrode weist eigene physikalische Kennwerte auf. Hierdurch wird die Zellkonstante oder Widerstands-kapazität (K) definiert, welche vom Abstand (d) zwischen den beiden Elektroden und der Größe der Oberfläche der Elektrode (A) abhängt.

Die mitgelieferte Leitfähigkeits-Elektrode hat eine Nenn-Widerstandskapazität (K) von 1,0 cm<sup>-1</sup>. Sie weist einen Bereich von 10 bis 100.000  $\mu$ S auf, wobei der optimale Leitfähigkeitsbereich der zwischen 10 und 20.000  $\mu$ S/cm ist. Bei Werten über 20.000  $\mu$ S/cm (20 mS) nimmt die Genauigkeit ab.

Um eine vollständige Migration der Ionen zu den beiden Elektroden zu verhindern, wird Wechselstrom verwendet. Mit jedem Wechselstromzyklus wird die Polarität der Elektroden umgekehrt, wodurch sich wieder um die Richtung des Ionenflusses umkehrt. Dadurch wird verhindert, dass eine Elektrolyse stattfindet und eine Polarisierung auftritt.

Obwohl das auf gelöste Salze zurückzuführende Vorhandensein von Ionen eine Erhöhung der Leitfähigkeit des Wassers bewirkt, ist diese nicht spezifisch und kann nur dann zur Bestimmung der Konzentration einer Lösung verwendet werden, wenn ein einziges bekanntes Salz vorhanden ist.

Manche Salze ionisieren in Wasser vollständiger als andere, und ihre Lösungen weisen daher eine höhere Leitfähigkeit auf. Jede Säure, jede Base und jedes Salz besitzt eine eigene charakteristische Kurve, welche die Leitfähigkeit als Funktion der Konzentration beschreibt. Der Zusammenhang bleibt bestehen, bis sehr hohe Ionenkonzentrationen erreicht sind.

Probe	Leitfähigkeit [µS/cm]		
Extrem reines Wasser	0,055	<b>↑ ↑</b>	<b>↑ ↑</b>
Destilliertes Wasser	0,5–5	Bereich 1	
Regenwasser	20–100		
Trinkwasser	50–200	Bereich 2	
Leitungswasser	100–1500		
Flusswasser	250-800	Ber	eich 3
Brackwasser	1000–8000		
KCl, 0,01M	1.410		Bereich 4
MgSO <sub>4</sub>	5.810		↓
KCI 0,1M	12.900		
Meerwasser	53.000		
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	82.600		•
KCl, 1,0M	112.000		

Einige typische Leitfähigkeitsbereiche von wässerigen Lösungen sind:

#### Temperaturkompensation

Die Temperatur hat einen starken Einfluss auf die Leitfähigkeit. Die Leitfähigkeits-Elektrode umfasst einen eingebauten Temperatur-Sensor, der verwendet wird, um durch die Temperatur hervorgerufene Änderungen der Leitfähigkeit von Lösungen zu kompensieren.

Die Temperaturkompensation dient dazu, tatsächliche Änderungen der Leitfähigkeit einer Lösung durch die Temperatur zu neutralisieren (ein Anstieg der Temperatur bewirkt, dass die Viskosität des Wassers abnimmt und die Ionen sich schneller bewegen können), nicht jedoch Änderungen in der Elektrode infolge der Temperatur.

Zum Beispiel: Eine 0,01 M KCl-Lösung hat eine Leitfähigkeit von 1413  $\mu$ S bei 25 °C. Ihre Leitfähigkeit ändert sich von 1020  $\mu$ S bei 10 °C auf 1552  $\mu$ S bei 30 °C. Der Smart Q Leitfähigkeits-Sensor zeigt dann bei jeder beliebigen Temperatur im Bereich von 10 bis 35 °C einen Wert von ungefähr 1413  $\mu$ S an.

Dies ermöglicht einen Vergleich der Leitfähigkeit von Lösungsproben, ohne dass sie alle auf genau dieselbe Temperatur gebracht werden müssen.

#### Reinigung, Lagerung und Wartung der Elektrode

Je nachdem, für welche Art von Proben die Elektrode verwendet wird, kann eine regelmäßige Reinigung derselben erforderlich sein, um genaue Messungen sicherzustellen.

- Wasserlösliche Verunreinigungen können durch längeres Eintauchen in destilliertes Wasser entfernt werden.
- Verunreinigungen auf Erdölbasis können entfernt werden, indem die Elektrode 15 Minuten in warmes Wasser getaucht wird, dem ein mildes Waschmittel zugesetzt wurde.
- Ethanol oder Aceton kann zum Reinigen der Elektrode verwendet werden, solange die Waschzeit dieser Lösungsmittel auf maximal 5 Minuten begrenzt ist.
- Ein Kalk- oder Hydroxidüberzug kann entfernt werden, indem die Elektrode 15 Minuten in eine verdünnte Säurelösung eingetaucht wird, wie etwa 0,1 M Salzsäure oder 0,5 M Essigsäure.

Nach der Reinigung gründlich mit destilliertem Wasser spülen, kräftig schütteln und an der Luft trocknen lassen.

Die Elektrode trocken lagern.

#### Untersuchungen

- Elektrolyte und Nichtelektrolyte
- Leitfähigkeit von Salzwasser
- Äquivalenzpunkt
- Stromleitende Lösungen
- Wasserqualität mit Verwendung von Bereich 2 (0–1000 μS) zum Prüfen von Wasserproben. Methode der Datenerfassung: Schnappschuss-Betriebsart.
- Milchqualität
- Diffusionsgeschwindigkeit
- Stärke von schwachen Säuren und Basen
- Bestimmung der Konzentration unbekannter Proben
- Diffusion durch Membranen





### Beeinflusst die Konzentration einer Lösung die Bewegung durch eine Membran?

- 1. Bauen Sie die Vorrichtung wie abgebildet zusammen.
- 2. Öffnen Sie den Programmteil **Grafik**. Wählen Sie den **Erfassungs-Assistent** und als Methode der Datenerfassung **Echtzeit**. Wählen Sie eine Zeitspanne von **10 Minuten**.
- 3. Wählen Sie aus dem Anzeige-Assistent die Überlagerungs-Betriebsart.
- Tauchen Sie die Elektrode in das Wasser ein. Wählen Sie aus dem Menü Werkzeuge die Option Testmodus. Falls der Wert größer ist als die Hälfte des Maximalwertes im Bereich, wechseln Sie den gewählten Bereich des Sensors.
- 5. Schalten Sie den Magnetrührer ein, um eine langsame Bewegung hervorzurufen. Klicken Sie auf **START**, um mit dem Protokollieren zu beginnen; dadurch wird eine Kontrolllinie erzeugt.



6. Füllen Sie den Dialyse-Schlauch mit der 1%-igen Salzlösung. Verschließen Sie das obere Ende dicht. Spülen

Sie den Dialyse-Schlauch unter fließendem Wasser ab, um eventuelle Salzreste zu entfernen. Legen Sie den Schlauch in das Becherglas mit Wasser und **STARTEN** Sie die Protokollierung.

7. Wenn die Protokollierung beendet ist, gießen Sie das verunreinigte entionisierte Wasser weg. Füllen Sie das Becherglas erneut mit frischem entionisiertem Wasser und wiederholen Sie den Versuch unter Verwendung der anderen Prüflösungen.



Lichtschranke – Best.-Nr. 73250

Technische Daten:

Infrarotquelle: Spitze bei 880 nm Ansprechzeit: 5 μs Auflösung: 10 μs

### Einführung

Die Smart Q-Lichtschranke ist ein digitaler Schaltsensor mit zwei Zuständen: "Ein"(low) und "Aus"(high). Ein Infrarotsender- und Empfänger ist für die Impulsübertragung in einer Kunststoffgabel sich gegenüberstehend eingebaut.

Lichtschranken werden einzeln oder paarweise zur Zeit- und Ereignisaufzeichnung verwendet. Ein fester Körper, der den Infrarotsendestrahl zwischen Sender und Empfänger unterbricht, löst im CorEx Logger die Erfassung der abgelaufenen Durchlaufzeit für einzelne oder mehrere Ereignisse aus.

Die Lichtschranke kann auf einer Unterlage aufgestellt oder mit dem beiliegenden Stab (80 x 10 mm mit M6-Gewinde) in drei verschiedenen Positionen an Stativmaterial aufgebaut werden. Dazu wird der Stab in eine der drei Buchsen im Kunststoffkörper der Lichtschranke geschraubt.



### Versuchsbeispiele

- Bewegungsversuche mit Berechnungen von Zeit, Geschwindigkeit und Beschleunigung auf einer Fahrbahn mit und ohne Neigung
- Untersuchung der Fallgeschwindigkeit eines Körpers aufgrund der Erdanziehungskraft
- Pendelversuche
- Periodenzeitmessungen schwingender Körper (Feder)

### Anschluss an den CorEx Logger

Eine Lichtschranke wird an den Eingang A, zwei Lichtschranken an die Eingänge A und B des Loggers angeschlossen. Soll die Lichtschranke nicht zur Zeitmessung sondern als Ereignis-Sensor mit dem Programmteil Grafik verwendet werden, kann sie an jeden anderen freien Eingang des Loggers wie rechts abgebildet angeschlossen werden:



- Ein Ende des im Lieferumfang enthaltenen Sensorkabels wird so in die Eingangsbuchse des CorEx Loggers gesteckt, dass der Pfeil am Stecker nach oben zeigt.
- Das zweite Ende des Kabels wird in gleicher Weise in die Mini-DIN-Buchse der Lichtschranke gesteckt.
- Der CorEx Logger erkennt, dass die Lichtschranke angeschlossen ist und erfasst Signale je nach gewählter Anwendung als Ein/Aus-Impulse oder als Prozentwert

Nach dem Anschluss der Lichtschranke an den CorEx Logger signalisiert eine Kontroll-LED an der Lichtschranke den Messzustand. Die LED leuchtet, wenn der Infrarotstrahl durch ein Objekt unterbrochen ist.



**Hinweis:** Wenn sich der CorEx Logger im Schlafmodus befindet, erhält die Lichtschranke keine Betriebsspannung und die Kontroll-LED leuchtet nicht. Nach dem Drücken der Taste "ENTER" oder "STOP" am CorEx Logger wird dieser Zustand beendet.

### Versuchsdurchführung

Die Lichtschranke wird auf einer Unterlage aufgestellt oder mit dem Haltestab in der gewünschten Position an Stativmaterial so befestigt, dass ein Körper beim passieren der Schrankengabel den Infrarotstrahl unterbricht:



### Zeitmessungen

Die gebräuchlichsten Anwendungen für Lichtschranken sind Zeitmessungen. Sie können mit einer Lichtschranke, die am Eingang A des CorEx Loggers angeschlossen wird oder mit zwei Lichtschranken, die an den Eingängen A und B des Loggers angeschlossen werden, erfolgen. Die Zeitmessung wird gestartet, wenn der Infrarotstrahl der Lichtschranke am Eingang A unterbrochen wird ( $T_0$ , der logische Zustand wechselt von AUS nach AN). Wenn die Unterbrechung beendet wird, wechselt der logische Zustand wieder nach AUS und das gemessene Zeitintervall wird als  $T_1$  gespeichert. Wenn eine weitere Lichtschranke am Eingang B angeschlossen ist, wird die Zeit, in der an dieser der Infrarotstrahl unterbrochen wird, als  $T_2$  und die Wiederfreigabe des Strahls als  $T_3$  gespeichert.



### Parameter

Gewünschte Parameter, die in einer Versuchsreihe untersucht werden sollen, müssen zuvor im Programmteil Timer eingesetzt werden, um später daraus die resultierenden Berechnungen abrufen zu können.

Üblicherweise wird die Lichtschrankenfunktion durch eine Unterbrecher-Karte, die sich auf einem bewegten Objekt (Wagen) befindet, ausgelöst. Die Länge der verwendeten Karte bzw. der Abstand zwischen zwei Lichtschranken (Weg) muss genau ermittelt und die Daten in den Assistenten des Programmteils Timer eingegeben werden. Fehler durch ungenaue Abmessung fallen durchaus stärker ins Gewicht als Zeitmessfehler.



- Eine einfache Unterbrecher-Karte wird verwendet, wenn Zeit und Geschwindigkeit mit einer Lichtschranke am Eingang A bzw. Geschwindigkeit an A und dann an B, Geschwindigkeit an A oder B sowie die Beschleunigung von A nach B mit zwei Lichtschranken gemessen werden.
- Eine doppelte Unterbecher-Karte kann man verwenden, wenn die Beschleunigung mit einer Lichtschranke am Eingang A gemessen werden soll. Die Karte ist so gestaltet, dass zwei Segmente die Lichtschranke unterbrechen. Damit können die Zeitintervalle T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> und T<sub>3</sub> (siehe Abb. vorherige Seite/Mitte) alle mit einer Messung am Eingang A erfasst werden (siehe die folgende Abb.).



• Für die Messung der Geschwindigkeit von A nach B ist der genau ausgemessene Abstand zwischen den beiden Lichtschranken in den Assistenten des Programmteils Timer einzugeben. Als Messpunkte werden die Markierungslinien auf der Mitte der Lichtschrankengabel empfohlen.



#### Ereignismessungen

Wenn die Lichtschranke mit den Programmteilen Grafik oder Messanzeigen verwendet wird, zeigt sie im AUS-Zustand einen Prozentwert von 0-5 % und 100 % wenn der Infrarotstrahl unterbrochen wird.

Die Lichtschranke kann an jeden freien Eingang des CorEx Logger angeschlossen und mit dem Programmteil Grafik zu folgender Messung verwendet werden:

#### Messung der Dauer eines Ereignisses

Bestimmung der Unterbrechungsdauer des Infrarotstrahls durch Berechnung der Geschwindigkeit während eines Versuchsablaufes mit der Intervall-Option.

Geschwindigkeit V =  $\frac{\ell}{t_2 - t_1}$ 

 $\ell$  = Länge der Unterbrecher-Karte

 $t_2 - t_1 = Intervallzeit$ 

#### Markieren eines Ereignisses in einem Diagramm

Ein digitaler Sensor wie die Lichtschranke kann zur Markierung eines Ereignisses in einem Diagramm verwendet werden. Als Beispiel kann die Messung der Wärme gelten, die bei der Neutralisation während einer Reaktion einer Säure mit einer Lauge entsteht. Die Aufzeichnung wird mit der Anfangstemperatur der Lauge gestartet, bevor die Säure zur Lauge gegeben wird. Die Lichtschranke kann nun dazu verwendet werden, den Zeitpunkt zu markieren, an dem die Säure zugegeben wird. Wenn ein Indikator, wie z. B. Phenolphtalein verwendet wird, schaltet die Lichtschranke in dem Moment um, wenn der Farbumschlag der Indikatorlösung von Rot auf farblos wechselt.

#### Starten oder Triggern einer Aufzeichnung

Eine Lichtschranke kann zum Triggern des Starts einer Datenerfassung verwendet werden, wenn in den Modi **Fernerfassung** oder **Schnell** des Programmteils **Grafik** gearbeitet wird. (Der Modus **Schnell** ist nur mit *CorEx Logger* oder *CorEx Link* möglich.)



Wenn als Startbedingung "**digital steigend**" oder "**steigende Flanke**" gewählt wird, wird die Datenerfassung gestartet, wenn der erste Teil eines Objektes den Infrarotstrahl der Lichtschranke unterbricht.





### Praktische Hinweise

• Die Länge eines Objektes (Unterbrecher-Karte), die den Infrarotstrahl passiert bzw. der Abstand zwischen zwei Lichtschranken muss so genau wie möglich abgemessen werden. Eine ungenaue Messung führt zwangsläufig zu einer fehlerhaften Berechnung des Messergebnisses durch die Software. Die manuelle Messung der Versuchsparameter ist der kritischste Punkt in Hinblick auf ein genaues Versuchsergebnis.

**Hinweis:** Es genügt, einen Wert mit einer Dezimalstelle hinter dem Komma zu ermitteln und in den Aufnahme-Assistenten des Programmteils Timer einzugeben. Eine zweistellige Eingabe wird vom Programm automatisch auf eine Stelle nach dem Komma aufgerundet. Zum Beispiel wird ein Wert von 3,36 auf 3,4 aufgerundet. Erscheint das dadurch ausgegebene Ergebnis zu hoch, kann der Wert auf 3,3 reduziert werden.

- Die Segmentlänge einer doppelten Unterbrecher-Karte wird zweimal zur Berechnung der "Beschleunigung an Ausgang A" mit einer Lichtschranke verwendet, so dass sich ein manueller Messfehler bei der Segmentlängen-Abmessung doppelt auswirkt. Wenn zwei Lichtschranken zur Beschleunigungs-Messung verwendet werden ("Beschleunigung von A nach B") wird die Länge der Unterbrecher-Karte nur einmal zur Berechnung der Geschwindigkeit herangezogen, so dass sich die Messgenauigkeit deutlich erhöht.
- Zur Abstandsmessung zwischen zwei Lichtschranken sind zwei Methoden möglich (siehe Abb. oben):

a. Von der mittleren Markierungslinie auf dem Kunststoffgehäuse der einen Lichtschranke zur Markierungslinie der zweiten *oder* 

b. Von der Frontkante der einen Lichtschranke zur Frontkante der anderen.

- Die Verwendung einer langen Unterbrecher-Karte (10 cm) erhöht die Genauigkeit der Messergebnisse.
- Bei der Durchmesser-Messung eines Objektes, dass durch eine Lichtschranke bewegt werden soll, ist der Teil zu berücksichtigen, der tatsächlich den Infrarotstrahl unterbricht.
- Wenn zwei Lichtschranken verwendet werden, ist darauf zu achten, dass sie in einer Linie parallel zueinander aufgebaut werden und beide Rückseiten nach hinten zeigen. Beim Aufbau mit Stativmaterial sollten Doppelmuffen gleicher Bauart verwendet werden, um gleiche Abstände zu gewährleisten.

**Hinweis:** Für einen dauerhaften Aufbau zweier Lichtschranken ist es empfehlenswert, die beiden Lichtschranken mit einem 23 mm breiten Flachstab aus Metall oder Holz and den Gabelinnenseiten zu verbinden (s. Abb. rechts unten). Die Befestigung erfolgt mit M6-Gewindeschrauben, 12 mm lang.





- Das unterbrechende Objekt sollte immer so dicht wie möglich am Infrarotempfänger (schmaler Schlitz auf der Innenseite der Gabel) vorbeigeführt werden. Damit wird die Möglichkeit eines Schattenwurfes durch das Objekt, der die tatsächlichen Abmessungen verfälschen kann, reduziert.
- Das beste Material für Unterbecher-Karten ist aus steifer Pappe oder Kunststoff, schwarz gefärbt mit glatten, parallelen Schnittkanten. Für Fallversuche kann die Unterbrecher-Karte beidseitig an den unteren Ecken mit Kneteplättchen gleicher Masse beschwert werden. Das verlagert den Schwerpunkt der Karte nach unten und stabilisiert den Fall der Karte durch die Lichtschranke. Die Plättchen dürfen nicht über die Kartenkante hinausragen und müssen so austariert sein, dass die Karte beim Fallen nicht ins Trudeln gerät.

Beispiel: Bei Beschwerung mit einer Masse von 20 g werden je 10 g an jeder Seite der Unterbrecher-Karte angebracht (s. Abb. rechts).



- Es ist sicher zu stellen, dass ein Objekt /Unterbrecher-Karte den Infrarotstrahl vollständig unterbricht. Teilstrahlen auf den Empfänger machen das Messergebnis ungültig.
- Ein Teil des Objektes/Unterbrecher-Karte darf den Lichtstrahl nicht schon unterbrechen bevor es freigegeben wurde.
- Die Lichtschranke sollte mit Hilfe des Haltestabes fest an Stativmaterial befestigt sein oder auf einer Unterlage stehen. Das Halten der Lichtschranke von Hand führt zu nicht reproduzierbaren Ergebnissen.
- Bei wiederholten Fallversuchen soll die Unterbrecher-Karte immer so in der gleichen Startposition gehalten werden, dass sie sich in der Mitte am Beginn der Schranke befindet (s. Abb. oben).
- Der Empfänger kann starkes Infrarot-Umgebungslicht oder Wärmestrahlung einer Lichtquelle (Sonnenlicht) empfangen, was zu einer falschen "AUS"-Schaltung führen kann. Für diesen Fall empfiehlt es sich, die Lichtschranke um 180° zu drehen bzw. die fremde Strahlungsquelle auszuschalten:



• Der Infrarot-Sender in der Lichtschranke hat einen relativ hohen Stromverbrauch. Deshalb sollte der CorEx Logger an die Netz-Stromversorgung angeschlossen werden bzw. die Logger Akkus voll geladen sein.



Es stehen zwei Sensoren mit verschiedenen Messbereichen zur Verfügung.

Magnetfeld-Sensor 1 – Best.-Nr. 73170 Bereich 1: ±10 mT radial Bereich 2: ±10 mT axial Auflösung: 0,01 mT

Magnetfeld-Sensor 2 – BestNr. 73172				
Bereich 1:	±100 mT radial			
Bereich 2:	±100 mT axial			
Auflösung:	0,1 mT			

#### Einleitung

Die Smart Q-Magnetfeld-Sensoren arbeiten nach dem Hall-Effekt-Prinzip. Der messempfindliche Bereich besteht aus einem kleinen Stück Halbleitermaterial am Ende des Sensorstabes. Der Halbleiter erhält seine Betriebsspannung aus dem CorEx Logger. Wenn der Sensor in ein Magnetfeld gebracht wird, entsteht eine Potenzialdifferenz im rechten Winkel zum Magnetfeld. Die Größe dieser Potenzialdifferenz (Hall-Spannung genannt) wird als Maß für die Stärke des Magnetfeldes verwendet.

Im Sensor befinden sich zwei Hall-Effekt-Module, die im Winkel von 90° zueinander angeordnet sind. So lassen sich mit dem Sensor Magnetfelder entlang der Achse (axiales Feld) und im rechten Winkel zur Achse (radiales Feld) messen.



#### Anschließen

- Halten Sie den Magnetfeld-Sensor so, dass sich der Aufkleber Smart Q oben befindet.
- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse am Adapter, so dass sich der am Stecker angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse am CorEx Logger an, so dass sich der Markierungspfeil am Stecker oben befindet.



### Einstellen des Bereiches

Die Wahl des gewünschten Messbereiches erfolgt im Programmteil **Sensor-Konfiguration** der Sensing Science Software wie folgt:

- Schließen Sie den Magnetfeld-Sensor and den CorEx Logger an und führen Sie das Programm **Sensor-Konfiguration** aus.
- Wählen Sie die Nummer des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen wurde, aus der Liste aus.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bereich setzen**. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben (radial oder axial).
- Wählen Sie ggf. einen anderen Bereich und klicken Sie auf **OK**.

Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt solange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Die Messbereichswahl kann auch am CorEx Logger vorgenommen werden:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü System, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile Messbereich setzen, ENTER.
- Wählen Sie die Nummer des Eingang, an der Sensor angeschlossen wurde (z. B. Eingang 1), ENTER.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die verfügbaren Bereiche (radial oder axial) anzeigen.
- Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken Sie **ENTER**, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken Sie **Stop**, um zum Hauptmenü zurückzukehren.

### Praktische Informationen



Die zwei Hall-Effekt Messelemente befinden sich direkt hinter den eingespritzten Punkten am Ende des Sensorstabes. Das axial messende Element ist 2,35 mm hinter dem Punkt an der Stirnseite des Sensorstabes angebracht und das radial messende Element 2,85 mm hinter dem Punkt an der Seite des Sensorstabes. Jedes Messelement ist ungefähr so groß wie der Punkt.

- Der Sensor misst nur die Komponente des Magnetfeldes, die im Winkel von 90° zu dem Mess-Punkt auf dem Sensorstab wirkt.
- Die Mittellinien-Markierung auf dem Sensorstab kann als Hilfe zum Auffinden der genauen Position verwendet werden.

Hinweis: Da die gemessenen Werte sehr





<ul> <li>Sensor 1</li> </ul>	Temperatur	
Sensor 2	Kein Sensor	
C Sensor 3	Kein Sensor	
C Sensor 4	Kein Sensor	
C Sensor 5	Kein Sensor	
C Sensor 6	Kein Sensor	
sbereich einrich	Kalibrieren	Version
CorEx Logger Info	mation	CorEx Logge

stark von der Position des Sensors im Magnetfeld und der Ausrichtung des Sensors auf die Richtung des Magnetfeldes abhängen, empfiehlt es sich wie folgt zu verfahren:

- Fixieren Sie die Position der Quelle des Magnetfeldes oder die des Sensors (besser beide).
- Verwenden Sie zur Abstandsmessung nur einen Maßstab aus nicht-metallischem Material.
- Bauen Sie den Sensor an einem nicht-metallischen Stativ so auf, dass der Winkel und die Richtung zum Magnetfeld während der Versuche unverändert fixiert bleibt.

**Hinweis:** ein falscher niedriger Wert kann gemessen werden, wenn die Richtung des Magnetfeldes nicht im Winkel von 90° auf das Sensorelement trifft.

• Wählen Sie eine entsprechend der Richtung des Magnetfeldes bzw. der Position des Sensors günstige Messanordnung.

#### **Beispiel:**

Das axiale Messelement empfiehlt sich, wenn die Richtung des Magnetfeldes parallel zur Achse des Punktes auf der Stirnseite des Sensorstabes verläuft (z. B. in Spulen).



radial gemessen werden soll.

Der Sensor kann mit der Stirnseite zum Magnetfeld eines Permanentmagneten aufgebaut werden, wenn **axial** gemessen werden soll.



 Die Position des Sensor-Punktes auf dem Sensorstab in einem Magnetfeld bestimmt die Polarität des Messwertes. Wird der Sensor-Punkt so in ein von Nord nach Süd verlaufendes Magnetfeld gehalten, dass er der Feldrichtung entgegensteht, ist das Ergebnis positiv. Bei Drehung des Sensor-Punktes um 180° wird ein negatives Ergebnis angezeigt.



Die Richtung des Magnetfeldes weist auf die Rückseite des Sensorstabes (nicht auf den Mess-Punkt). Der Messwert ist negativ.

wegweist.



• Die Messwerte des Sensors können kurz nach dem Einschalten stark schwanken. Die größte Änderung erfolgt innerhalb der ersten Sekunde. Die Abweichung kann bis zu 0,3 mT für den ±10 mT-Sensor und 0,6 mT für den ±100 mT-Sensor betragen. Zwischen der ersten Sekunde und 3 Minuten beträgt der Rückgang des Messwertes bis zu 0,1 mT für den ±10 mT-Sensor und bis zu 0,2 mT für den ±100 mT-Sensor. Es empfiehlt sich deshalb, Messwerte erst ca. 3 Minuten nach Messbeginn als Ergebnis zu werten.

Bereich	Innerhalb der ersten Sekunde	Nach einer Sekunde bis 3 Minuten
±10 mT	≤ 0,3 mT	≤ 0,1 mT
±100 mT	≤ 0,6 mT	≤ 0,2 mT

Mögliche Abweichung der Sensor-Messwerte:

Der Effekt der Einschalt-Abweichung ist jedoch relativ gering, wenn die Werte der ersten Messsekunde nicht berücksichtigt werden. Dies kann jedoch passieren, wenn der CorEx Logger rechnerfern für die Aufzeichnung von Messwerten über eine Stunde oder länger eingestellt ist oder für mehr als 6 Minuten im Modus CorEx log. In diesem Fall geht der Logger zum Sparen von Batterieleistung in den Schlafmodus und nimmt dann Messwerte über den Zeitraum von einer Sekunde auf.

- Die Hall-Spannung und der Innenwiderstand haben niedrige Temperaturkoeffizienten. Der Temperatureinfluss braucht deshalb in der normalen Schulsituation nicht berücksichtigt werden.
- Der Sensor ist nicht geeignet, um sehr kleine Feldstärken wie z. B. den Effekt des Erdmagnetfeldes zu messen.
- Für die Messung von elektromagnetischen Feldern sollte die Gleichspannung geglättet sein, da sonst die Feldwerte mit der verbliebenen Restwelligkeit schwanken.
- In der Umgebung des zu messenden Magnetfeldes sollten sich keine ferro-magnetischen Metallteile befinden. Eisen und Stahl verzerrt das Magnetfeld. Deshalb werden Maßstäbe und Stativmaterial aus nicht-metallischen Stoffen z. B. Holz oder Kunststoff empfohlen.
- Für die Messung von Magnetfeldern an Spulen werden die fachgerecht hergestellten Spulen z. B. eines zerlegbaren Transformators mit aufgedruckten Werten für Strom und Widerstand empfohlen. Bei selbst hergestellten Spulen ist auf Überhitzung zu achten. Spulen sollten nur für den Zeitpunkt der Messung eingeschaltet bleiben. Dafür empfiehlt sich der Einbau eines Schalters in den Versuchsaufbau, der normalerweise geöffnet bleibt. Zur Kontrolle sollte ein Strommesser oder Strom-Sensor in den Versuchsaufbau integriert sein, damit die Stromwerte während der Messung im sicheren Bereich bleiben. Ein zu hoher Strom kann die Spule durch Überhitzung beschädigen und lässt den Widerstand ansteigen.
- Feldstärken, die die Messbereiche der beiden Sensoren übersteigen, können an den Sensoren keinen Schaden herbeiführen.
- Die Sensoren sind nicht wasserfest.

### Einheiten

Die magnetische Feldstärke (auch magnetische Flussdichte genannt) ist ein Maß für die Kraft eines Magnetfeldes, dass von einem elektrischen Strom oder einem Permanentmagneten ausgeht.

#### **SI-Einheiten**

Die Stärke eines Magnetfeldes wird in Tesla (T) ausgedrückt. Ein Feld mit der Stärke 1 Tesla erzeugt in einem Draht von 1 m Länge, der von einem Strom von 1 A durchflossen ist, im rechten Winkel zum Magnetfeld eine Kraft von 1 N.

Tesla ist eine sehr große Einheit. Das Erdmagnetfeld hat z. B. nur ein Stärke von 50 µT. Die Werte, die im Schulbereich zu messen sind, werden in mT (Milli-Tesla) ausgedrückt.

#### **CGS-Einheiten**

Die magnetische Feldstärke (magnetische Flussdichte) wird in Gauss (G) ausgedrückt:

1 G = 1 x 10<sup>-4</sup> T 1 G = 0,1 mT 1 mT = 10,0 G

#### Versuchsvorschläge

- Vergleich der Feldstärke verschiedener Permanentmagneten.
- Untersuchung von Stoffen durch die ein Magnetfeld hindurchgeht.
- Änderung der Feldstärke mit dem Abstand.
- Änderung der Feldstärke zwischen zwei Magneten.
- Direkte Messung des Magnetfeldes eines Permanentmagneten oder einer stromdurchflossenen Spule.
- Untersuchung von Feldlinien in der Umgebung eines Magneten oder einer stromdurchflossenen Spule.
- Abhängigkeit der Feldstärke einer stromdurchflossenen Spule von der Stromstärke.
- Abhängigkeit der Feldstärke einer stromdurchflossenen Spule von der Anzahl der Windungen.
- Magnetfelduntersuchungen an Helmholtz-Spulen.
- Veränderungen des Magnetfeldes einer stromdurchflossenen Spule entlang ihrer Achse.
- Veränderungen des Magnetfeldes bei Wechselstrom.

#### Änderung der magnetischen Feldstärke zwischen zwei Permanentmagneten



- Stellen Sie für den Sensor den Messbereich Radial ein.
- Bauen Sie zwei Permanentmagneten auf einem nicht-metallischen Maßstab (Kunststoff-Lineal) mit ihren Nordpolen zueinander auf. Die Nordpol-Stirnseite von Magnet 1 befindet sich an der 0 mm-Marke des Maßstabes, die Nordpol-Stirnseite von Magnet 2 an der Marke 150 mm.
- Bauen Sie den Magnetfeld-Sensor an einem nicht-metallischen Stativ senkrecht so auf, dass er zwischen den beiden Magneten bewegt werden kann, ohne die Position der Magneten zu verändern. Der Radial-Messpunkt des Sensorstabes muss während des Versuchsablaufes immer auf den Magnet 1 gerichtet sein.
- Bringen Sie den Sensor so auf den ersten Messpunkt (5 mm oder 10 mm), dass sich die Linie auf dem Sensorstab an der Markierung auf der Skala des Maßstabes befindet.
- Öffnen Sie den Programmteil Grafik der Sensing Science Software. Wählen sie den Erfassungs-Assistent und als Verfahren Schnappschuss.
- Klicken Sie auf **Start** und dann klicken Sie in den Grafik-Bereich um den ersten Wert zu erfassen.

**Hinweis:** Wenn z. B. der ± 10 mT-Sensor verwendet wird und der erste gemessene Wert 10 mT beträgt, bewegen Sie den Sensor für den ersten Messpunkt etwas von dem Magneten weg.

Typische Feldstärken von Permanentmagneten:



- Bewegen Sie den Sensor zum nächsten Messpunkt und klicken Sie in den Grafik-Bereich zur Erfassung des zweiten Messwertes. Fahren Sie mit der Sensorbewegung fort, bis der Messpunkt bei 140 mm erreicht ist.
- Sichern Sie die aufgezeichneten Messdaten



Diese Daten wurden mit zwei Alnico-Magneten erfasst, die mit ihren Nordpolen zueinander gerichtet waren.

### Änderung der grafischen Anzeige in Messdaten gegen Abstand

Erzeugen Sie eine Spalte um die Abstandsdaten einzugeben.

- Wählen Sie aus dem Menü Werkzeuge die Option Funktionen-Assistent.
- Wählen Sie als Funktion **a** und setzen Sie **a** = **0**. Geben Sie in das Feld "Name" **Abstand** und als Maßeinheit **mm** ein. Ändern Sie die Skala auf 150 mm. Klicken Sie auf **Übernehmen**.
- Ziehen Sie die linke Rahmenlinie der Maske um die Abstand-Spalte freizustellen.
- Doppelklicken Sie auf jede Zeile und geben Sie die entsprechenden Abstandswerte ein.
- Wählen Sie Anzeige-Assistent aus dem Menü Anzeige. Wählen Sie Sensor als X-Achse.
- Wenn erforderlich, ändern Sie den angezeigten Datenkanal (links von der Achse anklicken) so, dass "Abstand" auf der X-Achse und "Radialfeld" auf der Y-Achse angezeigt werden.

Wiederholen Sie den Versuch mit zwei Magneten bei denen ein Nordpol und Südpol zueinander gewandt sind.



Diese Daten wurden mit zwei Alnico-Magneten erfasst, bei denen einem Nordpol ein Südpol gegenüber stand.

# Änderung des Magnetfeldes einer stromdurchflossenen Spule entlang ihrer Achse



- Stellen Sie für den Sensor den Messbereich Axial ein.
- Bauen Sie die Spule gemäß der Abbildung auf. Der Strom wird erst eingeschaltet, wenn die Messung gestartet wird.

- Öffnen Sie den Programmteil Grafik der Sensing Science Software. Wählen sie den Erfassungs-Assistent und als Verfahren Schnappschuss.
- Notieren Sie den Abstand vom Mittelpunkt der Spule zum Anfangspunkt.

**Hinweis:** Das Gehäuse der Spule kann länger sein als die Drahtwicklungen. Es darf nur die Länge der Drahtwicklungen gemessen werden.

- Bringen Sie das Ende des Magnetfeld-Sensors an den Anfangspunkt.
- Schließen Sie den Strom an die Spule. Ein Strom-Sensor kann zur Kontrolle der konstanten Stromstärke verwendet werden.

**Hinweis:** Stellen Sie sicher, dass sich der Strom während des Experimentes nicht ändert. Dies kann eintreten, wenn die Temperatur der Spule ansteigt.

- Klicken Sie auf **Start** und dann klicken Sie in den **Grafik**-Bereich um den ersten Wert zu erfassen.
- Bewegen Sie den Magnetfeld-Sensor 10 mm auf die Spule zu und klicken Sie in den **Grafik**-Bereich zur Erfassung des Messwertes.
- Wiederholen Sie den Vorgang in 10 mm-Schritten, bis der Sensor nach Durchgang durch die Spule einen gleichen Abstand wie vor der Spule erreicht hat.



Dieses Ergebnis wurde mit einer Spule mit 200 Windungen und einer Gleichspannung von 4,5 V aufgezeichnet.





Wie verhält sich das Magnetfeld einer mit Wechselstrom durchflossenen Spule? (Nur mit *CorEx Logger* oder *CorEx Link* möglich)



- Stellen Sie für den Sensor den Messbereich Axial ein.
- Bauen Sie die Spule gemäß der Abbildung auf. Der Strom wird erst eingeschaltet, wenn die Messung gestartet wird. Stellen Sie den Magnetfeld-Sensor in die Mitte der Spule.
- Schließen Sie den Magnetfeld-Sensor und den Strom-Sensor an den CorEx Logger an.
- Öffnen Sie den Programmteil Grafik der Sensing Science Software. Wählen sie den Erfassungs -Assistent und als Verfahren Echtzeit und Schnell mit 4000 Messwerten und einem Zeitintervall von 100 µs sowie der Startbedingung Keine.
- Schalten Sie den Wechselstrom ein und regeln Sie den Strom auf die gewünschte Stärke.
- Klicken Sie auf Start und die Software wird die Ergebnisse erfassen und anzeigen.
- Wählen Sie aus dem Ausgabe-Menü Zoom oder Sensor-Achsenbegrenzungen oder Auswahl verwenden um die gewünschte Grafikdarstellung zu erhalten.



Diese Ergebnisse wurden mit einer Helmholtz-Spule mit 350 Windungen und dem 10 MT-Sensor aufgezeichnet.

Änderung der grafischen Anzeige in eine X-Y-Darstellung der magnetischen Flussdichte gegenüber dem Strom.

- Wählen Sie aus dem **Ausgabe**-Menü den **Ausgabe-Assistent**. Wählen Sie **Sensor** für die X-Achse.
- Wenn erforderlich wechseln Sie die angezeigten Datenkanäle (durch Klicken links von der Achse) so, dass "Strom" auf der X-Achse und "Axialfeld" auf der Y-Achse ausgegeben wird.



Diese Ergebnisse wurden mit einer Spule mit 600 Windungen von einem zerlegbaren Transformator und dem 100 mT-Sensor aufgezeichnet:





pH-Adapter – Best.-Nr. 73125 Bereich: 0 bis 14 pH Auflösung: 0,1 pH



pH-Elektrode 1 – Best.-Nr. 72251 Allzweck-Elektrode

### Einleitung

Der Smart Q pH-Sensor ist eine Kombination eines pH-Adapters (Best.-Nr. 73125) und einer Elektrode wie etwa der Standardelektrode (Best.-Nr. 72251).

Der Smart Q pH-Adapter ermöglicht es, die pH-Elektrode an den CorEx Logger anzuschließen. Der CorEx Logger erkennt, dass der pH-Adapter angeschlossen ist, und lädt automatisch die gespeicherte Kalibrierung.

#### Technische Daten der Elektrode

pH-Bereich	0,0 bis 14,0 pH
E°	0±25 mV
Rührgeräusch (pH 6,86)	±1000 μV
Steilheit (pH 4,00 bis 6,86)	>96%
Drift (pH 4,00)	±1000 μV
Kalium-Steilheit	>440 mV
Widerstand der Kontaktstelle (Junction)	300 bis 32000 Ohm

### pH-Elektrode 1 RJ-001 – Best.-Nr. 72251

Mit Ag/AgCl-Gelelektrolyt gefüllte Allzweck-Glaselektrode mit einer Kontaktstelle (Single Junction). Kunststoffschaft, nicht nachfüllbar. Betriebstemperatur-Bereich: 0 bis 80° C.





### Aufbewahrungs-Set für Elektroden – Best.-Nr. 91251

Bestehend aus einer 100 ml-Gewindeflasche mit Schraubkappe GL 45 inkl. 5 Dichtungen mit Bohrung sowie 460 ml Aufbewahrungslösung zur sicheren und jederzeit einsatzbereiten Aufbewahrung von Elektroden mit 12 mm-Schaft.



Kalibrierset pH 4,01+7,01 (2x5 Beutel) – Best.-Nr. 91252



### Anschließen

- Halten Sie den pH-Adapter so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger gelieferten Sensorkabels in die Buchse am pH-Adapter, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Sensorkabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers an, so dass sich der Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie die pH-Elektrode an den pH-Adapter an. Richten Sie die Markierungen zueinander aus, stecken Sie den BNC-Stecker der Elektrode ein und drehen Sie ihn, bis er einrastet.

**Hinweis:** Zum Lösen der Verbindung den BNC-Stecker in die entgegengesetzte Richtung drehen und herausziehen.

### Messvorgang

1. Schließen Sie den pH-Sensor an.



- 2. Spülen Sie die Elektrode gründlich mit destilliertem Wasser ab. Hinweis: Zwischen dem Mantel und der Spitze sind möglicherweise Salzablagerungen eingeschlossen.
- 3. Setzen Sie die Elektrode in die Probe ein. Geben Sie der Elektrode ausreichend Zeit zur Stabilisierung und beginnen Sie dann mit dem Ablesen der Messwerte.
- 4. Spülen Sie die Elektrode jeweils zwischen den Messungen entweder mit:
  - einer geeigneten Menge der nächsten Probe oder
  - einer zu messenden Pufferlösung oder
  - mit entionisiertem oder destilliertem Wasser.

### Praktische Hinweise

Sorgen Sie dafür, dass die pH-empfindliche Membran stets **feucht** ist. Damit der Ionenaustauschvorgang ordnungsgemäß abläuft, muss das Glas feucht sein. Prüfen Sie den Füllstand der Aufbewahrungslösung und halten Sie ihn konstant.

Sollte die Elektrode versehentlich trocken werden, stellen Sie sie mehrere Stunden lang in die Aufbewahrungslösung, um das Glas zu konditionieren.

Verwenden Sie stets frisch zubereitete pH-Pufferlösungen. Wenn pH-Pufferlösungen nicht in Gebrauch sind, sind sie in dicht verschlossenen Behältern aufzubewahren.

Es ist darauf zu achten, dass ein Berühren der pH-empfindlichen Glasmembran vermieden wird. Jede Beschädigung der Oberfläche, wie etwa Kratzer, kann Ungenauigkeiten verursachen und zu einer zu langen Ansprechzeit führen.

Die elektrischen Anschlüsse, Kabelendenabschlüsse usw. müssen sauber und trocken gehalten werden. Andernfalls tritt eine Isolationsminderung ein, die zu ungenauen Ergebnissen oder einem vollständigen Ausfall führt.

Pufferlösungen, Proben und Testlösungen müssen bei der Messung des pH-Wertes dieselbe Temperatur aufweisen.

Um ein schnelleres Ansprechen der Elektrode zu erzielen, sorgen Sie für ein mäßiges Umrühren. Wenn andere elektrochemisch arbeitende Sensoren (**Sauerstoff**- und **Leitfähigkeits**-Sensor) gleichzeitig in dieselbe Lösung eingesetzt und an denselben CorEx Logger angeschlossen werden, kann es zu Störbeeinflussungen zwischen ihren jeweiligen Signalen kommen. Bringen Sie die Sensoren so weit wie möglich voneinander entfernt an – der erforderliche Abstand hängt von der Leitfähigkeit der Lösung ab. Falls trotzdem Probleme auftreten, versuchen Sie, die Sensoren an verschiedene CorEx Logger anzuschließen oder unter Verwendung jeweils immer nur eines Sensors Messwerte abzulesen.

pH-Elektroden haben infolge ihrer spezifischen Eigenschaften eine begrenzte Lebensdauer. Wie lange eine pH-Elektrode verwendbar ist, hängt davon ab, wie sie gepflegt wird und in welchen Lösungen sie zur Messung verwendet wird. Die Elektrode altert sogar dann, wenn sie nicht eingesetzt wird.

Der Widerstand von Glaselektroden ist teilweise von der Temperatur abhängig. Je niedriger die Temperatur ist, desto höher ist der Widerstand. Bei einem höheren Widerstand erfordert die Stabilisierung des Messwertes mehr Zeit.

Um die Verwendung des Adapters mit pH-Elektroden zu ermöglichen, die einen BNC-Stecker besitzen, wurde keine automatische Temperaturkompensation eingebaut.

### Folgende Bedingungen sind unbedingt zu vermeiden:

Bewahren Sie die Elektrode **niemals** in **entionisiertem oder destilliertem Wasser** auf, da dies die Migration der Fülllösung von der Elektrode bewirken würde.

Hohe Temperaturen, starke Säuren oder Laugen (mehr als 1,0 M) verkürzen die Lebensdauer der Elektrode. Um eine maximale Lebensdauer der Elektroden zu gewährleisten, vermeiden Sie nach Möglichkeit extreme pH-Werte und Temperaturen.

Die Lebensdauer der pH-Elektroden ist auch von der Temperatur abhängig. Werden die Elektroden bei hohen Temperaturen eingesetzt, verkürzt sich ihre Lebensdauer drastisch. Je höher der Temperaturbereich ist, desto kürzer ist die Lebensdauer der Elektrode; z. B. beträgt die typische Lebensdauer einer bei Umgebungstemperatur verwendeten Elektrode 1–3 Jahre, während sie sich bei einer Verwendung bei 80 °C auf weniger als 4 Monate verkürzt.

Setzen Sie die Elektrode niemals Temperaturen unter –12 °C aus, da sie durch Gefrieren beschädigt wird.

Behandeln Sie die Glaselektroden-Oberflächen mit Vorsicht. Das Glas ist sehr dünn und erfordert einen vorsichtigen Umgang, um eine versehentliche Beschädigung zu vermeiden.

Überzüge auf den Glas- oder Kontaktstellen-Oberflächen, z. B. Proteine, verhindern die ordnungsgemäße Funktion (siehe <u>Wartung</u>). Vermeiden Sie eine häufige oder länger andauernde Verwendung in solchen Lösungen.

### Kalibrierung

Alle Smart Q Sensoren werden kalibriert geliefert. Die für diesen Sensor gespeicherte Kalibrierung wird automatisch geladen, wenn der pH-Sensor angeschlossen ist (**Standard**-Kalibrierung). Bei den meisten Versuchen dürfte es nicht erforderlich sein, eine erneute Kalibrierung durchzuführen.

Wenn Sie einen Versuch durchführen, der eine sehr genaue Kalibrierung erfordert, hat der Benutzer die Möglichkeit, die Kalibrierungskonstanten an die Versuchsbedingungen anzupassen (**Anwender**-Kalibrierung). Der Programmteil **Sensorkonfiguration** der SENSING SCIENCE Software ermöglicht es dem Benutzer, die Anzeigewerte des Sensors entweder in zwei oder in drei Punkten seines Bereiches anzupassen. Unter Verwendung dieser Punkte wird eine Einstellung der Steilheit durchgeführt, welche den gesamten Sensorbereich zwischen diesen Punkten

und jenseits derselben beeinflusst. Die Genauigkeit der Anwender-Kalibrierung hängt von der Anzahl der verwendeten Kalibrierungspunkte und von deren Abstand ab.

Im Idealfall sollten die verwendeten Pufferlösungen den erwarteten pH-Bereich der zu messenden Probe umfassen und deren tatsächlichem pH-Wert möglichst nahe kommen. Die üblichen Gründe für eine Benutzer-Kalibrierung sind:

- Der pH-Sensor weist eine Standardkalibrierung auf, die für einen Betrieb bei einer Temperatur von 25 °C vorgesehen ist. Falls die gemessenen Proben eine niedrigere oder höhere Temperatur besitzen, kann diese Standardkalibrierung mittels der Anwender-Kalibrierung verbessert werden. Zum Einstellen der Werte für die Kalibrierungspunkte werden Pufferlösungen mit bekanntem pH-Wert verwendet. Dabei ist es wesentlich, dass die verwendeten Pufferlösungen dieselbe Temperatur wie die Proben in dem Versuch aufweisen und dass der eingegebene pH-Wert der Wert der Pufferlösung bei dieser Temperatur ist. Zum Beispiel hat eine Pufferlösung mit einem pH-Wert von 7,01 bei 25 °C einen Wert von 7,10 bei 5 °C oder von 6,98 bei 40 °C.
- Wenn eine Elektrode altert, ändert sich der Widerstand ihres Glases. Diese Widerstandsänderung kann das Potenzial der Elektrode verändern und damit eine Anwender-Kalibrierung erforderlich machen.



### Kalibrierung durchführen

- Schließen Sie den pH-Sensor an den CorEx Logger an und und wählen Sie **Sensorkonfiguration (Menü** *Einstellungen*) der CorEx Sensing Science Software.
- Wählen Sie den pH-Sensor aus der Liste aus.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche Sensor kalibrieren.
- Falls nur zwei Proben zum Einstellen der Kalibrationspunkte verfügbar sind, entfernen sie durch Anklicken den Haken im Kästchen Dreipunkt-Kalibrierung verwenden. Es stehen dann nur der erste und der letzte Kalibrationspunkt zur Verfügung.
- Geben Sie die Werte aller Pufferlösungen ein, die verwendet werden sollen und klicken Sie auf Nächste.
- Tauchen Sie den Sensor in die Pufferlösung mit dem niedrigsten Wert ein, z. B. pH 4-Pufferlösung. Wenn sich der angezeigte Messwert stabilisiert hat, klicken Sie auf die Schaltfläche Nächste, und der ADW-Wert wird automatisch in das Feld Erster eingetragen.
- Spülen Sie die Elektrode mit destilliertem Wasser ab und setzen Sie sie in die Pufferlösung mit dem Wert im mittleren Bereich ein, z. B. pH 7-Pufferlösung. Wenn sich der angezeigte Messwert stabilisiert hat, klicken Sie auf die Schaltfläche Nächste, und der ADW-Wert wird automatisch in das Feld Zweiter eingetragen.
- Spülen Sie die Elektrode mit destilliertem Wasser ab und setzen Sie sie in die Pufferlösung mit dem höchsten Wert ein, z. B. pH 10-Pufferlösung. Wenn sich der angezeigte Messwert stabilisiert hat, klicken Sie auf die Schaltfläche Nächste, und der ADW-Wert wird automatisch in das Feld Letzter eingetragen.
- Es erscheint die Meldung **Der Anwender-Bereich wurde programmiert**. Die Anwender-Kalibrierungswerte werden im Smart Q Sensor gespeichert und bleiben erhalten, bis dieser neu konfiguriert wird.
- Wählen Sie als Bereich Anwender-Kalibrierung.

#### 🔽 Dreipunkt Kalibrierung durchführen



### Den Bereich auswählen

- Schließen Sie den pH-Sensor an den CorEx Logger an und und wählen Sie Sensorkonfiguration (Menü Einstellungen) der CorEx Sensing Science Software.
- Wählen Sie den pH-Sensor aus der Liste aus.
- Wählen Sie den erforderlichen Bereich und klicken Sie auf **OK**.
- Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Die Sensor-Konfiguration kann auch mit dem CorEx Logger im Systemverwaltungsmenü erfolgen:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Logger das Menu System, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile Messbereich setzen, ENTER.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der pH-Sensor angeschlossen ist, z. B. Eingang 1, **ENTER**.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die verfügbaren Bereiche anzeigen. Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken Sie **ENTER**, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken Sie STOP, um zum Hauptmenü zurückzukehren.

### Aufbewahrung der Elektrode

Halten Sie während der Lagerung den Füllstand der pH-Elektroden-Aufbewahrungslösung konstant. Sorgen Sie dafür, dass die pH-empfindliche Membran stets feucht ist.

**Hinweis:** Bewahren Sie die Elektrodenspitze niemals in entionisiertem oder destilliertem Wasser auf, da dies die Migration der Fülllösung aus dem Elektrolyt bewirken würde.

*Typ RJ 001:* Bewahren Sie die Elektrode in einer Aufbewahrungslösung auf, die aus pH 4,01 Pufferlösung und 3 mol KCI-Lösung(1:1v/v) besteht.

*Typ CE711:* Bewahren Sie die Elektrode in einer Lösung aus pH 7-Pufferlösung/0,1 mol KCl auf. (Ca. 2 Teelöffel KCl für 100ml pH 7-Pufferlösung).

Typ CE711/LCW (Elektrode mit niedriger Leitfähigkeit): In gesättigter KCI-Lösung aufbewahren.

### Wartung

Auf der Glaskugel kann sich ein Überzug aus einer Verbindung bilden, die eine Affinität für Glas aufweist. Wässern Sie die Elektrode nach jedem Reinigungsvorgang 30 Minuten lang in pH 7-Pufferlösung.

Achtung: Verwenden Sie zur Reinigung keine starken Lösungsmittel wie Halogenkohlenwasserstoffe, Waschbenzin usw.

Allgemeines Reinigungsverfahren	Wässern Sie die Elektrode 30 Minuten lang in 0,1 mol HCL und anschließend 2 Stunden in pH 7-Pufferlösung.
Anorganische Überzüge	In 0,1 mol Terabodium-EDTA-Lösung wässern.
Öl, Schmierfett	Die Elektrode vorsichtig unter warmem Leitungswasser mit Zusatz von Haushalts- Spülmittel waschen. Gründlich mit frischem Leitungswasser abspülen und anschließend mit destilliertem Wasser spülen. Nach diesem Reinigungsvorgang die Elektrode wenigstens 30 Minuten in ph-Elektroden- Aufbewahrungslösung wässern.
Proteine und fetthaltige Stoffe	Entweder die Glaskugel vorsichtig mit einem mit Propanol getränktem Lappen abwischen oder wenigstens 15 Minuten lang in 1% Pepsin in 0,1 mol HCL wässern. Gründlich mit destilliertem Wasser abspülen.
Ablagerungen mit hoher Widerstandsfähigkeit	Mit H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> oder Natriumhyperchlorit reinigen.
Bakterienkulturen	Ethylenoxid chemisch sterilisieren; einen Lappen damit tränken, um das gesamte Gehäuse abzuwischen.

Die Elektrode besitzt unmittelbar über der Spitze eine Flüssigkeits-Kontaktstelle (Junction), die es dem Referenzelektrolyten ermöglicht, mit der zu messenden Lösung in Kontakt zu kommen. Diese muss ein sauberes, weißes Aussehen haben. Um die Kontaktstelle von Verstopfungen zu befreien oder zu reinigen, wärmen Sie die Elektrodenspitze 15 Minuten lang in 0,1 mol KCl bei 60 °C (Kalomel Typ 50 °C) und wässern Sie sie 2 Stunden in pH 7-Pufferlösung.

### Anleitung zum Auswechseln des Referenzstiftes (nur für Benutzer von RJ-001)

Falls die Elektrode RJ-001 auf eine Reinigung nicht mehr reagiert und die Ansprechzeit der Elektrode sich verlängert oder eine Drift auftritt, können die Referenzstifte ausgewechselt werden.

- Schneiden Sie mit einer sauberen Schere oder einem Handwerkermesser von dem mit der Elektrode mitgelieferten Reserve-Referenzstiftmaterial zwei 12 mm lange Stücke ab.
- Schrauben Sie das mit einem Gewinde versehene Schutzelement ab, welches die Glaskugel schützt.
- Halten Sie die Elektrode und stellen Sie fest, wo sich die zwei beiderseits der pH-Kugel angeordneten Referenzstifte befinden.
- Schieben Sie mit Hilfe des mitgelieferten Zahnstochers (oder eines ähnlichen Werkzeugs) die beiden Referenzstifte teilweise aus der Referenzbaugruppe heraus und in den Referenzbehälter hinein.



- Führen Sie mittels einer sauberen Pinzette die neuen Referenzstifte in die Bohrungen der Referenzbaugruppe ein. Die alten Referenzstifte werden dabei aus der Referenzbaugruppe hinausgedrückt und verbleiben dann im Referenzbehälter. Das ist normal und beeinträchtigt die Leistungsfähigkeit der Elektrode nicht.
- Stellen Sie sicher, dass die neuen Referenzstifte ca. 3 mm aus der Oberfläche der Referenzbaugruppe herausragen. Wenn die Stifte zu weit aus der Referenzbaugruppe herausragen, kann die ordnungsgemäße Funktion der Elektrode beeinträchtigt werden.
- Bringen Sie das mit einem Gewinde versehene Schutzelement wieder am Ende der Elektrode an.
- Spülen Sie die Elektrode mit destilliertem Wasser ab. Sie ist nun einsatzbereit.



#### Hinweise:

- Bereiten Sie die neuen Referenzstifte vor und legen Sie sie bereit, bevor Sie beginnen.
- Verwenden Sie saubere Werkzeuge, die gründlich mit destilliertem Wasser gewaschen wurden.
- Flache Zahnstocher sind besser geeignet als runde.
- Gehen Sie beim Einbauen der neuen Referenzstifte sehr vorsichtig vor. Die pH-Kugel besteht aus dünnem Glas und kann leicht zerkratzt oder beschädigt werden. Zerbrochene Glaskugeln fallen nicht unter die Garantie.
- Verhindern Sie, dass KCI-Gel aus dem Elektrodenbehälter ausläuft.
- Die Stifte verbleiben im Referenzbehälter. Das ist normal. Versuchen Sie nicht, sie zu entfernen; dies beeinträchtigt die Leistungsfähigkeit der Elektrode nicht.
- Die Allzweck-Elektroden (Best.-Nr. 72251) Typ CE 711 oder RJ-001 sind nicht nachfüllbar.

### Theorie der pH-Messung

pH ist eine Maßeinheit, welche den Säuregrad oder den Laugengrad einer Lösung beschreibt, und wird gewöhnlich geschrieben als:

 $pH = -log [H^+]$ 

Hierbei ist p das mathematische Symbol des negativen Logarithmus, und [H<sup>+</sup>] ist die Konzentration der Wasserstoffionen. Wasser (H<sub>2</sub>O) dissoziiert in einer wässrigen Lösung in Wasserstoffionen (H<sup>+</sup>) und Hydroxidionen (OH<sup>-</sup>).

pH nimmt im allgemeinen Werte zwischen 0 und 14 an. Ein pH-Wert von 7 wird als neutral bezeichnet und entspricht dem Punkt, bei dem sich die Wirkungen von Wasserstoff und Hydroxid in der Lösung die Waage halten. Wenn der pH-Wert kleiner als 7 ist, ist die Aktivität des Wasserstoffions größer als die des Hydroxidions, und die Lösung wird als acidisch (sauer) bezeichnet. Umgekehrt, wenn die Aktivität des Hydroxidions zunimmt, wird die Lösung alkalisch (oder basisch), und der pH-Wert ist größer als 7.

Die pH-Elektrode ist in Wirklichkeit eine Kombination aus zwei Halbzellen (Elektroden) in einem einzigen Gehäuse:

- der inneren pH-Halbzelle, der Messelektrode, deren Spannung sich proportional zur Wasserstoffaktivität der Lösung ändert, und einer
- Referenzzelle, der Referenzelektrode, die eine stabile und konstante Referenzspannung liefert und den Stromkreis vervollständigt.

Die pH-Halbzelle besteht aus einer dünnen Membran aus gegenüber Wasserstoffionen empfindlichem Glas, die am Ende eines Glasrohres von hoher Festigkeit geblasen ist. Dieses Rohr ist mit einem Elektrolyt gefüllt, und das Signal wird über einen Ag/AgCl-Draht übertragen.

Die Referenzzelle verwendet ein ähnliches System, wobei jedoch kein wasserstoffempfindliches Glas verwendet wird. Sie ist konzentrisch zwischen dem äußeren Gehäuse der Elektrode und der Glashalbzelle angeordnet. Sie besteht aus einem Referenzelement (Silber/Silberchlorid) und einer Elektrolytlösung, die durch eine poröse Flüssigkeits-Kontaktstelle (ein kleines Filter) hindurchsickert, um die erforderliche elektrische Verbindung mit der Probe (der äußeren Flüssigkeit) herzustellen.

Der Adapter misst die Differenz zwischen der pH-Halbzelle und der Referenzzelle in Millivolt DC. Dieser Millivolt-Messwert wird in pH-Einheiten angezeigt.

Das Elektrodensignal ändert sich mit dem pH-Wert gemäß der Nernst'schen Gleichung:  $E = E^{o} + S \times \log [H^{+}]$  Wobei:

E = gemessenes Elektrodenpotential

E<sup>o</sup> = Standardpotential des Systems (konstant)

Der Steilheitsfaktor (S) ist der Nernst'sche Faktor und ist eine Kenngröße der Glasmembran, welche beträgt:

N<sub>f</sub> = 2,3 RT / nF

R = Gasgesetz-Konstante (8,314 J/K Mol)

T = absolute Temperatur in °K (°C – 273)

 $F = Faraday'sche Zahl (9,648 \times 10^4)$ 

n = Valenzfaktor (n = 1 im Falle von Wasserstoff)

Bei 25 °C beträgt die theoretische Steilheit 2,3 x 8,314 x K / 96,486 = 59 mV pro pH-Einheit.

Die Temperatur kann den pH-Wert auf dreierlei Weise beeinflussen:

Wobei:

1. Der pH-Wert der Probe kann sich ändern, da die Aktivität der Wasserstoffionen in der Lösung temperaturabhängig ist. Dieser Faktor wird gewöhnlich ignoriert, da eine genaue pH-Messung bei der betreffenden Temperatur gefordert wird.

- 2. Die Temperatur beeinflusst die Impedanz der Glasmembran.
- 3. Durch Änderungen der Temperatur einer Lösung ändert sich der Millivolt-Ausgang der Elektrode entsprechend der Nernst'schen Gleichung. Ob eine Temperaturkompensation erforderlich ist oder nicht, ist vom geforderten Genauigkeitsgrad abhängig.

°C	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	-0,15	-0,12	-0,09	-0,06	-0,03	0	+0,03	+0,06	+0,09	+0,12	+0,15
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	+0,15	+0,12	+0,09	+0,06	+0,03	0	-0,03	-0,06	-0,09	-0,12	-0,15
45	+0,30	+0,24	+0,18	+0,12	+0,06	0	-0,06	-0,12	-0,18	-0,24	-0,30
55	+0,45	+0,36	+0,27	+0,18	+0,09	0	-0,09	-0,18	-0,27	-0,36	-0,45

#### pH-Fehlertabelle

### Fehlersuche

Bei stark voneinander abweichenden Messwerten: Prüfen Sie, ob in der Elektrodenspitze Luftbläschen vorhanden sind.

Ansprechzeit und Stabilität werden durch den Zustand der Glasmembran, der Referenz-Kontaktstelle und der Referenzlösung der Elektrode beeinflusst. Eine Rückkehr zu annehmbaren Werten lässt sich oft durch Reinigung der Glasoberfläche der Elektrode erreichen.

Eine sehr träge Reaktion, unregelmäßige Messwerte oder ein Messwert, der sich nicht ändert, können auf einen Ausfall der Elektrode hinweisen.

Wenn andere elektrochemisch arbeitende Sensoren (**Sauerstoff**- und **Leitfähigkeits**-Sensor) gleichzeitig in dieselbe Lösung eingesetzt und an denselben CorEx Logger angeschlossen werden, kann es zu Störbeeinflussungen zwischen ihren jeweiligen Signalen kommen. Bringen Sie die Sensoren so weit wie möglich voneinander entfernt an – der erforderliche Abstand hängt von der Leitfähigkeit der Lösung ab. Falls trotzdem Probleme auftreten, versuchen Sie, die Sensoren an verschiedene CorEx Logger anzuschließen oder unter Verwendung jeweils immer nur eines Sensors Messwerte abzulesen.

### Messbeispiele

- Säuren-Basen-Titration
- Überwachung der Photosynthese
- Atmung
- Fermentation
- Aktivität eines Enzyms
- Untersuchung von Haushalts-Säuren und -Basen
- Überwachung der pH-Änderung während einer chemischen Reaktion

#### Verwendung der Elektrode für niedrige Leitfähigkeit:

- Untersuchung von saurem Regen und Pufferung
- Wasserqualität in Flüssen und Seen



### Neutralisation einer starken Lauge (Natriumhydroxid) durch eine starke Säure (Salzsäure).

Bei diesem Versuch wird der pH-Sensor verwendet, um den pH-Wert zu überwachen, wenn 0,1 M Salzsäure in ein Becherglas gegeben werden, welches 25 cm<sup>3</sup> 0,1 M Natriumhydroxid enthält.

Natriumhydroxid 0,5 bis 2 % (Lösungen 0,05 M bis 0,5 M) Xi; R36/38 Tragen Sie Kunststoff-Handschuhe und Augenschutz. Natriumhydroxidlösung ist gefährlich für die Augen.

Natriumhydroxidlösung ist gefährlich für die Augen. Erste-Hilfe-Maßnahmen s. Gefahrenhinweisblätter.



- 1. Bauen Sie den Versuch wie in der Abbildung dargestellt auf.
- 2. Füllen Sie die Bürette vorsichtig mit 25 cm<sup>3</sup> 0,1 M Salzsäure.
- 3. Geben Sie 25 cm<sup>3</sup> 0,1 M Natriumhydroxid in das Becherglas und stellen Sie sicher, dass das Ende der pH-Sonde bedeckt ist. Schalten Sie den Magnetrührer ein.
- 4. Öffnen Sie den Programmteil **Grafik** der SENSING SCIENCE Software. Wählen Sie die Schaltfläche **Erfassungs-Assistent** und als Verfahren der Datenerfassung **Schnappschussmodus**.
- 5. Wählen Sie aus dem Menü Werkzeuge die Option Funktionen-Assistent. Wählen Sie für die Funktion "a". Setzen Sie a = 0. Geben Sie als Name "Säure zugegeben" und als Maßeinheit cm<sup>3</sup> ein. Ändern Sie den maximalen Maßstab in 25. Klicken Sie auf Übernehmen.
- 6. Wählen Sie aus dem Menü **Ausgabe** die Option **Ausgabe**-**Assistent**. Wählen Sie als Anzeigentyp **Punkte zeichnen**, wählen Sie für die X-Achse **Sensor. Beenden**.

7. Falls erforderlich, ändern Sie den angezeigten Datenkanal (klicken Sie links neben die Achse), so dass sich "Säure zugegeben" auf der X-Achse und "pH-Sensor" auf der Y-Achse befindet.

- 8. Klicken Sie auf **START**, um mit dem Protokollieren zu beginnen. Klicken Sie in den Bereich der grafischen Darstellung, um den pH-Wert ohne zugegebene Säure aufzuzeichnen.
- Drehen Sie den Hahn an der Bürette auf, um eine abgemessene Menge Säure zuzugeben, z. B. 2 cm<sup>3</sup>. Klicken Sie in den Bereich der grafischen Darstellung, um den pH-Wert aufzuzeichnen. Doppelklicken Sie in das Feld der Bemerkung-Spalte "Säure zugegeben" und setzen den Wert, z. B. 2.0 ein.



Wiederholen Sie die obigen Schritte, bis der pH-Wert fällt und sich einem konstanten Wert nähert. Die Menge der zugegebenen Säure kann nach Bedarf variiert werden.

Function		
Function a		
x= time (s)	🔻 a= 0	
y= time (s)	💌 b= 1	
	c= 0	
Number of decim	al places to be shown:	2
так 25.0	name Acid added	
min 0.0	unit cm3	
ОК	Apply	Cancel

#### Säure-Lauge-Indikator

- 1. Kochen Sie die Blätter eines Rotkohls, bis sich das Wasser dunkelblau bis purpurrot färbt. Lassen Sie es abkühlen.
- 2. Geben Sie etwas von dieser Lösung in ein Becherglas mit einem pH-Sensor.
- 3. Wählen Sie die Anwendung **Grafik** und eine Zeitspanne von 2 Minuten.
- 4. Beginnen Sie mit dem Protokollieren und geben Sie mit einer Pipette ständig Tropfen eines verdünnten Alkalis zu der Lösung zu. Achten Sie auf eventuell auftretende Farbänderungen.
- 5. Wählen Sie Überlagerungen.
- 6. Beginnen Sie mit dem Protokollieren und geben Sie ständig Tropfen einer schwachen Säure zu.



### Pufferlösungen

Pufferlösungen sind Lösungen, die konstante pH-Werte aufweisen und die Fähigkeit besitzen, Änderungen dieses pH-Wertes zu widerstehen.

#### Herstellung eigener Lösungen:

- pH 4,0 Geben Sie 2,0 ml 0,1 M HCl zu 1000 ml 0,1 M Kaliumhydrogenphthalat zu.
- pH 7,0 Geben Sie 582 ml 0,1 M NaOH zu 1000 ml 0,1 M Kaliumdihydrogenphosphat zu.
- pH 10,0 Geben Sie 214 ml 0,1 M NaOH zu 1000 ml 0,05 M Natriumbikarbonat zu.

### Sauerstoff-Adapter und -Elektrode



Sauerstoff-Adapter Best.-Nr. 73130

Sauerstoff-Elektrode Best.-Nr. 73131



#### Einleitung

Mit dem *Smart Q* Sauerstoffadapter wird eine Sauerstoffelektrode an den CorEx Logger angeschlossen. Der CorEx Logger erkennt den angeschlossenen Sauerstoffadapter sowie den eingestellten Messbereich % O<sub>2</sub>-Sättigung in Wasser oder % O<sub>2</sub> der Luft.

#### Technische Daten der Elektrode:

Kathode	Gold
Anode	Silber
Polarisationsspannung	800 mV
Ausgang	1A Nennstrom in luftgesättigtem Wasser
Temperaturbereich	5 bis 45 °C
Temperaturkoeffizient	1,5%/°C (Membran)
Polarisationsspannung Ausgang Temperaturbereich Temperaturkoeffizient	800 mV 1A Nennstrom in luftgesättigtem Wass 5 bis 45 °C 1,5%/°C (Membran)

#### Vorbereitung der Sauerstoff-Elektrode

Das Ziel bei der Vorbereitung der Elektrode besteht darin, eine dünne Schicht Elektrolyt unter der Membran zu erhalten, welche die Anode und Kathode bedeckt, ohne Luft in der Zelle einzuschließen.

- Stellen Sie die Membrankappe mit der Membran nach unten auf eine saubere Fläche.
- Füllen Sie die Kappe zur Hälfte mit dem mitgelieferten Elektrolyt. Klopfen Sie leicht gegen die Kappe, um eventuell vorhandene Luftbläschen aus dem Elektrolyt zu entfernen.

**Hinweis:** Es ist wichtig, eingeschlossene Luftbläschen zu entfernen, weil sie der Kathode Sauerstoff zuführen und dadurch bewirken würden, dass ein zusätzlicher Signalstrom fließt, unabhängig von der Sauerstoffkonzentration in der Probe.

• Halten Sie den Elektrodenschaft senkrecht (so dass sich das Kabel oben befindet) und schrauben Sie die Membrankappe auf. Eine Seite des Gewindes ist flach, wodurch eventuell vorhandener überschüssiger Elektrolyt entweichen kann. Lösen Sie die Kappe ein wenig, um eventuellen Druck abzubauen, und schrauben Sie sie dann vorsichtig auf, bis sie gerade fest sitzt.

# Sauerstoff-Adapter und -Elektrode

**Hinweis:** Ziehen Sie die Kappe nicht zu fest an – die Membran darf nicht unter Druck stehen, so dass sie sich von der Kathodenspitze weg wölbt, da sie dann dünn und überempfindlich wird.



#### Anschließen



- Halten Sie das Sauerstoff-Adapter-Gehäuse so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger gelieferten Sensorkabels in die Buchse am Adapter, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Sensorkabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers an, so dass sich der Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie die Sauerstoff-Elektrode an den Sauerstoff-Adapter an.
- Der CorEx Logger erkennt, dass der Sauerstoff-Adapter angeschlossen ist.
- Lassen Sie den Adapter und die Elektrode 20 Minuten lang am CorEx Logger angeschlossen, um die Elektrode vor der Verwendung zu polarisieren.
- Wählen Sie, wie weiter unten ausführlich beschrieben, den erforderlichen Bereich und kalibrieren Sie dann den Sensor.

**Hinweis:** Die Elektrode muss polarisiert werden, um eventuellen Restsauerstoff zu beseitigen, der in der Membrankappe vorhanden sein kann – der Anzeigewert ist zunächst hoch und fällt dann allmählich auf ein stabiles Niveau ab.

# Sauerstoff-Adapter und -Elektrode

Die zusammengebaute Elektrode muss an den CorEx Logger angeschlossen bleiben, damit sie polarisiert bleibt. Wurde die Verbindung gelöst, kann es erforderlich sein, sie vor der Verwendung nochmals für **10 Minuten** anzuschließen.

### Einstellen des Bereiches

Der gewünschte Messbereich kann mit Hilfe des Programmteils Sensor-Konfiguration der Sensing Science Software wie folgt eingestellt werden:

- Schließen Sie den Sauerstoff-Sensor an den CorEx Logger an und führen Sie das Programm **Sensor-Konfiguration** aus.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen ist, aus der Liste aus.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bereich setzen**. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben.
- Wählen Sie den erforderlichen Bereich und klicken Sie auf **OK**.

Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Set Sensor Range X Sensor 1 Click on the desired range Oxygen Sensor Oxygen 0-25%02 Oxygen 0-125%Sat

Der gewünschte Messbereich kann auch direkt am CorEx Logger eingestellt werden:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü System, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile Messbereich setzen, ENTER.
- Wählen Sie die Nummer des Eingangs, an den der Sauerstoff-Sensor angeschlossen ist, z. B. Eingang 1, **ENTER**.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die verfügbaren Bereiche anzeigen, d. h. 0 bis 25 % O<sub>2</sub> oder 0 bis 125 Sat (Sättigung). Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken Sie ENTER, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken Sie STOP, um zum Hauptmenü zurückzukehren.

### Kalibrierung

Die verfügbaren Bereiche sind: 0 bis 25 % Sauerstoffgas (% O<sub>2</sub>) und 0 bis 125 % Gelöster Sauerstoff (DO<sub>2</sub>)

#### Vorgehensweise beim Kalibrieren:

SCHRITT 1. Lassen Sie den Wert des Stroms vom Sauerstoff-Sensor anzeigen.

- Dieser Wert kann mittels der Funktion **Testmodus** aus dem Menü **Werkzeuge** im Programmteil **Grafik** der Sensing Science Software angezeigt werden.
- Der Wert kann auch direkt am CorEx Logger durch Drücken der Taste METER angezeigt werden.

SCHRITT 2. Kalibrierung für die Messung von:

#### Sauerstoff in Gas oder Luft

Der Messbereich 0 bis 25%  $O_2$  muss zuvor im Programm Sensor-Konfiguration gewählt sein. Lassen Sie die Elektrode an der Luft und drehen Sie den Drehknopf am Sauerstoff-Adapter, bis ein Wert von **20,9%** angezeigt wird.
# Sauerstoff-Adapter und -Elektrode

#### Sauerstoffsättigung in wässrigen Lösungen

Der Messbereich 0 bis 125%  $O_2$  muss zuvor im Programm Sensor-Konfiguration gewählt sein. Halten Sie die Elektrode senkrecht 1 cm über eine Probe von gerührtem destilliertem Wasser, so dass die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Drehen Sie den Drehknopf am Sauerstoffadapter, bis ein Wert von **100%** Sat angezeigt wird.

### Theorie

Die Sauerstoffmenge, die ein gegebenes Wasservolumen enthalten kann, ist abhängig von:

- 1. Der Temperatur des Wassers.
- 2. Dem atmosphärischen Druck.

3. Der Menge an anderen Substanzen, die im Wasser gelöst sind.

Die Sauerstoffdurchlässigkeit der Membran ist temperaturabhängig. Diese Änderung der Durchlässigkeit wird im gesamten Betriebsbereich von 5 bis 45 °C automatisch durch den Temperaturkompensations-Thermistor kompensiert.

Für den Einfluss des atmosphärischen Druckes ist keine Kompensation vorgesehen. Die Kalibrierung sollte daher bei dem Druck durchgeführt werden, bei dem die Messungen vorgenommen werden sollen.

### **Gelöster Sauerstoff:**

Gelöster Sauerstoff (Dissolved oxygen, DO) ist der Begriff, der auf dem Gebiet der Flüssigkeitsanalyse gewöhnlich für die Messung der Sauerstoffmenge verwendet wird, die in einer Volumeneinheit Wasser gelöst ist.



Eine Wassermenge, die sich in Kontakt mit Luft befindet, absorbiert so lange Luft und damit Sauerstoff, bis der Druck, den der absorbierte Sauerstoff an der Grenzfläche Luft-Wasser ausübt, gleich dem Druck ist, der an derselben Grenzfläche vom Luftsauerstoff ausgeübt wird. In diesem Falle sagt man, dass das Wasser mit Sauerstoff gesättigt ist. Die tatsächlich absorbierte Sauerstoffmenge ist recht gering (etwa fünf bis zehn Teile Sauerstoff auf eine Million Teile Wasser). Wenn ein Stoff wie etwa Salz im Wasser gelöst wird, nimmt das gelöste Salz einen Teil des "Raumes" ein, der von den Sauerstoffmolekülen genutzt wird, und die Sauerstoffmenge, welche das Wasser halten kann, verringert sich.

Die eingesetzte Elektrode misst den Partialdruck des in Lösung befindlichen Sauerstoffs und nicht die Konzentration. Die Konzentration von in Lösung befindlichem Sauerstoff (in mg/l oder in ppm [Parts per Million]) kann daraus nicht leicht abgeleitet werden, da gelöste Salze die Sauerstoffkonzentration verringern, ohne den Partialdruck des Sauerstoffs in der Lösung zu ändern. Hinzu kommt, dass die Löslichkeit von Sauerstoff temperaturabhängig ist und mittels eines Löslichkeitskoeffizienten ausgedrückt wird.

**Beispiel:** Wenn Proben von destilliertem Wasser und Seewasser bei 20 °C und einem Druck von 1 bar mit Luft gesättigt sind, betragen die zugehörigen Konzentrationen von gelöstem Sauerstoff 9,1 bzw. 7,4 mg/l, obwohl die Partialdrücke und demzufolge die Sensorergebnisse in beiden Fällen dieselben sind.

# Praktische Informationen

- Berühren Sie die Membran nicht und sorgen Sie dafür, dass sie den Boden des Behälters nicht berührt.
- Versuchen Sie, die Elektrode während der Verwendung senkrecht zu halten.
- Wenn die Membrankappe nass ist, schütteln Sie sie vorsichtig, um Flüssigkeitsreste zu entfernen. Verwenden Sie keinen Lappen zum Trocknen.
- Durch die elektrochemische Reaktion im Sensor wird der Sauerstoff aus der dünnen Schicht Wasser entfernt, die sich im Kontakt mit der Membran befindet, so dass es erforderlich ist, diese Schicht zu erneuern, etwa indem der Sensor durch das Wasser bewegt wird, oder durch natürliche Wasserströmung, oder mittels eines geeigneten Rührers. Diese Strömung muss erzeugt werden, ohne dass Luftbläschen eingeschlossen werden.
- Stellen Sie beim Messen von DO<sub>2</sub> Sat sicher, dass sich der Flüssigkeitspegel über der silbernen Scheibe (Thermistor) befindet. Diese befindet sich etwa 35 mm vom Ende der Elektrode entfernt.
- Wenn eine Elektrode in eine Lösung eingesetzt wird, warten Sie, bis sie sich stabilisiert hat, bevor Sie mit der Aufzeichnung von Messwerten beginnen.
- Wenn Sie pH-, Sauerstoff- und Leitfähigkeits-Sensoren (elektrochemische Type) zur gleichen Zeit in dieselbe Lösung einsetzen und diese an denselben CorEx Logger angeschlossen sind, kann es zu Störbeeinflussungen zwischen ihren jeweiligen Signalen kommen. Bringen Sie die Sensoren so weit wie möglich voneinander entfernt an der erforderliche Abstand hängt von der Leitfähigkeit der Lösung ab. Falls trotzdem Probleme auftreten, versuchen Sie, die Sensoren an verschiedene CorEx Logger anzuschließen oder unter Verwendung jeweils immer nur eines Sensors Messwerte abzulesen.
- Die gasdurchlässige Membran isoliert die Sensorelemente von der zu prüfenden Lösung, ermöglicht jedoch den Eintritt von Sauerstoff. Dieser Transport kann zur Folge haben, dass sich die Anzeigewerte nach 4 bis 5 Stunden zu verschieben beginnen. Führen Sie nach Möglichkeit alle zwei Stunden eine erneute Kalibrierung durch.
- Auch wenn der Elektrodenteil des Sensors wasserdicht ist, sind seine Verschlussschraube und der *Smart Q* Sauerstoff-Adapter **nicht** wasserdicht.
- Die gasdurchlässige Membran kann durch Druck verformt werden, wenn die Elektrode zu tief eingetaucht wird, wodurch die Ergebnisse unzuverlässig werden.

# Aufbewahrung

Nach der Verwendung muss die Membran abgeschraubt und die ganze Kappe gewaschen und trocken aufbewahrt werden.

Falls die Elektrode innerhalb eines Tages erneut verwendet werden soll, ist es möglich, die Elektrode (noch zusammengebaut) mit von destilliertem Wasser bedeckter Membran aufzubewahren.

# **Reinigung und Wartung**

Achten Sie darauf, dass die Membran beim Zusammenbau der Elektrode nicht übermäßig gedehnt wird, da sie dann dünner und überempfindlich wird. Eine Membran, die auf diese Weise beschädigt wurde, hat ein undurchsichtiges, weißes Aussehen.

Nach langer Benutzung kann die Elektrode infolge der Verunreinigung der Oberfläche der Goldkathode träge und fehlerhaft werden. Wenn dies geschieht, polieren Sie die Spitze der Elektrode mit dem mitgelieferten feinen Polierpapier. Legen Sie dazu das Polierpapier auf eine

# Sauerstoff-Adapter und -Elektrode

glatte, flache Fläche, halten Sie die Elektrode auf dieser senkrecht und polieren Sie sie sanft mit einer kreisenden Bewegung. Polieren Sie nur so viel, wie erforderlich ist, um wieder eine helle, saubere Oberfläche herzustellen.

Ablagerungen auf der Silberanode können mit einer in Ammoniaklösung eingetauchten Zahnbürste beseitigt werden. Der Kathoden- und Anodenbereich sollten nach allen Wartungsarbeiten gründlich mit destilliertem Wasser gewaschen werden.

# Funktionsprinzipien

Die Sauerstoff-Elektrode (Best.-Nr. 73131) ist ein Clark-Normalelement. Die Anode und die Kathode sind in Elektrolyt getaucht und durch eine semipermeable Membran von der Probe getrennt. Diese Membran ermöglicht es, dass der in der Probe gelöste Sauerstoff durch sie hindurch zur Elektrode gelangt, während sie Flüssigkeiten und die meisten Ionen nicht durchlässt.

se Memoff durch n und die Kathode

Anode

Die Silberanode wird auf einem Potenzial von +800 mV (Polarisierungsspannung) bezüglich der Goldkathode gehalten.

Sauerstoff wird an der Kathode durch die folgende Reaktion reduziert:

$$O_2$$
 + 4H<sup>+</sup> + 4e<sup>-</sup> → 2H<sub>2</sub>O

wodurch eine Nullpunkt-Sauerstoffspannung (Partialdruck) an der Kathode erzeugt wird. Vorausgesetzt, dass die Diffusion durch die Membran der für die Geschwindigkeit bestimmende Vorgang auf dem Weg des Sauerstoffs zur Kathode ist, ist der von der Anode zur Kathode fließende Signalstrom proportional zur Konzentration (Partialdruck) des Sauerstoffs in der Probe.

Dieser Strom, der in der Größenordnung von 1µA liegt, ist auch von der Temperatur abhängig, da sich die Durchlässigkeit (Permeabilität) der Membran mit der Temperatur um typischerweise 1,5% pro Grad C ändert.

Der Adapter wandelt dieses schwache Stromsignal in eine Spannung um, führt die Kompensation bezüglich der Temperatur der Probe durch und ermöglicht, dass das Ergebnis auf geeignete Weise kalibriert und skaliert wird.

# Temperaturkompensation

Um das Messergebnis im Hinblick auf Änderungen der Sauerstoffdurchlässigkeit der Membran mit der Temperatur im Bereich von 5 bis 45 °C zu kompensieren, wird ein Thermistor verwendet. Der Thermistor ist unter der Metallscheibe an der Seite der Elektrode, ungefähr 35 mm von ihrem Ende entfernt, angeordnet. Der Thermistor muss bei derselben Temperatur wie die Membran in das Probemedium eingetaucht sein.

# Elektrolyt

Der Elektrolyt besteht aus 1,28 mol Kaliumchlorid (KCl), dem entionisiertes Wasser zugegeben wurde. Er wird am besten an einem kühlen, dunklen Ort aufbewahrt. Nachdem die Flasche einmal geöffnet worden ist, muss sie aufrecht stehend aufbewahrt werden.

### Anwendungen

Die Menge an gelöstem Sauerstoff in Flüssen und Seen ist ein sehr wertvoller Indikator für deren Zustand; sie ist wahrscheinlich der wichtigste Faktor, was die Flora und die Fauna betrifft. Falls genügend Sauerstoff vorhanden ist, metabolisieren Bakterien organische Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen zu Kohlendioxid und Nitraten. Wenn der Sauerstoffgehalt unter 2 ppm absinkt, werden Schwefelverbindungen metabolisiert, wodurch H<sub>2</sub>S erzeugt und das Wasser für sauerstoffabhängiges Leben vergiftet wird.

Vor dem Eingriff des Menschen konnten Mikroorganismen, Fische und Pflanzen ihre Umwelt bewahren, da sie Sauerstoff nicht schneller verbrauchten, als dieser sich aus der Luft im Wasser lösen konnte. Der Mensch hat das Gleichgewicht gestört, indem er das Wasser mit biologisch abbaubaren Schadstoffen überlastete und dadurch bewirkte, dass die Mikroorganismen mehr Sauerstoff verbrauchen, als es dieser kritischen Geschwindigkeit entspricht.

Polarografische Elektroden sind auch in anderen Flüssigkeiten verwendbar, einschließlich Blut, und werden verwendet, um den Sauerstoffgehalt im Blut während der Durchführung von Herz-Lungen-Bypassoperationen sowie bei Neugeborenen in Inkubatoren zu kontrollieren.

### Fehlersuche

Messergebnis zu hoch, um eine Kalibrierung zu ermöglichen: Membran überdehnt – Membran erneuern

#### Träge Reaktion:

Kathode/Anode muss gereinigt werden Luftbläschen in der Membran – Membran-Füllvorgang wiederholen

#### Drift oder seltsame Ergebnisse:

Falls in derselben Lösung noch andere elektrochemische Sensoren (z. B. pH-Sensoren, Leitfähigkeits-Sensoren) vorhanden sind, können sie Störbeeinflussungen hervorrufen, da sie alle eine elektrische Verbindung mit der Lösung herstellen. Versuchen Sie, die anderen Sensoren zu entfernen, indem Sie sie so weit wie möglich voneinander weg bewegen oder an verschiedene CorEx Logger anzuschließen.

#### Elektrode nicht vollständig polarisiert:

Versuchsanordnung 20 Minuten stehen lassen und dann neu kalibrieren.

#### Wasser zu ruhig:

den Sensor durch das Wasser bewegen oder eine geeignete Rührvorrichtung verwenden (Fische in einem Aquarium können gute "Rührer" sein!).

# Sauerstoff-Adapter und -Elektrode

### Untersuchungen mit Hilfe des Sauerstoff-Sensors

Vorschläge für den Einsatz:

• Überwachung der Atmung des Menschen.



Nachweisen, wie durch Wiedereinatmen derselben Luftprobe in einem Papierbeutel Sauerstoff aus der Luft unter Anwendung unterschiedlicher Atemtechniken entnommen wird.

- Änderungen des Sauerstoffgehalts bei der Fotosynthese und Atmung von Pflanzen.
- Überwachung der durch Fotosynthese und Atmung erzeugten Sauerstoffkonzentration in einem Aquarium, in dem sich Pflanzen und/oder Fische befinden.



Überwachung des Zusammenhangs zwischen Licht und Änderungen des Gehaltes an gelöstem Sauerstoff in einem Aquarium mit Laichkrautgewächs.

 Untersuchungen vor Ort in Flüssen und Teichen – Untersuchung von Seen zur Beurteilung der Fähigkeit des Wassers, verschiedene Arten von pflanzlichem und tierischem Leben zu

Atmung von Tieren, Insekten, keimendem

- Atmung von Tieren, insekten, keimendem Saatgut.
- Verbrauch von Sauerstoff durch Hefe bei der Atmung von Zucker.
- Atmung und Wachstum von Mikroben.
- Sauerstoffgas, das bei der Zersetzung von Wasserstoffperoxid durch Katalyse erzeugt wird.
- Der Einfluss von Temperaturänderungen auf die Löslichkeit von Sauerstoff.
- Fermentation von Joghurt.
- Oxidation von Metallen.



Änderung des Sauerstoffgehaltes während einer Verbrennung – mit Hilfe einer unter einer Glocke brennenden Kerze.

# Schall-Sensor



#### Schall-Sensor – Best.-Nr. 73175

Bereich:	40 bis 110 dB
Auflösungsvermögen:	0,1 dB
Ansprechzeit:	125 ms
Bereich:	±2000 mV
Auflösungsvermögen:	1 mV

Der Smart Q Schall-Sensor kann mit zwei Bereichen verwendet werden, um entweder den Schalldruckpegel in Dezibel (dBA) oder den Frequenzinhalt in Millivolt (mV) zu messen. Das eingebaute Elektret-Mikrofon hat einen Frequenzbereich von 100 Hz bis 7 kHz. Der Sensor wird auf den dB-Bereich voreingestellt geliefert.

Frequenzbereich:

### Anschließen

Der CorEx Logger erkennt, dass der Schall-Sensor angeschlossen ist.

- 1. Halten Sie das Sensorgehäuse so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- 2. Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse am Sensorgehäuse, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- 3. Schließen Sie das andere Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers so an, dass sich der Markierungspfeil oben befindet.



100 Hz bis 7 kHz

# Einleitung

Der Sensor besitzt eine ausreichend hohe Ansprechgeschwindigkeit, um die Messung der Schallgeschwindigkeit zu ermöglichen und Wellenformen zu erfassen. Er ist für alle Tonfrequenzen innerhalb seines Bereiches gleich empfindlich und kann sowohl vorübergehende als auch andauernde Geräusche messen.

#### dBA-Bereich

Die Maßeinheit für die Schallintensität oder Lautstärke ist Dezibel (dB). Der dBA-Ausgang gibt den Schalldruckpegel mit der Wichtung "A" an und liefert damit eine Reaktion ähnlich wie das menschliche Ohr.

Die Lautstärke eines Tons hängt von der Amplitude der Schallwellen ab. Das Erhöhen der "Lautstärke" eines Radios bewirkt die Vergrößerung der Amplituden der von den Lautsprechern des Radios erzeugten Schallwellen, so dass der Ton vom Radio lauter wird. Eine Änderung der Lautstärke bewirkt keine Änderung der Frequenz eines Tons.



Vergleich des Schallpegels mit der wahrgenommenen Lautstärke bei einer konstanten Frequenz von 1000Hz: Die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für verschiedene Lautstärkepegel variiert in Abhängigkeit von der Frequenz der Schallwelle, die es erkennt. Bei ungefähr 3.000 Hz ist das Ohr am empfindlichsten und kann die leisesten Töne hören; Töne über 18.000 Hz kann es nicht wahrnehmen.

Schallpegel [dB]	Wahrgenommene Lautstärke				
120	Schmerzgrenze				
90	Äußerst laut				
80	Sehr laut				
70	Laut				
60	Mäßig laut				
50	Leise				
40	Sehr leise				
30	Äußerst leise				
0	Schwelle der Hörbarkeit				

Das Ohr verfügt über einen eingebauten Sicherheitsmechanismus, durch den sich die Empfindlichkeit des Ohrs verringert, wenn die Schallintensität zunimmt. Wenn durch die Luft übertragene Schallwellen das Trommelfell erreichen, werden sie in mechanische Schwingungen umgewandelt, die dann über ein Hebelsystem im Mittelohr verstärkt werden. Die Muskeln im Mittelohr verändern die Leistung dieses Hebelsystems und wirken als eine Sicherheitsvorrichtung zum Schutz des Ohres vor übermäßig starken Schwingungen, die durch sehr laute Töne hervorgerufen werden. Eines dieser Knöchelchen überträgt die Schwingungen auf eine Membran, welche die Öffnung in der Cochlea (Schnecke) bedeckt und sie werden in hydraulischen Druck umgewandelt. Das System der Übertragung von der Cochlea zum Gehirn umfasst Tausende von Nervenfasern, die entsprechend der Frequenz des Tonsignals, welches sie transportieren, gruppiert sind. Die Anzahl der Fasern, die ein Ton anspricht, liefert dem Gehirn ein Maß für die Lautstärke.

#### mV-Bereich

Das mV-Signal hat einen Frequenzbereich von 100 Hz bis 7 kHz und kann verwendet werden, um den Frequenzinhalt des Schalls zu untersuchen.

Schallwellen sind Longitudinalwellen. Teilchen schwingen um feste Punkte von links nach rechts und die Energie wird ebenfalls von links nach rechts übertragen. Die Amplitude einer Welle ist die maximale Entfernung eines Teilchens von der Ruheposition. Je lauter der Ton ist, desto größer ist die Amplitude der Welle.

Die Wellenlänge ist als der Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Teilchen definiert, die sich in genau demselben Punkt auf ihren jeweiligen Wegen befinden und sich in dieselbe Richtung bewegen (gleiche Phase). Sie wird mit dem Symbol  $\lambda$  bezeichnet und in Metern gemes-



sen. Die Frequenz einer Welle ist die Anzahl der vollständigen Störzyklen oder -schwingungen pro Sekunde. Die Maßeinheit der Frequenz nach dem Internationalen Einheitensystem SI ist Hertz (Hz).

Die Tonhöhe hängt von der Frequenz der Schallwellen ab. Wenn die Tonlage erhöht wird, erhöht sich die Frequenz.

Verschiedene Musikinstrumente, welche dieselbe Note spielen, können unterschiedliche Wellenformen erzeugen.

Die folgenden Beispiele zeigen eine Aufzeichnung der Wellenform von einem Baritoninstrument unter Verwendung der Betriebsart **Schnell** (nur mit *CorEx Logger* oder *CorEx Link* möglich) und 1000 Messungen bei einer Messrate von 35 Mikrosekunden. Zum Messen der Periode wird **Intervall** aus dem Menü **Analyse** verwendet.

Frequenz = 1/Periode





Drei verschiedene Noten, auf einem Baritoninstrument gespielt.



# **Schall-Sensor**

# Einstellen des Bereiches

- Schließen Sie den Schall-Sensor an den CorEx Logger an und führen Sie das Programm **Sensor-Konfiguration** der Sensing Science Software aus.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen ist, aus der Liste aus.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche **Bereich setzen**. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben..
- Wählen Sie den erforderlichen Bereich und klicken Sie auf **OK**.
- Beenden Sie das Programm. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Der gewünschte Bereich kann auch direkt am CorEx Logger eingestellt werden:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü System, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile Messbereich setzen, ENTER.
- Wählen Sie die Nummer des Eingangs, an den der Schall-Sensor angeschlossen ist, z. B. Eingang 1, **ENTER**.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) die verfügbaren Bereiche anzeigen: Schall (dBA) und Schall (mV).
- Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. Drücken Sie ENTER, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- Drücken Sie STOP, um zum Hauptmenü zurückzukehren.

# Praktische Informationen

Stellen Sie sicher, dass der Schallpegel innerhalb des Bereiches des Schall-Sensors liegt. Wenn die Anzeigewerte außerhalb der Skala liegen, bewegen Sie den Sensor weiter weg von der Schallquelle oder verringern Sie die Lautstärke.

Der Schall-Sensor ist nicht wasserdicht. Wenn er in einer Umgebung verwendet werden soll, in der er feucht werden könnte, müssen Vorkehrungen getroffen werden, damit keine Flüssigkeit in den Sensor gelangen kann.

Aufbewahrungstemperatur: -10 bis maximal +60 °C

Hinweis: Die Mikrofonkapsel ist in der Endkappe des Sensors untergebracht.

#### Versuchsbeispiele

- Untersuchungen zur Aktivität von Tieren
- Felduntersuchungen
- Verkehrssicherheit
- Aufbau des Ohres
- Geräuschmesser
- Lärmbelastung
- Schallisolation
- Abklingen von Schall
- Schallfrequenz
- Schallgeschwindigkeit

Set Sensor Range	X
Sensor 1	
Click on the desired range	
Sound	
Sound (dBA)	
Sound (mv)	

- Luftresonanz
- Schallwellen: Beobachtung der Wirkung von sich ändernder Frequenz und Amplitude, Wellenformen von Musikinstrumenten, Interferenzmuster

# Schallgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit, mit der sich der Schall fortpflanzt, ist abhängig von:

• Dem Stoff, in dem er sich fortpflanzt. In Festkörpern und Flüssigkeiten sind mehr Teilchen vorhanden, über die sich der Schall schneller fortpflanzen kann als in Gasen.

Medium	Geschwindigkeit des Schalls [m/s] bei 20 °C					
Luft	343					
H <sub>2</sub> O	1480*					
Quarz	5486*					
Stahl	6096*					
* Diese Geschwindigkeiten sind für eine Messung mit dem CorEx Logger zu hoch.						

• Der Temperatur des Stoffes z. B. bewirkt eine Erhöhung der Temperatur bei Luft eine Erhöhung der Geschwindigkeit.

Temperatur [°C]	Geschwindigkeit des Schalls in der Luft [m/s]
0	332,5
20	344
21	345
100	386

# Schallgeschwindigkeit in der Luft (nur mit CorEx Logger oder CorEx Link möglich)



1. Schließen Sie zwei Schall-Sensoren an die Eingänge des CorEx Loggers an und befestigen Sie sie im Abstand von 2 m an je einem Stativ. Richten Sie die Sensoren so aus, dass sie beide der Schallquelle zugewandt sind.

**Hinweis:** Der Schall pflanzt sich in Medien mit höherer Dichte schneller fort. Stellen Sie sicher, dass sich der Schall durch das beabsichtigte Medium Luft fortpflanzt.

# **Schall-Sensor**

 Die Daten werden mit dem Erfassungs-Assistenten in der Betriebsart Schnell im Programmteil Grafik der SENSING SCIENCE Software erfasst.
 Im dargestellten Beispiel wurde der Sensor mit gewähltem dBA-Bereich verwendet. Es wur-

den 1000 Messwerte mit einem Messintervall von 100 µs erfasst. Der Trigger war mit einem 25 %-Vortrigger auf analog steigend, Kanal 2, Niveau 2, 68 dBA eingestellt.



Ergebnisse, die bei Verwendung des dBA-Bereiches angezeigt werden.

- 3. Sorgen Sie dafür, dass das Hintergrundrauschen minimal ist. Klicken Sie auf START.
- 4. Erzeugen Sie einen Ton. Die besten Ergebnisse erhält man, wenn der Ton kurz, durchdringend und laut ist. Schlagen Sie zum Beispiel mit einem Hammer auf einen freistehenden metallischen Gegenstand, oder mit einer Metallstange auf Glas. Führen Sie verschiedene Versuche durch, um eine kurze, kräftige Schallerzeugung herauszufinden.
- 5. Messen Sie mit Hilfe der Option Intervall aus dem Menü Analyse die Zeitspanne zwischen den Zeitpunkten, zu denen der Schall das erste Mikrofon bzw. das zweite Mikrofon erreicht.
  Berechnen Sie die Schallgeschwindigkeit: v = l / (t<sub>2</sub>-t<sub>1</sub>)



Hierbei ist I der Abstand zwischen den zwei Sensoren und  $t_2 - t_1$  das Zeitintervall zwischen den zwei Zeitpunkten.

**Hinweis:** Zum Messen der Schallgeschwindigkeit in einem festen Stoff stellen Sie zwei Mikrofone mit der Spitze nach unten z. B. auf ein langes Holzbrett. Der Abstand zwischen den Mikrofonen sollte so groß wie möglich sein. Der Schall sollte von dem Holzbrett emittiert werden (z. B. schlagen Sie mit einem Hammer dagegen).

### Untersuchung der Resonanz in einem Rohr

Ein Ton kann von einem an beiden Enden offenen Metall- oder Kunststoffrohr erzeugt werden (Orgelpfeife). Ein Rohr kann dazu gebracht werden, bei unterschiedlichen Frequenzen, die durch die Länge des Rohrs bestimmt werden, in Resonanz zu schwingen (einen lauten Ton zu erzeugen).



Legen Sie das Rohr auf einen Messplatz, so dass sich ein kleiner Lautsprecher in der Nähe eines Rohrendes befindet. Stellen Sie den Signalgenerator so ein, dass er eine Sinuswelle erzeugt. Befestigen Sie den Schall-Sensor an einem Metermaßstab und bringen Sie ihn in eine Position am anderen Ende des Rohres. Schließen Sie den Schall-Sensor an den CorEx Logger an und wählen Sie den dB-Bereich.

Stellen Sie die Signalfrequenz auf ungefähr das 4-fache der Grundfrequenz des Rohres ein. Für ein offenes Rohr von 3 m Länge ist dies:

 $\lambda_0 = 2 \times \text{Rohrlänge} = 6 \text{ m}$   $f_0 = \text{Schallgeschwindigkeit} / 6 \text{ m} = ~57 \text{ Hz}$ 

Dies müsste 4 Knotenpunkte (Punkte mit niedrigem Schallpegel) im Inneren des Rohres ergeben.

Erfassen Sie alle 2 cm Schnappschuss-Daten des Schalldruckes, während der Sensor langsam durch das Rohr geschoben wird wie folgt:

- 1. Öffnen Sie den Programmteil **Grafik** der Sensing Science Software. Wählen Sie die Schaltfläche **Erfassungs-Assistent** und als Verfahren der Datenerfassung **Schnappschussmodus**.
- Wählen Sie aus dem Menü Werkzeuge die Option Funktionen-Assistent. Wählen Sie für die Funktion "a". Setzen Sie a = 0. Geben Sie als Name Entfernung und als Maßeinheit cm ein. Klicken Sie auf Übernehmen.
- 3. Wählen Sie aus dem Menü **Ausgabe** die Option **Ausgabe-Assistent**. Wählen Sie als Anzeigentyp **Punkte zeichnen**, wählen Sie für die X-Achse **Sensor. Beenden**.



# **Schall-Sensor**

- 4. Falls erforderlich, ändern Sie den angezeigten Datenkanal (klicken Sie links neben die Achse), so dass sich "Entfernung" auf der X-Achse und "Schall" auf der Y-Achse befindet.
- 5. Klicken Sie auf **START**, um mit dem Protokollieren zu beginnen. Klicken Sie, während sich der Schall-Sensor in der ersten Position befindet, in den Bereich der grafischen Darstellung, um den ersten Wert aufzuzeichnen.



- 6. Doppelklicken Sie in das Feld der Entfernungs-Spalte und bearbeiten Sie den Wert, z. B. geben Sie 0,00 ein.
- 7. Wiederholen Sie die oben angegebenen Schritte, bis sich der Sensor vollständig bis zum anderen Ende durch das Rohr bewegt hat.

# Spannungs-Sensoren



### Spannungs-Sensor – Best.-Nr. 73160

Bereich:±20 VAuflösungsvermögen:10 mVGeschützt bis zu einermax. Spannung von:±27 VImpedanz:1 ΜΩ

#### Spannungs-Sensor – Best.-Nr. 73161

Bereich:0 bis 10 VAuflösungsvermögen:10 mVGeschützt bis zu einermax. Spannung von:±27 V1 MΩ

Spannungs-Sensor – Best.-Nr. 73162Bereich:±1 VAuflösungsvermögen:1 mVGeschützt bis zu einermax. Spannung von:±10 VoltImpedanz:1 MΩ

#### Einleitung

Die Smart Q Spannungs-Sensoren werden verwendet, um die Potenzialdifferenz zwischen den Enden eines elektrischen Bauteils zu messen. Diese Palette von Spannungs-Sensoren kann zum Messen sowohl von Gleichspannung- als auch von Kleinspannungs-Wechselstrom verwendet werden.

Die Smart Q Spannungs-Sensoren sind mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit des Sensors, die Präzision und Konsistenz der Anzeigewerte beträchtlich erhöht. Sie werden kalibriert geliefert, und die gespeicherte Kalibrierung (in Volt) wird automatisch geladen, wenn der Spannungs-Sensor angeschlossen wird.

#### Anschließen

Das CorEx Logger erkennt, dass der Spannungs-Sensor angeschlossen ist.

- 1. Halten Sie das Spannungs-Sensor-Gehäuse so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- 2. Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse am Sensorgehäuse, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- 3. Schließen Sie das andere Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers an, so dass sich der Markierungspfeil oben befindet.



# Spannungs-Sensoren

# Praktische Informationen

Der Spannungs-Sensor wird verwendet, um die Potenzialdifferenz zwischen den Enden eines elektrischen Bauteils zu messen, und wird deshalb "über das Bauteil hinweg" (d. h. in Parallelschaltung zu diesem) angeschlossen.

Spannungs-Sensoren können zusammen mit einem an einer beliebigen Stelle in einem Stromkreis angeordneten Stromsensor verwendet werden.

**Hinweis:** Falls in einem Stromkreis mehr als ein Spannungs-Sensor verwendet wird, müssen aus Gründen der Genauigkeit beide gemeinsam geerdet sein (dasselbe schwarze Kabel).



Die beiden Sensoren Best.-Nr. 73160 und 73162 können zur Messung sowohl negativer als auch positiver Potenziale verwendet werden. Der Bereich für den Sensor Best.-Nr. 73161 wurde so gewählt, dass nur positive Potenziale angezeigt werden.



# Sicherheit

Schließen Sie den Sensor niemals in einen Stromkreis mit Hochspannung oder Netz-Wechselspannung !

# Untersuchungen

- Ohmsches Gesetz
- Reihenschaltungen und Parallelschaltungen
- Untersuchungen zu alternativen Energiequellen, z. B. Solarzellen
- Lebensdauer einer Batterie
- Entladen eines Kondensators
- Wärme und elektrischer Strom
- Induktion in einer Spule
- Eigenschaften von elektrischen Bauteilen
- Messen der Spannung an einem selbst hergestellten Sensor

### Versuchsbeispiele

#### Welche Batterie bietet mehr für's Geld?

Verwendet wird der Sensor Best.-Nr. 73160, Bereich ±20 V, oder Best.-Nr. 73161, Bereich 0 bis 10 V.

In diesem Versuch wird der Unterschied zwischen den abgegebenen Leistungen von Batterien unterschiedlicher Qualität untersucht.

- 1. Bauen Sie den Versuch wie in der Abbildung dargestellt mit dem an den CorEx Logger angeschlossenen Spannungs-Sensor auf.
- 2. Die Daten können wahlweise wie folgt erfasst werden:
  - im Echtzeitbetrieb, wobei der CorEx Logger an den Computer angeschlossen ist.
  - im rechnerfernen Betrieb mit Einrichtung durch den Computer.
  - unter Verwendung der CorExlog-Betriebsart gestartet mit dem CorEx Logger.
- 3. Das für die Aufzeichnung der Daten gewählte Zeitintervall hängt von der Größe der gewählten Batterie ab, z. B. zwischen 8 und 48 Stunden.



Im dargestellten Beispiel wurden zwei Stromkreise verwendet, jeweils mit einer einfachen AAA-Batterie und einer 2,5-Volt-Glühlampe. Die angezeigten Daten wurden gezoomt.

Die Ergebnisse können zu einer Wirtschaftlichkeitsberechnung dienen, um zu herauszufinden, bei welcher Batterie man mehr Gegenwert für einen bestimmten Geldbetrag erhält.



#### Weitere Versuchsmöglichkeiten

- Verschiedene Typen und Fabrikate von Batterien vergleichen (z. B. wiederaufladbare Batterien unterschiedlicher Preisklassen, verschiedene Fabrikate von Alkalizellen usw.).
- Verschiedene Größen von Batterien mit derselben Spannung vergleichen, d. h. Batterien AAA, AA, C, D.
- Einen Beleuchtungsstärke-Sensor verwenden, um die abnehmende Helligkeit der Glühlampen aufzuzeichnen, wenn sich die Energie der Batterie erschöpft.

# Spannungs-Sensoren

# **Magnetische Induktion**

Es wird der Sensor Best.-Nr. 73162, Bereich ±1 V verwendet.

Bei dieser Untersuchung wird die Spannung gemessen, die von einem Magneten induziert wird, der durch eine Drahtspule fällt.

- 1. Bauen Sie den Versuch wie dargestellt mit dem an den CorEx Logger angeschlossenen Spannungs-Sensor auf.
- 2. Die Daten müssen unter Verwendung der Betriebsart **Schnell** erfasst werden. Dies kann erfolgen:
  - Im Echtzeit-/Schnell-Modus unter Verwendung des an den Computer angeschlossenen CorEx Loggers (Schnell-Modus nur mit CorEx Logger oder CorEx Link möglich)
  - Unter Verwendung der Betriebsart Schnellerfassung des CorEx Loggers

Im vorliegenden Beispiel wurden 4000 Abtastwerte mit einem Abtastintervall von 50 Mikrosekunden (20.000 Abtastwerte pro Sekunde) erfasst. Der verwendete Trigger war mit einem 50%-Vortrigger so eingestellt, dass er auslöst, wenn der Spannungs-Sensor unter –100mV abfällt.

- 3. Klicken Sie auf START.
- 4. Markieren Sie ein Ende des Magneten und lassen Sie dieses Ende durch die Spule fallen.

# Weitere Versuchsmöglichkeiten

- Was passiert, wenn man den Magneten mit dem nicht markierten Ende voran durchfallen lässt?
- Es werden längere oder kürzere Magnete verwendet.
- Der Magnet wird aus unterschiedlichen Höhen fallen gelassen.
- Zwei Magnete werden miteinander verbunden. Erst mit sich anziehenden Polen, dann mit sich abstoßenden Polen.
- Der Magnet wird horizontal an einem aufgewickelten elastischen Band so aufgehängt, dass er sich in der Nähe der Spule im Uhrzeigersinn und entgegen dem Uhrzeigersinn drehen kann, um den Dynamoeffekt zu erzeugen.





# Spannungs-Sensoren

#### Entladen eines Kondensators

Verwendet wird der Sensor Best.-Nr. 73160, Bereich ± 20 V, oder Best.-Nr. 73161, Bereich 0 bis 10 V.

Bei dieser Untersuchung wird die Spannung an einem Kondensator gemessen, wenn er sich auflädt und entlädt.

**Hinweis:** Um den geeigneten Kondensator und Widerstand zu wählen, verwenden Sie die Formel T = CR, wobei T = Zeit in Sekunden, C = Kapazitätswert in Farad, R = Widerstandswert in Ohm.

- 1. Bauen Sie den Versuch wie dargestellt mit dem an den CorEx Logger angeschlossenem Spannungs-Sensor auf.
- 2. Zeigen Sie den Wert vom Sensor entweder an, indem Sie Testmodus aus dem Schaltfeld Werkzeuge im Programmteil Grafik verwenden, oder verwenden Sie die Funktion METER am CorEx Logger. Laden Sie den Kondensator ca. 15 Sekunden auf und messen Sie die Potenzialdifferenz. Dieser Wert wird dann verwendet, um ein Niveau für den Trigger einzustellen.



3. Wählen Sie ein Zeitintervall von 20 bis 60 Sekunden. Wählen Sie als Triggerpunkt den gerade unter die im Test gemessene Potenzialdifferenz abgesunkenen Wert.

Im dargestellten Beispiel wurde ein Kondensator von 100 µF mit einem Widerstand von 22K, 47 K, 100 K und 220 K verwendet. Jeder Datensatz wurde mit demselben Spannungswert als Trigger gestartet. Mit der Funktion **Überlagerung** lassen sich die verschiedenen Widerstandskurven in einer Bildschirmmaske darstellen.

Klicken Sie auf **START**. Laden Sie den Kondensator und bewegen Sie dann den Schalter, damit er sich entladen kann.



4. Ersetzen Sie den Widerstand durch einen Widerstand mit einer anderen Größe, wählen Sie **Überlagerung** im **Ausgabe-Assistenten** von **Grafik** und wiederholen Sie den Versuch.

### Laden des Kondensators

Stellen Sie durch Kurzschließen sicher, dass der Kondensator vollständig entladen ist.



- 1. Wählen Sie ein Zeitintervall zwischen 20 und 60 Sekunden. Wählen Sie einen Trigger so, dass die Aufzeichnung beginnt, wenn die Spannung gerade über Null ansteigt.
- Im dargestellten Beispiel wurde ein Trigger von "Ansteigen über 0,2 V" verwendet. 2. **STARTEN** Sie die Aufzeichnung und schließen Sie dann den Stromkreis.
- 2. STARTEN Sie die Aufzeichnung und schlieisen Sie dann den Stromkreis.
- 3. Ersetzen Sie den Widerstand durch einen Widerstand mit einer anderen Größe, wählen Sie **Überlagerung** und wiederholen Sie den Versuch.

# Spirometer



Spirometer – Best.-Nr. 73267

Luftmenge: ± 10,0 Liter/Sekunde (I/s) Auflösung: 0,01 I/s

#### Einführung

Das Spirometer misst mit Hilfe eines Differenzdruck-Sensors den Luftstrom beim Ein- und Ausatmen. Mittels der Sensing Science Software lassen sich diese Werte während oder nach der Datenerfassung problemlos in Volumina umrechnen. Das Spirometer wird mit einer Nasenklammer und vier Mundstücken, sowie einem Strömungsschutz geliefert. Die Mundstücke enthalten einen antibakteriellen und antiviralen Filter um die Ansteckungsgefahr untereinander zu verringern. Zwei der Mundstücke werden am Spirometer für die Messung benötigt – eines fest am Gerät, das andere für die Testperson. Um die Ansteckungsgefahr zu minimieren, sollte das Mundstück der Testperson als Einwegartikel betrachtet werden und nur von einer Person benutzt werden.

Hinweis: Die Luftstrommessung ist kalibriert für zwei Mundstücke – das Weglassen von einem oder mehr Mundstücken macht die Kalibrierung ungültig.

Mundstücke (10er Pack, Best.-Nr. 73269) und Nasenklammern (5er Pack, Best.-Nr. 73264) können einfach bei Cornelsen Experimenta nachbestellt werden.

Der CorEx Datenlogger erkennt automatisch, wenn das Spirometer angeschlossen ist.

**Hinweis:** Wenn die *Sensing Science Software* nicht genutzt wird, können die Luftstromdaten z. B. in Excel oder ein ähnliches Tabellenkalkulationsprogramm exportiert werden um dort die Luftstrommenge, Atemfunktionen oder Kapazitätsgrafiken zu erstellen.

#### Rechtsausschluss

Das Spirometer ist **nur für Anwendungen an Schulen** gedacht. Es wurde nicht entwickelt, um als Diagnosegerät im medizinischen Bereich verwendet zu werden. Die Messergebnisse dienen nur der Veranschaulichung und dürfen nicht als Basis medizinischer Untersuchungen herangezogen werden. Lesen Sie die Bedienungsanleitung sorgfältig und beaufsichtigen Sie die Schülerversuche ständig.



Befolgen Sie die gültigen Sicherheitsrichtlinien. Es liegt in der Verantwortung der Lehrkraft, dass die Schüler, die an Versuchen teilnehmen, gesund sind und auch in der Vergangenheit keine Atemwegs- oder Herzgefäßerkrankungen hatten. Die Schüler sollten über die medizinische Aussagekraft der Messungen aufgeklärt bzw. beruhigt werden. Die Atemversuche können sehr anstrengend für die Schüler sein – beschränken Sie deshalb die Anzahl der Tests pro Versuch um zu vermeiden, dass sich die Schüler zu sehr verausgaben.

Es empfiehlt sich nicht, den Sensor bei Kindern unter 10 Jahren zu benutzen.

### Anschluss des Spirometers

- Schließen Sie das eine Ende des Sensorkabels (im Lieferumfang des Datenloggers) an das Spirometer an (die Pfeile auf dem Kabelstecker zeigen nach oben).
- Verbinden Sie das andere Ende des Kabels mit einem Eingang des Datenloggers (die Pfeile auf dem Kabelstecker zeigen nach oben). Der Logger erkennt den Sensor dann automatisch.
- Das Spirometer wird mit einem ,fest installierten' Mundstück ausgeliefert, welches mit einem Kreuz (X) markiert ist. Markieren Sie das Atemrohr dieses Mundstückes zusätzlich so, dass es nicht aus Versehen von der Testperson benutzt



wird. Der Strömungsschutz sollte auf diesem Mundstück installiert sein, um der Testperson visuell noch einmal zu verdeutlichen, dass diese Seite nicht benutzt werden soll.

 Markieren Sie ein Mundstück mit dem Namen der Testperson. Schieben Sie das schmalere Ende des Mundstückes in das andere Ende des Sensorgehäuses (markiert durch ein Häkchen auf dem Etikett ( ✓ ), bis Sie einen leichten Widerstand spüren. Das Rohr des Mundstückes ist konisch und muss nicht vollständig in das Gehäuse gedrückt werden.

Hinweis: Die Luftstrommessung ist kalibriert für zwei Mundstücke – das Weglassen von einem oder beiden Mundstücken macht die Kalibrierung ungültig

#### Messen mit dem Spirometer

- Setzen oder stellen Sie sich aufrecht hin. Wenn möglich schauen Sie während der Messung nicht auf die Messergebnisse, da Sie sonst evtl. unbewusst ihr Atemverhalten ändern.
- Halten Sie das Spirometer in einer aufrechten Position.
- Nehmen Sie das Mundstück in den Mund und halten Sie es mit den Zähnen fest; dichten Sie den Übergang gut mit ihren Lippen ab und achten Sie darauf, dass ihre Zunge nicht die Öffnung verdeckt.
- Wenn benötigt, benutzen Sie den Nasenclip oder halten Sie sich die Nase zu um sicherzustellen, dass sämtliche Luft über den Mund ausgestmet wird (nicht unbedingt

Luft über den Mund ausgeatmet wird (nicht unbedingt erforderlich für Studien über das Atemverhalten).

- Nehmen Sie sich die Zeit, sich mit dem Gerät und den Anweisungen vertraut zu machen. Möglicherweise finden Sie es hilfreich, wenn ihnen jemand die Anweisungen vorliest oder Sie gehen die Anweisungen auf einer Liste durch.
- Atmen Sie ruhig, um sich an den Apparat zu gewöhnen. Die ausgeatmete Luft wird als positiver Luftstrom, die eingeatmete Luft als negativer Luftstrom angezeigt.
- Die Luftstrommessung ist kalibriert für zwei Mundstücke das Weglassen von einem oder mehr Mundstücken macht die Kalibrierung ungültig.
- Legen Sie das Spirometer zwischen den Messungen ab, um zu verhindern, dass die Handwärme einen messbaren Luftstrom erzeugt.
- Bei der Volumenmessung mit dem Spirometer kann es zu einem Aufwärts- oder Abwärtstrend der Volumenmesswerte kommen. Dies ist normal für einen offenen Luftstromsensor. Solange die Abweichung nicht mehr als 0,3 Liter in 30 Sekunden beträgt, können Sie sie vernachlässigen. Mit Hilfe der Sensing Science Software können sie diese Abweichung, wenn nötig, später aus den Messwerten entfernen.

Hinweis: Erwarten Sie nicht sofort perfekte Messergebnisse – durch das Spirometer zu atmen ist ungewohnt und erfordert etwas Übung.



### Sicherheits- und Gesundheitshinweise

- Die Mundstücke sind mit einem Filter ausgerüstet der viele Viren, Pilze und Bakterien zurückhält.
- Jede Versuchsperson sollte ein eigenes Mundstück benutzen. Es besteht die Möglichkeit, dass sich im Filter befindliche Krankheitserreger während der Inhalation in das Mundstück der Testperson gelangen. Dadurch kann es zu Ansteckungen zwischen den Testpersonen kommen. Es genügt nicht, das Mundstück nach der Benutzung mit einem antiseptischen Tuch zu reinigen um es dann weiterzugeben, da dadurch nur die äußeren Bereiche und nicht die Filter und das Innere des Mundstückes gereinigt wird.
- Das ,feste' Mundstück muss nicht ausgetauscht werden, solange bei jedem Benutzen des Spirometers nur das Mundstück der Testperson genutzt wurde.
- Wenn das ,feste' Mundstück aus Versehen durch eine Testperson benutzt wurde, sollte es ausgetauscht werden.
- Die Testpersonen sollten durch die Messungen mit dem Spirometer nicht überlastet werden. Der Versuchsdurchführende hat sicherzustellen, dass die Versuchspersonen gesund sind und in der Vergangenheit keine Atemwegs- oder Herzgefäßerkrankungen hatten.
- Durch die Funktionsweise des Spirometers kann die Benutzung bei einigen Personen Unbehagen hervorrufen versuchen Sie die Bedenken zu zerstreuen oder die Personen abzulenken wenn das Unbehagen zu groß wird müssen Sie den Test abbrechen.
- Die Atemrohrlänge des Spirometers sollte unter keinen Umständen verlängert werden. Das Gerät verfügt nicht über ein Kontrollventil für den Luftstrom und durch eine Verlängerung kann der nicht-nutzbare Atemraum drastisch zunehmen.

# Praktische Hinweise

- Drücken Sie die Mundstücke nicht zu stark in das Gerät hinein, da dies zu Beschädigungen führen könnte.
- Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn der Umgang mit dem Gerät mindestens fünf Minuten vor der richtigen Messung geübt wird. Mit der Erfahrung und Praxis mit dem Gerät normalisiert sich das Atemverhalten.
- Es ist normal, dass Testpersonen, die das Gerät erstmalig benutzen einen erhöhten Speichelfluss feststellen. Achten Sie darauf, das Gerät aufrecht zu halten um Problemen mit Kondenswasser vorzubeugen.
- Nach längerer Benutzung kann das Gehäuseinnere beschlagen. Überprüfen Sie dies von Zeit zu Zeit und wischen Sie das Gehäuse bei Bedarf aus. Die Kondensation hängt von der Raumtemperatur und der Häufigkeit der Versuchsdurchführung ab.
- Der Nasenclip soll verhindern, dass Luft ungewollt durch die Nase und nicht durch den Mund aus- oder eingeatmet wird. Er sollte benutzt werden, wenn genaue Messungen des Volumens gemacht werden sollen – wenn Sie nur das Atemverhalten untersuchen wollen, ist er nicht unbedingt erforderlich.
- Überzeugen Sie sich, dass die Versuchsperson das Mundstück gut mit den Lippen abdichtet und die Zunge die Öffnung nicht verdeckt.
- Am Sensorgehäuse befinden sich zwei kleine Halterungen, an denen ein Bändchen (z. B ein Brillenband) befestigt werden kann, um das Spirometer während der Benutzung zu sichern.
- Die Filter der Mundstücke können auch winzige Mikroben zurückhalten.
- Die Mundstücke erfüllen die Sicherheitsnorm CE 0086 und sind aus Polypropylen PPE hergestellt. Die *X* Markierung zeigt an, dass sie nur für den Einweggebrauch bestimmt sind.



# **Spirometer**

- Wenn das Spirometer mit einem Datenlogger betrieben wird, der noch mit 10 bit statt 12 bit Bandbreite arbeitet, z. B. *Flashlogger*, wird die Qualität der Messungen schlechter. Dies wird dann besonders deutlich, wenn die Ergebnisse in einer Tabellenkalkulation (wie z. B. Excel) bearbeitet werden um z. B. das Volumen zu errechnen.
- Wenn Sie den Modus Schnellerfassung gewählt haben, ist die Messung detaillierter als in der Echtzeiterfassung, da mehr Messungen pro Zeiteinheit gemacht werden und damit auch der Graph detaillierter wiedergegeben werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Versuchsperson keinen direkten Bezug mehr zwischen der Anzeige und dem Atemverhalten erkennt und sich dadurch das Atemverhalten normalisiert.



# **Reinigung des Spirometers**

- Das Gehäuse des Spirometers kann mit einem weichen Tuch und einer Standartdesinfektionslösung gereinigt werden. Vermeiden Sie den Einsatz von Alkohol, da dieser das Plastik angreifen könnte. Versuchen Sie nicht, das Mundstück zur Wiederverwendung zu reinigen.
- Versuchen Sie **auf keinen Fall** das Spirometer oder die Mundstücke in eine Reinigungslösung zu tauchen oder es mit heißem Wasser oder Wasserdampf zu sterilisieren.

# Nützliches Hintergrundwissen

Das Spirometer kann zur Bestimmung des Atemvolumens und zur Bestimmung der Luftstromgeschwindigkeit benutzt werden.

- Das Volumen, das je Atemzug ein- und ausgeatmet wird, nennt man ,**Atemzugvolumen**' (i. A. ca. 0,5 Liter)
- Nach normaler Einatmung ist es möglich, bewusst noch mehr Luft einzuatmen dieses zusätzliche Volumen nennt man ,**Inspiratorisches Reservevolumen**'.
- Dementsprechend ist es auch nach normaler Ausatmung möglich, bewusst noch mehr Luft auszuatmen das so genannte ,**Exspiratorisches Reservevolumen**'.
- Selbst wenn Sie bewusst vollständig ausgeatmet haben, verbleibt ein kleiner Rest Luft in den Lungen – das so genannte ,Residualvolumen' (Restvolumen), welches nicht ausgeatmet werden kann. Das Restvolumen hat einen sehr niedrigen Sauerstoff- und einen sehr hohen Kohlenstoffdioxidgehalt.
- Nach der Einatmung vermischt sich die frische Luft mit der Luft aus dem Restvolumen und bildet das Luftgemisch, das die Lungenbläschen aufnehmen.
- Das Atemzentrum im Rückenmark stellt sicher, dass genügend Sauerstoff für den Körper bereitgestellt wird. Wenn ein erhöhter Bedarf an Frischluft besteht, ist das Atemzugvolumen größer (auf Kosten des Reservevolumens) um mehr Sauerstoff zu liefern. Man kann also davon ausgehen, dass Atemvolumen und Luftstromgeschwindigkeit keine konstanten Größen sind.

Tabelle 1 Glossar						
Bezeichnung	Abkürzung	Beschreibung				
Spirometrische Werte	FVK	Forcierte Vitalkapazität: Das Volumen, das nach maximaler Einatmung maximal ausgeatmet werden kann (Ausatmung erfolgt schnell/ forciert).				
	FEV <sub>1</sub>	Forciertes exspiratorisches Volumen in 1 Sekunde (Sekundenkapazität): Das Ausatemvolumen, das nach maximaler Einatmung innerhalb 1 Sekunde ausgeatmet werden kann.				
	FEV <sub>6</sub>	Forciertes exspiratorisches Volumen in 6 Sekunden: Maximales Ausatemvolumen in 6 Sekunden				
	FEV <sub>1</sub> /VK %	Relative Einsekundenkapazität: Das maximale Ausatem- volumen in 1 Sekunde, Wert bezogen auf die Vitalkapa- zität				
	MVV	(engl.: Maximal Voluntary Ventilation) Das maximale Volumen, das in 12 Sekunden ein- und ausgeatmet werden kann (Atmung möglichst tief und schnell)				
	PEF	(engl.: Peak Expiratory Flow) Luftstrommaximum beim Ausatmen: Der maximale Luftstrom zu Beginn der Atemvolumen- bestimmung				
Lungenvolumen	ERV	Exspiratorisches Reservevolumen: Das Volumen, das nach normaler Ausatmung noch zusätzlich ausgeatmet werden kann				
	IRV	Inspiratorisches Reservevolumen: Das Volumen, das nach normaler Einatmung noch zusätzlich eingeatmet werden kann				
	RV	Residualvolumen: Das Volumen, das auch nach maxima- ler Ausatmung in der Lunge verbleibt				
Lungenkapazität	AZV	Atemzugvolumen: Das Volumen, das bei ruhiger, gleich- mäßiger Ein- und Ausatmung zustande kommt				
	FRK	Funktionelle Residualkapazität: Das Volumen, das nach einer normalen Ausatmung in Ruhe noch in den Lungen verbleibt (FRK = RV + ERV)				
	IK	Inspiratorische Kapazität (Einatemkapazität): Das Volumen, das nach normaler Ausatmung maximal eingeatmet werden kann. IK = AZV + IRV				
	MLK	Maximale Lungenkapazität: Das Volumen der Lungen bei maximaler Einatmung				
	VK	Vitalkapazität: Das Volumen, das nach maximaler Einatmung maximal ausgeatmet werden kann (Ausatmung erfolgt langsam/ entspannt). VK = AZV + IRV + ERV				

#### Diagramm: Luftstrom über der Zeit

Der Luftstrom ist die bewegte Luft, die durch das Spirometer ein- und ausgeatmet wird (manchmal auch Ventilation genannt).



### Diagramm: Volumen über der Zeit

Das Volumen zeigt an, wie viel Luft durch das Spirometer geatmet wurde. Es ist also eine Anzeige dafür, wie viel Luft ein- oder ausgeatmet wurde. Das Volumen bei Ein- und Ausatmung kann unterschiedlich sein – das Sprechen z. B. ,verbraucht' Luft. Über einen längeren Zeitraum sollte aber jeweils das Einatemvolumen und das Ausatemvolumen gleich sein.



# Versuche

- Atemverhalten vor, während und nach körperlicher Anstrengung
- Bestimmung der Lungenkapazität
- Effizienz der Lunge FVK,  $FEV_1$  und  $FEV_6$ , MVV.
- Luftstrom/Volumen-Kurven
- Langsame Vitalkapazität: Die Versuchsperson atmet 3 mal normal ein- und aus und dann 1 mal maximal ein und maximal wieder aus.
- MVV: Die Versuchsperson soll über einen Zeitraum von 6–12 Sekunden so tief und schnell wie möglich atmen.



Seien Sie vorsichtig bei diesen Tests, da es hierbei zu Hyperventilation kommen kann – führen Sie deshalb die Versuche nur im Sitzen durch!

# **Spirometer**

# Atemverhalten

Zeichnen Sie die Messwerte einer Testperson während einer Ruhephase, körperlicher Aktivität und der anschließenden Regenerationsphase auf.



Typischer Graph einer normalen Atmung (automatische Skalierung eingestellt)

Benutzen Sie die **Zoom**-Funktion (oder automatische Skalierung) um ein Stück des Graphen hervorzuheben.

Benutzen Sie die **Intervall**-Funktion um herauszufinden, wie lange ein kompletter Atemzyklus dauert – z. B. zu Beginn, während und nach körperlicher Aktivität.



Benutzen Sie die **Flächen**-Funktion (der Zugriff auf diese Funktion ist nur bei Anwendungs-Stufe 3 möglich) um die Fläche unter einem bestimmten Abschnitt der Kurve zu bestimmen und so das Ein- bzw. Ausatemvolumen eines Atemzuges zu berechnen.



# Korrektur des Luftstroms für einen Sensorausgleich

Der Differenzdrucksensor im Spirometer ist sehr sensibel und zeigt auch geringste Luftströme an, die sonst nicht mehr spürbar sind. Dies kann z. B. durch Handwärme oder schräges Halten des Sensors passieren (falsche Werte entstehen auch, wenn die Stromversorgung durch den Logger zu schwach wird).

- Machen Sie sich am aufgezeichneten Luftstrom einen Hinweis, wenn keine Luftbewegung durch den Sensor vorhanden war (dies ist der **Ausgleichswert** des Sensors).
- Benutzen Sie den Menüpunkt Funktion/Formel vor... bzw. nach Erfassung, Tara, um diesen Wert von den aufgezeichneten Daten abzuziehen und so genauere Werte zu erhalten. (...vor Erfassung berechnet die Korrektur während der Messung; ...nach Erfassung berechnet die Korrektur nach der Messung).
- Wählen Sie im Werkzeuge-Menü Funktion/Formel vor ... bzw. nach Erfassung
- Wählen Sie Voreinstellung -> Allgemein -> Tara
- Wählen Sie dann den Sensor, den Sie ausgleichen möchten, geben Sie den Ausgleichswert in der Parameterliste ein klicken Sie auf **OK**.

# **Umrechnen: Luftstrom in Volumen**



Luftstrom-Graph

- Benutzen Sie die Funktion **Spirometer Volumenfluss** im **Spirometer**-Abschnitt der Funktionen.
- Diese Funktion kann als **Funktion/vor Erfassung** gewählt werden und wandelt dann während der Erfassung den Luftstrom in ein Volumen um.
- Die Funktion kann aber auch als **Funktion/nach Erfassung** gewählt werden und wandelt die Daten dann nach der Aufzeichnung um.





Volumen-Graph

# **Spirometer**

# Umrechnen: Luftstrom in Volumen (bei Benutzung eines Tabellenkalkulationsprogramms)

- 1. Wählen Sie Transfer nach Exel aus dem Datei-Menü.
- 2. Die Daten werden dann in die ersten beiden Spalten kopiert (Spalte A: Zeit; Spalte B: Luftstromdaten).
- 3. Geben Sie die Formel =(A4-A3)\*B3 in Spalte C ein, um das Volumen pro Zeitintervall für die gesamte Spalte zu berechnen.

Hinweis: B3 ist der Referenzwert zur ersten Zelle, die die Daten des Luftstroms enthält. (A4-A3) ist der Zeitintervall zwischen den Messungen.

 Geben Sie die Formel =SUMME(\$C\$3:C3) in Spalte D ein, um die Volumenänderung f
ür die gesamte Spalte zu berechnen.

Hinweis: Diese Formel addiert die Zahlen der Zellen, das \$ Zeichen enthält den Startpunkt für die Addition von C3.

**Tipp**: Wenn Sie in Excel etwas einfügen, erscheint ein kleines Plus in der rechten oberen Ecke der Zelle – wenn Sie darauf doppelklicken wird die Formel für die gesamte Spalte übernommen.

Microsoft Excel - Tabelle1										
:	<u>D</u> atei <u>B</u> earbe	eiten <u>A</u> nsicht	Einfügen Format Ex	tras Date <u>n E</u> enster <u>?</u>						
1	🗄 🗋 💕 🛃 💪 🚑 🛃 Schließen 🛕 💞 🎎 🖌 🐚 🛝 - 🚿 🖛 - 🕫									
	Arial									
	E23 🗸	fx								
	A	В	С	D						
			Volumen pro							
1	701			Gesamtvolumen						
· ·	Zeit	AIFFIOW	Zeitintervali	Gesamtvolumen						
2	s	l/s	Zeitintervali	Gesamtvolumen						
2	s 1,900	l/s -0,540	=B23*(A\$5-A23)	=SUMME(C\$4:C23)						
2 23 24	s 1,900 2,000	Air Flow I/s -0,540 -0,480	=B23*(A\$5-A23) =B24*(A\$5-A24)	=SUMME(C\$4:C23) =SUMME(C\$4:C24)						
2 23 24 25	s 1,900 2,000 2,100	I/s -0,540 -0,480 -0,390	=B23*(A\$5-A23) =B24*(A\$5-A24) =B25*(A\$5-A25)	=SUMME(C\$4:C23) =SUMME(C\$4:C24) =SUMME(C\$4:C25)						
2 23 24 25 26	s 1,900 2,000 2,100 2,200	I/s -0,540 -0,480 -0,390 -0,280	=B23*(A\$5-A23) =B24*(A\$5-A24) =B25*(A\$5-A25) =B26*(A\$5-A26)	=SUMME(C\$4:C23) =SUMME(C\$4:C24) =SUMME(C\$4:C25) =SUMME(C\$4:C26)						
2 23 24 25 26 27	s 1,900 2,000 2,100 2,200 2,300	All Flow I/s -0,540 -0,480 -0,390 -0,280 -0,170	=B23*(A\$5-A23) =B24*(A\$5-A24) =B25*(A\$5-A26) =B26*(A\$5-A26) =B27*(A\$5-A27)	=SUMME(C\$4:C23) =SUMME(C\$4:C24) =SUMME(C\$4:C25) =SUMME(C\$4:C26) =SUMME(C\$4:C27)						
2 23 24 25 26 27 28	s 1,900 2,000 2,100 2,200 2,300 2,400	All Flow I/s -0,540 -0,480 -0,390 -0,280 -0,280 -0,170 -0,080	=B23*(A\$5-A23) =B24*(A\$5-A24) =B25*(A\$5-A24) =B26*(A\$5-A25) =B26*(A\$5-A26) =B27*(A\$5-A27) =B28*(A\$5-A28)	=SUMME(C\$4:C23) =SUMME(C\$4:C24) =SUMME(C\$4:C25) =SUMME(C\$4:C26) =SUMME(C\$4:C27) =SUMME(C\$4:C28)						

Hinweis: Die Formel anzeigen-Option wurde eingestellt um die Formeln hier darzustellen.

- Spalte A zeigt die Zeit des Graphen in Sekunden an
- Spalte B ist der Luftstrom in Liter/Sekunde
- **Spalte C** ist das berechnete Volumen der Luft, welche in dem Zeitintervall zwischen den Messpunkten durchgeblasen wurde.
- **Spalte D** ist das Volumen der Luft über den gesamten Atemzyklus. Das Gesamtvolumen wird addiert oder subtrahiert um das Volumen ansteigen oder abfallen zu lassen.



# Ausgleich der Volumenmesswerte bei Abweichungen

Luftstrom über der Zeit: zeigt die deutliche Abweichung (Anstieg)

- Wählen Sie Werkzeuge, Funktion/nach Erfassen.
- Wählen Sie Spirometer, Spirometer Volumenmessfehlerkorrektur.
- Wählen Sie den Eingang der die Daten enthält.
- Die bestmöglichen Justierungs-Parameter sind schon eingetragen, wenn nötig können diese noch modifiziert werden. Klicken Sie auf **OK** um den neuen Datensatz zu erstellen und zu zeichnen.
- Die Ausgleichfunktion ist nicht in der Lage, verschiedene Abweichungen zu justieren.





Volumen über der Zeit: zeigt die Abweichungskorrektur

# **Spirometer**

# Lungenkapazität

In diesem Versuch können Sie das normale Atemverhalten mit dem Verhalten beim tiefen Ein- und Ausatmen vergleichen. Bei der Lungenkapazitätsmessung sollte der Atem ruhig und gleichmäßig sein während besonders tief ein- oder ausatmet wird. Bevor Sie mit der Messung beginnen, lassen Sie sich die Testperson einige Minuten mit dem Gerät vertraut machen und üben Sie das tiefe Ein- und Ausatmen. Für den Versuch sollte man den Nasenclip benutzen oder sich die Nase zuhalten.

**Hinweis**: Das Ein- und Ausatmen sollte nicht extrem forciert werden, aber es muss ein kompletter Zyklus in der Messung enthalten sein. Ein gesamter Ein-/Ausatmungszyklus ist erreicht, wenn die Testperson nicht mehr weiter einatmen kann und wieder ausatmen muss (oder umgekehrt) – es sollte jedoch nicht versucht werden über diesen Punkt hinaus weiter zu atmen.

- Starten Sie die Sensing Science Software und wählen Sie die Grafik Funktion
- Wählen Sie eine **neue Aufnahme** und geben Sie als **Messintervall 50 ms** und als **Dauer** der Messung **30 Sekunden ein.** Zusätzlich können Sie noch einen **Trigger** setzen, der die Aufnahme startet, wenn der Luftstrom unter 0,1 l/s fällt, damit erst aufgezeichnet wird, wenn auch Messdaten eingehen.
- Nehmen Sie das Spirometer probeweise in den Mund und beginnen Sie ruhig und gleichmäßig zu atmen.
- Benutzen Sie den Nasenclip oder halten Sie sich die Nase zu.
- Klicken Sie auf Start
- Warten Sie 2–3 Sekunden, nehmen Sie das Spirometer wieder in den Mund und atmen Sie normal. Machen Sie 3–4 normale Atemzüge (das stabilisiert das Atemzugvolumen). Nach dem letzen Ausatmen atmen Sie so lange und so tief wie möglich ein und erst wenn Sie nicht weiter einatmen können atmen Sie wieder aus.
- Atmen Sie wieder 2–3 mal normal und beim letzten normalen Einatmen atmen Sie bewusst so tief wie möglich aus, bis zu dem Punkt, an dem Sie unbedingt wieder einatmen müssen.
- Atmen Sie normal weiter bis die Messung beendet ist.

Ein/ Aus	Ein/ Aus	Ein/ Aus	Tief Ein	Aus	Ein/ Aus	Ein/ Aus	Ein	Tief Aus	Ein/ Aus	Ein/ Aus	Ein/ Aus
-------------	-------------	-------------	----------	-----	-------------	-------------	-----	----------	-------------	-------------	-------------



• Korrigieren Sie die Luftstrom-Messwerte bei Abweichungen indem Sie die **Tara**-Funktion aus dem Menü **Werkzeuge (Funktion/nach Erfassen)** benutzen (siehe auch Seite 172).

 Benutzen Sie Funktion/nach Erfassen -> Spirometer Volumenfluss um den Luftstrom in ein Volumen umzurechnen und ein Volumen über der Zeit-Diagramm zu erzeugen (siehe Seite 173). Wenn die Volumen-Kurve eine Abweichung abweist, können Sie dies mit der Funktion Spirometer Volumenmessfehlerkorrektur (siehe Seite 175). Für die meisten Anwendungen wird die Ausgleichskorrektur nicht benötigt.

#### Analyse der Lungenkapazität

Die Werte für das Atemzugvolumen, die Ein- und Ausatemreserve können direkt aus der Grafik (**Differenz**-Funktion zwischen Spitzen und Tälern) abgelesen werden. Es werden dann auch negative Werte angezeigt, was anfangs gewöhnungsbedürftig ist.



Lungenkapazitätsmessung: Ergebnisse angepasst hinsichtlich Restvolumen und inspiratorischem Reservevolumen

- 0,45 kg ~ 1 cm<sup>3</sup> des Restvolumens
- Stellen Sie das Volumen der Einatemreserve fest (Basis des Atemzugvolumen–Maximum des Einatmens)
- Berechnen Sie das Restvolumen.
- Addieren Sie diese beiden Werte und addieren Sie das Ergebnis zu dem Wert für das Lungenvolumen der bei Null beginnt.



Lungenkapazität: angepasste Y-Achse, addierte Lungenkapazität

# Leistungsfähigkeit der Lungen (Luftstrom/Volumen-Kurve)

Die Ergebnisse dieser Messung dienen nur der Veranschaulichung und dürfen nicht als Grundlage medizinischer Untersuchungen dienen. Dieser Versuch imitiert einen Lungenfunktionstest, wie er in Asthma-Kliniken oder Fitnessstudios durchgeführt wird. Über die Veränderung der Form der Kurve kann auf die Entwicklung der Leistungsfähigkeit der Lunge geschlossen werden.



Dieser Test kann sehr anstrengend sein. Achten Sie darauf, dass die Testpersonen nicht überfordert werden. Achten Sie besonders darauf, dass keine der Testpersonen den Versuch mehr als 4-mal hintereinander durchführt.

Die Testperson muss bei diesem Versuch besonders stark ein- und ausatmen um den maximalen Effekt zu erzielen und die Lungen so schnell und so gründlich wie möglich mit Luft zu füllen. Die ,kritische' Phase des Versuches ist das Ausatmen, was hier über einen Zeitraum von ca. **10 Sekunden** erfolgen muss, damit die Leistungsfähigkeit der Lungen optimal bestimmt werden kann. Die Versuchsperson sollte vom Zwerchfell beginnend nach oben ausatmen – das vorzeitige Zusammenziehen des Brustkorbes führt nur zu flachem Atmen, welches die Messwerte verfälscht (zu Erkennen an einem deutlichen Hügel/Plattform im Graph an der abfallenden Seite).

# **Untersuchung 1**

- Starten Sie die Sensing Science Software und wählen Sie Grafik.
- Öffnen Sie eine **neue Aufnahme** und wählen Sie einen **Messintervall** von **50 ms, Dauer 20 Sekunden** mit einem **Trigger** bei Luftstrom steigt über 2,0 mit einem 25%igen **Vortrigger.**
- Nehmen Sie das Spirometer in den Mund und atmen Sie ruhig und gleichmäßig.
- Benutzen Sie den Nasenclip.
- Klicken Sie Auf die **Start**-Taste um mit der Aufzeichnung zu beginnen. Die Testperson soll jetzt:
  - a. So tief wie möglich einatmen;
  - b. kräftig so lange wie möglich ausatmen idealerweise 10 Sekunden lang;
  - c. wieder einatmen und normal weiteratmen bis die Untersuchung stoppt



Die Kurve zeigt einen starken Anstieg beim Einatmen gefolgt von einer langsamer abfallenden Kurve beim Ausatmen. Sollten in der Kurve auffällige Hügel oder Ebenen sein, wählen Sie **Überlagerung** und wiederholen Sie den Versuch. • Wenn nötig, können Sie mit der **Auswahl**-Funktion den Abschnitt des Ausatmens noch detaillierter darstellen.



- Benutzen Sie den **Funktionen-Assistenten** um den Luftstrom in ein Volumen umzurechnen (siehe auch Seite 173).
- Betrachten Sie die Volumen nach einer und sechs Sekunden nach dem Beginn des Ausatmens.
- Finden Sie heraus, wie lange es dauerte das maximale Volumen zu erreichen.
- Benutzen Sie diese Informationen um die Werte aus der Tabelle am Anfang dieser Anleitung zu berechnen.

Hinweis: Negative Werte für das Volumen stehen für eingeatmete Luft, positive Werte für ausgeatmete Luft.

# Strom-Sensoren



# Strom-Sensor - Best.-Nr. 73165

Bereich:±1 AAuflösungsvermögen:0,5 mAWiderstand/Impedanz:0R18 (0,18 Ohm)Maximale Spannung:± 27 V

#### Strom-Sensor - Best.-Nr. 73166

Bereich:±100 mAAuflösungsvermögen:50 μAWiderstand/Impedanz:1R8 (1,8 Ohm)Maximale Spannung:±27 V

#### Strom-Sensor – Best.-Nr. 73167

Bereich:±10 AAuflösungsvermögen:10 mAWiderstand/Impedanz:0R018 (0,018 Ohm)Maximale Spannung:±27 V

#### Einleitung

Die Smart Q Strom-Sensoren werden verwendet, um den in einem Stromkreis fließenden Strom zu messen.

Diese Palette von Strom-Sensoren kann sowohl in Gleichstrom- als auch in Kleinspannungs-Wechselstromkreisen verwendet werden.

Die Smart Q Strom-Sensoren sind mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit und Konsistenz der Anzeigewerte des Sensors beträchtlich erhöht. Sie werden kalibriert geliefert, und die gespeicherte Kalibrierung (in Ampere) wird automatisch geladen, wenn der Strom-Sensor angeschlossen wird.

#### Anschließen

Der CorEx Logger erkennt, dass der Strom-Sensor angeschlossen ist.

- 1. Halten Sie das Strom-Sensor-Gehäuse so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- 2. Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse am Sensorgehäuse, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- 3. Schließen Sie das andere Ende des Kabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers an, so dass sich der Markierungspfeil oben befindet.



### Praktische Informationen

Der Strom-Sensor muss mit dem Schaltungsbauteil, in dem der Strom gemessen werden soll, in Reihe geschaltet werden.

Es können Ströme in jeder Richtung gemessen werden.

Die Strom-Sensoren haben einen sehr niedrigen Widerstand, so dass sie so wenig Widerstand wie möglich in den Stromkreis einbringen.



#### **VORSICHT**:

Schließen Sie einen Strom-Sensor niemals direkt an eine Batterie oder Stromversorgungsquelle an. Es muss immer ein Widerstandsbauteil dazwischen geschaltet sein, das den Strom auf einen Wert begrenzt, der innerhalb des Bereiches des Sensors liegt. Wird der Strom nicht begrenzt, so kann dies zu einer dauerhaften Beschädigung des Sensors führen.

### SICHERHEIT:

Schließen sie den Sensor niemals in einen Stromkreis mit Hochspannung oder Netz-Wechselspannung!

# Untersuchungen

- Ohm'sches Gesetz
- Reihenschaltungen und Parallelschaltungen
- Untersuchungen zu alternativen Energiequellen, z. B. Solarzellen
- Lebensdauer einer Batterie
- Entladen eines Kondensators
- Wärme und elektrischer Strom
- Induktion in einer Spule
- Eigenschaften von elektrischen Bauteilen
- Beziehungen Spannung/Strom
## Strom-Sensoren

## Versuchsbeispiele

### Was ändert den Strom in einem Stromkreis?

Verwenden Sie den Sensor Best.-Nr. 73165, Bereich ±1 A, oder Best.-Nr. 73167, Bereich ±10 A.

Bei dieser Untersuchung wird der in einem Stromkreis fließende Strom bei einer unterschiedlichen Anzahl angeschlossener elektrischer Batteriezellen gemessen.

• Bauen Sie den Versuch wie dargestellt mit dem an den CorEx Logger angeschlossenem Strom-Sensor auf.



- Öffnen Sie den Programmteil Grafik der SENSING SCIENCE Software. Wählen Sie den Erfassungs-Assistenten und als Verfahren Schnappschussmodus.
  Klicken Sie, ohne dass Batteriezellen angeschlossen wurden, auf START. Klicken Sie in den Bereich des Diagramms, um den ersten Anzeigewert zu markieren.
- Geben Sie in der Tabellen-Anzeige "Keine Zellen" in die erste Zeile der Spalte Bemerkung ein.

Schalten Sie eine Zelle in den Stromkreis und erzeugen Sie einen weiteren Anzeigewert. Geben Sie die Bemerkung "Eine Zelle" für dieses Ergebnis ein.

• Wiederholen Sie den Vorgang mit zwei, drei und vier Zellen.



Für dieses Beispiel wurden die Daten mit in 0 bis 600 mA geänderten Grenzen der Sensor-Achse angezeigt.

## Strom-Sensoren

## **Alternative Energie**

#### Windenergie

Verwendet wird der Strom-Sensor Best.-Nr. 73166, Bereich ±100 mA.

- Bauen Sie den Versuch wie dargestellt mit dem an den CorEx Logger angeschlossenem Strom-Sensor auf.
- Mit dem elektrischen Lüfter wird ein Luftstrom erzeugt.



- Öffnen Sie den Programmteil Grafik; wählen Sie Echtzeit mit Zeitspanne von 1 oder 2 Minuten. Stellen Sie den elektrischen Lüfter so auf, dass er die an dem DC-Motor angebrachten Propellerblätter in Rotation versetzt. Schalten Sie den Lüfter ein
- Klicken Sie auf **START**. Versuchen Sie, die Drehzahl des Lüfters zu ändern, um ihre Auswirkung auf den Strom im Stromkreis festzustellen.



### Solarzellen

Dieses Beispiel zeigt die Daten, die von zwei miteinander gekoppelten 3-Volt-Solarzellen gewonnen wurden, die auf einem Fenstersims angebracht waren. Die Zellen waren zu einem einfachen Stromkreis verbunden, und ihr Stromund Spannungsausgang wurde einen Tag lang aufgezeichnet.



## Strom-Sensoren

## Anlaufstrom einer Glühlampe (nur mit CorEx Logger oder CorEx Link möglich)

Verwendet werden:

- der Strom-Sensor Best.-Nr. 73167, Bereich ±10 A, oder Best.-Nr. 73165, Bereich ±1 A und
- ein Beleuchtungsstärke-Sensor, z. B. Best.-Nr. 73120
- 1. Bauen Sie den Versuch wie dargestellt auf, wobei der Strom-Sensor und der Beleuchtungsstärke-Sensor jeweils an einen der Eingänge des CorEx Loggers anzuschließen sind.



- 2. Schalten Sie den Schalter ein, so dass die Lampe leuchtet. Wählen Sie entweder **Testmodus** in der SENSING SCIENCE Software, oder drücken Sie **Meter** am CorEx Logger. Justieren Sie den Abstand zwischen Beleuchtungsstärke-Sensor und Glühlampe, um sicherzustellen, dass die Anzeigewerte im zulässigen Bereich liegen. Schalten Sie den Schalter aus.
- 3. Die Daten müssen in der Betriebsart **Schnell** erfasst werden. Die Anwahl kann direkt am CorEx Logger oder über die SENSING SCIENCE Software erfolgen.

In diesem Beispiel wurden 1000 Abtastwerte gewonnen, mit einem Abtastintervall von 1 Millisekunde. Der verwendete Trigger war darauf eingestellt anzusprechen, wenn der Strom-Sensor über 0,05 A ansteigt, mit einem 25%-Vortrigger. Die Daten wurden mit auf 0 bis 3 Ampere geänderten Achsen-Grenzwerten für den Strom-Sensor angezeigt.



4. **STARTEN** Sie die Protokollierung. Schalten Sie den Schalter schnell ein, um den Stromkreis zu schließen.

Hinweis: Achten Sie auf den Effekt des "Kontaktprellens".

## **Temperatur-Sensoren**



### Temperatur-Sensor 1, träge – Best.-Nr. 73100

Messbereich:	–30 °C bis +110 °C
Genauigkeit:	±0,3 °C von 0 bis 70 °C, ansteigend bis
	±0,6 °C beim Bereichsendwert
Auflösung:	0,1 °C



Temperatur-Sensor 2,	schnell – BestNr. 73101
----------------------	-------------------------

Messbereich:	–30 °C bis +110 °C
Genauigkeit:	±0,3 °C von 0 bis 70 °C, ansteigend bis
	±0,6 °C beim Bereichsendwert
Auflösung:	0,1 °C

#### Einführung

Die Smart Q-Sensoren sind mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit und Stetigkeit von Messergebnissen erheblich verbessert. Sie werden werkseitig kalibriert und die gespeicherte Kalibrierung in °C wird automatisch geladen, wenn der Sensor mit dem CorEx Logger (Best.-Nr. 73002) verbunden wird.

#### Anschluss

Der Temperatur-Sensor wird wie folgt an den CorEx Logger angeschlossen:

- Das Sensorgehäuse wird so gehalten, dass der "Smart Q" Aufkleber nach oben zeigt.
- Ein Ende des Sensor-Anschlusskabels (gehört zum Lieferumfang des CorEx Loggers) wird so in die Buchse des Sensorgehäuses gesteckt, dass sich der auf dem Kabelstecker befindliche Pfeil oben befindet.
- Das andere Ende des Sensor-Anschlusskabels wird mit einer der 6 Eingangsbuchsen des CorEx Loggers verbunden. Auch hier ist vor dem einstecken darauf zu achten, dass sich der Pfeil des Steckers oben befindet.



## **Temperatur-Sensoren**

## Temperatur-Sensor 1, träge

Der Sensor eignet sich für allgemeine Temperaturmessungen im naturwissenschaftlichen und Umweltbereich. Der temperaturempfindliche Thermistor ist am Ende eines rostfreien Stahlrohres eingebaut. Das Rohr hat eine besonders niedrige Wärmeträgheit, so dass der Einfluss auf die zu messende Temperatur zu vernachlässigen ist. Das Material ist weitgehend widerstandsfähig gegen Korrosion und chemische Stoffe.

### Bedienungshinweise

- Nur die Spitze des Stahlrohres ist die für Messungen empfindliche Stelle.
- Für Oberflächenmessungen ist der Stab flach auf die Fläche zu legen und nicht auf die Spitze zu stellen.
- Kein Teil des Sensors darf direkt in eine Flamme gehalten werden oder mit einer Heizplatte in Berührung kommen.



- Das Eintauchen des Sensors in eine Flüssigkeit über die Länge des Metallrohres hinaus ist zu vermeiden.
- Das Sensorrohr sollte nach jeder Anwendung gereinigt werden.
- Temperaturen über 150 °C können den Sensor beschädigen.

### Messen in Säuren und Laugen

Das rostfreie Stahlrohr ist weitgehend korrosionsbeständig gegenüber schwachen Säuren und Laugen. Einige Umgebungen können das Rohr leicht verfärben, was jedoch keinen Einfluss auf die Messergebnisse hat.

- Salzwasser kann eine leichte Verfärbung hervorrufen.
- Der Sensor kann in basischen Lösungen wie z. B. Natriumhydroxid (NaOH) bis zu 48 Stunden verbleiben und wird dann nur eine leichte Verfärbung zeigen. Es wird empfohlen keine höheren Lösungskonzentrationen als 3 mol für Messungen zu verwenden.
- Die maximale Dauer, die der Sensor einer Säure ausgesetzt werden kann, hängt von ihrer Konzentration ab. Im Allgemeinen sollte der Sensor nicht länger als 48 Stunden in einer 1 bis 3 molaren Säure verbleiben (z. B. Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>), Essigsäure (CH<sub>3</sub>OOH) oder Phosphorsäure (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)).
- Davon ausgenommen sind Salzsäure (HCl) und Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Beide Säuren greifen die Metalloberfläche des Schutzrohres an. Deshalb darf der Sensor in diese Säuren nicht länger als nachfolgend angegeben eingetaucht werden:

HCL	
1 mol	20 Minuten
2 mol	10 Minuten
3 mol	5 Minuten

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		
1 mol	48 Stunden	
2 mol	20 Minuten	
3 mol	10 Minuten	

## Messvorschläge

- Aufzeichnen der Zimmer- und Außentemperatur
- Wetterbeobachtung
- Isoliereigenschaften von Stoffen
- Aufzeichnen endothermischer und exothermischer Reaktionen
- Löslichkeit von Salzen
- Ermittlung von Gefrier- und Siedepunkt
- Abkühlungsraten
- Messen von Verdunstungstemperatur, Wärmestrahlung, Wärmeleitung, Wärmeströmung
- Energiegehalt von Lebensmitteln und Brennstoffen
- Fusionswärmeuntersuchung

## Temperatur-Sensor 2, schnell

Bei diesem Sensor ist der temperaturempfindliche Thermistor beweglich an einem Kabel angebracht, das von einem stabilen Schrumpfschlauch umgeben ist. Er kann deshalb flexibel auch an nicht leicht zugänglichen Stellen eingesetzt werden. Dank seiner schnellen Ansprechzeit ist er auch für physiologische Versuche direkt auf der Haut gut verwendbar.

#### Bedienungshinweise

- Temperaturen über 125 °C oder unter -30 °C können den Sensor beschädigen.
- Der Sensor ist nicht für Messungen an chemischen Stoffen geeignet.
- Kein Teil des Sensors darf in eine offene Flamme gehalten werden oder mit einer Heizplatte in Berührung kommen.

### Messvorschläge

- Temperaturmessungen an verschiedenen Körperstellen
- Messen der Veränderung der Hauttemperatur nach Bewegung und Schwitzen.





## Thermoelement-Sensor



Temperatur-Sensor 3, hohe Temperaturen – Best.-Nr. 73105

Messbereich: -200 bis 1.000 °C Auflösung: 1 °C

### Einführung

#### **Thermoelement-Adapter**

Der Smart Q-Sensoradapter ist mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit und Stetigkeit der Messergebnisse mit Hilfe einer 40-Punkt-Linearisierung der Thermoelement-Charakteristik erheblich verbessert. Die Kalibrierung des Adapters erfolgt werksseitig. Die gespeicherte Kalibrierung in °C wird automatisch geladen, wenn der Sensor mit dem CorEx Logger (Best.-Nr. 73002) verbunden wird.

#### **K-Typ-Thermoelement**

Das Thermoelement ist im Ende einer rostfreien Stahlrohrhülse (200 x 3 mm Ø) untergebracht. Das ein Meter lange Anschlusskabel ist mit einem grünen K-Typ-Ministecker versehen, der in die Steckbuchse am Adapter gesteckt wird.

Ein Ersatz-Thermoelement kann unter der Best.-Nr. 73107 nachbestellt werden.

### Anschluss

- Das Sensorgehäuse wird so gehalten, dass der "Smart Q" Aufdruck nach oben zeigt.
- Ein Ende des Sensor-Anschlusskabels (gehört zum Lieferumfang des CorEx Loggers) wird so in die Buchse des Sensorgehäuses gesteckt, dass sich der auf dem Kabelstecker befindliche Pfeil oben befindet.
- Das andere Ende des Sensor-Anschlusskabels wird mit einer der 6 Eingangsbuchsen des CorEx Loggers verbunden. Auch hier ist vor dem Einstecken darauf zu achten, dass sich der Pfeil des Steckers oben befindet.
- Der Ministecker des Thermoelementes wird so in die Buchse am Adapter gesteckt, dass sich die positiven und negativen Symbole gegenüberstehen (der schmalere Stift ist positiv).



#### Theorie

Ein einfaches Thermoelement besteht aus zwei verschiedenen Metalldrähten (z. B. Chromnickel (+) und Aluminiumnickel (–)). Wenn man jeweils ein Ende dieser Drähte verdrillt und ein Drahtende erwärmt oder gekühlt wird während das andere Ende bei einer konstanten Temperatur verbleibt, wird ein geringes Potential oder eine Spannung erzeugt. Diese geringe Spannungsdifferenz bezeichnet man auch als Seebeck-Effekt. Die Spannung wird verstärkt und zur Messung von Temperaturdifferenzen genutzt.

## Sensor-Information

Der Thermoelement-Adapter kann auch zusammen mit anderen K-Typ-Thermoelementen verwendet werden. In diesem Fall ist der Temperaturmessbereich auf das angeschlossene Thermoelement zu begrenzen.

Die frühere Farbcodierung für Thermoelemente wurde in den neuen Spezifikationscode IEC 584-3 geändert. Die neue IEC-Farbcodierung für K-Typ-Thermoelemente ist grün.

Die Metallhülse des Thermoelementes hält Temperaturen von mehr als 1000 °C stand. Dies gilt jedoch nicht für die Kunststoff-Ummantelung des Anschlusskabels, die nur für einen Temperaturbereich von –10 bis +105 °C ausgelegt ist. Deshalb muss das Kabel immer von einer Hitzequelle entfernt gehalten werden.

Die Thermoelementverbindung ist von der Stahlhülse isoliert eingebaut. Wenn nicht isolierte Thermoelemente verwendet werden, müssen sie voneinander isoliert werden, um korrekte Ergebnisse zu erreichen.

Ruß- oder Aschereste werden mit einem trockenen Tuch von der Stahlhülse entfernt.

Wenn beim Messen zwischen hohen und niedrigen Temperaturen gewechselt wird, benötigt der Sensor eine gewisse Zeit zur Abkühlung und Stabilisierung bevor eine neue Messung erfolgen kann. Die Abkühlung muss langsam an der Luft erfolgen.

Der Sensor darf auf keinen Fall zum Abkühlen in kaltes Wasser getaucht werden, wenn er zuvor erhitzt wurde.

## Versuchsvorschläge

• Untersuchung der Temperatur an verschiedenen Stellen der Bunsenbrenner-Flamme

Brennerflamme, Luftregelung offen, blaue Flamme

Gemessene <sup>-</sup>	Temperaturen
Nr.	°Ċ
1	318
2	708
3	484
4	1.000
5	489
6	978
7	761



## **Thermoelement-Sensor**

Brennerflamme,	Luftregelung	geschlossen,	gelbe Flamme
----------------	--------------	--------------	--------------

Gemessene Temperaturen			
Nr.	°C		
1	174		
2	424		
3	286		
4	562		
5	241		
6	715		



• Vergleich der Flammentemperaturen verschiedener Kerzen

## Große Kerze

Gemessene Temperaturen			
Nr.	°C		
1	445		
2	594		
3	404	Die Messergebnisse wurden im Schnappschussmodus des	
4	539	CorEx Loggers ermittelt und	
5	459	mit der Tabellen-Kopierfunkti- on im Programmfeld Bearbei- ten in eine Word-Anwendung übertragen.	







- Vergleich verschiedener Wachsarten in Hinblick auf die Verbrennung.
- Schmelzpunktuntersuchung an Metallen (Kupfer, Wismut)
- Temperaturmessung an Trockeneis und flüssiger Luft
- Bei welcher Temperatur platzt Popcorn auf?

## Tropfen- und Blasenzähler



Tropfen- und Blasenzähler – Best.-Nr. 73266

Messbereiche:

1. Tropfen/Blasen zählen:	0–10 000
2. Volumen (23 Tropfen/cm <sup>3</sup> )	0–120 cm <sup>3</sup>
3. Volumen (24 Tropfen/cm <sup>3</sup> )	0–120 cm <sup>3</sup>
4. Volumen (25 Tropfen/cm <sup>3</sup> )	0–120 cm <sup>3</sup>
5. Volumen (26 Tropfen/cm <sup>3</sup> )	0–120 cm <sup>3</sup>
6. Volumen (27 Tropfen/cm <sup>3</sup> )	0–120 cm <sup>3</sup>
7. Volumen (28 Tropfen/cm <sup>3</sup> )	0–120 cm <sup>3</sup>
8. Volumen (29 Tropfen/cm <sup>3</sup> )	0-120 cm <sup>3</sup>

### Einführung

Der Tropfen- und Blasenzähler kann sowohl zum Zählen von fallenden Tropfen z. B. bei einer Titration, als auch zum Zählen von aufsteigenden Blasen in einer Flüssigkeitssäule genutzt werden.

Der Tropfen- und Blasenzähler ist als Infrarotlichtschranke mit einer Gabelweite von 56 mm aufgebaut. Bei einer Unterbrechung des Strahlengangs wird ein digitales Signal erzeugt, das von der Sensorelektronik gezählt und gespeichert wird. Die Unterbrechung des Strahlengangs wird durch Blinken einer roten LED angezeigt. Mittels eines RESET-Knopfes am Sensorgehäuse kann der interne Zähler auf ,Null' zurückgesetzt werden.

Der Tropfen- und Blasenzähler ist mit einem Mikrokontroller ausgestattet, der eine hohe Genauigkeit gewährleistet. In dem Mikrokontroller sind Kalibrierungsdaten für alle Messbereiche gespeichert.



Die Messbereiche sind:

- Der **Tropfen/Blasen zählen** Bereich. Die genaue Zahl der Tropfen oder Blasen, die durch die Lichtschranke passieren wird gezählt. Die Anzeige zeigt die Zahl der Tropfen oder Blasen an.
- Der Volumen Bereich. Die voreingestellten Volumenmessbereiche sind 23 Tropfen/cm<sup>3</sup>, 24 Tropfen/cm<sup>3</sup>, 25 Tropfen/cm<sup>3</sup>, 26 Tropfen/cm<sup>3</sup>, 27 Tropfen/cm<sup>3</sup>, 28 Tropfen/cm<sup>3</sup> und 29 Tropfen/cm<sup>3</sup>.

Wird einer von diesen Messbereichen gewählt, wird die gemessene Tropfenzahl direkt umgerechnet und als Volumen in cm<sup>3</sup> angezeigt.

Die im Mikrokontroller gespeicherten Kalibrierungsdaten werden für die gewählten Messbereiche automatisch an den CorEx Logger übertragen.

## Der Tropfen- und Blasenzähler wird geliefert mit

- einem Stativstab 80 mm Länge x 10 mm Ø mit M6-Gewinde. Dieser Stativstab kann in die am Boden und an beiden Seiten des Sensorgehäuses vorhandenen Gewinde eingeschraubt werden und dann an Stativmaterial befestigt werden;
- einem Kunststoffgefäß für Flüssigkeiten, zwei Dreiwege-Hähnen und zwei Kunststoff-Tropfspitzen (alle mit Konus);
- einem Ausrichtungsadapter mit Sicherungsschraube. Mittels dieses Adapters kann die Fallstrecke der Tropfen genau in der Lichtschranke ausgerichtet werden.

## Mögliche Untersuchungen

*Säure/Base-Titrationen:* Der Tropfen- und Blasenzähler wird als Tropfenzähler mit dem *SmartQ* pH-Sensor kombiniert und Daten für eine Darstellung des pH-Wertes gegen das Volumen des hinzugefügten Stoffes (z. B. NaOH mit HCI) erfasst.

*Untersuchungen der Leitfähigkeit:* Der Tropfen- und Blasenzähler wird als Tropfenzähler mit dem *SmartQ* Leitfähigkeits-Sensor kombiniert und Daten für eine Darstellung der Leitfähigkeit gegen das Volumen des hinzugefügten Stoffes (z. B. K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> mit AgNO<sub>3</sub>) erfasst.

*Untersuchungen der Gasentwicklung:* Der Tropfen- und Blasenzähler wird als Blasenzähler eingesetzt, um z. B. bei der Reaktion von Marmorstückchen mit HCL die Gasentwicklung zu messen.

### Anschluss

- Halten Sie den Tropfen- und Blasenzähler fest in der Hand und stecken Sie das Sensor-Anschlusskabel in die Buchse mit dem angeformten Kragen.
- Das andere Ende des Sensor-Anschlusskabels wird mit dem CorEx Logger verbunden. Die rote LED am Tropfen- und Blasenzähler leuchtet auf. Der CorEx Logger erkennt den Sensor automatisch.



• Sie können jetzt den geeigneten Messbereich auswählen. Wenn Sie den **Reset**-Taster drücken, wird der Zähler im Tropfen- und Blasenzähler auf ,Null' gestellt.

### Messbereichswahl

Der gewünschte Messbereich kann im Programmpunkt **Sensorkonfiguration** der CorEx *Sensing Science Software* eingestellt werden.

- Verbinden Sie dazu den Tropfen- und Blasenzähler mit dem CorEx Logger, der mit dem PC verbunden ist. Starten Sie die *Sensing Science Software*, wählen Sie in einem Erfassungsprogramm den Menüpunkt **Einstellungen** und dann **Sensorkonfiguration**.
- Ein Klick auf **Erkennen** prüft die am Logger angeschlossenen Sensoren und zeigt deren Namen an. Ein Klick auf **Bereich wechseln** öffnet das rechts gezeigte Fenster, der aktuelle Messbereich ist farblich unterlegt. Wählen Sie den gewünschten Messbereich und klicken Sie dann auf **OK**.

Sens	or Bereiche	x
C	kein Sensor (%)	
	Drop/Bubble ( )	
S	ensorbereich wählen	×
	Sensor 2	
	Bereich wählen	
	Drop Counter	
	Drop/Bubble	4
ĺ	24 drops/cm3 25 drops/cm3 26 drops/cm3 27 drops/cm3 28 drops/cm3	•
	ОК	

Sie können das Programm nun verlassen. Der eingestellte Messbereich bleibt bis zur nächsten Einstellung erhalten. Mit einigen CorEx Loggern ist es möglich, den Messbereich am Gerät einzustellen. Bitte sehen Sie in die Anleitung des CorEx Loggers.

## Verwenden des Tropfen- und Blasenzähler um Tropfen zu zählen

## Einrichtung des Reagenzienbehälters und des Ausrichtungsadapters:

Sie können jedes Tropfen erzeugende Gefäß für Ihre Experimente benutzen. Der mitgelieferte Reagenzienbehälter mit Tropfspitze ermöglicht es, Tropfen in der Größe der vorgegebenen Werte zu erzeugen. Der Reagenzienbehälter wird mit zwei Drei-Wege-Hähnen geliefert. Mit dem ersten Drei-Wege-Hahn wird die Durchflussgeschwindigkeit reguliert, mit dem zweiten Hahn kann der Durchfluss an- oder ausgestellt werden. Da der Reagenzienbehälter nur als Vorratsgefäß für einen Reaktionspartner dient, ist er nicht mit einer Skala ausgestattet.

### Zusammenbau des Reagenzienbehälters:

Befestigen Sie einen Drei-Wege-Hahn mit einer vorsichtigen halben Rechtsdrehung am Reagenzienbehälter. Schieben Sie den zweiten Drei-Wege-Hahn auf den Anschluss des Ersten und befestigen Sie dann die Tropfspitze. Drehen Sie die beiden Überwurfmuttern fest, um den Aufbau zu sichern (Diese Überwurfmuttern müssen zum Abbau wieder gelöst werden).



Die Kombination aus zwei Drei-Wege-Hähnen dient zur Regelung des Flusses der Reagenzien aus dem Reagenzienbehälter. Der durchlaufende Teil des blauen Handgriffs zeigt die jeweils verbundenen Anschlüsse der Drei-Wege-Hähne an.

Hinweis: Belassen Sie die weißen Aufkleber auf den seitlichen Anschlüssen der Drei-Wege-Hähne.



- Mit dem oberen Drei-Wege-Hahn wird die Durchflussgeschwindigkeit und damit die Tropfrate aus dem Reagenzienbehälter eingestellt.
- Mit dem unteren Drei-Wege-Hahn kann dann der Durchfluss an- oder abgestellt werden.





Offen – bei diesen beiden Hahnstellungen kann Flüssigkeit durchfließen.

Geschlossen – kein Durchfluss bei diesen beiden Hahnstellungen.

Drehen Sie beide Drei-Wege-Hähne in die *Geschlossen* Stellung. Der Reagenzienbehälter kann nun mit Hilfe des Ausrichtungsadapters am Tropfen- und Blasenzähler befestigt werden.

## Verwenden des Ausrichtungsadapters:

Mit Hilfe des Ausrichtungsadapter kann der Tropfenfall genau durch den Lichtstrahl geführt werden.

Der Adapter hat drei Öffnungen in der flachen Oberseite:

- 1. Die große Öffnung nimmt z. B. eine pH-Elektrode auf.
- 2. Die kleine Öffnung mit den Visierlinien ist für die Tropfspitze des Reagenzienbehälters vorgesehen
- 3. Durch die andere kleine Öffnung kann ein Temperatur-Sensor gesteckt werden.

**Hinweis:** Die Öffnungen in dem Ausrichtungsadapter sind so angeordnet, dass in einem 250 ml Becherglas störungsfrei mit einem Magnetrührer gearbeitet werden kann.



### Befestigen des Ausrichtungsadapters am Tropfen- und Blasenzähler:

Schrauben Sie die mitgelieferte Flachkopf-Kreuzschlitzschraube teilweise in das Gewinde in der Mitte zwischen den Gabeln der Lichtschranke ein. Schieben Sie dann die Aussparung im Montagearm des Ausrichtungsadapters unter den Schraubenkopf. Ziehen Sie die Befestigungsschraube nun leicht an. Achten Sie darauf, die **Schraube nicht zu überdrehen**.

Schrauben Sie den Haltestab in das für den Aufbau geeignete Gewinde am Sensorgehäuse ein



(Sie können den Haltestab an drei verschiedenen Stellen einschrauben) und befestigen Sie den Sensor damit an Ihrem Stativmaterial. Stellen Sie sicher, dass der Sensor waagerecht steht und die Anzeige LED im Blickfeld liegt.

Positionieren des Reagenzienbehälters im Ausrichtungsadapter:



## Tropfen- und Blasenzähler

Platzieren Sie die Spitze des Reagenzienbehälters in der Öffnung, die mit den "Zielmarkierungen" versehen ist. Der Behälter ist in der richtigen Position, wenn sich die Spitze sichtbar unter der Adapterplatte befindet.

Benutzen Sie eine Klemme um den Behälter zu stabilisieren. Überprüfen Sie, dass der Behälter senkrecht steht und spannen Sie ihn nicht zu fest ein.

Die Tropfen können nun durch den Lichtstrahl fallen und erfasst werden, ohne dass weitere Justierungen nötig sind.



#### Öffnung mit Markierungen

# Wenn Reagenzienbehälter und Ausrichtungsadapter nicht benutzt werden:

Am Gehäuse des Tropfen- und Blasenzählers ist eine Einkerbung über dem Sender und dem Empfänger angebracht. Richten Sie die Apparatur so aus, dass die Tropfen durch eine gedachte Linie zwischen diesen Einkerbungen fallen. Die LED am Tropfen- und Blasenzähler blinkt jedes Mal auf, wenn ein Tropfen den Lichtstrahl unterbricht – Sie können die LED benutzen um ihre Apparatur richtig auszurichten.



**Hinweis:** Wenn Sie eine Bürette mit nur einem Hahn zum Einstellen der Tropfgeschwindigkeit und zum Unterbrechen des Flüssigkeitsstrahls benutzen, ist es schwierig die Tropfgeschwindigkeit ordentlich einzustellen. Wenn Sie die Möglichkeit haben, können Sie von der Bürette einen Schlauch zur Tropfspitze legen und diesen mit einer Klemme abdrücken, wenn Sie den Flüssigkeitsstrahl unterbrechen wollen. Auch ein dichter Stopfen im oberen Ende der Bürette kann den Strahl unterbrechen.

## Einstellen des richtigen ,Tropfraten'-Bereiches

Der Tropfen- und Blasenzähler kann für folgende Anwendungen benutzt werden:

1. Zählen der Tropfen, die durch den Lichtstrahl des Sensors fallen (siehe Messbereich).

- Anzeigen der Flüssigkeitsmenge direkt als Volumen in cm<sup>3</sup> dazu müssen Sie einen der voreingestellten Messbereiche anwählen: 23 Tropfen/cm<sup>3</sup>, 24 Tropfen/cm<sup>3</sup>, 25 Tropfen/cm<sup>3</sup>, 26 Tropfen/cm<sup>3</sup>, 27 Tropfen/cm<sup>3</sup>, 28 Tropfen/cm<sup>3</sup> und 29 Tropfen/cm<sup>3</sup> (siehe <u>Messbereich</u>).
- 3. Zählen der Tropfen in einem cm<sup>3</sup> (siehe <u>Festellen der Tropfenzahl pro cm<sup>3</sup></u>) und anschließender Auswahl (z. B. 23 Tropfen/cm<sup>3</sup>) aus den voreingestellten Messbereichen (siehe <u>Messbereich</u>).
- 4. Zählen der Tropfen und anschließende Umrechnung in ein Volumen in cm<sup>3</sup>. Dazu muss erst die Tropfenmenge pro cm<sup>3</sup> bestimmt werden (siehe <u>Festellen der Tropfenzahl pro cm<sup>3</sup></u>). und dann in eine Volumen umgrechnet werden (siehe <u>Umrechnung der Tropfenanzahl in ein Volumen</u>).

## Tropfen- und Blasenzähler

Das Volumen eines Flüssigkeitstropfens (und damit die Anzahl der Tropfen/cm<sup>3</sup>) hängt von mehreren Faktoren ab:

- Größe und Form der Tropfspitze;
- Art der Lösung (Dichte, Viskosität, Oberflächenspannung);
- Fließgeschwindigkeit der Flüssigkeit durch die Tropfspitze (je langsamer getropft wird, desto kleiner die Tropfen).

Wenn die erforderliche Genauigkeit nicht so hoch ist und Sie den mitgelieferten Reagenzienbehälter und die Spitze mit einer niedrigviskosen Flüssigkeit wie Wasser benutzen, dann stellen Sie den Messbereich wie folgt ein:

- Schnell über 10 Tropfen pro Sekunde: 24 Tropfen/cm<sup>3</sup>
- Mittel zwischen 5–10 Tropfen pro Sekunde: 25 Tropfen/cm<sup>3</sup>
- Langsam zwischen 1,5–5 Tropfen pro Sekunde: 26 Tropfen/cm<sup>3</sup>
- Sehr langsam unter 1,5 Tropfen pro Sekunde: 27 Tropfen/cm<sup>3</sup>

Wenn Sie den Tropfen- und Blasenzähler zusammen mit einem pH- oder Leitfähigkeits-Sensor benutzen, muss die Tropfgeschwindigkeit sehr langsam (unter 1,5 Tropfen pro Sekunde) sein, damit sich der Sensor auf die neue Lösung – nach Zugabe des Titrates – einstellen kann.

### Feststellen der Tropfenanzahl pro cm<sup>3</sup>

Sie brauchen einen genauen Messbecher mit einem Volumen von 10 ml (oder besser weniger).

1. Befestigen Sie den Reagenzienbehälter im Ausrichtungsadapter des Tropfen- und Blasenzählers. Schließen Sie beide Hähne (a) und befüllen Sie den Behälter mit der gewünschten Lösung.



2. Zuerst stellen Sie die Fließgeschwindigkeit ein. Stellen Sie einen Auffangbehälter unter den Hahn um die Tropfen aufzufangen. Öffnen Sie den unteren Hahn ganz (b). Jetzt öffnen Sie langsam den oberen Hahn (c) bis es zu tropfen beginnt – jetzt können Sie die Tropfgeschwindigkeit einstellen. Wenn Sie mit der Einstellung zufrieden sind, schließen Sie den unteren Hahn (d) um den Fluss zu unterbrechen. Sie haben nun die Tropfgeschwindigkeit eingestellt (den oberen Hahn jetzt nicht mehr verstellen!) und können dann mit dem unteren Hahn die Tropfen ein- und ausschalten (e).

**Hinweis:** Stellen Sie die Fließgeschwindigkeit nicht zu schnell ein, da dann keine einzelnen Tropfen mehr erkannt und gezählt werden können.

3. Füllen Sie den Reagenzienbehälter auf. Stellen Sie nun einen ausreichend genauen Messbecher unter die Tropfspitze. Drehen Sie den unteren Hahn voll auf und zählen Sie die Tropfen, die benötigt werden um einen cm<sup>3</sup> aufzufüllen. Sie können dazu auch den Tropfen- und Blasenzähler benutzen (einstellen auf Tropfen/Blasen zählen). Stellen Sie sicher, dass Sie den Sensor auf ,Null' gesetzt haben bevor Sie mit der Messung beginnen. Schließen Sie den unteren Hahn um die Tropfen zu unterbrechen.

## Hinweise:

- Stellen Sie sicher, dass der untere Hahn voll geöffnet wird, da sonst die Fließgeschwindigkeit (und damit auch die Tropfgeschwindigkeit) beeinflusst wird.
- Wenn der Logger an den PC angeschlossen ist, können Sie die Grafik-Funktion benutzen, um sich das Einstellen zu erleichtern. Setzten Sie den Sensor auf ,Null' zurück. Benutzen Sie eine Triggeroption, wie "Starten, wenn der Sensor 1 Wert (Tropfen- und Blasenzähler) mehr als 1 Tropfen beträgt", klicken Sie auf die Start/Stopp-Taste der Software und öffnen Sie dann den unteren Hahn die Messung startet automatisch, wenn der erste Tropfen durch den Sensor fällt. Wenn die gewünschte Füllmenge erreicht ist (z. B. 1 cm<sup>3</sup>) schließen Sie den unteren Hahn wieder und klicken auf die Stopp-Taste der Software. Mit Hilfe des Werkzeuges Steigung können Sie nun die Fließgeschwindigkeit berechnen. Wählen Sie Überlagerung, setzen Sie den Sensor wieder auf ,Null' und wiederholen Sie die Messung.
- 4. Teilen Sie nun die Anzahl der Tropfen durch das Volumen (in cm<sup>3</sup>), um den Wert für die Anzahl der Tropfen pro cm<sup>3</sup> zu erhalten. Beispielsweise: 272 Tropfen entsprechen 10 ml = 27,2 Tropfen/cm<sup>3</sup>. Füllen Sie den Reagenzienbehälter wieder auf und wiederholen Sie die Messung dreimal um einen Durchschnittswert zu erhalten.

## Verwenden des Tropfen- und Blasenzählers um Blasen zu zählen

Der Tropfen- und Blasenzähler kann zum Zählen von Blasen, die in Wassersäulen aufsteigen, benutzt werden. Die Wassersäule wird dazu so zwischen den Sensoren (Sender/Empfänger) platziert, dass sie den Lichtstrahl unterbricht. Eine aufsteigende Blase verändert nun den Lichtfaktor und wird dadurch erkannt und gezählt.

Benutzen Sie den **Tropfen/Blasen zählen**-Modus um die Anzahl von Unterbrechungen des Lichtstrahls (durch die Blasen) anzuzeigen (vorher den Sensor auf ,Null' setzen). Die Blasenanzahl kann nicht in ein Volumen umgerechnet werden, aber über die Anzahl der Blasen pro Zeit, kann eine Veränderung der Gasproduktion nachgewiesen werden.

Probieren Sie ihren Aufbau aus bevor Sie mit der Messung beginnen. Es erfordert etwas Fingerspitzengefühl, die Wassersäule so zu positionieren, dass die Blasen den Lichtstrahl unterbrechen. Blasen zählen ist keine exakte Messung, da die Blasen ungleichmäßig und teilweise unberechenbar bzw. sprunghaft aufsteigen. Um eine möglichst genaue Messung zu erreichen, ist es am Besten, wenn die Blasen kontinuierlich und von derselben Quelle aufsteigen.



## Tropfen- und Blasenzähler

1. Stellen Sie den Messbereich auf Tropfen/Blasen zählen ein (siehe Messbereich)

2. Positionieren Sie das Gefäß in dem die Blasen aufsteigen sollen.

Der Reagenzienbehälter kann als Gefäß zum Blasen zählen genutzt werden. Es sollte dann nur ein Hahn angeschlossen werden um den Behälter abzuschließen. Verbinden Sie ein Stück PVC-Schlauch (3 mm Innendurchmesser) vom Behälter, mit dem Hahn an dem Gefäß, in dem die Blasen aufsteigen sollen. Schließen Sie den Hahn.

Hinweis: Wenn der Hahn direkt am Behälter angeschlossen ist, kann das Öffnen und Schließen des Hahns negative Auswirkungen auf das kontinuierliche Aufsteigen der Blasen haben.

Montieren Sie den Tropfen- und Blasenzähler senkrecht. Positionieren Sie den Behälter so zwischen Sender und Empfänger, dass er am Sender anliegt.

Justieren Sie den Sensor oder den Behälter so, dass er senkrecht steht und der Boden des Behälters mit der unteren Kante des Senders am Sensor abschließt.

Montieren Sie den Behälter seitlich, damit er genau an der großen Öffnung des Ausrichtungsadapters anliegt. In dieser Position sollten die aufsteigenden Blasen den Lichtstrahl optimal unterbrechen.

**Hinweis**: Es kann sein, dass Sie später noch eine Feineinstellung vornehmen müssen.

Überprüfen Sie, dass der Behälter senkrecht und parallel zum Sensor montiert ist.



**Hinweis:** Versuchen Sie den Versuch so zu gestalten, dass der Versuchsaufbau höher steht als das Wasser im Reagenzienbehälter, um einen Rückfluss des Wassers in den Versuchsaufbau zu vermeiden.

3. Gießen Sie ungefähr 10 cm<sup>3</sup> Wasser in den Behälter.

4. Überprüfen Sie, dass die Blasen den Lichtstrahl auch wirklich unterbrechen.

**Hinweis:** Das können Sie gut mit einer Spritze (gefüllt mit Luft) überprüfen, die Sie an ein PVC-Rohr anschließen. Wenn sie dann mit der Spritze vorsichtig einige Blasen produzieren, können Sie sehen ob diese vom Sensor erfasst werden – die rote LED am Sensor blinkt dann auf.

- 5. Drücken Sie die Auf Null setzen-Taste (Reset) am Tropfen- und Blasenzähler.
- 6. Führen Sie Ihren Versuch durch (denken Sie daran den Hahn zu öffnen).

## Nützliche Informationen

- Ein Ersatzteil-Kit mit zwei Drei-Wege-Hähnen und fünf Tropfspitzen ist bei Cornelsen Experimenta unter der Best.-Nr. 73271 erhältlich.
- Die **Reset**-Taste befindet sich am Sensor in der Nähe der LED drücken Sie diese Taste um den Sensor wieder auf ,Null' zu setzen.
- Der Tropfen- und Blasenzähler funktioniert über die Unterbrechung eines Infrarot-Lichtstrahls. Er reagiert deshalb empfindlich auf starke Infrarot- oder Wärmequellen in der Nähe. Vermeiden Sie deshalb direktes Sonnenlicht oder ähnliches, weil dies zu falschen Messergebnissen führen kann. Wenn es sich nicht vermeiden lässt, versuchen Sie den Sensor so zu positionieren, dass die externe Lichtquelle dem Sender genau gegenüber liegt.
- Die Einstellungen für Tropfen/cm<sup>3</sup> sind nur für dieselbe Zusammenstellung von Tropfspitze, Fließgeschwindigkeit und verwendeter Flüssigkeit gültig.
- Wenn die Fließgeschwindigkeit zu hoch eingestellt ist, kann es passieren, dass sich keine einzelnen Tropfen mehr bilden und die Flüssigkeit als Strahl austritt. Die Fließgeschwindigkeit sollte so eingestellt werden, dass ein Tropfen den Lichtstrahl ganz durchquert hat, bevor der nächste Tropfen durch den Lichtstrahl fällt.
- Wird der Tropfen- und Blasenzähler bei einer Titration benutzt, stellen Sie eine möglichst niedrige Tropfgeschwindigkeit ein (max. 1,5 Tropfen pro Sekunde), damit sich Tropfen und Lösung gut vermischen und die pH-Sonde genaue Werte anzeigt.
- Wenn Sie eine Bürette mit nur einem Hahn zum Einstellen der Tropfgeschwindigkeit und zum Unterbrechen des Flüssigkeitsstrahls benutzen, ist es schwierig die Tropfgeschwindigkeit ordentlich einzustellen. Wenn Sie die Möglichkeit haben, können Sie von der Bürette einen Schlauch zur Tropfspitze legen und diesen mit einer Klemme abdrücken, wenn Sie den Flüssigkeitsstrahl unterbrechen wollen. Auch ein dichter Stopfen im oberen Ende der Bürette kann den Strahl unterbrechen. Untersuchungen haben gezeigt, dass bei einer 50 ml Standard-Bürette ca. 23–24 Tropfen pro cm<sup>3</sup> austreten (abhängig von der Fließgeschwindigkeit).
- Bei einer Standard-Pipette (z. B. bei Augentropfen) gilt die Faustregel für niedrigviskose Flüssigkeiten von 20 Tropfen/cm<sup>3</sup>.
- Wenn die Fallhöhe der Tropfen sehr hoch ist, können die Tropfen unerwünschte Spritzer erzeugen.
- Für Versuche, bei denen große Mengen an Gas entstehen (z. B. Marmor in Säure) empfehlen wir die Benutzung eines konischen Behälters mit 250 ml Volumen. Bei geringerer Gasproduktion ist ein PVC-Rohr besser geeignet.
- Volumen-Messungen können mit der Tropfen/cm<sup>3</sup> Funktion durchgeführt werden, so dass der Behälter keine Volumenskala haben muss.

**SI Einheiten:** Die SI-Einheit des Volumen ist der m<sup>3</sup>. Das Volumen von Flüssigkeiten wird über die Größe (Kapazität) des Gefäßes bestimmt. Die SI-Einheit des Gefäßvolumen ist der Liter (I) – dies entspricht 0,001 m<sup>3</sup> (1 ml = 1 cm<sup>3</sup>).

## **Technische Daten**

Infrarot Lichtquelle: Maximum bei 880 nm

Maximal zählbare Tropfenanzahl = 10 000 Maximales Volumen = 120 cm<sup>3</sup>

## Versuche

## Titration einer starken Säure mit einer starken Base

## Zeitdiagramm oder X-Y Diagramm?

Die zwei möglichen Methoden der Datenerfassung bei einer Titration sind:

- 1. Ein X-Y-Diagramm mit dem pH-Sensor an der Y-Achse und dem Tropfen- und Blasenzähler an der X-Achse
- 2. Aufzeichnung der Werte über eine bestimmte Zeitdauer

Mit dem X-Y-Diagramm kann die Veränderung des pH-Wertes in Verbindung mit der Volumenänderung der zugegebenen Lösung gezeigt werden – es können dann aber nur zwei Datensätze zur gleichen Zeit angezeigt werden.

Wenn Sie beabsichtigen mit dem **Funktionen-Assistent** die erste Ableitung zu berechen (was ein eigener Datensatz ist) ist es am besten über eine Zeitspanne aufzuzeichnen. Das Maximum der ersten Ableitung kennzeichnet den Endpunkt beim Volumen und pH-Wert. Die Anzeige kann umgeschaltet werden und dann auf der X-Achse einen Sensor an Stelle der Zeit anzeigen.

- Bauen Sie den Versuch entsprechend der Abbildung auf. Stellen Sie den Messbereich ein, z. B. Tropfen/Blasen zählen oder Volumen in cm<sup>3</sup> (z. B. 27 Tropfen/cm<sup>3</sup>).
- 2. Füllen Sie den Reagenzienbehälter mit 0,1 mol HCI. Platzieren Sie einen Auffangbehälter unter dem Reagenzienbehälter und öffnen Sie beide Hähne um mit einer kleinen Menge HCl durchzuspülen. Justieren Sie nun mit dem oberen Hahn die Fließgeschwindigkeit – lassen Sie ihn dann in der gewünschten Position stehen und schließen Sie den unteren Hahn.
- 3. Gießen Sie die HCl vom Auffangbehälter zurück in den Reagenzienbehälter.
- 4. Gießen Sie 20 cm<sup>3</sup> 0,1 mol NaOH in einen 250 ml Messbecher und stellen Sie diesen unter den Reagenzienbehälter.



**Hinweis:** Das Volumen der Base muss eventuell an den verwendeten Messbecher angepasst werden, damit der pH-Sensor genügend tief in der Lösung steht (die Flüssigkeit muss über die Öffnungen der Schutzkappe reichen). Entfernen Sie **nicht** die Schutzkappe, da sonst der Sensor beschädigt werden könnte.

- 5. Befestigen Sie den pH-Sensor in dem großen Loch des Ausrichtungsadapters.
- 6. Lassen sie die Lösung von einem Magnetrührer während der Messung langsam und gleichmäßig umrühren.
- 7. Setzen Sie den Sensor auf ,Null' zurück (Reset).
- 8. Öffnen Sie die Grafik-Funktion der Sensing Science Software.
- 9. Wählen Sie die Sensoren an und klicken Sie auf **Weiter**. Wählen Sie eine Aufzeichnung über 5 Minuten und das Messintervall und klicken Sie auf **Beenden**.

10. Klicken Sie auf Start und öffnen Sie den unteren Hahn um mit der Titration zu beginnen.

## Tropfen- und Blasenzähler

Hinweis: Wenn nötig, füllen Sie den Reagenzienbehälter auf.

- 11. Wenn die Titration den für Sie gewünschten Wert erreicht hat, schließen Sie den unteren Hahn wieder und klicken Sie auf die **Stopp**-Taste der *Sensing Science Software* um die Datenaufzeichnung zu beenden.
- 12. Speichern Sie die Daten ab.

Die gewählte Aufnahme-Methode war das Auftragen des pH-Wertes und des Volumen über der Zeit. Um die Anzeige umzustellen auf pH-Wert über dem Volumen, wählen Sie im Anzeigen-Assistent die X-Achsenbeschriftung als Sensorwert an. Wenn nötig klicken Sie links neben der Achse um die Anzeige umzuschalten, so dass der pH-Wert die Y-Achse darstellt und die X-Achse das Volumen oder die Tropfenanzahl anzeigt.

## Umrechnen der Tropfenanzahl in ein Volumen

Wenn der **Tropfen/Blasen zählen**-Modus eingestellt war, ist es möglich, diesen Messwert in ein Volumen umzurechnen. Zuerst müssen Sie die Anzahl der Tropfen pro cm<sup>3</sup> bestimmen (siehe <u>Festellen der Tropfenzahl pro cm<sup>3</sup></u>).

- Wählen Sie Funktion/Formel vor Erfassung aus dem Werkzeuge-Menü
- Wählen Sie die Funktion (x-a)/b und klicken Sie auf Weiter.
- Setzen Sie x = Drop/bubble count (Tropfen/Blasen zählen) und klicken Sie auf Weiter.
- Setzen Sie a = 0
  - $\mathbf{b}$  = Anzahl der Tropfen pro cm<sup>3</sup> (z. B. 27)
- Geben Sie einen neuen Namen ein z. B. Volumen und ändern Sie die Einheit in cm<sup>3</sup>
- Passen Sie den Max-Wert an ihre Messung an.
- Klicken Sie auf Beenden.

#### Analysieren der Daten

Eine "Volumen über pH-Wert"-Grafik erzeugt eine klassische S-förmige Titrationskurve.

Benutzen Sie die Werte-Anzeige um die Endpunkte zu finden, welche sich an der Stelle der größten Abweichung befinden.



#### Bestimmung der Endpunkte mit Hilfe der ersten Ableitung

Die **a dx/dt**-Funktion kann benutzt werden um die "erste Ableitung"-Kurve der pH-Daten zu berechnen. Die Spitze (Maximum) in der Kurve stellt den Endpunkt der Titration dar.

Wählen Sie Funktion/Formel vor Erfassung aus dem Werkzeuge-Menü.

- Wählen Sie die Funktion **a dx/dt** und klicken Sie auf **Weiter**.
- Setzen Sie x = pH-Sensor und klicken Sie auf Weiter.
- Setzen Sie a = -1
- Ändern Sie die Anzahl der Dezimalstellen auf 4
- Geben Sie einen neuen Namen ein, z. B. Änderung
- Passen Sie den Max-Wert an ihre Messung an
- Klicken Sie auf Beenden.



## Tropfen- und Blasenzähler

Vergrößern Sie die Anzeige und benutzen Sie die Werte-Anzeige um die Spitze des Graphen zu finden.

Die Spitze (Maximum) der Kurve entsteht aus der Verbindung des Höchsten mit dem nächsthöheren Wert der Messung. Es kann sein, dass ein höherer Wert auftritt bevor der Graph wieder abfällt – dies können Sie mit Hilfe der zweiten Ableitung überprüfen.

Übernehmen Sie die **a dxt/dt** Funktion auf die erste Ableitung-Kurve. Dies erzeugt eine Grafik mit einem scharfen ,positiven' Haken, unmittelbar gefolgt von einem scharfen ,negativen' Haken. Der Nulldurchgang der Verbindungslinie der beiden Spitzen markiert den Endpunkt.



## Die Gasungsrate bei der aktiven Hefevergärung von Sacharrose

1. Bauen Sie den Versuch wie im Bild gezeigt auf. Stellen Sie sicher, dass die aufsteigenden Blasen vom Sensor erfasst werden.



- 2. Geben Sie 40 cm<sup>3</sup> einer 0,1% igen Hefelösung in den Erlenmeyerkolben
- 3. Öffnen Sie die EasyLog-Funktion der Sensing Science Software.
- 4. Geben Sie 20 cm<sup>3</sup> einer 1%igen Sacharroselösung in den Erlenmeyerkolben.
- 5. Füllen Sie etwas Wasser in den Reagenzienbehälter, damit die Blasen deutlich zu sehen sind.
- 6. Verschließen Sie den Erlenmeyerkolben mit einem Stopfen. Lassen Sie einige Blasen aufsteigen, um die restliche Luft aus dem System zu verdrängen. Setzen Sie den Sensor auf Null zurück.
- 7. Klicken Sie auf **Start**, um die Messung zu beginnen.

Die benötigte Zeit für diesen Versuch ist unterschiedlich. Das Alter der Hefe und die Umgebungstemperatur haben großen Einfluss auf die Dauer des Versuches. Der Versuch kann erweitert werden, wenn verschiedene Zuckerlösungen eingesetzt werden oder wenn der Aspekt der Zellatmung bei der Glykolyse untersucht wird. Die Auswirkungen von Wärme auf den Stoffwechsel kann mit Hilfe einer Erwärmung im Wasserbad untersucht werden.

## **Ultraviolett-Sensor**



#### Ultraviolett-Sensor - Best.-Nr. 73277

Messbereiche:

Lange Ansprechzeit50 W/m², Auflösung:<0,04 W/m²</td>5 W/m², Auflösung:<0,004 W/m²</td>500 mW/m², Auflösung:<0,4 mW/m²</td>

Kurze Ansprechzeit50 W/m², Auflösung:<0,04 W/m²</td>5 W/m², Auflösung:<0,004 W/m²</td>500 mW/m², Auflösung:<0,4 mW/m²</td>

#### Einführung

Der Smart Q-Ultraviolett-Sensor misst die Intensität elektromagnetischer Strahlung im ultravioletten Bereich A und B des Spektrums. Dabei wird eine Photodiode verwendet, die auf ultraviolette Strahlung im Wellenlängenbereich von 215 bis 387 nm reagiert. Die größte Messempfindlichkeit liegt bei 300 nm (siehe Abb.).

Die Messeinheit für ultraviolette Strahlung ist W/m<sup>2</sup>. Messungen können in drei Bereichen mit wahlweise langer oder kurzer Ansprechzeit durchgeführt werden. Die Bereiche sind 50 W/m<sup>2</sup>, Auflösung: <0,04 W/ m<sup>2</sup>, 5 W/m<sup>2</sup>, Auflösung: <0,004 W/m<sup>2</sup>, 500 mW/m<sup>2</sup>, Auflösung: <0,4 mW/m<sup>2</sup>.

Die lange Ansprechzeit ist der allgemein verwendete Messmodus und für die meisten Versuche geeignet. Die Ansprechzeit ist geglättet, um schnelle Schwankungen der UV-Strahlung auszublenden.



Die kurze Ansprechzeit ist dazu geeignet, um z. B. die Schwankungen ultravioletter Strahlung bei Wechselspannungen (Netzfrequenz) aufzuzeichnen. Diese Änderungen der UV-Intensität kann als Interferenzquelle für allgemeine Anwendungen genutzt werden.

Der Smart Q Infrarot-Sensor ist mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit, Präzision und Konsistenz der Messungen noch erhöht. Der Mikroprozessor beinhaltet die Kalibrierung für die sechs Messbereiche. Die den gewählten Messbereichen zugehörige Kalibrierung wird automatisch geladen, wenn der Infrarot-Sensor an den CorEx Logger angeschlossen wird.

## **Ultraviolett-Sensor**

## Anschluss

Der CorEx Logger erkennt automatisch, dass der Ultraviolett-Sensor angeschlossen ist.

- Das Gehäuse des Sensors wird so gehalten, dass die Smart Q Aufschrift nach oben zeigt.
- Das eine Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels wird in die Buchse an der Seite des Ultraviolett-Sensors, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Das andere Ende des Kabels wird an eine freie Eingangsbuchse des CorEx Loggers so angeschlossen, dass sich der Markierungspfeil oben befindet.
- Der CorEx Logger erkennt, dass der Ultraviolett-Sensor angeschlossen ist und er erkennt den gewählten Messbereich. Wechseln Sie den gewählten Messbereich falls erforderlich.

## Messbereichswahl

Die Wahl des gewünschten Messbereichs erfolgt im Programmteil "Sensorkonfiguration" der CorEx Sensing Science Software wie folgt:

- Der Sensor wird an den CorEx Logger angeschlossen und das Programm **Sensorkonfiguration** (Menü *Einstellungen*) ausgeführt.
- Der zu konfigurierende Sensor wird angeklickt. Der aktuell eingerichtete Messbereich ist markiert.
- Die Schaltfläche **Bereich wechseln** wird angeklickt. Der aktuelle Bereich wird hervorgehoben.
- Der erforderliche Bereich wird angeklickt und mit **OK** bestätigt.
- Das Programm wird beendet. Die Bereichseinstellung des Sensors bleibt so lange erhalten, bis sie neu gewählt wird.

Die Messbereichswahl kann auch am CorEx Logger vorgenommen werden. Mit Hilfe der Bildlaufpfeile können die verfügbaren Bereiche angezeigt werden: Lange (slow) oder kurze (fast) Ansprechzeit, 50 W/m<sup>2</sup>, 5 W/m<sup>2</sup>, 500 mW/m<sup>2</sup>.

- Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Bereich. ENTER wird gedrückt, um den gewünschten Bereich zu wählen.
- STOP wird gedrückt, um zum Hauptmenü zurückzukehren.

## Hintergrund

Elektromagnetische Strahlung ist ein Energietransport von Wellen schwingender elektromagnetischer Felder durch den Raum. Dabei bestimmt die Frequenz der Schwingung die Bereiche des elektromagnetischen Spektrums und damit die Wellenlänge.



Sensor	Bereiche	4
۲	UV 50W/m²S (W/m²)	
0	Sensorbereich wählen	×
0	Sensor 1	
0		
0	Bereich wählen	
0	UV Sensor	
C	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	
	50W/mFSlow 9W/mFSlow 500mW/mFSlow 90W/mFFast 9W/mFFast 500mW/mPFast	
	ОК	
	Schließen	Γ

Das ultraviolette Strahlungsband im elektromagnetischen Spektrum erstreckt sich von den sehr kurzen Wellenlängen um 100 nm bis 400 nm, die schon im sichtbaren violetten Bereich des Spektrums liegen (das lateinische Wort für "dahinter" ist "ultra"). Echte ultraviolette Strahlung ist nicht sichtbar.



Der Bereich des ultravioletten Spektrums ist in 4 kleinere Bandbreiten entsprechend der Natur der Strahlung unterteilt. UV-A liegt der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes am Nächsten. Vakuum UV-Strahlung befindet sich dagegen in der Nähe der weichen Röntgenstrahlung (weites Ultraviolett).

	Wellenlänge	
Vakuum UV (Weites UV)	100–200 nm	Die Energie innerhalb dieser Bandbreite kann nur im Vakuum über- tragen werden.
UV-C Band	200–280 nm	UV-C-Strahlung aus dem Sonnenlicht ist schädlich, wird aber komplett von der Ozonschicht in der höheren Erdatmosphäre absorbiert und erreicht nicht die Erdoberfläche.
UV-B Band Aktinische Strahlung "Verbrennungs- Strahlung"	280–325 nm	UV-B-Strahlung von der Sonne wird teilweise absorbiert, hauptsächlich durch Ozon in den höheren Schichten der Erdatmosphäre. Sie wird auch als aktinische Strahlung bezeichnet, weil die hohe Photonenenergie der Strahlung chemische Reaktionen auslöst, die z. B. biologische Pro- zesse in Gang setzen, die wiederum beim Menschen zu Hautschäden und Krebs führen können. Deshalb ist diese UV-Strahlung besonders gefährlich für den Menschen.
UV-A Band (Nahes UV) "Bräunungs- Strahlung"	315–400 nm	UV-A-Strahlung durchdringt die Erdatmosphäre vollständig. 99% der von der Sonne auf der Erde ankommenden UV-Strahlung ist UV-A. Im Allgemeinen ist diese Strahlung die harmloseste für den Menschen. Ein längeres Aussetzen der Sonne verursach eine Hautrötung (Sonnen- brand). UV-A Strahlen haben eine längere Wellenlänge und können tiefer in die Haut eindringen. Sie sind daher für vorzeitiges Altern der Haut und Falten verantwortlich. Zunehmend wird die Strahlung mit Augenschäden und Hautkrebs in Verbindung gebracht.

Die Krebs auslösenden Eigenschaften der UV-Strahlung sind proportional zu ihrer Fähigkeit, die Zell-DNA zu beschädigen. Je länger man sich dem direkten Sonnenlicht aussetzt, desto stärker ist die zu erwartende Schädigung der Hautzellen.

Sonnenbrand ist nicht mit dem Gefühl von Wärme verbunden. Wenn man der direkten Sonnenstrahlung hinter einer Glasscheibe, die die UV-B-Strahlung absorbiert, ausgesetzt ist, wird man trotz der Wärmewirkung keine Verbrennung der Haut erleiden. Setzt man sich dagegen in großer Höhe bei niedrigen Temperaturen der direkten Sonnenstrahlung aus, kann die Haut verbrennen, obwohl man Kälte empfindet. Der Smart Q-Ultraviolett-Sensor misst UV-Lichtintensität als Strahlung in W/m<sup>2</sup>. Daneben gibt es zwei weitere Maßeinheiten:

- 1. Den Ultraviolett-Index (UVI), der eine Maßeinheit für die Intensität der UV-Strahlung der Sonne auf der Erdoberfläche im Verhältnis zum Effekt auf die menschliche Haut darstellt. Je höher die UV-Indexzahl ist, desto stärker ist die Durchdringungskraft der UV-Strahlung und damit die Schädigung der Haut.
- 2. Die effektive UV-Dosis hängt direkt mit dem Beginn eines Sonnenbrandes zusammen und ist ein Integral der effektiven UV-Intensität über die Zeit der Sonnenaussetzung. Die Dosiseinheit wird Minimale Erythemal Dosis (MED/h) genannt.

Sowohl der UVI- als auch die MED/h-Einheiten berücksichtigen die Kurve der erythemalen Ansprechzeit bis zur Hautrötung. Die Kurve der Ansprechzeit folgt der unterschiedlichen Empfindlichkeit einer durchschnittlichen Person auf verschiedene Wellenlängen. Die Hautempfindlichkeit nimmt in Richtung UV-B Band stark ab (ca. 100-fach weniger empfindlich pro 20 nm) und weniger stark im Bereich des UV-A Bandes (ca. halb so empfindlich pro 20 nm). Der smart Q-Ultraviolett-Sensor hat keine Wellenlängen-Gewichtung entsprechend dem erythemalen Aktionsspektrum. Deshalb können seine Messergebnisse nicht in UVI- oder MED/h-Einheiten umgewandelt werden.

## Praktische Informationen

Gewöhnliches Glas kann UV-Strahlung mit einer Wellenlänge unter 300 nm ausfiltern.

Eine geeignete Lichtquelle, die im Bereich des UV-A Bandes (350–400 nm) UV-Strahlung emittiert und nur ein sehr geringes Risiko für die Schädigung von Augen und Haut darstellt, bieten wir mit der Bestell Nr. 47124 an.

Die UV-Lichtquelle soll so aufgestellt werden, dass die Schüler nicht direkt der Strahlung ausgesetzt sind oder in diese hineinsehen können. Die Versuche sollten zeitlich begrenzt sein, um die Strahlenbelastung so gering wie möglich zu halten. Die Funktion einer UV-Lampe ist normalerweise durch einen geringen Anteil violetten Lichtes sichtbar. Das eigentliche ultraviolette Licht ist unsichtbar.

Leuchtstoffröhren erzeugen UV-Licht durch die Emission von Niederdruck-Quecksilbergas. Der Leuchteffekt entsteht, wenn UV-Strahlung von der phosphoreszierenden Beschichtung im Innern der Röhre absorbiert und als sichtbares Licht abgestrahlt wird.

Die Sonne ist eine UV-Strahlungsquelle. Die UV-Strahlung kann unter bestimmten Umständen Wolken, Nebel oder Dunst durchdringen.

Frisch gefallener Schnee reflektiert 85 % der Sonnenstrahlung

Halogen-Glühlampen, die nicht durch eine Kunststoff- oder Glasscheibe geschützt sind, emittieren ebenfalls UV-Strahlung.

## Versuchsbeispiele

Verwendung der Messbereiche mit langer Ansprechzeit:

- Absorption von Ultraviolett durch verschiedene textile Stoffe (unabhängig von der Farbe).
- Auswirkung der Farbe von textilen Stoffen auf die Absorption von UV-Strahlung.
- Untersuchung des UV-Schutzes von Sonnenbrillen.
- Untersuchung des UV-Schutzes von Sonnenschutzmitteln (Lotion, Creme, Öl, Milch) mit verschiedenen Lichtschutzfaktoren.

## **Ultraviolett-Sensor**

- Untersuchung verschiedener Materialien wie Kunststoff, Fensterglas, Autoscheiben, textile Stoffe, Erfrischungsgetränke usw. auf ihre Eigenschaft, UV-Strahlung zu absorbieren oder zu reflektieren.
- Direktes oder diffuses Sonnenlicht Ein erheblicher Anteil der UV-Strahlung der Sonne erreicht die Erde nicht direkt sondern wird durch die Atmosphäre gestreut.
- Untersuchung fluoreszierender Mineralien.
- Untersuchung fluoreszierender Farbstoffe in Waschmitteln, die UV-Strahlung absorbieren und leuchtend emittieren.
- Unterschiedliche Lichtstärken erzeugen unterschiedliche UV-Intensität.

### Verwendung der Messbereiche mit schneller Ansprechzeit:

• Änderung der UV-Emission entlang einer Leuchtstoffröhre verglichen mit dem Lichtaustritt.

## Untersuchung der Absorptionswirkung von Sonnenschutzmitteln

Der Lichtschutzfaktor wurde eingeführt, um die Wirkungsstärke von Sonnenschutzmitteln zum Schutz vor UV-B Strahlung zu klassifizieren. Ursprünglich wurde UV-A Strahlung nicht als Haut schädigend eingestuft, so dass dieser Bereich des UV-Spektrums beim Lichtschutzfaktor nicht berücksichtigt wird.

Der Lichtschutzfaktor errechnet sich, indem man den Wert 100 durch den Prozentanteil des Lichts, welcher den Schutzauftrag durchdringt, teilt. Für ein Sonnenschutzmittel, das 95 % der UV-B Strahlung abwehrt und nur 5 % durchdringen lässt, ist der Lichtschutzfaktor 20 (100:5=20). Blockiert ein Sonnenschutzmittel 97 % der Strahlung und lässt nur 3 % durch, ist der Faktor 33 (100:3 = 33). Die tatsächliche Differenz zwischen der Wirkungsstärke eines Mittels mit dem Faktor 20 und einem mit dem Faktor 30 ist lediglich 2 %.

Für diesen Versuch wird eine UV-Lichtquelle (Bestell Nr. 47124) und Sonnenschutzmittel mit verschiedenen Lichtschutzfaktoren benötigt.

- 1. Die UV-Lampe wird auf den Tisch gestellt und ca. 5 Minuten vor Versuchsbeginn eingeschaltet, damit sie sich erwärmt und die Lichtleistung stabilisiert.
- 2. Mikroskop-Objektträger aus Glas werden mit Sonnenschutzmittel mit je einem unterschiedlichen Lichtschutzfaktor-Wert bestrichen und mit einem Aufkleber versehen, auf dem der Name und der Faktor des Mittels notiert ist.

Man kann einen Tropfen des Mittels auf der Glasplatte verschmieren oder den Tropfen mit Hilfe eines zweiten Objektträgers, der auf den ersten gedrückt wird, verteilen. In beiden Fällen ist darauf zu achten, dass die Verteilung des Mittels gleichmäßig dick über die Fläche erfolgt.



## **Ultraviolett-Sensor**

- Der Ultraviolett-Sensor wird mit einem freien Eingang am CorEx Logger verbunden und im Programmteil "Sensorkonfiguration" der Messbereich "lange Ansprechzeit (slow), 50 W/m<sup>2</sup>" (siehe <u>Messbereichswahl</u>) gewählt.
- 4. Der Programmteil **Grafik** der CorEx Sensing Science Software wird geöffnet und im Menü **Werkzeuge** die Funktion **Testmodus** gewählt. Wenn die Messung nicht im gewählten Messbereich liegt, ist ein passender Bereich einzustellen.
- 5. Der Logger wird mit dem PC verbunden und der Programmteil **Schnappschuss** wird gewählt. Start wird angeklickt und die Messung kann beginnen.
- 6. Ein nicht behandelter Objektträger wird vor den Sensor gehalten und der UV-Wert für den Durchgang der Strahlung gemessen.
- 7. Der unbehandelte Objektträger wird gegen einen behandelten ausgetauscht und die Messung in **Grafik** durchgeführt. Der Messwert wird in Spalte **Bemerkung** mit dem Wert des verwendeten Schutzfaktors versehen.
- 8. Die Messung wird mit allen vorbereiteten Proben durchgeführt.

Die Untersuchungen können wie folgt erweitert werden:

- Testen von Olivenöl, Babyöl usw. in Hinblick auf UV-Schutzwirkung.
- Die behandelten Objektträger in Wasser tauchen, um Baden zu simulieren und dann erneut zur Messung verwenden.
- Die behandelten Objektträger nach mehreren Stunden erneut testen, ob die Schutzwirkung des Mittels im Laufe der Zeit nachgelassen hat. Das Gleiche kann man nach einem Jahr wiederholen.



Vernier-Adapter – Best.-Nr. 73051

## Einleitung

Der SmartQ Vernier-Adapter wurde entwickelt, um die Kalibrierungs-Tabellen und den Anschluss für kompatible DIN-analoge Vernier Sensoren an einen CorEx Logger bereitzustellen. Die DIN-Palette von Sensoren der Firma Vernier ist mit 5-poligen DIN-Steckern zur Verwendung

Die DIN-Palette von Sensoren der Firma Vernier ist mit 5-poligen DIN-Steckern zur Verwendung mit dem ULI und der Seriellen Kasten-Schnittstelle ausgestattet.

Vernier produziert dieselbe Palette von Sensoren mit Verbindern vom Typ British Telecom – die BTA-analogen Sensoren (zur Verwendung mit dem LAB Pro, CBL und CBL2 Logger). Diese können auch mit dem SmartQ Vernier-Adapter verwendet werden, wenn sie über einen (von Vernier gelieferten) BTA-zu-DIN-Adapter angeschlossen werden.

**Hinweis:** Dies gilt **nicht** für BTA-Sensoren, die kein in der Kompatibilitäts-Liste enthaltenes DIN-Äquivalent besitzen, und auch nicht für die neue Vernier Temperatursonde aus nicht rostendem Stahl (TMP-BTA), die für die Verwendung mit dem BTA-DIN-Adapter ungeeignet ist.

Der gewählte Vernier Sensor und dessen Bereich werden im SmartQ Vernier-Adapter gespeichert, so dass sie jedes Mal, wenn der Adapter angeschlossen wird, automatisch geladen werden.

Bereich- Nr.	Produktname	Produkt-Code	Einstellung der Verstärkung	Aufkleber	Maßein- heit
0	3-Achsen-Beschleunigungs- messer	3D-DIN		Beschleunigung	m/s/s
1	25-g-Beschleunigungs- messer	ACC-DIN		Beschleunigung	m/s/s
2	Barometer	BAR-DIN		Druck	Atm
3		BAR-DIN		Druck	Zoll Hg
4		BAR-DIN		Druck	mBar
5		BAR-DIN		Druck	mm Hg
6	Biologie-Gasdruck-Sensor	BGP-DIN		Druck	atm
7		BGP-DIN		Druck	Zoll Hg
8		BGP-DIN		Druck	kPa
9		BGP-DIN		Druck	mm Hg
10	CO <sub>2</sub> -Gas-Sensor	CO2-DIN		CO2-Konz.	ppm
11	Kolorimeter	COL-DIN		Durchlassgrad	%

## Kompatibilitäts-Tabelle der Vernier-Sensoren

Bereich- Nr.	Produktname	Produkt- Code	Einstellung der Verstärkung	Aufkleber	Maß- einheit
12	Leitfähigkeits-Sonde	CON-DIN	100 mg/l	TDS	mg/l
13		CON-DIN	1000 mg/l	TDS	mg/l
14		CON-DIN	10000 mg/l	TDS	mg/l
15		CON-DIN	200 µS	Leitfähigkeit	μS
16		CON-DIN	2000 µS	Leitfähigkeit	μS
17		CON-DIN	20000 µS	Leitfähigkeit	μS
18	Strom- und Spannungs- Sondensystem Strom	CV-DIN1		Strom	А
19	Strom- und Spannungs- Sondensystem Spannung	CV-DIN2		Spannung	V
20	Direkt-Anschluss-Temperatur	DCT-DIN		Temperatur	°C
21		DCT-DIN		Temperatur	Grad F
22	Zweibereichs-Kraft-Sensor	DFS-DIN	5 N	Kraft	N
23		DFS-DIN	10 N	Kraft	N
24		DFS-DIN	50 N	Kraft	N
25	Sonde für gelösten Sauerstoff	DO-DIN		DO2	mg/l
26	Trainigs-Herzfrequenz-Monitor	EHR-DIN		Potential	V
27	EKG-Sensor	EKG-DIN		Potential	V
28	Durchflussmengen-Sensor	FLO-DIN		Durchflussmenge	Fuß/s
29		FLO-DIN		Durchflussmenge	m/s
30	Gasdruck-Sensor	GPS-DIN			Atm
31		GPS-DIN			kPa
32		GPS-DIN			mm Hg
33		GPS-DIN			psi
34	Herzfrequenz-Monitor	HRM-DIN		Potential	V
35	Differenzverstärker	INA-DIN	0 - 20 mV	Spannung	V
36		INA-DIN	0 - 200 mV	Spannung	V
37		INA-DIN	0 - 1 V	Spannung	V
38		INA-DIN	±20 mV	Spannung	V
39		INA-DIN	±200 mV	Spannung	V
40		INA-DIN	±1 V	Spannung	V
41	Frederiksen-Infrarot-Sensor**	IR	1000 W/m <sup>2</sup>	Infrarot	W/m²
42	Ionentrennungs-ISE-Verstärker*	ISE-DIN		Spannung	mV
43	Niedrig-g-Beschleunigungsmesser	LGA-DIN		Beschleunigung	m/s²
44	Beleuchtungsstärke-Sensor	LS-DIN	600	Beleuchtung	Lux
45		LS-DIN	6000	Beleuchtung	Lux
46		LS-DIN	150000	Beleuchtung	Lux
47	Magnetfeld-Sensor	MG-DIN	Hoch	Magnetfeld	Gauss
48		MG-DIN	Hoch	Magnetfeld	mT
49		MG-DIN	Niedrig	Magnetfeld	Gauss
50		MG-DIN	Niedrig	Magnetfeld	mT

Bereich- Nr.	Produktname	Produkt- Code	Einstellung der Verstärkung	Aufkleber	Maß- einheit
51	pH-Sensor	pH-DIN		-Log[H+]	рН
52	Druck-Sensor	PS-DIN		Druck	Atm
53		PS-DIN		Druck	kPa
54		PS-DIN		Druck	mm Hg
55		PS-DIN		Druck	psi
56	Sensor für relative Feuchtigkeit	RH-DIN		Feuchtigkeit	% rel. Feuchte
57	Student-Kraft-Sensor	SFS-DIN		Kraft	Ν
58	Thermoelement	TCA-DIN	Туре К	Temperatur	°C
59	Frederiksen-Ultraviolett-Sensor**	UVA		Ultraviolett A	%

- <sup>6</sup> Der Ionentrennungs-ISE-Verstärker (ISE-DIN) kann zusammen mit den Ionentrennungselektroden von Vernier [Ammoniak (NH4-DIN), Kalzium (CA-DIN), Chlorid (CL-DIN) und Nitrat (NO3-DIN)] verwendet werden. Gewöhnlich sind diese Sensoren mittels der von Vernier gelieferten Standard-Kalibrierungs-Lösungen Hoch und Niedrig so geeicht, dass ein Konzentrationswert eingegeben werden kann. Wenn diese Elektroden mit dem *SmartQ* Vernier-Adapter verwendet werden, ist es nicht möglich, einen Konzentrationswert einzugeben. Der Wert von der Ionentrennungselektrode wird als Millivolt-Messwert angezeigt.
  - <sup>\*\*</sup> Der Frederiksen-Infrarot- (Best.-Nr. 47371) und der Frederiksen-Ultraviolett-Sensor (Best.-Nr. 47370) sind keine Produkte von Vernier, wurden jedoch mit in die Liste der Sensoren aufgenommen, um ihre Verwendung mit diesem Adapter zu ermöglichen.

Es wird **nicht** möglich sein, diesen SmartQ Vernier-Adapter so zu verändern, dass er für einen neuen Sensor geeignet ist, den Vernier möglicherweise einführt.

## Anschließen

- Halten Sie den Vernier-Adapter so, dass sich der Aufkleber "SmartQ" oben befindet.
- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Mini-DIN-Buchse am Adapter, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Sensorkabels an eine Eingangsbuchse am CorEx Logger an, so dass sich der Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie den Vernier-Sensor an die 5-DIN-Buchse an.



• Der CorEx Logger erkennt, dass der SmartQ Vernier-Adapter angeschlossen ist. Wählen Sie den erforderlichen Sensor und Bereich aus.

## Den Vernier-Sensor und dessen Bereich auswählen

Hinweis: Es erscheint eine Anzeige der verfügbaren Sensoren, in der der Vernier Produkt-Code und Name/Maßeinheit für den jeweiligen Sensor verwendet werden.

Die Wahl des gewünschten Messbereichs erfolgt im Programmteil **Sensorkonfiguration** der Sensing Science Software:

- Schließen Sie den Vernier-Adapter an den CorEx Logger an und führen Sie das Programm **Sensorkonfiguration** aus.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Sensor angeschlossen ist, aus der Liste aus. Der Name gibt den derzeit gewählten Bereich des Vernier-Sensors an.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche Bereich setzen. Es muss eine große Menge an Informationen gelesen werden, so dass eine gewisse Zeit vergeht, in der nichts zu passieren scheint (die Schaltfläche Bereich setzen erscheint grau).
- Die Liste der kompatiblen Vernier-Sensoren wird geladen. In der Anzeige erscheinen der Vernier Produkt-Code und die Maßeinheiten-Bereiche, die für den betreffenden Sensor verfügbar sind. Zum Beispiel besitzt der Barometer-Sensor (BAR-DIN) vier Bereiche: Atm, Zoll Hg, mBar und mm Hg. Der Sensor und der Bereich, die jeweils gewählt sind, werden hervorgehoben.
- Wählen Sie den gewünschten Vernier-Sensor und Bereich aus der Liste aus und klicken Sie auf **OK**.
- Beenden Sie das Programm.
- Die Einstellung des Sensors und seines Bereichs bleiben erhalten, bis sie neu gewählt werden.

Die Messbereichswahl kann auch am CorEx Logger vorgenommen werden:

- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile (▲▼) am Gerät das Menü System, ENTER.
- Wählen Sie mit Hilfe der Bildlaufpfeile Messbereich setzen, ENTER.
- Wählen Sie die **Nummer** des Eingangs, an den der Vernier-Adapter angeschlossen ist, z. B. Eingang 1, **ENTER**.
- Lassen Sie sich mit Hilfe der Bildlaufpfeile die verfügbaren Sensoren und Bereiche anzeigen. Ein Stern \* bezeichnet den jeweils gewählten Sensor und Bereich.
- Drücken Sie ENTER, um den gewünschten Sensor und seinen Bereich zu wählen.
- Drücken Sie **STOP**, um zum Hauptmenü zurückzukehren.
- Die Einstellung des Sensors und seines Bereichs bleibt so lange im SmartQ Vernier-Adapter erhalten, bis sie neu gewählt wird.

🚰 Sensor Confi	guration	×
Select the sensor		
Sonsor 1	Accelerometer	
C Sensor 2	No Sensor	
C Sensor 3	No Sensor	
C Sensor 4	No Sensor	
C Sensor 5	No Sensor	
Sensor 6	No Sensor	
Set Range	Calibrate	Version
EasySense Infom	nation	EasyGense
	Exil	

Set Sensor Range 📃 💈	×
Sensor 1	
Click on the desired range	
Vernier Adapter	1
BAR-DIN Atm	
BAR-DIN in HG	
BAR-DIN mBar	
OK	

## Wärmeströmungs-Sensor



## Wärmeströmungs-Sensor – Best.-Nr. 73150

Bereich: ±2 kWm<sup>-2</sup> Auflösungsvermögen: 1 Watt/Quadratmeter Betriebstemperaturbereich: -25 °C bis 85 °C Thermische Eigenschaften: 200 (W/m<sup>2</sup>)/°C Wärmeleitwert 0,005 °C/(W/m<sup>2</sup>) Wärmewiderstand Beständig gegenüber milden Lösungsmitteln und Feuchtigkeit

### Einleitung

Mit dem Smart Q Wärmeströmungs-Sensor lässt sich die Wärmeenergieströmung zwischen seiner Ober- und Unterseite messen, wobei er ein bidirektionales Ausgangssignal in Watt/m<sup>2</sup> liefert. Die Schüler können Energieübertragung direkt beobachten, anstatt indirekt durch Messung von Temperaturänderungen. So kann der Sensor insbesondere zur Darstellung des Unterschiedes zwischen Wärmeenergie und Temperatur verwendet werden.

Der Smart Q Wärmeströmungs-Sensor ist mit einem Mikroprozessor ausgestattet, der die Genauigkeit und Konsistenz der Anzeigewerte beträchtlich erhöht. Die Sensoren werden kalibriert geliefert und die gespeicherte Kalibrierung (in Watt/m<sup>2</sup>) wird automatisch geladen, wenn der Wärmeströmungs-Sensor angeschlossen wird.

### Anschließen

Der CorEx Logger erkennt, dass der Wärmeströmungs-Sensor angeschlossen ist.

- Halten Sie das Wärmeströmungs-Sensor-Gehäuse so, dass sich der Aufkleber "Smart Q" oben befindet.
- Stecken Sie ein Ende des mit dem CorEx Logger mitgelieferten Sensorkabels in die Buchse am Sensorgehäuse, so dass sich der am Kabel angebrachte Markierungspfeil oben befindet.
- Schließen Sie das andere Ende des Sensorkabels an eine Eingangsbuchse des CorEx Loggers so an, dass sich der Markierungspfeil oben befindet.



### Funktionsprinzipien

Der Wärmeströmungs-Sensor ist dazu bestimmt, geringe Mengen von Wärmeenergie-Übertragung zu messen. Der Fühlerbereich des Geräts ist eine Thermobatterie mit 400 Thermoelementen, die zum Schutz mit Harz vergossen sind.

Die Wärmeströmung durch den Sensor erzeugt eine Temperaturdifferenz zwischen seinen Seiten. Die Temperaturdifferenz und die Wärmeströmung sind durch folgende Beziehung miteinander verknüpft:

Temperaturgefälle (°C/m) =  $\lambda \times$  Wärmeströmung (Watt/m<sup>2</sup>)

Die Wärmeleitfähigkeit und die Dicke des Sensors sind Konstanten, so dass sich die Temperaturdifferenz zwischen den Flächen proportional zur Wärmeströmung durch den Sensor verhält. Der Sensor nutzt den thermoelektrischen Effekt aus, um die geringe Temperaturdifferenz in eine Spannung umzuwandeln. Der thermoelektrische Effekt ist sehr klein, weshalb auf jeder Seite eine große Anzahl von Thermoelementen in Reihe geschaltet ist, um den Ausgang zu verstärken. Der Ausgang ist bidirektional und zeigt dadurch die Richtung der Wärmeströmung an.

## Praktische Informationen

- Bringen Sie den Sensor in die erforderliche Position und befestigen Sie ihn mit Klebeband oder mit einem elastischen Band an der zu prüfenden Fläche. Halten Sie ihn nicht fest, da die Wärme von ihrer Hand zu falschen Anzeigewerten führen würde.
- Belassen Sie den Sensor wenigstens 2 Minuten lang in seiner Position, damit er sich stabilisieren kann.

Der Sensor kann mit derselben Farbe bedeckt werden wie die zu prüfenden Fläche, um zu erreichen, dass er dieselben Absorptionseigenschaften aufweist.

Falls Metall- oder Glasoberflächen verwendet werden, die ein niedriges Emissionsvermögen aufweisen, befestigen Sie mit einem zweiseitigen Klebeband Aluminiumfolie am Sensor, um die Genauigkeit zu erhöhen.

Um eine genaue Messung der Wärmeströmung zu erreichen, sollte die Wärmestrahlung, in der sich der Sensor befindet, einen höheren thermischen Widerstand aufweisen als der Sensor. Das Vorhandensein des Sensors verursacht dann nur eine minimale Störung der Wärmeströmung. Hat das Material, in dem die Wärmeströmung gemessen werden soll, eine wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit als der Sensor, (z. B. Kupfer) so ist die Wärmeströmung bestrebt, den Sensor zu umgehen. Zu niedrige Anzeigewerte sind das Ergebnis.

Wir weisen auf die Probleme hin, die auftreten können, wenn ein Sensor an der Außenseite eines Fensters befestigt wird. Ein Teil der Energie der auf dem Glas einfallenden ultravioletten Strahlung gelangt durch dieses hindurch in den Raum und ein weiterer Teil wird reflektiert; nur ein geringer Anteil wird vom Glas absorbiert. Wird ein unbedeckter Sensor am Glas befestigt, so absorbiert er Sonnenstrahlung in wesentlich höherem Grade als das umgebende Glas. Diese Wärme strömt dann durch Wärmeleitung in das Glas und führt zu einem Wert, der für den Rest des Fensters nicht typisch ist. Im Winter ist die Temperatur an der Außenseite des Fensters erheblich niedriger als die Temperatur an der Innenseite und Wärme strömt von der Innenseite zur Außenseite. Indem Sie einen Sensor am Fenster befestigen, haben Sie einen Bereich isoliert und einen "Sonnenwärme-Kollektor" an ihm angebracht. Um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen, bedecken Sie den Sensor mit Aluminiumfolie und schirmen Sie das Fenster gegen direkte Sonnenstrahlung ab.

Auf dem Sensor einfallende Strahlungsenergie wird von der Fläche des Sensors, die der Strahlung ausgesetzt ist, absorbiert. Sofern sich der Sensor in unbewegter Luft befindet, werden beide Seiten des Sensors in gleichem Maße gekühlt. Die Hälfte der Strahlung wird zurückgestrahlt und von der Seite, von der sie absorbiert wurde, weggeleitet. Die andere Hälfte der Strahlungsenergie wird durch den Sensor hindurchgeleitet und von der anderen Seite abgestrahlt und weggeleitet. Der Sensor registriert daher die Hälfte der Netto-Strahlungsenergie, die den untersuchten Raum durchströmt.



Falls die Anzeigewerte außerhalb des Skalenbereiches liegen und die Messungen ausschließlich zu Vergleichszwecken verwendet werden, verringern Sie die Empfindlichkeit, indem Sie die Oberfläche des Sensors mit einer Schicht Isolationsmaterial bedecken.

## Versuchsbeispiele

- Newton'sches Gesetz der Kühlung
- Untersuchung von Isolationseigenschaften
- Wärmeverlust des Körpers, z. B. durch Kleidung hindurch; von verschiedenen Körperteilen; Kopf mit und ohne Haar oder Hut; freiliegende und dann durch Kleidung isolierte Haut; während eines Trainings; Schätzung des Gesamt-Wärmeverlustes eines Körpers.
- Vergleich der Wärmeströmung oder Wärmeverlustes in Gebäuden, z. B. durch ein Fenster mit einfacher Verglasung und Doppelverglasung; von verschiedenen Materialien, die für die Doppelverglasung verwendet werden; verschiedene Bereiche einer Tür oder eines Rahmens; verschiedene Baumaterialien.
- Wärmeströmung in kalten Stoffen, z. B. eiskalte Flüssigkeiten oder Gase
- Wärmeströmung in heißen Stoffen, z. B. verschiedene Typen von Fast-Food-Behältern; herausfinden, wo aus einem Becher mit heißer Flüssigkeit die meiste Wärme verloren geht; Wärmeverlust aus einem Behälter mit Kühlwachs; Prüfen verschiedener Isolierstoffe.

### Energieübertragung durch einen Polystyrol-Becher

Eine Tasse mit heißem Kaffee, die man auf einem Tisch stehen lässt, kühlt sich auf Raumtemperatur ab. Bei diesem Versuch geht es um die Energieübertragung von heißem Wasser, das sich in drei ineinander gesetzten Polystyrol-Bechern befindet. Zur Messung des Temperaturgefälles werden zwei Temperatur-Sensoren verwendet. Dann kann der Zusammenhang zwischen diesen drei Variablen untersucht werden.

# Besteht ein Zusammenhang zwischen der Abkühlungsgeschwindigkeit und der Temperatur des Wassers?

### Hat die Raumtemperatur einen Einfluss auf den Ablauf?

Um diese Fragen zu untersuchen, wird ein Wärmeströmungs-Sensor verwendet, der die Geschwindigkeit der Energieübertragung (in Watt pro Quadratmetern) durch einen mit heißem Wasser gefüllten Polystyrol-Becher misst.

- Bauen Sie den Versuch gemäß der Zeichnung auf und öffnen Sie den Programmteil **Grafik** der Sensing Science Software.
- Wählen Sie den **Erfassungs-Assistent** und als Verfahren **Echtzeit** mit einer Zeitspanne von **20 Minuten**.
- Gießen Sie das heiße Wasser in den Becher.
- Klicken Sie auf START.



## Wärmeströmungs-Sensor

## Ergebnisse



Analyse der Daten: Beschreiben und erläutern Sie die Form der drei aufgezeichneten Kurven.

Überprüfen einer Hypothese: Ein Faktor, der die Geschwindigkeit der Energieübertragung beeinflussen kann, ist die Differenz zwischen der Temperatur des Wassers und der Temperatur zwischen den äußeren Bechern. Wir können dies überprüfen, indem wir die Temperaturdifferenz aufzeichnen.

- Wählen Sie aus dem Menü Werkzeuge die Option Funktionen-Assistent.
- Wählen Sie als Funktion ax by.
- Legen Sie fest: x = [3] Temperatur (der Temperatur-Sensor im Becher), y = [1] Temperatur (der Temperatur-Sensor zwischen den Bechern).
- Geben Sie als Name Temp Diff und als Maßeinheit Grad ein.
- Übernehmen. OK.

Function Wizard
Function
Function ax - by
x= (3) Temperature 💌 a= 1
y= (1) Temperature V b= 1
c= 0
Number of decimal places to be shown: 2
max 110.00 name Temp Diff
min -30.00 unit deg
OK Apply Cancel

Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Temperaturdifferenz-Daten und den Werten der Geschwindigkeit der Energieübertragung (Wärmeströmung)?

**Hinweis:** Um die Kurven für die zwei Temperatursonden [1] und [3] zu zeichnen, deaktivieren Sie das Kontrollkästchen Anzeigen/Verbergen.

Verwenden Sie diese Ergebnisse, um den Zusammenhang zwischen den beiden Kurven auf direktere Weise zu untersuchen, indem Sie das Diagramm der Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Energieübertragung von der Temperaturdifferenz zeichnen.

- Wählen Sie aus dem Menü Ausgabe die Option Ausgabe-Assistent.
- Wählen Sie als X-Achse Sensor. OK.
- Falls erforderlich, ändern Sie die Anzeige (klicken Sie links neben die Achse), so dass Wärmeströmung auf der Y-Achse und Temperaturdifferenz auf der X-Achse angezeigt wird.
- Wählen Sie aus dem Menü Ausgabe die Option Automatische Skalierung.



## Zubehör: Dioden-Laser



Dioden-Laser mit Spalt- und Gitterblenden – Best.-Nr. 73285

Betriebsspannung: 3–5 V DC Ausgangsleistung: <1,0 mW Laserklasse: 2 Wellenlänge: 645–665 nm (sichtbares Rot) Strahlpunktgröße in 5 m: 6 mm ±2 mm Divergenz: 1,6 mrad Betriebstemperatur: +10 °C bis +30 °C Lagertemperatur: -20 °C bis +65 °C

### Einführung

Der Laser strahlt mit rotem Licht im Wellenlängenbereich von 645-665 nm das von einer Laser-Diode mit einer Leistung von 1 mW erzeugt wird. Der Laser kann für optische Versuche eingesetzt werden, für die eine punktförmige Lichtquelle erforderlich ist wie z. B. Beugung am Spalt oder Gitter. Mit dem Laser werden zwei optische Blenden im Diarahmen geliefert. Eine Blende enthält verschiedene Ein- und Doppelspalte, die andere verschiedene Beugungs-Gitter und Muster.

Der Laser ist eine Lichtquelle, kein Sensor. Er wird zur Spannungsversorgung an den CorEx Logger angeschlossen, ohne dass der Logger ihn als Sensor erkennt. Der Laser ist mit einem Druckschalter ausgestattet, um ein unbeabsichtigtes Einschalten zu verhindern.

Der Laser kann einzeln oder zusammen mit Smart Q-Sensoren z. B. dem Beleuchtungsstärkeoder Drehbewegungs-Sensor eingesetzt werden, um präzise Messdaten bei wellenoptischen Versuchen aufzuzeichnen. Außerdem kann er als Infrarot-Sender für die Smart Q-Lichtschranke dienen, wenn ein größeres Objekt die Schranke auslösen soll.

## Anschluss

- Das Lasergehäuse wird mit dem smart Q-Aufkleber nach oben gehalten.
- Ein Ende des Sensorkabels (im Lieferumfang des CorEx Loggers enthalten) wird mit dem Pfeil am Stecker nach oben in die Buchse am Laser gesteckt.
- Das andere Ende des Sensorkabels wird mit dem Pfeil am Stecker nach oben in eine freie Anschlussbuchse am CorEx Logger gesteckt.
- Der Versuch wird aufgebaut. Der Laser wird an einem Stativ fest montiert. Dabei ist darauf zu achten, dass der Laserstrahl nicht auf eine Person, einschließlich des Vorführenden oder eventuell im Raum vorbeigehende Personen gerichtet ist.
- Der CorEx Logger wird eingeschaltet.


**Hinweis:** Wenn sich der CorEx Logger im "**sleep"-Modus** befindet, wird der Laser nicht mit Spannung versorgt. Durch Drücken der **ENTER-** oder **STOP-**Taste arbeitet der Logger wieder und versorgt den Laser mit Spannung.

Hinweis: Der Laser arbeitet erst, wenn der Druckschalter am Lasergehäuse betätigt wird.

- Nach Prüfen aller Sicherheitsmaßnahmen wird der Laser eingeschaltet.
- Zum Ausschalten des Lasers ist erneut der Druckschalter zu betätigen.

#### Sicherheitshinweise

Der Laser genügt den sicherheitstechnischen Anforderungen für Laser der Klasse 2, die im Unterricht eingesetzt werden dürfen.

#### Die wichtigsten Maßnahmen:

Keine Person darf in den Laserstrahl direkt hineinsehen. Der Laserstrahl darf auf keine Person treffen.

Bevor Schüler mit dem Laser selbsttätig arbeiten dürfen, muss der/die Lehrende die folgenden Sicherheitshinweise mündlich und schriftlich ausgeben:

- 1. Unter keinen Umständen darf direkt in den Laserstrahl hineingesehen werden.
- 2. Der Laserstrahl darf nicht auf eine Person gerichtet sein. Dazu wird empfohlen, den Laser fest an einem Stativ aufzubauen.
- 3. Der Laser darf erst eingeschaltet werden, wenn er sicher und fest aufgebaut ist, der voraussichtliche Strahl auf keine Person trifft oder in einen Bereich zielt, in dem Personen vorbeigehen könnten.
- 4. Der Strahlaustritt muss auf den Arbeitstisch durch Aufstellen eines entsprechenden Schutzschirmes beschränkt bleiben. Wenn dies aus Gründen der Versuchsanordnung nicht möglich ist, muss für ein anderes Hindernis gesorgt werden, dass den direkten Blick in den Laserstrahl sowie das Auftreffen des Strahls auf Personen verhindert.
- 5. Wenn immer möglich, soll der Laser so aufgebaut werden, dass sich der Strahl max. 20 cm über der Tischhöhe befindet.
- 6. Ein Laser-Warnschild ist im Bereich des Versuchsaufbaus aufzustellen.
- 7. Beim Aufbauen des Versuches soll mit Hilfe eines weißen Papierblattes der Strahlengang ermittelt und die optischen Versuchselemente entsprechend platziert werden.
- 8. Die Versuche sollen bei normalen Tageslicht durchgeführt werden. Wenn aus Gründen der Versuchsanordnung eine Verdunkelung des Raumes erforderlich ist, sollte immer ein gewisses Restlicht verbleiben und Reflektionen des Laserstrahls an Wänden oder Möbeln ausgeschlossen werden.
- 9. Wenn ein Lichtleitkabel zur Weiterleitung des Laserstrahl verwendet wird, muss an dessen Lichtausgang ein Schirm zur Sichtbarmachung des Strahls aufgestellt werden.

**Hinweis:** Die Linse auf dem Strahlausgang des Lasers darf nicht entfernt werden. Die Entfernung der Linse erhöht die Ausgangsleistung des Lasers in unzulässiger Weise. Wenn die Linse beschädigt wird, muss das Gerät aus dem Verkehr gezogen und zur Reparatur an Cornelsen Experimenta eingeschickt werden.

#### Anwendungshinweise

- Der CorEx Logger erkennt den angeschlossenen Laser nicht als Sensor.
- Der Laser arbeitet nicht, wenn der CorEx Logger nicht eingeschaltet ist. Der Logger geht nach 2 Minuten in den "sleep"-Modus, wenn er keine Daten aufnimmt oder misst. Durch Drücken der ENTER- oder STOP-Taste arbeitet der Logger wieder. Nachdem der Logger wieder eingeschaltet ist, muss auch der Druckschalter am Laser erneut gedrückt werden, um den Laser wieder einzuschalten.
- Der Laser kann nicht an den CorEx Logger angeschlossen werden, wenn gleichzeitig eine Erfassung im CorEx log -Modus über eine Zeit von 6 Minuten und länger erfolgt. Nach sechs Minuten geht der Logger automatisch in den "sleep"-Modus zwischen Messungen. Dadurch wird die Spannungsversorgung zum Laser unterbrochen und er schaltet ab.
- Die Laserdiode erzeugt einen leicht ovalen Strahl mit einer festen Brennweite. Bei Versuchen mit der Spalt- oder Gitterblende muss der Strahl auf das gewünschte Objekt justiert werden.

# **Optische Blenden**

Mit dem Laser werden zwei Blenden in Diarahmen geliefert:



Satz Spalte (Vorderseite)



Satz Beugungsgitter und Muster (Vorderseite)

• Die Blenden werden mit der Vorderseite in Richtung Laser aufgebaut um eine Rückstrahlung des Laserstrahls zu reduzieren.

Hinweis: Wenn die Buchstaben seitenverkehrt projiziert werden, ist die Blende verkehrt herum eingesetzt.

- Die Blende wird in einem Abstand von ca. 5 cm zum Laser aufgebaut.
- Die Blende darf nur an ihrem Rahmen angefasst werden. Die Berührung des Films kann zu Beschädigungen führen.

# Die Blende mit Spalten

Die Blende enthält durchscheinende Spalte auf einem schwarzen Hintergrund mit der Beschriftung A bis J).



Einfach-Spalte		
Spalt	Spaltbreite (µm)	
A	30	
В	40	
С	50	
D	60	
E	70	

Doppel-Spalte (alle Angaben in μm)			
Doppel- spalt	Spalt- breite (a)	Trennsteg (b)	Abstand (d) zwischen Spaltmitten
F	25	25	25 + 25 = 50
G	25	35	25 + 35 = 60
Н	25	50	25 + 50 = 75
I	50	50	50 + 50 = 100
J	60	60	60 + 60 = 120

### Die Blende mit Beugungsgittern und Mustern

Die Blende enthält drei durchscheinende Beugungsgitter (N, O und P) sowie drei Beugungsmuster (K, L und M) auf einem schwarzen Hintergrund.

#### Beugungsgitter (alle Angaben in µm)

Gitter	Linienbreite	Linienabstand	Spaltabstand	Linien/mm
N	8	8	8 + 8 = 16	62,5
0	10	10	10 + 10 = 20	50
Р	20	20	20 + 20 = 40	25

Beugungsmuster (alle Angaben in µm)

Muster	Musterart	Linienbreite	Linienabstand	Spaltabstand	Linien/mm
К	Zielscheibe	10	10	10 + 10 = 20	50
L	Zielscheibe	10	10	10 + 10 = 20	50
М	Schachbrett	10	10	10 + 10 = 20	50

#### Versuchsbeispiele mit dem Laser und den Blenden

- Wellenlängenermittlung des Laserlichtes mit dem Doppelspalt und mit einem Gitter.
- Ermittlung der Spaltbreite eines aus Rasierklingen selbst hergestellten Einfachspaltes.
- Ermittlung der Spaltabstände an Gittern.
- Strahlenoptische Versuche mit einem Punktstrahl, z. B. Ein- und Ausfallswinkel beim Durchgang durch einen optischen Körper.
- Demonstration der Brechung von Röntgenstrahlen an einem Kristall unter Verwendung des Musters "M" (zwei im rechten Winkel gekreuzte Beugungsgitter).
- Verwendung des Lasers als Infrarotsender, der auf den Empfänger der Smart Q –Lichtschranke gerichtet ist, um Daten von einem Objekt aufzuzeichnen, das den Laserstrahl unterbricht.



### Ermittlung der Wellenlänge des Laserlichtes mit einem Doppelspalt

- 1. Der Versuch wird in einem abgedunkelten (nicht ganz dunklen) Raum durchgeführt. Der Laser wird im Sensorhalter (73310) eingespannt und so gehalten, dass der Laserstrahl auf ein Blatt weißes Papier oder einen weißen Schirm trifft, der im Abstand von 1 m an einer Wand befestigt ist.
- Der Laser wird so an einem Stativ befestigt, dass er zur Wand zeigt und sich ca.
  20 cm über der Tischplatte befindet.
- 3. Es wird dafür gesorgt, dass keine Person unbeabsichtigt durch den Laserstrahl laufen kann (Schnur oder Klebeband spannen wenn erforderlich).
- 4. Die Blende mit den Spalten A-J wird mit der Vorderseite zum Laser in einer Entfernung von ca. 5 cm aufgebaut.



Hinweis: Die Buchstaben auf der Blende müssen seitenrichtig lesbar sein, wenn man aus der Richtung des Lasers auf die Blende sieht.

- 5. Der Laser wird mit Hilfe des Sensorkabels mit dem CorEx Logger verbunden, der in der Messanzeigen-Funktion eingeschaltet ist. Es wird sichergestellt, dass sich keine Person im zu erwartenden Bereich des Laserstrahls befindet. Der Laser wird durch Drücken des Druckschalters am Lasergehäuse eingeschaltet. Der Laserstrahl erscheint als roter Punkt auf dem Blatt Papier oder Schirm an der Wand.
- 6. Der/die Vorführende stellt sich hinter den Laser und justiert die Spaltblende so, dass sie ca. 5 cm vom Austritt des Laserstrahls entfernt ist. Die Blende wird so bewegt, dass der Strahl einen der Doppelspalte F bis J im Zentrum trifft. Und ein Muster von abwechselnden Hellund Dunkelstreifen an der Wand erscheint. Die verschieden Doppelspalte werden getestet, bis das klarste und schärfste Muster projiziert wird. Zusätzlich wird der Blendenabstand zum Laser so verändert, dass das Muster so scharf wie möglich sichtbar wird.
- 7. Das Hell-Dunkelmuster an der Wand wird markiert und die Ausdehnung der sichtbaren Hellfelder von links nach rechts so genau wie möglich gemessen. Als Startpunkt dient die Mitte des ersten sichtbaren Hellfeldes und als Endpunkt die Mitte des letzten sichtbaren Hellfeldes. Die Anzahl der dazwischen liegenden Hell-Dunkelfelder wird gezählt (s. folgende Abb.).



8. Der Laser wird durch Drücken des Druckschalters ausgeschaltet und der Abstand zwischen der Blende und der Wand ermittelt.

Die Wellenlänge  $\lambda$  des Laserlichtes kann dann nach folgender Gleichung berechnet werden.

$$\lambda = \frac{yd}{x}$$

- y = Abstand von der Mitte eines Hellfeldes zur Mitte des nächsten. Es wird der gesamte Abstand aller erkennbaren Hellfelder gemessen und am Ende durch die Anzahl der gemessenen Felder geteilt.
- d = Abstand zwischen den Spalten des Doppelspaltes (von Mitte zu Mitte)

x = Abstand von der Blende zur Wand

#### Rechenbeispiel bei Verwendung des Doppelspaltes "I":

Messung über 10 helle Feldabstände (10 y) = 52 mm, 1 y = 5,2 mm = 5,2 x  $10^{-3}$  m Abstand zwischen den Spalten des Doppelspaltes = d = 100 µm = 100 x  $10^{-6}$  m. (Der Wert ist der Blendenspezifikation auf Seite 221 entnommen.) Abstand von der Blende zur Wand x = 800 mm = 800 x  $10^{-3}$  m

$$\frac{5.2 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^{-6}}{800 \times 10^{-3}} = \frac{520 \times 10^{-9}}{800 \times 10^{-3}} = 0,650 \times 10^{-6} \text{ m} = 650 \times 10^{-9} \text{ m} = 650 \text{ nm}$$

Hilfe zur	<sup>.</sup> Definition	des	Metereinheiten-Vorsatzes

Vorsatz	Name	Bedeutung
m	Milli	geteilt durch 1 000 (10 <sup>-3</sup> )
μ	Micro	geteilt durch 1 000 000 (10 <sup>-6</sup> )
n	Nano	geteilt durch 1 000 000 000 (10 <sup>-9</sup> )

#### Ermittlung des Spaltabstandes eines Beugungsgitters

- 1. Die Schritte 1–5 des vorhergehenden Versuchsablaufes werden mit einem Beugungsgitter (N,O oder P) durchgeführt.
- 2. die Blende wird so justiert, dass der Laserstrahl ein Gitter im Zentrum trifft und ein Muster von hellen Punkten auf der Wand sichtbar wird.
- 3. Das Muster an der Wand wird markiert und die Ausdehnung der sichtbaren Punkte von links nach rechts so genau wie möglich gemessen. Als Startpunkt dient die Mitte des ersten sichtbaren hellen Punktes und als Endpunkt die Mitte des letzten sichtbaren hellen Punktes. Die Anzahl der dazwischen liegenden Hell-Dunkelfelder wird ermittelt (s. folgende Abb.).



4. Der Laser wird durch Drücken des Druckschalters ausgeschaltet und der Abstand zwischen Blende und Wand gemessen.

5. Die ermittelten Daten werden in die folgende Tabelle eingetragen:

Gitter (	Linien/mm)	Abstand Blende-Wand (r)	Abschnitt (s)	Spaltabstand (d) Errechnet
N	62,5			
0	50			
Р	25			

Der Spaltabstand (d) auf dem Beugungsgitter errechnet sich nach folgender Formel:

$$d = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

 $\lambda$  = Wellenlänge des Laserlichtes

 $\sin \theta = (s/r) = \det Abschnitt zwischen zwei hellen Punkten auf der Projektion (s) geteilt durch den Abstand der Blende von der Wand.$ 

#### Rechenbeispiel aus Messergebnissen mit dem Gitter "N"

Wellenlänge des Laserlichtes =  $\lambda$  = 650 nm = 650 x 10<sup>-9</sup> m Messung über 10 helle Punktabschnitte (10 s) = 428 mm = 1 s = 42,8 mm = 42,8 x 10<sup>-3</sup> m Abstand Blende-Wand (r) = 1158 mm = 1158 x 10<sup>-3</sup> m

$$\sin \theta = \frac{42.8 \times 10^{-3}}{800 \times 10^{-3}} = 0.0369$$

$$d = \frac{1}{\sin \theta}$$

$$d = \frac{650 \times 10^{-9}}{0,0369} = 17547 \times 10^{-9} = 17,5 \times 10^{-6}$$

**Hinweis:** Der tatsächliche Spaltabstand am Gitter "N" ist 16,0 x 10<sup>-6</sup> m.

Vorsatz	Name	Bedeutung
m	Milli	geteilt durch 1 000 (10 <sup>-3</sup> )
μ	Micro	geteilt durch 1 000 000 (10 <sup>-6</sup> )
n	Nano	geteilt durch 1 000 000 000 (10 <sup>-9</sup> )

es

# Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor



Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor – Best.-Nr. 73288

# Einführung

Das Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor (73280) umfasst drei wichtige Ergänzungsteile zur Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten des Sensors:

#### 1. Pendelstab

Aluminiumrohr mit zwei verstellbaren Massestücken und Klemmschraube. Der Pendelstab kann mit und ohne Massestücke für Pendelversuche und Trägheitsmoment-Untersuchungen verwendet werden.

#### 2. Paar Scheiben für Drehmomentversuche

Aluminiumscheiben zur Untersuchung der Drehträgheit und Erhaltung des Drehmomentes.

### 3. Zahnstange mit Zwinge

Kunststoffstab mit Zahnreihe, 25 cm lang. Zur Messung linearer Verschiebungen über die Länge der Stange. Mit der Zwinge kann ein weiterer Smart Q-Sensor oder ein anderes Objekt auf der Zahnstange befestigt werden.

#### Messbereiche

Die Kalibrierung für die verschiedenen Messbereiche der Zubehörteile ist im Mikroprozessor des Drehbewegungs-Sensors (73280) gespeichert. Der gewünschte Messbereich kann sowohl am CorEx Logger direkt im System-Verwaltungs-Menü bzw. im Programmteil Sensor-Konfiguration der CorEx SENSING SCEINCE Software gewählt werden.

# **Der Pendelstab**

Der Pendelstab ist mit zwei Montagebohrungen versehen. Zwei Massestücke mit Klemmschrauben können verschiebbar auf den Pendelstab aufgeschoben werden. Zur Befestigung des Pendelstabes an der großen Schnurscheibe des Drehbewegungs-Sensor dient eine Montageschraube.



Für genaue Messungen sind die Gewichte und Abmessungen der Teile genau zu ermitteln und zu notieren:

Masse des Pendelstabes:	g
Länge des Pendelstabes:	mm
Massestück mit Schraube:	g

#### Montage

Die Seite der Stufenscheibe mit dem größten Durchmesser am Drehbewegungs-Sensor zeigt nach außen. Die Schraube und Unterlegscheibe in der Mitte der Stufenscheibe wird mit einem Schraubendreher gelöst.

Die im Lieferumfang des Zubehörsatzes befindliche Montageschraube (10 mm lang) für den Pendelstab wird durch die gewünschte Bohrung am Ende oder in der Mitte des Pendelstabes gesteckt und der Pendelstab auf die Vertiefung der Stufenscheibe gelegt und mit der Montageschraube im Zentrum der Stufenscheibe mit einem Schraubendreher befestigt. Bei Bedarf können ein oder zwei Massestücke am freien Ende des Pendelstabes aufgeschoben und mit der Klemmschraube befestigt werden.



#### Pendelversuche

Im Programmteil **Sensor-Konfiguration** wird als Bereich "Pendel ±20°" oder "Winkelposition 0–360°" gewählt. Das Pendel wird, wie oben beschrieben, an einem Ende auf der Stufenscheibe montiert. Der Sensor wird mit dem beiliegenden Haltestab an einer Tischkante mit Stativmaterial fest aufgebaut. Der Pendelstab muss außerhalb der Tischkante frei schwingen können (s. Abb. rechts). Der Aufbau kann auch auf einer Tischplatte mit einem entsprechend langen Stativstab erfolgen. Die Länge des Pendels kann mit Hilfe der Massestücke verändert werden. Durch Verschieben eines aufgesetzten Massestückes nach oben oder unten verändert sich die effektive Länge des Pendels.

Die Länge eines Pendels ist definiert als der Abstand zwischen dem Punkt der Pendelhalterung an der Stufenscheibe und

dem Schwerpunkt des Massestückes. Um diesen Schwerpunkt zu ermitteln, ist das Pendel auf eine scharfe Kante (Messer, Lineal) zu legen und durch Ausbalancieren der Punkt zu suchen, an dem sich der Pendelstab mit dem Massestück in der Waage befindet. Der Abstand von der scharfen Kante zur Pendelhalterung an der Scheibe wird gemessen und für die Messungen notiert (s. Abb. unten).





#### Messen des Trägheitsmomentes

Der Pendelstab kann auch waagerecht auf der Stufenscheibe des Drehbewegungs-Sensors montiert für Trägheitsmoment-Untersuchungen verwendet werden.

Im Programmteil Sensor-Konfiguration werden dann wahlweise die Bereiche "Winkelgeschwindigkeit (rads) oder Winkelgeschwindigkeit (revs.) gewählt.

Der Sensor wird flach auf eine Unterlage gestellt und der Pendelstab mit seiner mittleren Bohrung mit Hilfe der Montageschraube (10 mm lang) so auf der großen Stufenscheibe des Sensors befestigt, dass er frei rotieren kann. Wahlweise können die Versuche ohne und mit aufgesetzten Massestücken durchgeführt werden.



# Paar Scheiben für Drehmoment-Versuche

Die 2 mm-dicken Aluminiumscheiben haben je zwei Bohrungen, die auf zwei Stifte auf der großen Stufenscheibe des Drehbewegungs-Sensors passen.

Die Erste Scheibe hat im Zentrum einen hutförmigen Aufsatz. Die Zweite Scheibe hat ein Loch in der Mitte, das über den Aufsatz der Ersten Scheibe passt, und drei Haftplättchen auf der Unterseite.

Für genaue Messungen sollten die Masse und der Durchmesser der Scheiben exakt gemessen und notiert werden:

Masse der Ersten Scheibe:	g
Masse der Zweiten Scheibe:	g
Durchmesser der Scheiben:	mm

# Trägheitsmoment bei Drehbewegungen

Im Programmteil "Sensor-Konfiguration" wird der Messbereich "Winkelgeschwindigkeit in Bogenmaß/s (rads) oder Umdrehungen/s (revs)" gewählt.

• Der Drehbewegungs-Sensor wird waagerecht auf einer Tischplatte mit der großen Schnurscheibe nach oben aufgestellt. Die Erste Scheibe mit dem Aufsatz in der Mitte wird so auf die Schnurscheibe gesetzt, dass die Bohrungen der Aluminium-Scheibe auf die Positionier-Stifte der Schnurscheibe gesteckt werden. Schnurscheibe und Aluminium-Scheibe müssen eine Ebene bilden.





# Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor

• Mit Hilfe des Aufsatzes in der Mitte der Aluminium-Scheibe wird die Scheibe von Hand im Uhrzeigersinn in eine Drehbewegung versetzt. Der Drehimpuls sollte so stark sein, dass sich die Scheibe ca. 30 Sekunden lang dreht.

**Hinweis:** Wenn die Scheibe eher als nach 30 Sekunden zum Stillstand kommt, hilft ein Tropfen Nähmaschinenöl auf die Achsenlager des Sensors (s. Wartung Seite 232)

• Der Programmteil "Grafik" der SENSING SCIENCE Software wird geöffnet und im Aufnahme-Assistent eine passende Zeitspanne und Startbedingung eingegeben.

Bei diesem Beispiel wurde die Startbedingung so gesetzt, dass Daten erfasst werden, wenn der Wert am Drehbewegungs-Sensor (Winkelgeschwindigkeit in rad/s) unter 40 rad/s fällt.

"START" wird angeklickt und ein Fenster mit der Information "Wartet auf Startbedingung" wird geöffnet. Die Aluminium-Scheibe wird so schnell in Drehbewegung versetzt, dass die Winkelgeschwindigkeit 40 rad/s übersteigt. Dann wird der Drehimpuls beendet. Sobald die Startbedingung 40 rad/s erreicht ist, beginnt die Datenerfassung.



#### Erhaltung des Drehmoments

 Zur Untersuchung der Erhaltung des Drehmoments bei einer rotierenden Kollision wird zunächst wie oben beschrieben verfahren. Die Startbedingung wird gesetzt und die Erste Aluminium-Scheibe in Drehbewegung versetzt. Einige Sekunden, nachdem die Datenerfassung begonnen hat, wird die Zweite Aluminium-Scheibe von oben so auf die Erste Scheibe fallen gelassen, dass die mittlere Bohrung der Zweiten Scheibe über den Aufsatz der Ersten Scheibe fällt, während sich die Erste Scheibe weiter dreht (siehe Abb. rechts).



• Im Anzeige-Assistenten des Programmteils Grafik wird die Funktion "Überlagerung" gewählt, "Start" angeklickt und der Vorgang mehrere Male wiederholt. Mit den erfassten Daten kann die Winkelgeschwindigkeit vor und nach dem Auftreffen der Zweiten Scheibe ermittelt werden.

#### Drehtisch

Wenn die Zweite Aluminium-Scheibe (mit dem Loch in der Mitte) mit ihren zwei Bohrungen auf die Positionier-Stifte der großen Schnurscheibe des Drehbewegungs-Sensors gesetzt wird, ergibt sich eine flache Drehscheibe, auf der das Verhalten eines Objektes (z. B. optische Prisma) unter verschiedenen Winkelpositionen untersucht werden kann.

# Zahnstange für lineare Verschiebung

Mit der Zahnstange können lineare Verschiebungen bis zur Länge der Stange erfasst werden. Die Zahnstange ist 25 cm lang, sie hat 80 Zähne, 3,2 Zähne im Abstand von 10 mm. Die Stange kann von Hand oder durch einen anderen externen Antrieb bewegt werden. Die Achse des Drehbewegungs-Sensors ist mit einem Zahnrad versehen. Die Zähne der Zahnstange greifen in die Zähne des Zahnrades und wandeln so die lineare in eine Drehbewegung um. Die Kalibrierung für die erfasste lineare Bewegung der Zahnstange errechnet sich aus einer Umdrehung des Zahnrades, die einer Strecke von ca. 78,5 mm der Zahnstange entspricht. Die Zahnstange kann von beiden Seiten in die quadratischen Öffnungen im Sensorgehäuse mit der Zahnreihe nach unten vorsichtig so weit hineingeschoben werden, bis sie an der anderen Gehäuseseite sichtbar wird.



**Hinweis:** Zwischen der Zahnstange und dem Zahnrad gibt es einen geringen Zwischenraum, der ein korrektes Ineinandergreifen der Zähne gewährleistet. Dieses "Spiel" kann zur Justierung der Zahnstange an der Ausgangsöffnung genutzt werden. Beim Umgang mit der Zahnstange darf keine Gewalt angewendet werden, weil dann der Sensor beschädigt werden könnte.

Bei Bewegungen der Zahnstange, die das Zahnrad im Uhrzeigersinn drehen, werden negative Werte angezeigt. Wird das Zahnrad gegen den Uhrzeigersinn gedreht, erscheinen positive Werte.

#### Messen linearer Verschiebung

- Der Sensor wird in einer geeigneten Position aufgebaut.
- Die Bereichswahl im Programmteil "Sensor-Konfiguration" wird auf "lineare Zahnstange" eingestellt.
- Wenn erforderlich, wird ein weiterer Sensor mit Hilfe der kleinen Klemme auf der Zahnstange befestigt (siehe <u>Montage eines Sensors...</u>)
- Die Zahnstange wird mit der Zahnreihe nach unten in eine der quadratischen Öffnungen in das Sensorgehäuse geschoben, bis die Stange an der anderen Seite wieder sichtbar wird.
- Die **Reset-Taste** am Sensor wird gedrückt, um eine Nullposition herzustellen. Wenn eine genaue 0-mm-Startposition erforderlich ist, kann die Zahnstange auch von Hand in die Nullstellung bewegt werden.

# Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor

#### Montage eines Sensors auf der Zahnstange mit Hilfe der kleinen Klemme

Mit Hilfe der beiliegenden kleinen Klemme kann ein weiterer Smart Q-Sensor auf der Zahnstange befestigt werden. Mit diesem Aufbau kann die Position des Sensors definiert verschoben und verschiedene Versuche z. B. mit dem Beleuchtungsstärke-, dem Schall- oder dem Magnetfeld-Sensor durchgeführt werden.

- Der Sensor wird seitlich mit dem Smart Q-Etikett nach oben auf ein Ende der Zahnstange gesetzt.
- Die Klemme wird so weit geöffnet, dass sie das Sensorgehäuse und die glatte Seite der Zahnstange umfängt. Die Schraube an der Klemme wird leicht angezogen, bis der Sensor fest mit der Zahnstange verbunden ist.



**Hinweis:** Ein zu festes Anziehen der Schraube ist zu vermeiden, da sonst das Sensorgehäuse und die Zahnstange beschädigt werden könnten. Es ist darauf zu achten, dass die Schraube der Klemme nicht auf die Zähne der Zahnstange drückt.

**Hinweis:** Zur grafischen Darstellung eines Smart Q-Sensors gegen einen weiteren Sensor, z. B. Beleuchtungsstärke gegen den Abstand, der mit dem Drehbewegungs-Sensor erfasst wird, ist im Programmteil "Grafik" der "Anzeige-Assistent" und dort die Funktion "Sensor als X-Achse" zu wählen.

# Allgemeine Trägheitsmomente

Die Drehträgheit eines rotierenden Körpers hängt nicht nur von seiner Masse sondern auch von der Verteilung der Masse im Hinblick auf die Rotationsachse ab.

i = Drehträgheit

m = Masse des Objektes

r = Radius des Objektes wenn es sich um ein rundes oder kugelförmiges Objekt handelt

l = Länge des Objektes

Die Drehträgheit einer festen Scheibe um eine zentral Achse z. B. Drehmomentscheibe:

$$i = \frac{1}{2} m r^2$$

Ein rotierender Stab mit einer zentralen Achse, die im Lot zur Länge steht, z. B. der Pendelstab waagerecht auf der großen Schnurscheibe des Drehbewegungs-Sensors montiert:

$$i = \frac{1}{12} \ell m^2$$





# Zubehör zum Drehbewegungs-Sensor

Ein fester Körper, bestehend aus zwei Massen, die durch einen Stab mit der Länge I miteinander verbunden sind und eine zu vernachlässigende Masse, deren Drehachse durch das Zentrum der Masse verläuft, z. B. der Pendelstab mit der Mittelbohrung auf der großen Schnurscheibe des Drehbewegungs-Sensors montiert und an den Stabenden mit je einem Massestück versehen.



$$i = \frac{1}{2} m \ell^2$$

#### **Beispiel**

Das Trägheitsmoment der Drehträgheitsscheiben errechnet sich nach:

$$i = \frac{1}{2} m r^2$$

Zweite Scheibe Masse (m) = 136,8 g = 0,1368 kg Radius (r) = 75 mm = 0,075 m r<sup>2</sup> = 0,005625 m Das Trägheitsmoment ist (0,5 x 0,1368) x 0,005625 = 0,0003847 = 0,38 x  $10^{-3}$  kgm<sup>2</sup>.

*Erste Scheibe* Masse (m) = 150,4 g = 0,1504 kg Radius (r) = 75 mm = 0,075 m  $r^2 = 0,005625$ 

Das Trägheitsmoment ist (0,5 x 0,1504) x 0,005625 = 0,000423 = 0,42 x 10<sup>-3</sup> kgm<sup>2</sup>

### Wartung

Wenn sich die Schnurscheibe am Sensor nicht frei drehen sollte, ist ein Tropfen Nähmaschinenöl auf die beiden Lager der Drehachse zu geben:

- 1. Auf das Kugellager auf der Rückseite des Sensorgehäuses
- 2. Auf das Kugellager zwischen der dreistufigen Schnurscheibe und der Gehäusewand des Sensors

Damit sich das Öl gut über die Lager verteilen kann, ist die Schnurscheibe mehrmals zu drehen.

#### Versuche

Mit dem Pendelstab und Zusatzmassen:

- Pendelversuche, z. B. Amplitudenänderung oder Auswirkungen der Masse auf die Periodendauer
- Drehträgheit

#### Mit den Drehmomentscheiben:

- Erhaltung des Drehmomentes
- Drehträgheit
- Drehtisch, z. B. Änderung der Winkelposition eines Objektes

#### Mit der Zahnstange:

- Lineare Verschiebungen, z. B. Kolben einer Gasspritze
- Lineare Verschiebung eines Sensors



Gürtel für Atmungsaktivität – Best.-Nr. 73190

Zur Verwendung mit dem *Smart Q*-Differenz-Gasdruck-Sensor ±10 kPa (73139), der nicht im Lieferumfang enthalten ist und separat gekauft werden muss.

Der Gürtel kann für einen Brustumfang von 78–110 cm verwendet werden.

# Einführung

Der Gürtel für Atmungsaktivität wird zusammen mit dem Differenz-Gasdruck-Sensor ±10 kPa (73139) verwendet, um verschiedene Atemmuster zu messen. Der Gürtel besteht aus textilem Nylon-Material und wird im unteren Brustbereich um den Körper gelegt und mit einem Klettbandverschluss gehalten.

Im Inneren des Gürtel (hinter dem Aufdruck "Data Harvest") befindet sich eine aufblasbare Luftkammer mit zwei angeschlossenen Gummischläuchen.

Am Ende des einen Schlauches befindet sich eine Handpumpe (Gummigebläse) zum Aufblasen der Luftkammer. Das Ende des anderen Schlauches ist mit dem Druck-Sensor zu verbinden, um die Druckveränderungen beim Dehnen (Einatmen) und Zusammenziehen (Ausatmen) des Brustkorbes der Testperson aufzuzeichnen. Der Smart Q-Differenz-Gasdruck-Sensor hat zwei Anschlussstutzen und registriert die Druckwerte relativ zur Druckdifferenz zwischen den beiden Anschlüssen. Der zweite Anschluss bleibt offen, so dass der Gürtel-Druck relativ gegenüber dem atmosphärischen Druck (äußerer Luftdruck) gemessen wird.



# Anschluss des Differenz-Gasdruck-Sensors

- Der Sensor wird mit dem Smart Q-Etikett nach oben gehalten.
- Ein Stecker des langen Sensorkabels (im Lieferumfang des CorEx Logger enthalten) wird mit dem Pfeil am Stecker nach oben in die Buchse des Sensorgehäuses gesteckt.
- Der andere Stecker wird ebenfalls mit dem Pfeil nach oben in einen freien Eingang am CorEx Logger gesteckt.
- Der Logger erkennt, dass der Gasdruck-Sensor angeschlossen ist.

Der Sensor kann in zwei Messbereichen verwendet werden: ±10 kPa oder ±1,5 psi. Wenn der nicht gewünschte Bereich eingestellt sein sollte, kann dies im Programmteil "Sensor Konfiguration" oder direkt am Logger mit "Messbereich setzen" im System-Menü geändert werden.

# Messablauf

**Hinweis:** Es empfiehlt sich zuerst den Gürtel anzulegen und dann die Verbindung zum Gasdruck-Sensor herzustellen.

- 1. Die Luftkammer im Gürtel wird durch Drücken geleert. Der Gürtel wird der Testperson am unteren Ende des Brustkorbes so um den Körper gelegt, dass der Aufdruck "Data Harvest" nach vorne zeigt.
- 2. Das Ende des Gürtels mit dem Schlingen-Klettband wird mit der Textilseite nach innen auf den Rücken der Testperson gelegt und das andere Ende mit dem Haken-Klettband nach innen so über das andere Ende des Gürtels gespannt, dass der Gürtel fest sitzt.

**Hinweis:** Wenn der Gürtel angelegt wird, sollte die Testperson leicht einatmen um einen bequemen Sitz des Gürtels zu gewährleisten.

3. Das offene Ende des einen Schlauches wird auf den mit "P1" gekennzeichneten Anschlussstutzen des Gasdruck-Sensors geschoben.



Hinweis: Beim Anschluss an den Stutzen "P1" werden Werte im positiven Bereich ausgegeben. Am anderen Anschluss erscheinen negative Messwerte.

4. Die Ventilschraube am Gummiball der Handpumpe wird durch Drehen bis zum Anschlag im Uhrzeigersinn geschlossen.



- 5. Die Testperson kann stehen oder aufrecht auf einem Stuhl sitzen. Der Gummiball wird mehrere Male zusammengepresst, bis die Luftkammer im Gürtel so weit aufgeblasen ist, dass er den Brustkorb der Testperson fest umschließt, die Testperson aber frei ein- und ausatmen kann.
- 6. Zur Eingewöhnung kann die Testperson auch einige Minuten sitzen um sich mit dem Gerät und dem Druck des Gürtels vertraut zu machen.
- 7. Im Programmteil Grafik wird im Menü "Werkzeuge" die Funktion "Testmodus" oder am CorEx Logger "Messanzeigen" gewählt. Der angezeigte Wert sollte ca. 4 kPa bei mittlerer Atemposition betragen und alternativ in einem Bereich von 2 3 kPa um diesen Wert steigen und fallen, wenn die Testperson normal ein- und ausatmet. Der Wert hängt davon ab, wie eng der Gürtel den Körper umschließt. Wenn weniger als 1 kPa angezeigt wird, muss der Gürtel enger umgelegt oder mehr Luft in die Luftkammer des Gürtels gepumpt werden.

Hinweis: Die Funktion "Sensorachsenbegrenzung" aus dem Anzeige-Menü kann verwendet werden, um den angezeigten Bereich des Sensors zu reduzieren.

# Zubehör: Gürtel für Atmungsaktivität

- 8. Wenn normale Atemergebnisse im Druckänderungsbereich von 2 3 kPa erreicht sind, kann mit den Versuchen begonnen werden.
- 9. Wenn mehr als eine grafische Darstellung auf der gleichen Achse gewünscht wird, kann die Funktion "Überlagerungen" aus dem Anzeige-Assistenten gewählt werden. Wenn die Testperson während des Versuchsablaufes körperliche Anstrengungen ausüben soll, empfiehlt es sich, den Sensor vom Schlauch zu trennen, damit sich die Testperson mit dem Gürtel frei bewegen kann.
- 10. Wenn die Versuche abgeschlossen sind, wird der Druck im Gürtel durch Öffnen der Ventilschraube am Gummiball gegen den Uhrzeigersinn abgebaut. Der Gürtel wird geöffnet und abgenommen und die restlich Luft durch Drücken aus der Luftkammer entfernt.

# Sicherheits-Informationen

- Die Versuche dürfen sich nicht zu einem Wettbewerb unter Schülern entwickeln. Personen mit Asthma oder Bronchitis dürfen nicht zu Versuchen herangezogen werden.
- Wenn die Testperson über Schwindel, Übelkeit oder Kopfschmerz klagt, ist der Versuch sofort abzubrechen und der Gürtel abzunehmen.
- Die Testperson sollte bestätigen, dass sie sich mit dem angelegten Gürtel wohl fühlt. Wenn nicht, könnte dies zu verfälschten Messergebnissen führen, da physiologischer Stress unnormale Atemaktivitäten hervorrufen kann. Personen, die zu Hyperventilation neigen oder von Natur aus sehr nervös sind, sollten nicht für die Versuche herangezogen werden.

# Praktische Informationen

- Husten, Niesen, Lachen, Bewegung und Sprechen verfälschen die Messung. Die Testperson sollte entspannt und in Ruhe ohne körperliche Bewegungen atmen.
- Die Testperson sollte die Messergebnis am Bildschirm nicht mitsehen können, um sicherzustellen, dass sie ihre Atmungsaktivität nicht unterbewusst ändert.
- Bei Erstbenutzung sollte die Talkumschicht im Inneren des offenen Schlauches mit einem zu einem Stift gewickelten Stück angefeuchtetem Baumwollstoff entfernt werden.

# Versuchsbeispiele

- Vergleich von Atemmustern verschiedener Schülergruppen wie sportliche und unsportliche, weibliche und männliche, verschiedenen Alters usw.
- Entspannungsübungen
- Erholungszeit nach körperlicher Anstrengung





Ringspule – Best.-Nr. 73137

Abmessungen: 105 mm Ø innen, 138 mm Ø außen, 29 mm Höhe

Spule: 500 Windungen isolierter Kupferdraht, 0,35 mm  $\varnothing$  Spulenwiderstand: 37  $\Omega$  Integrierter Kondensator 100 nF

Haltestab, Aluminium, 140 x 10 mm  $\varnothing$ 

# Elektromagnetischer Induktionsversuch mit der Ringspule

### (nur mit CorEx Logger oder CorEx Link möglich)

Ein durch die Spule fallender Permanentmagnet induziert eine Spannung, die mit dem Smart Q-Spannungs-Sensor gemessen wird. Vorzugsweise wird der Sensor mit dem Messbereich  $\pm 1$  V (73162) verwendet. Auch der Sensor mit dem Messbereich  $\pm 20$  V ist geeignet. Beim Einstellen des Triggerwertes ist darauf zu achten, dass anstelle von Millivolt für den 1 V-Sensor Volt eingegeben wird: Statt 50 mV muss die Eingabe 0,05 V lauten. Ungeeignet ist der 10 V-Sensor weil er nur im  $\pm$ Bereich anzeigt und so die Hälfte der gemessenen Daten verloren gehen. Als Magnet kann ein starker AlNiCo-Stabmagnet (49591) verwendet werden.

Da der Magnet im Fall die Spule innerhalb ca. 0,2 Sekunden passiert, müssen die Messdaten im Schnellerfassungs-Modus aufgezeichnet werden. Die Einstellung erfolgt am *CorEx Logger* im Menüpunkt "Schnellerfassung" oder im Programmteil Grafik im Erfassungs-Assistenten mit der Funktion "Echtzeit" und "schnell".

#### Versuchsaufbau und Ablauf

- 1. Der Haltestab wird in die Buchse an der Spule geschraubt und die Spule waagerecht an Stativmaterial befestigt. Ein Startpunkt zum Abwerfen des Magneten wird am Stativ markiert oder der Magnet mit Hilfe einer Stativklemme oberhalb der Spule gehalten. Unterhalb der Spule sollte ein Auffangkissen für den Magneten vorhanden sein, um Beschädigungen der Tischplatte und des Magneten zu vermeiden.
- 2. Der Smart Q-Spannungs-Sensor wird mit dem langen Verbindungskabel (im Lieferumfang des Loggers enthalten) mit einem freien Eingang des CorEx Loggers und die zwei Kabel am Sensor mit den 4mm-Buchsen an der Spule verbunden.
- 3. Da die Spule wie eine Antenne wirkt, können störende elektromagnetische Umgebungsimpulse empfangen werden. Die Spule sollte in diesem Fall an einen Platz gebracht werden, an dem die Störung nicht auftritt.



- 4. Der Pol des Magneten, der die Spule zuerst erreicht, wird, sofern nicht schon vorhanden, markiert und notiert.
- 5. die Aufnahmeoptionen (siehe unten Optionen für die Datenerfassung) werden eingestellt.
- 6. Wenn die Datenaufzeichnung am Computer sichergestellt ist wird "Start" angeklickt und die Zeit für die eventuelle Vor-Trigger Datenerfassung berücksichtigt. Der Magnet wird mit dem markierten Pol zuerst durch die Spule fallen gelassen. Die Datenerfassung startet, wenn die Startbedingung des Triggers erreicht ist und wird automatisch an das Grafik-Programm übergeben.

#### Optionen für die Datenerfassung

Graph 1 zeigt Daten, die mit einem Magneten erfasst wurden, der erst mit dem Nordpol zuerst und dann mit dem Südpol zuerst durch die Spule gefallen ist. Die Effekte der Schwerkraft sind deutlich erkennbar, der Südpol hat ein höhere Spannung induziert.

Die Daten wurden im Schnellerfassungs-Modus mit 3000 Messungen und einem Messintervall von 200  $\mu$ s erfasst (3000 × 200 × 10<sup>-6</sup> = 3 × 10<sup>3</sup> × 2 × 10<sup>-6</sup> = 0,6 s).

Für die Aufnahme war als Startbedingung eine über 50 mV angestiegene Spannung und ein 50%-Vor-Trigger gesetzt.

Hinweis: Für die grafische Darstellung von Graph 1 und 2 wurde die "Sensor-Achsenbegrenzung" aus dem Ausgabe-Menü gewählt um den angezeigten Sensorbereich zu reduzieren.

Mit Hilfe des Vor-Triggers kann ein Prozentsatz der zu erfassenden Daten aufgenommen werden, bevor der Triggerpunkt der Startbedingung erreicht ist. Damit wird sichergestellt, dass der Fall des Magneten durch die Spule im mittleren Bereich der gesamten Aufnahmezeit liegt. Ohne den Vor-Trigger wäre es nicht möglich, alle Daten zu sehen (s. Graph 2).





### Weitere Versuche

- Wie verhält sich das elektromagnetische Feld, wenn sich der Magnet beim Durchfallen der Spule dreht?
- Hat die Geschwindigkeit des Fallens Auswirkungen auf die induzierte Spannung? Der Magnet wird aus verschiedenen Höhen fallen gelassen.
- Zwei Ringspulen können in einem bestimmten Abstand parallel zueinander als Helmholtz-Spulenpaar aufgebaut werden, um einen Bereich gleicher magnetischer Feldstärke zwischen den Spulen herzustellen. Mit dem Smart Q-Magnetfeld-Sensor kann dann das elektromagnetische Feld untersucht werden.

# Zubehör: Speichenrad



Speichenrad – Best.-Nr. 73177

Das Speichenrad ist eine leicht laufende Rolle mit 10 Speichen.

Das Speichenrad hat eine umlaufende V-förmige Rille zur Aufnahme der Schnur. Der Umfang des Speichenrades gemessen in der Rille beträgt 0,145 m und gemessen am Außenrand 0,158 m. Die Bewegung der Schnur beim drehenden Rad hängt bis zu einem bestimmten Grad von der Dicke der benutzten Schnur ab.

Das Speichenrad kann wie folgt kalibriert werden. Man misst den Umfang des Rades mit der aufgewickelten Schnur und teilt diesen durch zehn (10 Speichen) – diesen Wert nennt man "Schritt-Größe". Jedes Mal wenn jetzt ein neuer Abschnitt im Speichenrad erreicht ist, wurde also die Distanz dieser Schritt-Größe zurückgelegt.

Das Speichenrad kann weder die Drehrichtung, noch einen Richtungswechsel erkennen und eignet sich deshalb nur für Anwendungen, bei denen das Abwickeln der Schnur nur in eine Richtung erfolgt.



Das Speichenrad kann in Verbindung mit anderen SmartQ Sensoren benutzt werden, wie z. B. Lichtschranken oder Drehbewegungs-Sensoren

Schieben Sie zur Montage den Halter des Speichenrades so in die Aufnahme des SmartQ Sensors, dass die Montageöffnung im Gestell mit der Gewindebohrung übereinstimmt und befestigen Sie das Rad mit Hilfe der beiliegenden Kreuzschlitzschraube.

#### Benutzung des Speichenrades mit einem Smart Q Sensor:

#### 1. Die Lichtschranke

Wenn das Speichenrad richtig eingebaut ist und sich dreht, unterbrechen die Speichen den Infrarotstrahl der Lichtschranke, was genutzt werden kann, um die Drehbewegung des Speichenrades darzustellen und zu überwachen.

#### 2. Der Drehbewegungs-Sensor

Das Speichenrad kann hier benutzt werden, um die Schnur zu führen oder eine Bewegung von einem Winkel in einen anderen umzulenken.

#### Wichtige Hinweise:

- Überdrehen Sie die Befestigungsschraube nicht.
- Überprüfen Sie, dass die Schnur in der Mitte der Rille des Speichenrades läuft.
- Achten Sie darauf, dass kein bewegtes Teil mit dem Speichenrad zusammenstößt.
- Beobachten Sie die rote Kontroll-LED an der Lichtschranke, um zu sehen, ob eine Speiche den Infrarotstrahl unterbricht bevor Sie mit der Messung beginnen.

#### Technische Daten:

Durchmesser der Rolle gemessen innerhalb der Rille: 46,24 mm Außendurchmesser der Rolle: 50,5 mm Umfang der Rolle gemessen innerhalb der Rille: 0,145 m. Außenumfang der Rolle: 0,158 m Schraubengröße: M6 x 12 mm Kreuzschlitz (PZ)

Hinweis: CorEx Produkte wurden für Anwendungen in Schulen entwickelt und sind nicht vorgesehen für die Verwendung im industriellen, medizinischen und kommerziellen Bereich.

Versuchsbeschreibung/Gebrauchsanleitung "CorEx Sensing Science Smart Q Sensoren" Bestellnummer 730255



Holzhauser Straße 76 13509 Berlin Tel.: 0800 435 90 20 Fax: 0800 435 90 22 eMail: info@corex.de Internet: www.corex.de