



Bodenphysik - Bodenatmung

Sauerstoff-Sensor SO-4xx



Umweltanalytische
Produkte GmbH



Handbuch zu den Apogee-Sauerstoff-Sensoren mit SDI12-Ausgang SO-4xx



Einleitung

Sauerstoff (O_2) ist das zweit häufigst vorkommende Gas in unserer Atmosphäre und essentiell für das Leben auf der Erde. Das Vorhandensein von Sauerstoff bestimmt maßgeblich die Umsetzung von biologischen als auch chemischen Prozessen und wird für die aerobe Atmung benötigt. Wie in diesem Handbuch erläutert, ist es der gesamt vorkommende Sauerstoff (gemessen als Partialdruck in kilopascal), welcher von Bedeutung ist. Jedoch sprechen wir von Sauerstoff als prozentualen Anteil in der Luft (20,95%). Das beste Beispiel ist Sauerstoff auf dem Mount Everest, welcher zwar 20,95% beträgt, für Bergsteiger aber nicht ausreicht, da der Partialdruck nur etwa ein viertel beträgt.

Es gibt zwei Arten von Sauerstoffsensoren. Sensoren die gasförmigen Sauerstoff messen und jene welche den gelösten Sauerstoff in einer Flüssigkeit messen. Der Apogee Sensor misst den gasförmigen Sauerstoff.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten Sauerstoff zu messen. Drei in der Umwelttechnik eingesetzten Methoden sind galvanische Zellen Sensoren, polarographische Sensoren und optische Sensoren. Der Apogee Sensor basiert auf galvanischen Zellen. Die beiden erstgenannten Sensoren arbeiten mit einer elektrochemischen Reaktion des Sauerstoffs innerhalb eines Elektrolyten welcher eine elektrische Spannung hervorruft. Diese Reaktion verbraucht einen kleinen Teil des zu messenden Sauerstoffs. Im Gegensatz zu polarographischen Sensoren, benötigen galvanische Zellen keine externe Energiezufuhr. Optische Sensoren verwenden Glasfaser und eine Fluoreszenz Methode zur Sauerstoffmessung.

Gängige Anwendungen von Apogee Sauerstoff Sensoren beinhalten Messungen in Labor Experimenten, Sauerstoffüberwachung in Gebäuden für Klimaregelungen, Überwachung des Sauerstoffgehaltes in Komposthaufen und Tailingbecken, Sauerstoffzehrung in geschlossenen Umgebungen sowie die Sauerstoffänderung in Böden. Apogee Sensoren sind nicht für medizinische Anwendungen/ Überwachungen vorgesehen.

Die Apogee Instruments SO-400 series bestehen aus einem galvanischen Sensorelement (elektrochemische Zelle), einer Teflon Membran, einem Referenztemperatursensor (Thermistor), Heater (hinter der Teflon Membran), einer im Kunststoffgehäuse (Polypropylen) eingebetteten Schaltung und ein Anschlusskabel. Die Sensoren sind für kontinuierliche Messungen von Luftsauerstoff in der Umgebung konzipiert. Die SO-400 series Sensoren verwenden ein digitales SDI-12 Protokoll.



Sensor Modelle

Model	Output	Response	Temperature Sensor
SO-411	SDI-12	Standard Response	Thermistor
SO-421	SDI-12	Fast Response	Thermistor
SO-110	Analog	Standard Response	Thermistor
SO-120	Analog	Standard Response	Thermocouple
SO-210	Analog	Fast Response	Thermistor
SO-220	Analog	Fast Response	Thermocouple

Der „standard response sensor (SO-411)“ ist für den Einsatz in Böden konzipiert. Er hat eine erwartbar höhere Lebensdauer als der „fast response sensor (SO-421)“. Der SO-421 wiederum ist für Durchflussmessungen gedacht.



Sensor model number, serial number, and production date are located on a label between the sensor and pigtail lead wires.

Modell Nummer, Seriennummer und Herstellungsdatum sind auf dem Verbindungskabel festgehalten.

Zubehör

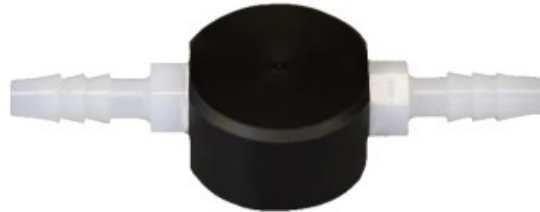
Alle Apogee Sensoren können mit Aufsätzen zur leichteren Messung in Böden oder Gasdurchflüssen erworben werden.

Model AO-001: Diffusionskopf für Messungen in Böden. Er stellt eine Luftkammer bereit und bietet eine Sicherheit für die Teflon Membran.





Model AO-002: Der Durchflusskopf erlaubt das anbringen von ¼ Zoll Schläuchen.



Beschreibung

SPECIFICATIONS

	SO-411 Standard Response	SO-421 Faster Response
Input Voltage Requirement	5.5 to 24 V DC	
Current Draw	0.6 mA (quiescent); 1.3 mA (active)	
Measurement Range	0 to 100 % O ₂	
Measurement Repeatability	Less than 0.1 % of mV output at 20.95 % O ₂	
Non-linearity	Less than 1 %	
Long-term Drift (Non-stability)	1 mV per year	0.8 mV per year
Oxygen Consumption Rate	2.2 µmol O ₂ per day at 20.95 % O ₂ and 23 C (galvanic cell sensors consume O ₂ in a chemical reaction with the electrolyte, which produces an electrical current)	
Response Time	60 s	14 s
Operating Environment	-20 to 60 C; 0 to 100 % relative humidity (non-condensing); 60 to 114 kPa Note: Electrolyte will freeze at temperatures lower than -20 C. This will not damage the sensor, but the sensor must be at a temperature of -20 C or greater in order to make measurements.	
Input Voltage Requirement	12 V DC continuous (for heater); 2.5 V DC excitation (for thermistor)	
Heater Current Draw	6.2 mA (74 mW power requirement when powered with 12 V DC source)	
Thermistor Current Draw	0.1 mA DC at 70 C (maximum, assuming input excitation of 2.5 V DC)	
Dimensions	32 mm diameter, 68 mm length	
Cable	5 m of four conductor, shielded, twisted-pair wire, additional cable available in multiples of 5 m; TPR jacket (high water resistance, high UV stability, flexibility in cold conditions); pigtail lead wires	
Mass	175 g (with 5 m of lead wire)	
Warranty	4 years against defects in materials and workmanship	



Bodenphysik - Bodenatmung

Sauerstoff-Sensor SO-4xx



Umweltanalytische
Produkte GmbH

Einflüsse von anderen Gasen

Die Sensoren arbeiten unbeeinflusst von: CO, CO₂, NO, NO₂, H₂S, H₂, und CH₄

Kleinere Einflüsse(etwa 1%): NH₃, HCL, und C₆H₆ (Benzol)

Starke Einflüsse: SO₂ (Der Sensor reagiert auf Schwefeldioxid ähnlich wie auf Sauerstoff), Sensor kann durch O₃ (Ozon) Schaden nehmen.

Einsatz und Installation

Die Apogee SO-400 series Sauerstoffsensoren sind in einem Polypropylen Kunststoffgehäuse verbaut und für den Einsatz in Böden und abgeschlossenen Umgebungen konzipiert.



Note: To facilitate the most stable readings, sensors should be mounted vertically, with the opening pointed down and the cable pointed up. This orientation allows better contact between the electrolyte and signal processing circuitry.

Anmerkung: Für stabile Messungen sollte der Sensor vertikal mit der Sensoröffnung nach unten verbaut werden. Diese Stellung gewährleistet einen besseren Kontakt zwischen dem Elektrolyt und der Signalverarbeitung.



Bodenphysik - Bodenatmung

Sauerstoff-Sensor SO-4xx



Umweltanalytische
Produkte GmbH

Apogee Sauerstoff Sensoren sind für Stöße bis 2,7G resistent, jedoch können kleinere Stöße das Messsignal beeinflussen und sollten daher vermieden werden.

Anschluss und Messungen

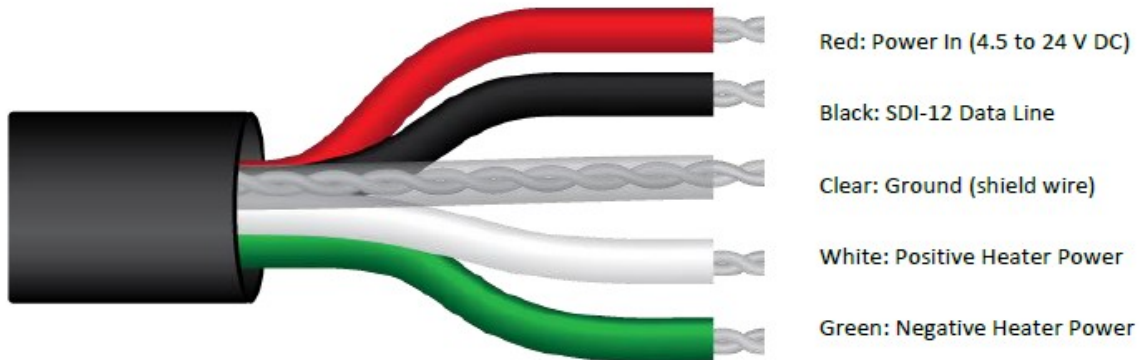
Alle SO-400 Sensoren besitzen einen SDI-12 Ausgang, welcher ein digitales Signal der Sauerstoffkonzentration und Temperatur ausgibt. Es wird folglich ein Messgerät benötigt, welches die SDI-12 Funktion mit M oder C command unterstützt.

Sehr Wichtig:

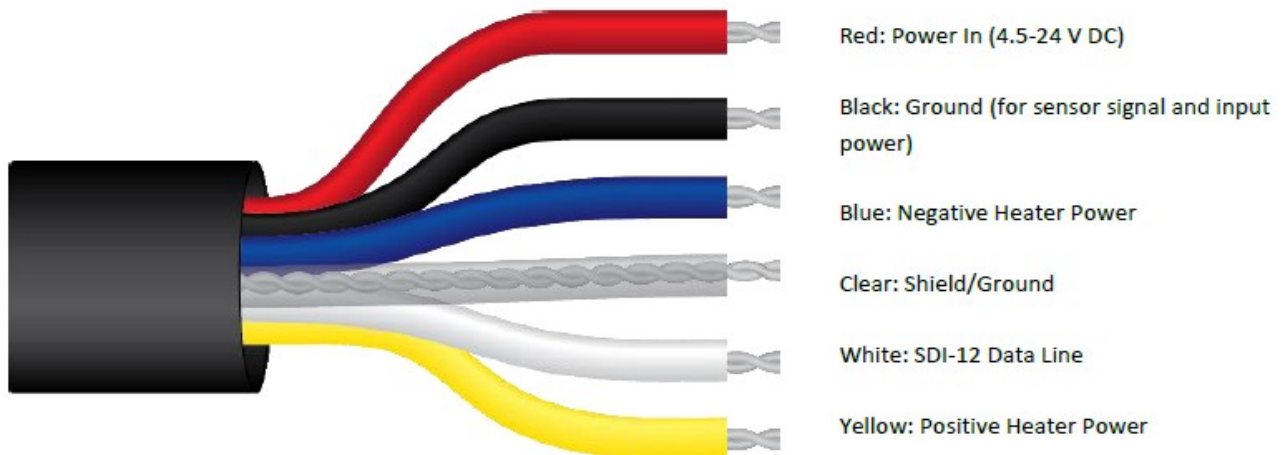
Apogee hat im März 2018 die Kabelfarben aller bleifreien Sensoren geändert. Um bei der Verkabelung sicher zu gehen, notieren Sie sich die Seriennummer und nutzen Sie die zutreffende Kabelbeschreibung unten.



Wiring for SO-400 Series within Serial Number range 0- 1144



Wiring for SO-400 Series with Serial Numbers 1145 and above



Absolute und relative Gas Konzentration

Die Gaskonzentration kann auf zwei Wegen beschrieben werden, als absolute und relative Konzentration. Das ideale Gas Gesetz liefert eine absolute Gas Konzentration, oft ausgedrückt in Menge pro Volumen [mol/m³] oder partial Druck[kPa]:

$$PV = nRT \quad (1)$$



Bodenphysik - Bodenatmung

Sauerstoff-Sensor SO-4xx



Umweltanalytische
Produkte GmbH

p: Druck[Pa], V: Volumen[m₃], Stoffmenge[mol], R: Gaskonstante[J/(mol*K)], T: Temperatur[K]

Ein einfacher und auch gebräuchlicher Weg ein bestimmtes Gas in einem Gasgemisch zu beschreiben ist die Gasmenge relativ zur Gesamtgasmenge auszudrücken, entweder als Anteil oder Prozentual. Als Beispiel haben wir in trockener Luft 0,2095 kPa O₂ pro kPa Luft oder 20,95%. Die Atmosphärische Konzentration an Sauerstoff liegt seit Jahrhunderten konstant bei 20,95%. Diese Konzentration ist ebenso auf jeder Geodätischen Höhe identisch. Die absolute Sauerstoff Konzentration ist jedoch nicht konstant, so sinkt sowohl die absolute Sauerstoffkonzentration als auch der Gesamtdruck der Luft mit zunehmender Höhe. So gilt folglich zu bedenken, dass für biologische und chemische Prozesse die absolute Sauerstoff Konzentration entscheidend ist, auch wenn oft von Messgeräten die relative Sauerstoffkonzentration ausgegeben wird. Dies ist analog zur Messung und Ausgabe der relativen Feuchte bei der die absolute Feuchte die Verdampfungsrate bestimmt. Die absolute und relative Gaskonzentration kann in unterschiedlichen Einheiten ausgedrückt werden.

Units Used to Describe Absolute and Relative Gas Concentration Measurements

Absolute Amount of Gas	Relative Amount of Gas
moles of O ₂ per unit volume (e.g., moles per m ³ or moles per liter)	% O ₂ in air (e.g., 20.95 % in ambient air)
mass of O ₂ per unit volume (e.g., grams per liter; O ₂ has a mass of 32 g per mole)	mole fraction (e.g., moles of O ₂ per mole of air; 0.2095 mol O ₂ per mole of ambient air; this can also be expressed as 0.2095 kPa O ₂ per kPa air)
partial pressure (e.g., kilopascals [kPa])	

Sensor Kalibrierung

Alle Apogee Sauerstoff Sensoren reagieren auf die absolute Sauerstoffkonzentration. Die all-gemeingebräuchlichen Einheiten sind für Partialdruck (kPa), Masse pro Volumen (g/l) und Stoffmenge pro Volumen(mol/l). Die Gesamtmenge an Sauerstoff in der Luft ist abhängig vom absoluten Druck(ba-rometrischer Druck) und der Temperatur zusätzlich zum Sauerstoffgehalt der Luft. Apogee Sensoren sind bei Auslieferung noch nicht kalibriert und müssen vom Anwender daher als erstes vor Ort kalibriert werden.

Der Ausgang des Apogee Sauerstoffsensors ist eine lineare Funktion der absoluten Sauerstoffkonzentration. Eine einfache lineare Kalibrierung wird angewandt, um den Kalibrationsfaktor (CF) zu



ermitteln, welcher das Spannungssignal in einen Sauerstoffpartialdruck umrechnet.

$$CF = \frac{0,2095 \cdot P_B}{mV_c - mV_0} \quad (2)$$

0.2095 ist der Anteil an Sauerstoff in der Luft, multipliziert mit P_b dem barometrischem (Gesamt-) Druck ergibt den Sauerstoffpartialdruck bei Umgebungsbedingungen.

mV_c : Ausgabe Spannung während der Kalibrierung

mV_0 : Ausgabe Spannung bei 0 kPa Sauerstoffpartialdruck

Durch den Quotienten ergibt sich CF, was die Steigung der linearen Funktion Sauerstoffpartialdruck zur Ausgangsspannung darstellt. Der Offset kann im Anschluss durch ein bekanntes Wertepaar ermittelt werden.

$$O_2 = CF * mV_m - Offset \quad (3)$$

Die Kalibrierung sollte bei guter Belüftung stattfinden. Dabei sollte ebenfalls nicht in den Sensor ausgeatmet werden, da die Atemluft einen geringeren Sauerstoffgehalt aufweist. Wenn Sie nicht Möglichkeit haben mV_0 zu bestimmen, nehmen Sie für den SO-411 Sensor 3,0mV und für den SO-421 Sensor 0,3 mV an. Allerdings wird empfohlen, mV_0 selbst zu bestimmen, vor allem bei niedrigen Sauerstoffkonzentrationen. Realisiert wird dies mittels einer Atmosphäre aus reinem Stickstoff. Für genauere Messungen in Anwendungen bei anaeroben Bedingungen ist eine mehrfache Nullpunkt-Kalibrierung mit ultra-pure Stickstoff notwendig.

Um das Ausgangssignal (Spannung) einer Messung in einen Sauerstoffpartialdruck umzurechnen wird die Ausgangsspannung mit CF multipliziert und anschließend der Offset abgezogen. Als Beispiel auf Meereshöhe mit 20,95% O_2 .

$$\text{Kalibrationsfaktor}[\text{kPa } O_2 \text{ pro mV}] * \text{Sensorausgang}[\text{mV}] - \text{Offset}[\text{kPa}] = \text{Sauerstoffpartialdruck}[\text{kPa}]$$
$$0,379 * 59,0 - 1,14 = 21,23$$

Die ermittelten Konstanten CF und Offset variieren von Sensor zu Sensor und sollten daher nicht übertragen, sondern individuell bestimmt werden.

Eine Kalibrierung mit der Ausgabe einer relativen Sauerstoffkonzentration verläuft analog zur beschriebenen. Dabei wird im Zähler des Quotienten zur Ermittlung von CF lediglich die in der Luft vorhandenen 20,95% verwendet (anstatt 0,2095 multipliziert mit dem Barometrischen Druck).

$$CF = \frac{20,95\%}{mV_c - mV_0} \quad (4)$$



Hierbei sind mV_c und mV_0 wie in der oberen Formel. Änderungen des Barometrischen Druckes oder der Temperatur führen zu Veränderungen der absoluten Sauerstoffkonzentration und somit des Messsignals. Dabei verändert sich die relative Sauerstoffkonzentration während der relative Anteil an Sauerstoff konstant bleibt. Folglich muss bei einer relativen Sauerstoffkonzentrationsmessung eine Korrektur bei Veränderungen der Temperatur oder des barometrischen Druckes vorgenommen werden. Bei einer Veränderung der absoluten Luftfeuchte tritt eine Veränderung von sowohl der absoluten als auch der relativen Sauerstoffkonzentration ein, da Wassermoleküle die Sauerstoffmoleküle verdrängen und verdünnen.

Einfluss des Barometrischem Druckes auf die Sauerstoffkonzentration

Das ideale Gasgesetz zeigt, dass die absolute Gaskonzentration sich um 0,987% verändert, wenn der Druck um 1 kPa ansteigt. Für einen Sensor der die absolute Gaskonzentration misst, jedoch darauf kalibriert wurde relative Einheiten auszulesen, wird ein ansteigen des Druckes um 1 kPa auf Meereshöhe eine Änderung der des Sauerstoffs um 0,207% ($0,00987 \cdot 20,95\% = 0,207\%$) und somit eine relative Sauerstoffkonzentration von 21,157% aufweisen. Die relative Gaskonzentration steigt nicht wirklich, aber die absolute Gaskonzentration, welche vom Sensor gemessen wird. Dies zeigt eine scheinbare Änderung der relativen Konzentration.

Aufgrund des geringeren barometrischen Druckes auf einer höheren geodetischen Ebene, der Prozentwert steigt mit der Zunahme der absoluten Gaskonzentration pro kPa

Eine Barometrische Korrektur sollte bei allen Sensoren vorgenommen werden, die die relative Sauerstoffkonzentration ausgeben.

$$O_2 = O_{1M} \left(\frac{P_c}{P_M} \right) \quad (5)$$

O_{2m} : gemessene Sauerstoffkonzentration [%]

P_c : Barometrischer Druck [kPa] zum Zeitpunkt der Kalibrierung

P_M : Barometrischer Druck zum Zeitpunkt der Messung

Eine Umrechnung von einer geodätischen Änderung zur Barometrischen Änderung lässt sich annähernd beschreiben durch:

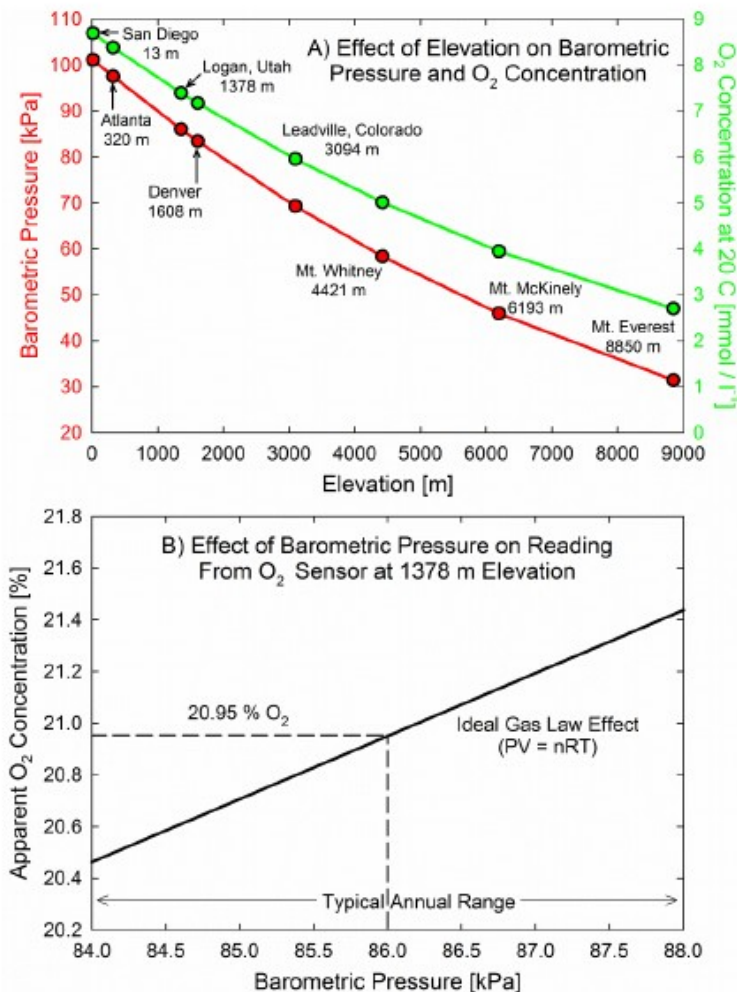


$$P_B = 101,325 - 101,325 \left[1 - \left(1 - \frac{E}{44307,69231} \right)^{5,25328} \right] \quad (6)$$

E: Höhe [m]

Um eine Korrektur umzusetzen, bedarf es einer kontinuierlichen Messung des Barometrischen Druckes parallel zu Sauerstoffmessung.

Eine qualitativ und quantitative Darstellung des Einflusses einer Druckänderung wird auf Basis der Glg. 5 in den nachfolgenden Grafiken beschrieben.



A) Barometric pressure and absolute oxygen concentration at 20 C as a function of elevation. Equation (6) was used to calculate barometric pressure.

B) Effect of barometric pressure on apparent relative oxygen concentration. Oxygen sensors respond to absolute oxygen concentration, but are often calibrated to yield relative oxygen concentration. As barometric pressure fluctuates, absolute oxygen concentration, thus, oxygen sensor output, fluctuates with it, producing an apparent change in relative oxygen concentration if this pressure effect is not accounted for. It is assumed the sensor was calibrated at 86 kPa, and the solid line shows how the apparent relative oxygen concentration is dependent on barometric pressure.



Einfluss der Temperatur

Das ideale Gasgesetz zeigt, dass die absolute Gaskonzentration um 0,341% abnimmt wenn die Temperatur um 1 Kelvin von 20C° ansteigt. Für einen Sensor der die absolute Gaskonzentration misst, jedoch darauf kalibriert wurde relative Einheiten auszulesen wird eine Korrektur benötigt.

$$O_2 = O_{2M} \left(\frac{T_M}{T_C} \right) \quad (7)$$

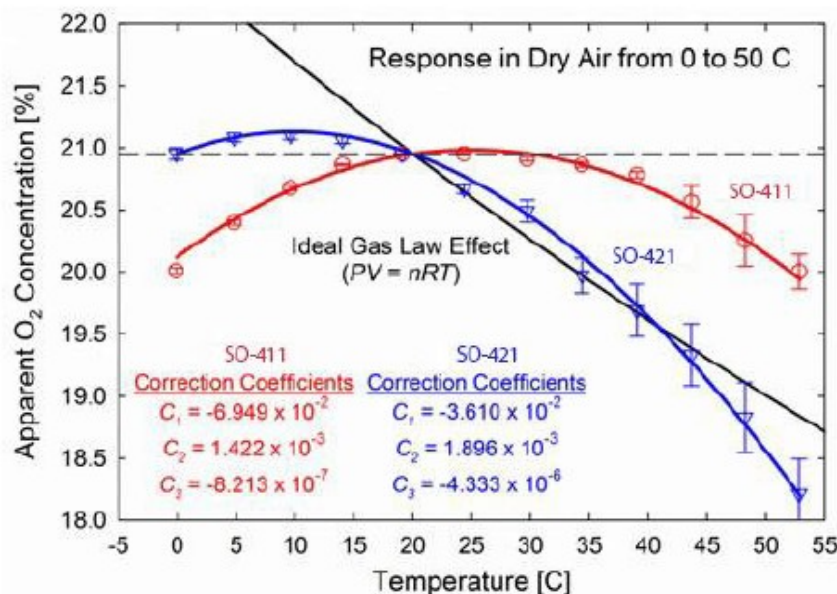
O_{2M} : gemessene Sauerstoffkonzentration[%]

T_c : Temperatur zum Zeitpunkt der Kalibrierung[K]

T_M : Temperatur zum Zeitpunkt der Messung[K]

Sensor Antwort auf Temperatur

In der Praxis ist Glg.7 nicht genau genug, da die Elektronik ebenfalls auf Temperaturänderungen reagiert. Eine Messreihe mit Apogee Sensoren im Bereich 0C° - 50C° bei trockener Luft ist unten Grafisch dargestellt. Dabei wurde kein linearer Zusammenhang wie beim idealen Gas zugrunde gelegt, sondern eine Polynomfunktion dritten Grades.



T_s : gemessene Temperatur (mit eingebautem Thermistor)

Die Koeffizienten der Funktion können für den jeweiligen Sensor aus der Grafik entnommen wer-



den.

C_0 : Offset Koeffizient

T_C : Temperatur zum Zeitpunkt der Kalibrierung

Effekt von Feuchte auf die Sauerstoffkonzentration

Wenn die absolute Feuchte in der Luft ansteigt, verdrängen Wassermoleküle andere Gasmoleküle. Der Einfluss von Wasserdampf bzw. der relative Feuchte auf die relative Sauerstoffkonzentration bei konstanter Temperatur ist in der unter Grafik dargestellt.

Die Gleichung zur Korrektur vom Einfluss der Feuchte lautet:

$$O_2 = O_{2M} \left(\frac{P_C + (e_{AM} - e_{AC})}{P_C} \right) \quad (10)$$

P_C : Barometrischer Druck zum Zeitpunkt der Kalibrierung [kPa]

e_{AM} : Dampfdruck zum Zeitpunkt der Messung [kPa]

e_{AC} : Dampfdruck zum Zeitpunkt der Kalibrierung [kPa]

Dampfdrücke in Glg. 10 werden berechnet durch:

$$e_A = e_s \left(\frac{RH}{100} \right) \quad (11)$$

RH: Relative Feuchte in %

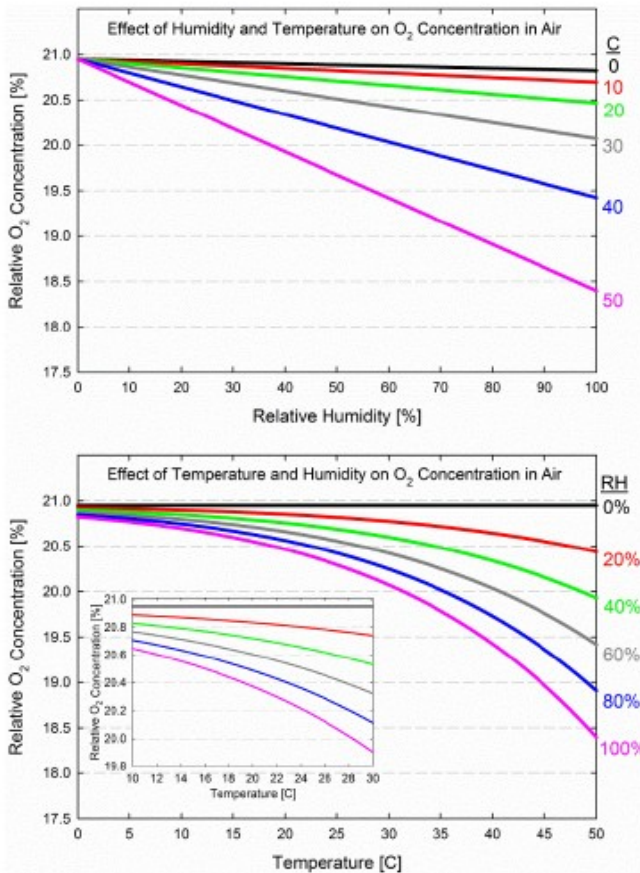
e_s : Sättigungsdampfdruck [kPa]

T_A : Temperatur für jeweiligen Fall (z.B. Zur Berechnung von e_{AM} oder e_{AC}) [C°]

$$e_s = 0,61121 e^{\frac{T_A (18,678 - \frac{T_A}{234,5})}{257,14 + T_A}} \quad (12)$$

Beim Einsatz in Böden beträgt die relative Feuchte meist ein Wert zwischen 99 und 100%, es sei denn die Erde ist extrem trocken (Unter dem permanenten Welkepunkt von -1500 kPa).

Grafische Darstellung des Einflusses der Relativen Feuchte und deren Temperaturabhängigkeit.



A) Relative humidity effects on relative oxygen concentration shown as a function of relative humidity at temperatures increments of 10 C and

B) as a function of temperature at relative humidity increments of 20 %. The air in soil is typically always saturated with water vapor (100 % relative humidity) unless the soil is very dry.

Wie schon beim Einfluss der Temperatur auf die Messung, so hat die Luftfeuchte ebenfalls einen Effekt auf die Elektronik der Sonde. Bei Messungen in Böden oder gesättigter Luft (100% relative Luftfeuchte) sollte daher der Apogee Sauerstoffsensoren auf eine Feuchte von 100% kalibriert werden. Eine einfache Möglichkeit dies zu verwirklichen, ist es den Sensor in einen mit Wasser (evtl. Salzwasser) befüllten und dicht verschlossenen Behälter zu geben, ähnlich wie im dargestellten Bild. Die Atmosphäre im Behälter sollte dabei annähernd mit Wasserdampf gesättigt sein.



Bodenphysik - Bodenatmung

Sauerstoff-Sensor SO-4xx



Umweltanalytische
Produkte GmbH



Apogee oxygen sensor mounted in a sealed chamber over water. For measurements in environments where relative humidity is 100 %, sensors should be calibrated in conditions where relative humidity is 100 % in order to account for any humidity effects on sensor electronics.

Heater

Alle Apogee Sauerstoffsensoren sind mit einem internen Heater ausgerüstet. Der Heater soll gewährleisten, dass die Keramikmembran immer eine Temperatur um etwa 2 Kelvin höher als die Umgebung einnimmt um Kondenswasser zu vermeiden, welches eine Diffusion des Sauerstoffs behindern könnte. Um den Heater zu betreiben, stellen Sie eine kontinuierliche 12v DC zur Verfügung. Weißes Kabel(positiv), grünes Kabel(negativ).

SDI-12 Interface

Das folgende ist lediglich eine kurze Erklärung zur digitalen SDI-12 Schnittstelle, die von den Apogee SO-400 series Sauerstoffsensoren verwendet werden. Für Fragen und genauere Erläuterungen verwenden Sie den beigefügten Link zur offiziellen Homepage der SDI-12 Support Group.

Übersicht

Der Datenrecorder sendet Pakete an Daten an den Sensor, welche eine Adresse und eine Anweisung enthalten, worauf der Sensor eine Antwort gibt. In der folgenden Tabelle finden sich einige Befehle und Antworten der SDI-12 Schnittstelle.

Die Sensoren erhalten werksseitig die Standardadresse „0“. Sollten mehrere Sensoren über die SDI-



12 Schnittstelle mit angeschlossen werden, muss jeder Sensor über eine eigene Adresse definiert werden.

Erlaubte Adressen: „1-9“, „A-Z“, oder „a-z“

Unterstützte Befehle für Apogee instruments SO-400 series Sauerstoffsensoren

Instruction Name	Instruction Syntax	Description
Send Identification Command	a!	Send Identification Information
Measurement Command	aM!	Tells the Sensor to take a Measurement
Measurement Command w/ Check Character	aMC!	Tells the Sensor to take a Measurement and return it with a Check Character
Change Address Command	aAb!	Changes the Address of the Sensor from a to b
Concurrent Measurement Command	aC!	Used to take a measurement when more than one sensor is used on the same data line
Concurrent Measurement Command w/ Check Character	aCC!	Used to take a measurement when more than one sensor is used on the same data line. Data is returned with a check character.
Address Query Command	?!	Used when the address is unknown to have the sensor identify its address
Get Data Command	aD!	Retrieves the data from a sensor
Calibration Commands	aXxxx!	Used to calibrate the output of the sensor to the units desired by the user

Make Measurement Befehle: M!

Der „Make Measurement“ Befehl lässt den Sensor eine bestimmte bestimmte Messmethode ausführen. Die durch einen Befehl erzeugten Messdaten werden im Sensor zwischengespeichert und können mit einem „D“ Befehl ausgelesen werden. Daten werden so lange zwischengespeichert, bis ein weiterer „M“, „C“ oder „V“ Befehl ausgeführt wird. Im folgenden finden Sie einige Beispiele für „M“ Befehle.

Command	Response	Response to 0D!
aM! or aM0!	a0013<cr><lf>	Calibrated oxygen, sensor mV, sensor body temperature
aM1!	a0011<cr><lf>	Calibrated oxygen percent corrected for temperature
aMC!	a0013<cr><lf>	Calibrated oxygen, sensor mV, sensor body temperature w/ CRC
aMC1!	a0011<cr><lf>	Calibrated oxygen percent corrected for temperature w/CRC

Hierbei steht a für die jeweilige Adresse des eingesetzten Sensors

Bei der Datenausgabe werden die unterschiedlichen Messdaten wie Spannung, Temperatur, usw. mit einem „+“ oder einem „-“ voneinander getrennt.



Command	Sensor Response	Sensor Response when data is ready
0M!	00013<cr><lf>	0<cr><lf>
0D0!	0+20.95+50.123+25.456<cr><lf>	
0M1!	00011<cr><lf>	0<cr><lf>
0D0!	0+20.95<cr><lf>	

Hierbei stehen die 20,95 für die kalibrierten Sauerstoffwerte (Einheiten können über die erweiterten Befehle gesetzt werden), 50,123 für das Spannungssignal in mV und 25,456 für die Temperatur.

Concurrent Measurement Befehl: aC!

Gleichzeitige Messungen treten dann auf, wenn andere Sensoren an der SDI-12 Schnittstelle ebenfalls messen. Dieser Befehl ist ähnlich dem des „aM!“, allerdings besitzt das nn Feld eine weitere Stelle und der Sensor gibt keine Antwort aus wenn die Messung abgeschlossen wurde. Kommunikationen mit anderen Sensoren führt nicht zum Abbruch einer parallel laufenden Messung. Die durch einen Befehl erzeugten Messdaten werden im Sensor zwischengespeichert und können mit einem „D“ Befehl ausgelesen werden. Daten werden so lange zwischengespeichert, bis ein weiterer „M“, „C“ oder „V“ Befehl ausgeführt wird.

Command	Response	Response to 0D0!
aC! or aC0!	a00103<cr><lf>	Calibrated oxygen, sensor mV, sensor temperature
aC1!	a00101<cr><lf>	Calibrated oxygen percent corrected for temperature
aCC!	a00103<cr><lf>	Calibrated oxygen, sensor mV, sensor temperature w/ CRC
aCC1!	a00101<cr><lf>	Calibrated oxygen percent corrected for temperature w/CRC

Hierbei steht a für die jeweilige Adresse des eingesetzten Sensors

Beispiel (0 ist die Adresse)

Command	Sensor Response
0C!	000103<cr><lf>
0D0!	0+20.95+50.123+25.456<cr><lf>
0C1!	000101<cr><lf>
0D10!	0+20.95<cr><lf>

Hierbei stehen die 20,95 für die kalibrierten Sauerstoffwerte (Einheiten können über die erweiterten Befehle gesetzt werden), 50,123 für das Spannungssignal in mV und 25,456 für die Temperatur.

Änderung der Sensoradresse: aAB!

Sollten mehr als ein Sensor an der SDI-12 Schnittstelle angeschlossen werden, muss jeder Sensor



eine eigene Adresse erhalten.

Command	Response	Description
aAb!	b<cr><lf>	Change the address of the sensor

Hierbei steht a für die gegenwärtige Adresse und b für die gewünschte neue Adresse.

Identification Command: al!

Dieser Befehl gibt einem den Hersteller, das Modell und die Versionsnummer aus.

Bei dieser abfrage werden keine Messungen gestört.

Command	Response	Description
"al!"	a13Apogee SO-4mmvwx...xx<cr><lf>	The sensor serial number and other identifying values are returned

Hierbei steht a für die Adresse, mm ist die Sensor Modell Nummer(10,20), vvv ist die Versions Nummer und xx...xx ist die Seriennummer

Erweiterte Befehle für eine Kalibration

send Calibration Coefficients:aXCFZ!

Dieser Befehl übermittelt den selbst ermittelten CF und den Offset. Dabei wird der Offset in der Einheit mV übergeben, während der CF in jener Form (Einheit) übergeben wird, welche am Ende ausgegeben werden soll (z.B. kPa, %).

Command	Response	Description
"aXCFZ+m.mmmm+o.o!"	a<cr><lf>	Set the multiplier and offset.

Hierbei steht a für die Sensoradresse, +m.mmm für CF und o.oo für den Offset in mV.

Set Zero Offset: aXZERO!

Dieser Befehl definiert den Zero Offset des Sensors. Der Spannungswert wird dabei von der aktuell gemessenen Spannung definiert. Aus diesem Grund sollte der Sensor ausreichend lange einer Stickstoffatmosphäre ausgesetzt worden sein.



Command	Response	Description
"aXZERO!"	a<cr><lf>	Set the zero offset

Hierbei steht a für die Adresse.

Umgebungsluft – Relative Multiplier: aXAMBR!

Dieser Befehl definiert den Faktor des Sensors auf Basis der aktuell gemessenen Spannung. Dabei wird angenommen, dass der Sensor den Umgebungseigenschaften ausgesetzt ist. Dieser Befehl setzt den Ausgang auf die Einheit % Sauerstoff.

Command	Response	Description
"aXAMBR!"	a<cr><lf>	Set the multiplier

Hierbei steht a für die Adresse.

100% Sauerstoff Faktor: aXONEH!

Dieser Befehl definiert den Faktor des Sensors auf Basis der aktuell gemessenen Spannung. Dabei wird angenommen, dass der Sensor reinem Sauerstoff ausgesetzt ist. Dieser Befehl setzt den Ausgang auf die Einheit % Sauerstoff.

Command	Response	Description
"aXONEH!"	a<cr><lf>	Set the multiplier

Hierbei steht a für die Adresse.

Umgebungsluft – Absolute Multiplier: aXAMBA+pp.ppp!

Dieser Befehl setzt den Faktor des Sensors, so dass der Ausgang die Einheit des absoluten Sauerstoffgehalts einnimmt. Der Befehl benötigt den gegenwärtigen Umgebungsdruck dessen Einheit ebenfalls übernommen wird. Als Beispiel, wenn die Einheit des Druckes in kPa übergeben wird, so ist die Einheit des Rückgabewertes eines M! Oder C! Befehls ebenfalls in kPa. Der Faktor wird unter der Annahme berechnet, dass Umgebungsdruck herrscht.



Command	Response	Description
"aXAMBA+pp.ppp!"	a<cr><lf>	Set the multiplier

Hierbei steht a für die Adresse und pp.ppp für den Druck

Als Beispiel(0 ist die Adresse):

Command	Sensor Response
0XAMBA+100.12!	0<cr><lf>

Hierbei ist 100.12 der Druck. Einheiten wurden vom Anwender gewählt.

Metadata Befehle

Identify Measurement Commands

Der Identify Measurement Befehl kann genutzt werden um eine Rückantwort auf einen Befehl zu erhalten, ohne eine Messung auszuführen. Die Rückantwort beinhaltet die Zeit um eine Messung auszuführen und die Anzahl der Datenwerte, die es zurückgibt. Es funktioniert mit dem Verification Command (aV!), Measurement Command (aM!, aM1!..., aM9!,aMC!, aMC1!...aMC9!) und den Concurrent Measurement commands (aC!, aC1!,---aC9!, aCC!, aCC1!, ...aCC9!).

Das Format für den Identify Measurement Command ist die Adresse, der Großbuchstabe I, der Messbefehl und der Ausführungsbefehl (!):

<address>I<command>!

Das Format der Rückantwort ist das gleiche wie bei einer normalen Messung. Für die Verification Command und Measurement Command ist die Rückantwort atttn<CR><LF>. Für de C Command ist es atttnn<CR><LF>. Für den High Volume Command ist es attnnn<CR><LF>. Hierbei steht a für die Adresse, ttt für die benötigte Zeit einer Messung und n, nn, nnn für die Anzahl an Messungen. Die Antwort wird beendet mit Carriage Return(<CR>) und Line Feed(<LF>).

Beispiel:

3IMC2!	The Identify Measurement Command for sensor address 3, M2 command, requesting a CRC.
30032<CR><LF>	The response from sensor address three indicating that the measurement will take three seconds and two data values will be returned.



Bodenphysik - Bodenatmung

Sauerstoff-Sensor SO-4xx



Umweltanalytische
Produkte GmbH

Identify Measurement Parameter Commands

Der Identify Measurement Parameter Befehl kann genutzt werden um Informationen für jeden Datenwert abzurufen der zurückgegeben wird. Der erste Ausgabewert ist ein „Standard Hydrometeorological Exchange Format“ (SHEF) Code. Der SHEF Code wird von der „National Oceanic and Atmospheric Administration“ (NOAA) herausgegeben. Das SHEF Code Handbuch ist unter folgendem Link zu finden: <https://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/shef/indexshef.htm>.

Der zweite Wert ist die Einheit der Parameter. Weiter Felder mit mehr Informationen sind optional.

Der Measurement Parameter Command funktioniert mit dem Verification Command (aV!), Measurement Command (aM!, aM1!..., aM9!,aMC!, aMC1!...aMC9!) und den Concurrent Measurement commands (aC!, aC1!,---aC9!, aCC!, aCC1!, ...aCC9!).

Das Format des Identify Measurement Parameter Befehls ist die Adresse, der Großbuchstabe I, der Messbefehl, ein Unterstrich(„_“), eine dreistellige Dezimalzahl und den Ausführungsbefehl(!). Die dreistellige Nummer sagt aus, welche Messwertnummer der Befehl ausgibt, angefangen mit „001“ folgend „002“ usw.

`<address>I<command>_<three-digit decimal>!`

Das Format der Rückantwort wird mit Kommas getrennt und mit einem Semikolon abgeschlossen. Der erste Wert ist die Adresse. Der Zweite Wert ist der SHEF Code. Der dritte Wert sind die Einheiten. Andere optionale Werte können auftauchen, wie z.B. die Beschreibung eines Datenwertes. Die Rückantwort wird beendet mit Carriage Return (<CR>) und Line Feed (<LF>).

`A,<SHEF code>,<units>;<CR><LF>`

Identify Measurement Parameter command Beispiel:



1IC_001!	The Identify Measurement Parameter Command for sensor address 1, C command, data value 1.
1,RW,Watts/meter squared,incoming solar radiation;<CR><LF>	The response from sensor address 1, SHEF code RW, units of Watts/meter squared, and additional information of incoming solar radiation.

WARTUNG UND REKALIBRIERUNG

Eine Inspektion der Teflon Membran sollte regelmäßig durchgeführt werden um sicherzustellen, dass der Weg nicht blockiert wird, wie im unteren Bild zu sehen ist. Spitze Gegenstände sollten vermieden werden, da Sie die Membran leicht durchstechen können.



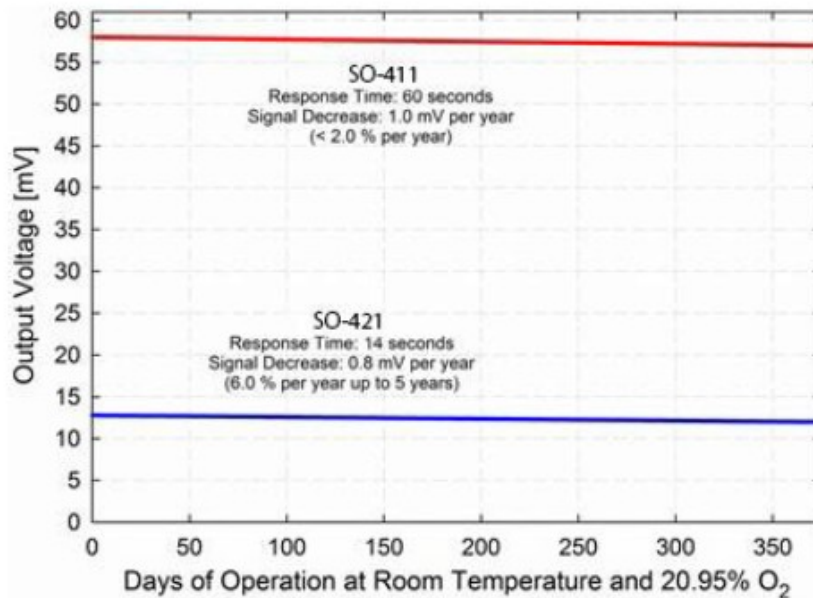
Lebenserwartung

Die Lebenserwartung für den SO-411 und den SO-421 Sensor liegen bei etwa 10 bzw. 5 Jahren bei Umgebungen von 20 C° und 20,95% Sauerstoff. Die Lebenserwartung kann verlängert werden, wenn der Sensor in kalter Umgebung gelagert wird (z.B. im Kühlschrank).

Kalibrierungen können regelmäßig durchgeführt werden und zwar auf jenem Niveau auf welchem sie eingesetzt werden. Das Sensorsignal sinkt über einen Zeitraum von einem Jahr, wenn der Sensor permanent einer Sauerstoffkonzentration von 20,95% ausgesetzt ist, wie im unteren Bild zu erkennen ist. Das Ausgangssignal des SO-411 Sensors sinkt über ein Jahr um etwa 1mV ab. Das des SO-412 um etwa 0,8mV. Anderst ausgedrückt 2% auf 20,95% Signalverlust bei SO-411 und 6% auf



20,95% Signalverlust bei SO-421. Dieser Signalverlust führt zu einer Steigerung des Kalibrierungsfaktors um etwa 2% für SO-411 und 6% für SO-421 Sensoren.



Long-term stability (output voltage decrease over time) of Apogee SO-400 series oxygen sensors. The response time and signal decrease for both series are also listed.

Sensorklagerung

Um die Lebensdauer der Apogee Sensoren zu verlängern, sollten Sie bei niedrigen Temperaturen gelagert (z.B. Kühlschrank) und einer niedrigen Sauerstoffkonzentration ausgesetzt werden. Es sollte davon abgesehen werden die Kabel zu kürzen, da dies Auswirkungen auf die Ansprechzeit auf Sauerstoff haben kann.

Wenn der Sensor für längere Zeit bei einer Umgebung von 0% Sauerstoff gelagert wird sinkt der Offset des Sensors und seine Ansprechzeit auf Sauerstoff wird langsamer. In diesem Fall benötigt der Sensor eine Erholungszeit von etwa 24h unter normalen Bedingungen um seine ursprüngliche Ansprechzeit wieder zu erlangen.

Nützliche Links

Für Tipps bei Korrekturen einer Kalibrierung aufgrund von Veränderungen der Umgebung wenden Sie sich an folgendes support Video: <https://youtu.be/xnlyjfzFpa0>

Für weitere Informationen zum Einsatz von Sensoren und Kalibrierung, sowie ein Link zum „oxygen readings calculator“, finden Sie hier: <https://www.apogeeinstruments.com/oxygen-sensor-support/>



Bodenphysik - Bodenatmung

Sauerstoff-Sensor SO-4xx



Umweltanalytische
Produkte GmbH

Problembehandlung und Kundendienst

Unabhängige Überprüfung der Funktionalität

Der Ausgang der Sauerstoffdetektoren innerhalb der Apogee SO-400 series ist ein Spannungssignal, welches sich proportional zum Sauerstoffpartialdruck verhält. Schließen Sie den Sensor an einen kompatiblen Datalogger und senden Sie den Befehl „M1!“. Das erste Ergebnis des Sensors ist ein Spannungssignal. Die SO-400 series Sensoren sollten bei Meereshöhe und 20,95% Sauerstoff ein Ausgangssignal von etwa 60mV haben. Die Spannung nimmt pro Zunahme von 100 Meter etwa um 1% ab.

Wenn der Sensor nicht ansprechen sollte, verwenden Sie ein Amperemeter um den Strom zu messen. Er sollte etwa 0,6mA betragen wenn der Sensor nicht antwortet, 1,3mA wenn er antwortet. Jeglicher Strom oberhalb von 6mA weist auf einen Fehler mit der Spannungsversorgung, dem Sensorkabel oder der internen Elektronik des Sensors hin.

Kompatible Messgeräte (Dataloggers/Controllers/Meters)

Jegliche Dataloggers/Meters mit einem funktionsfähigen SDI-12 Anschluss welcher die „M“ und „C“ Befehle beinhaltet.

Ein Beispiel für ein Datalogger Programm für Campbell Scientific dataloggers kann auf der Apogee Seite gefunden werden.

www.apogeeinstruments.com/content/Oxygen-Sensor-Digital.CR1

Änderung der Kabellänge

Das SDI-12 protocol limitiert die Kabellänge auf 60 meter. Sollten mehrere Sensoren am gleichen Bus angeschlossen sein, erweitert sich die maximale Kabellänge auf 600 meter (Bsp.: Zehn Sensoren mit 60 meter pro Sensor). Weitere Informationen zur Erweiterung der Kabellänge auf folgender Homepage.

<https://www.apogeeinstruments.com/how-to-make-a-weatherproof-cable-splice/>



Bodenphysik - Bodenatmung

Sauerstoff-Sensor SO-4xx



Umweltanalytische
Produkte GmbH

RÜCKGABE- UND GARANTIEBESTIMMUNGEN

RÜCKGABE-BESTIMMUNGEN

Apogee Instruments akzeptiert Rücksendungen innerhalb von 30 Tagen nach dem Kauf, solange sich das Produkt in einem neuen Zustand befindet (von Apogee zu bestimmen). Rücksendungen unterliegen einer Wiedereinlagerungsgebühr von 10 %.

GARANTIE-BESTIMMUNGEN

Was wird abgedeckt

Für alle von Apogee Instruments hergestellten Produkte gilt eine Garantie von vier (4) Jahren ab Versanddatum ab Werk. Um für die Gewährleistung in Betracht zu kommen, muss ein Artikel entweder in unserem Werk oder von einem autorisierten Händler bewertet werden.

Produkte, die nicht von Apogee hergestellt werden (Spektroradiometer, Chlorophyllgehaltsmesser), sind für einen Zeitraum von einem (1) Jahr abgedeckt.

Was nicht abgedeckt ist

Der Kunde ist für alle Kosten verantwortlich, die mit dem Ausbau, der Neuinstallation und dem Versand von verdächtigen Garantieartikeln an unser Werk verbunden sind.

Die Garantie erstreckt sich nicht auf Geräte, die aufgrund der folgenden Bedingungen beschädigt wurden:

1. Unsachgemäße Installation oder Missbrauch.
2. Betrieb des Gerätes außerhalb des spezifizierten Arbeitsbereichs.
3. Naturereignisse wie Blitzschlag, Feuer, etc.
4. Unbefugte Änderung.
5. Unsachgemäße oder unbefugte Reparatur.

Bitte beachten Sie, dass der Drift der Nenngenauigkeit über die Zeit normal ist. Die routinemäßige Neukalibrierung von Sensoren/Messgeräten gilt als Teil der ordnungsgemäßen Wartung und fällt nicht unter die Garantie.



Bodenphysik - Bodenatmung

Sauerstoff-Sensor SO-4xx



Umweltanalytische
Produkte GmbH

Wer ist versichert

Diese Garantie erstreckt sich auf den ursprünglichen Käufer des Produkts oder eine andere Partei, die es während der Garantiezeit besitzt.

Was wir tun werden

Das werden wir kostenlos tun:

1. Entweder reparieren oder ersetzen (nach unserem Ermessen) den Garantiegegenstand.
2. Schicken Sie die Ware mit dem Spediteur unserer Wahl an den Kunden zurück.

Andere oder beschleunigte Versandarten gehen zu Lasten des Kunden.

Wie man einen Artikel zurückschickt

1. Bitte senden Sie keine Produkte an Apogee Instruments zurück, bis Sie eine RMA-Nummer (Return Merchandise Authorization) von unserem technischen Support erhalten haben, indem Sie (435) 792-4700 anrufen oder ein Online- RMA-Formular an www.apogeeinstruments.com/tech-support-recalibration-repairs/ senden. Wir verwenden Ihre RMA-Nummer zur Verfolgung des Service-Artikels.
2. Senden Sie alle RMA-Sensoren und Zähler in folgendem Zustand zurück: Reinigen Sie die Außenseite des Sensors und das Kabel. Verändern Sie nicht die Sensoren oder Drähte, einschließlich Spleißen, Schneiden von Drahtleitungen, etc. Wenn ein Stecker am Kabelende angebracht ist, bitte den Gegenstecker beilegen - ansonsten wird der Sensorstecker entfernt, um die Reparatur/Neukalibrierung abzuschließen.
3. Bitte schreiben Sie die RMA-Nummer auf die Außenseite des Versandbehälters.
4. Senden Sie den Artikel frachtfrei und voll versichert an unsere unten angegebene Fabrikadresse zurück. Wir sind nicht verantwortlich für Kosten, die mit dem Transport von Produkten über internationale Grenzen hinweg verbunden sind.
5. Nach Erhalt wird Apogee Instruments die Fehlerursache ermitteln. Wenn sich herausstellt, dass das Produkt aufgrund von Material- oder Herstellungsfehlern defekt ist, wird Apogee Instruments die Produkte kostenlos reparieren oder ersetzen. Wenn festgestellt wird, dass Ihr Produkt nicht unter die Garantie fällt, werden Sie informiert und erhalten einen Kostenvoranschlag für die Reparatur/Ersatz.



Bodenphysik - Bodenatmung

Sauerstoff-Sensor SO-4xx



Umweltanalytische
Produkte GmbH

Apogee Instruments, Inc. - 721 West 1800 Nord Logan, UT 84321, USA

Produkte außerhalb der Garantiezeit

Bei Problemen mit Sensoren außerhalb der Garantiezeit, wenden Sie sich bitte an Apogee unter techsupport@apogeeinstruments.com, um Reparatur- oder Austauschoptionen zu besprechen.

WEITERE BESTIMMUNGEN

Apogee Instruments ist nicht verantwortlich für direkte, indirekte, zufällige oder Folgeschäden, einschließlich, aber nicht beschränkt auf Einkommensverluste, Einkommensverluste, entgangenen Gewinn, Lohnausfall, Zeitverlust, Umsatzverluste, Entstehung von Schulden oder Kosten, Verletzungen von persönlichem Eigentum oder Verletzungen von Personen oder anderen Arten von Schäden oder Verlusten.

Diese beschränkte Garantie und alle Streitigkeiten, die sich aus oder im Zusammenhang mit dieser beschränkten Garantie ergeben ("Streitigkeiten"), unterliegen dem Recht des Staates Utah, USA, unter Ausschluss des Kollisionsrechts und unter Ausschluss des Übereinkommens über den internationalen Warenkauf. Die Gerichte im Bundesstaat Utah, USA, haben die ausschließliche Zuständigkeit für alle Streitigkeiten.

Diese beschränkte Garantie gibt Ihnen bestimmte gesetzliche Rechte, und Sie können auch andere Rechte haben, die von Staat zu Staat und Gerichtsbarkeit zu Gerichtsbarkeit variieren, und die von dieser beschränkten Garantie nicht berührt werden. Diese Garantie erstreckt sich nur auf Sie und kann nicht übertragen oder abgetreten werden. Sollte eine Bestimmung dieser eingeschränkten Garantie rechtswidrig, ungültig oder nicht durchsetzbar sein, so gilt diese Bestimmung als trennbar und berührt die übrigen Bestimmungen nicht. Im Falle von Unstimmigkeiten zwischen der englischen und anderen Versionen dieser eingeschränkten Garantie gilt die englische Version.

Diese Garantie kann von keiner anderen Person oder Vereinbarung geändert, übernommen oder geändert werden.