



Acclima

Benutzerhandbuch



Inhalt

Über den TDR-Sensor.....	3
TDR-Sensor-Modelle.....	4
TDR315x Beschreibung und Installation.....	4
TDR315x Optimale Anwendung.....	4
TDR310x Beschreibung und Installation.....	5
TDR310x Optimale Anwendung.....	5
TDR305x Beschreibung, Installation und optimaler Einsatz.....	5
Anschluss und Einrichtung des Sensors.....	5
Sensoranschlüsse.....	6
Einstellen der Sensoradresse.....	7
Einstellung von Adressen mit dem Acclima SDI-12-Lesegerät.....	8
SDI-12-Befehlsübersicht.....	8
Befehlsreferenz.....	8
Platzhalter-Adresse.....	12
Prüfung der Kommunikation.....	12
Durchführung von Messungen mit dem SDI-12-Sensor.....	12
Standard-Messverfahren.....	12
Verfahren zur gleichzeitigen Messung.....	13
Abrufen von Daten.....	13
Überprüfung starten.....	14
Abrufen der Wellenform des TDR-Sensors.....	16

Acclima TDR Sensor Benutzerhandbuch

Dieses Handbuch gilt für alle aktuellen Modelle der Acclima TDR-Sensoren. Spezifische Informationen, wie z. B. physikalische Eigenschaften und Messmöglichkeiten, entnehmen Sie bitte dem Datenblatt des jeweiligen Sensors.

Über den TDR-Sensor

Die TDR-Sensoren von Acclima sind integrierte Zeitbereichsreflektometer, die einen ultraschnellen Schrittfunktionsgenerator, einen ultraschnellen Wellenform-Digitalisierer und eine Präzisionszeitbasis enthalten. Der Schrittfunktionsgenerator und der Wellenformdigitalisierer sind direkt mit einem Hohlleiter von 5 cm, 10 cm oder 15 cm Länge verbunden, ohne dass ein Koaxialkabel dazwischen liegt. Der Schlüssel zu ihrem Betrieb ist eine patentierte Wellenform-Digitalisierungs-Hardware und -Firmware, die eine effektive Digitalisierungsrate von 200 Milliarden Abtastungen pro Sekunde hat. Ein Stufenfunktionsgenerator erzeugt eine Spannungstufe auf dem Wellenleiter. Ein Digitalisierer erfasst ein digitales Bild der einfallenden Welle und der zurückkehrenden Reflexionen mit einer Auflösung von 5 Billionstel einer Sekunde. Das erfasste Wellenbild wird dann analysiert, um die Umlaufzeit zwischen der einfallenden Welle und der ersten reflektierten Welle zu bestimmen. Mit Hilfe der Ausbreitungsgleichung, die die Lichtgeschwindigkeit in einem Medium bestimmt, wird die Permittivität des Mediums wie folgt berechnet:

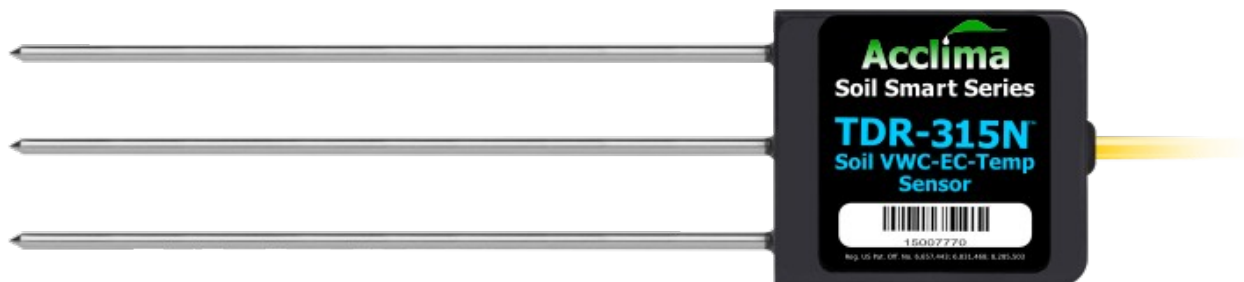
$$\varepsilon = \frac{t^2}{4l^2}$$

wobei t die Umlaufzeit, l die Länge des Wellenleiters und ε die relative Dielektrizitätskonstante des Mediums ist, durch das die Welle gelaufen ist. Die Tatsache, dass die Ausbreitungszeit unabhängig von der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens ist, führt dazu, dass die berechnete Dielektrizitätskonstante ebenfalls unabhängig von der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens ist. Dies ist der Hauptvorteil von digitalisierten Wellenform-Zeitbereichssensoren gegenüber allen elektronischen Sensoren ohne Zeitbereich. Der volumetrische Wassergehalt kann mit Hilfe der Topp-Gleichung oder eines geeigneten dielektrischen Mischungsmodells aus der Permittivität abgeleitet werden. Die elektrische Leitfähigkeit in Böden wird durch Verdichtung beeinträchtigt, so dass Sensoren, die keine TDR-Sensoren sind, sehr empfindlich auf die Verdichtung bei der Installation und das anschließende Absetzen des Bodens reagieren. TDR-Sensoren melden den tatsächlichen volumetrischen Wassergehalt unabhängig von der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens, der Verdichtung und den Setzungen.

Ein 80-MHz-Gleitkommprozessor im Sensor wird zur Verarbeitung des Wellenformbildes verwendet. Die Gesamtzeit, die erforderlich ist, um einen Messbefehl an den Sensor zu senden, das digitalisierte Wellenformbild zu erfassen, das Bild zu verarbeiten und die Messdaten zu berechnen, beträgt weniger als eine Sekunde.

TDR-Sensor-Modelle

Acclima bietet verschiedene Modelle von Sensoren an. Diese Modelle sind in Familien erhältlich, die für unterschiedliche Zwecke optimiert sind. Die TDRxxxH-Familie ist beispielsweise für den Betrieb mit geringem Stromverbrauch und niedrigen Spannungen optimiert, während die TDRxxxN-Familie für eine hohe Ausgangsleistung optimiert ist und besser in stark salzhaltigen Böden funktioniert. Jede Familie kann mehrere Modelle umfassen, die für unterschiedliche Installationsmethoden oder Umgebungen optimiert sind.



TDR315x Beschreibung und Installation

Der TDR315x verwendet einen 15 cm langen Hohlleiter mit einem Stababstand von 1,9 cm. Aufgrund seines größeren Hohlleiters hat er das größte Messvolumen der drei Sensoren - es liegt in der Größenordnung von 100 ml. Er kann in beliebiger Ausrichtung eingebaut werden, wird aber in der Regel durch Einpressen der Hohlleiterstäbe in die Seitenwand eines bis zur gewünschten Einbautiefe ausgehobenen Grabens installiert. Diese Methode führt zu einer horizontalen Installation im ungestörten Boden. Eine spezielle, von Acclima gelieferte Stabführung sorgt dafür, dass die Stäbe parallel gehalten werden, während sie in die Seitenwand des Grabens getrieben werden. Die Stangen können auch in der Mitte des Grabens installiert und dann verfüllt werden. Bei dieser Methode muss die Verfüllung verdichtet werden, um Luftporen in der Nähe des Hohlleiters zu vermeiden und um zu verhindern, dass Oberflächenwasser bevorzugt zum Sensor versickern kann. Nach Abschluss des Einbaus muss das gesamte zur Herstellung des Grabens entnommene Bodenvolumen wieder in den Graben eingebracht werden, wobei eine ausreichende Verdichtung erforderlich ist, damit die Oberfläche des verfüllten Grabens eben mit der umgebenden Bodenoberfläche ist.

TDR315x Optimale Anwendung

Der TDR315x liefert hervorragende Messwerte in allen Arten von Böden und hat den Vorteil eines größeren Probenahmevolumens als der TDR310x und der TDR305x. Das größere Probenahmevolumen macht diesen Sensor zu einem idealen Kandidaten für Anwendungen, bei denen eine verbesserte Genauigkeit oder eine geringere Anfälligkeit für Fremdkörper erwünscht ist. Aufgrund des Wellenleiters mit höherer Impedanz und der größeren Länge des Wellenleiters ist die Wellenform anfälliger für die Abschwächung durch Bodenionen als beim TDR310x und TDR305x. Daher ist der TDR315x nicht die beste Wahl für den Einsatz bei sehr hohem Salzgehalt des Bodens.



TDR310x Beschreibung und Installation

Der TDR310x verwendet einen 10 cm langen Hohlleiter mit einem Stababstand von 1,14 cm. Der runde Formfaktor wurde so konzipiert, dass er dem Durchmesser eines 1" Schedule 40 PVC-Rohrs entspricht. Die obere Schulter des Sensors kann in das Ende eines Rohrs geklebt werden, um als Installationsgriff zu dienen. Das Kabel wird durch das Rohr nach oben geführt und tritt am oberen Ende durch eine Kerbe aus. Das Rohr kann dann am oberen Ende mit einem Deckel versehen werden, um das Eindringen von Wasser zu verhindern. Die Rohr-/Sensorbaugruppe kann dann in ein Loch eingesetzt werden, das mit einem 34-mm-Flachbodenbohrer gebohrt wurde. Mit einem Hammer kann das obere Ende des Rohrs eingeschlagen und der Wellenleiter des Sensors in den ungestörten Boden am Boden des Lochs gedrückt werden. Bei der Bohrung mit flachem Boden ist die seitliche Vorspannung auf die Hohlleiterstäbe minimal, so dass die Stäbe parallel in den Boden eindringen können. Diese Installationsmethode ist im Allgemeinen einfacher als die mit dem TDR315x verwendete Grabenmethode.

TDR310x Optimale Anwendung

Alle Arten von Böden sind für die Messungen des TDR310x geeignet. Sein Probenahmevolumen beträgt nur etwa $\frac{1}{4}$ des TDR315x, aber das ist der Kompromiss für eine einfachere Installation. Darüber hinaus hat der TDR310x einen Wellenleiter mit niedrigerer Impedanz und kürzerer Länge. Dies macht ihn in salzhaltigen Umgebungen leistungsfähiger als den TDR315x.



TDR305x Beschreibung, Installation und optimaler Einsatz

Der TDR305x wurde aus dem TDR310x als Messlösung für Böden mit extrem hohen Salzgehalten entwickelt. Er liefert zuverlässige Messungen in Böden mit gesättigten Pasten-Extraktions-EC-Werten von bis zu 20000 uS/cm oder höher (je nach Sensorfamilie). Aufgrund seines geringen Probenahmevolumens wären andere Formfaktoren die bessere Wahl für Anwendungen, bei denen Salz kein Problem darstellt.

Anschluss und Einrichtung des Sensors

Die TDR-Sensoren von Acclima verwenden das branchenübliche SDI-12-Kommunikationsprotokoll und sind mit allen Datenloggern, Lesegeräten oder drahtlosen Geräten kompatibel, die über einen SDI-12-Anschluss verfügen. Wenn Sensoren an einen Datenrekorder angeschlossen werden, empfiehlt es sich, die Sensorkonfigurationsverfahren für den Datenrekorder zu befolgen. Diese Verfahren sollten den Anschluss des Sensors und die Einstellung einer Adresse umfassen.

Sensoranschlüsse

Das Sensorkabel besteht aus 3 Drähten:

- rot = Leistung (Die erforderliche Betriebsspannung hängt vom Sensor ab - siehe Datenblatt)
- blau = bi-direktionale Datenleitung
- weiß = Rückleitung/Mitte/Masse für Daten und Strom

Wenn ein Kabel verwendet wird, um mehrere Sensoren mit dem Datenlogger zu verbinden, und wenn gleichzeitig Messwerte erfasst werden sollen, kann der Spannungsabfall in langen Kabeln zu einem Problem werden. Ein Beispiel: 5 Sensoren, die gleichzeitig arbeiten, können bis zu 400 mA Strom aufnehmen und einen Spannungsabfall von 3,25 Volt in 250 Fuß 22-Gauge-Kabel verursachen. Wenn die Spannung am Sensor auf die untere Betriebsgrenze abfällt, kann es sein, dass der Sensor Daten falsch abliest oder nicht meldet. Um dies zu vermeiden, verwenden Sie keine gleichzeitigen Befehle oder stellen Sie sicher, dass lange Kabel einen ausreichenden Drahtquerschnitt haben, um die Stromlasten ohne signifikante Spannungsabfälle zu bewältigen. Der SDI-12-Befehl "aV!" kann verwendet werden, um die Sensorversorgungsspannung am Sensor zu messen und bei der Diagnose von Stromversorgungsproblemen zu helfen. Der "aV!"-Befehl ist jedoch nicht simultan und kann daher nicht die Belastungseffekte von simultanen Messungen messen.

Der Schaltplan für den Anschluss der Sensoren an den Datenlogger ist unten abgebildet. Alle Sensoren werden parallel an die Klemmen des Datenloggers oder an ein mit dem Datenlogger verbundenes Kabel angeschlossen.

Wenn es sich bei dem Datenlogger und der Stromversorgung des Sensors um getrennte Einheiten handelt, muss das weiße Kabel an den negativen Anschluss der Stromversorgung und an die Datenerdung oder den gemeinsamen Anschluss des Datenloggers angeschlossen werden.

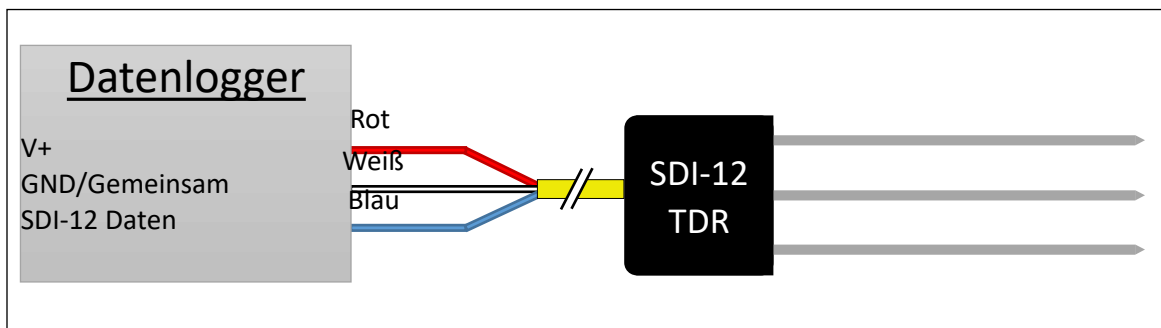


Abbildung 1: Anschluss der TDR-Sensoren an den Datenrekorder mit Stromausgang

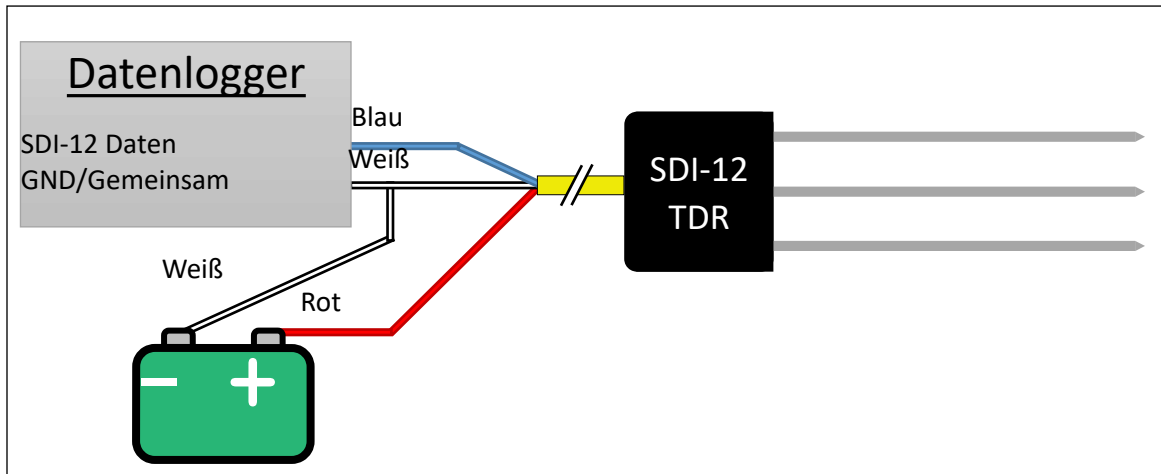


Abbildung 2: Anschluss von TDR-Sensoren an einen Datenrekorder mit einer separaten Stromquelle für die Sensoren

Einstellen der Sensoradresse

Das SDI-12-Protokoll verwendet eine Adresse, um zwischen mehreren Sensoren zu unterscheiden, die alle an dieselbe Leitung angeschlossen sind. Diese müssen für jeden Sensor, der an einen gemeinsamen SDI-12-Kommunikationsanschluss angeschlossen ist, eindeutig festgelegt werden. Manchmal verfügt ein einziger Kommunikationsanschluss über mehrere Anschlüsse, um den einfachen Anschluss von Sensoren zu ermöglichen, so dass die Konfiguration des Datenlese- oder -aufzeichnungsgeräts sorgfältig geprüft werden sollte.

SDI-12-Adressen bestehen nur aus einem einzigen Zeichen. TDR-Sensoren werden normalerweise ab Werk mit der Adresse "0" programmiert. Diese kann jedoch in eine beliebige von 62 möglichen Adressen geändert werden, darunter:

- Ziffern 0-9
- Großbuchstaben A-Z
- Kleinbuchstaben a-z

SDI-12-Datenlogger und -Lesegeräte sollten eine Methode zur Zuweisung von Adressen an Sensoren bieten. Schlagen Sie im Handbuch für diese Produkte nach, um das entsprechende Verfahren zu finden.



Einstellung von Adressen mit dem Acclima SDI-12-Lesegerät

Das Acclima SDI-12 Lesegerät bietet eine sehr bequeme Möglichkeit, den Sensorbetrieb zu überprüfen und den Sensoren Adressen zuzuweisen. Mit ein paar Tastendrücken kann ein Sensor neu adressiert werden. Gleichzeitig können mit dem Lesegerät sowohl Messwerte als auch Kurvenbilder vom Sensor aufgenommen werden, um sicherzustellen, dass der Sensor fest im Boden verankert ist und ordnungsgemäß berichtet. Das Lesegerät kann auch GPS-Koordinaten liefern, um den Standort des Sensors zu dokumentieren. Nachdem jeder Sensor einzeln adressiert wurde, kann der gesamte Sensorensatz zum Betrieb an den Datenrekorder angeschlossen werden. Weitere Informationen finden Sie auf unserer Website unter www.acclima.com.

SDI-12-Befehlsübersicht

Acclima SDI-12-Sensoren implementieren Befehle, die den SDI-12-Spezifikationen entsprechen. Die Sensoren sind mit SDI-12 Version 1.4 und allen früheren Versionen kompatibel. Weitere Informationen über das SDI-12-Protokoll finden Sie auf der Website www.sdi-12.org.

Alle Befehle, die für die vollständige Einhaltung der Spezifikationen der Version 1.4 erforderlich sind, sind in den TDR-Sensoren implementiert. Die Befehle für "zusätzliche Messungen" in der SDI-12-Spezifikation sind jedoch für die Acclima SDI-12-Sensoren bedeutungslos, da Permittivität, Feuchtigkeit, Leitfähigkeit und Temperatur mit jeder verfügbaren Messung gemessen werden. Daher lautet die Antwort für alle zusätzlichen/unbenutzten Messbefehle "**a<CR><LF>**", wie in der SDI-12-Spezifikation gefordert.

Wenn ein Befehl an den Sensor gesendet wird, den er nicht unterstützt, ignoriert der Sensor diesen und antwortet nicht, bis ein gültiger Befehl empfangen wird.

Befehlsreferenz

In der folgenden Tabelle sind alle vom SDI-12-Sensor unterstützten Befehle in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt. Bitte beachten Sie, dass in der Tabelle unten die folgenden Ersetzungen verwendet werden:

aAktuelle Sensoradresse

<CR>Carriage Return Zeichen (Dezimalwert = 13)

<LF> Zeilenvorschubzeichen (Dezimalwert = 10)

Andere Substitutionen können vorhanden sein und werden gegebenenfalls für jeden Befehl beschrieben.

Befehl	Funktion	Reaktion des Sensors
?!	Adressabfrage	a<CR><LF> Hinweis: Wenn dieser Befehl verwendet wird, kann nur ein Gerät an den SDI-12-Anschluss angeschlossen werden. a<CR><LF>

Befehl	Funktion	Reaktion des Sensors
a!	Quittieren Aktiv	a<CR><LF>
aAb!	Adresse ändern	b<CR><LF> wobei b im Befehl und in der Antwort die neue Adresse ist
aC! aCC!	Gleichzeitige Messung starten Start gleichzeitige Messung - Anforderung CRC	a00105<CR><LF> meldet, dass die Messung 1 Sekunde dauert und 5 Werte liefert, und startet dann die Messung.
aC1! ... aC9!	Zusätzliche gleichzeitige Messung starten	a00000<CR><LF> Als Antwort auf diesen Befehl sind keine Daten zu liefern
aCC1! ... aCC9!	Zusätzliche gleichzeitige Messung starten - CRC anfordern	a00000<CR><LF> Als Antwort auf diesen Befehl sind keine Daten zu liefern
aD0!	Daten senden	Sendet den Inhalt des Datenpuffers, der durch die Befehle Start Messung (aM!), Start gleichzeitige Messung (aC!) oder Start Verifikation (aV!) gefüllt werden kann. Siehe Beschreibungen unten.
	keine/Abbruch	a<CR><LF> Es wurde kein Befehl zur Datenerzeugung erteilt oder ein Befehl wurde abgebrochen. Der Datenpuffer ist leer und meldet nur die Adresse ohne jegliche Daten.
Vorheriger Befehl zur Datengenerierung:		Sensor Reaktion auf aD0!
aM! oder aC!	Messung Oder Gleichzeitige Messung	a+VV.V+TT.T+PP.P+BBBB+EEEE<CR><LF> wobei: + = + oder -, abhängig von den Daten VV.V = volumetrischer Wassergehalt %. TT.T = Bodentemperatur in Grad C PP.P = Dielektrizitätskonstante des Bodens BBBB = EC der Bodenmasse in µS/cm EEEE = Bodenporenwasser EC in µS/cm
aMC! oder aCC!	MessungCRC oder Gleichzeitige MessungCRC	a+VV.V+TT.T+PP.P+BBBB+EEEECCC<CR><LF> wobei: + = + oder -, abhängig von den Daten VV.V = volumetrischer Wassergehalt %. TT.T = Bodentemperatur in Grad C PP.P = Dielektrizitätskonstante des Bodens BBBB = EC der Bodenmasse in µS/cm EEEE = Bodenporenwasser EC in µS/cm CCC = CRC-Prüfung. Siehe SDI-12 Spezifikation für weitere Informationen.

Befehl	Funktion	Reaktion des Sensors
aM1! . . . aM9! aMC1! . . . aMC9! aC1! . . . aC9! aCC1! . . . aCC9!	Zusätzliche Messungen <i>(Von Acclima nicht verwendet)</i>	a<CR><LF> Der Sensor meldet keine Daten für diese Befehle. Der Datenpuffer wird gelöscht, und es werden keine Daten zurückgegeben.
aV!	Überprüfung	a+FF+XX.X+YY.Y+TT.T+LLL+EE+BBBB<CR><LF> wobei: + = + oder -, abhängig von den Daten FF = Fehler-Flags (0 = keine Fehler) XX.X = Spannung im Ruhezustand des Sensors YY.Y = Spannung, während der Sensor aktiv ist TT.T = Temperatur LLL = Wellenform Amplitude (0-4095) EE = Fehlerdaten BBBB = Elektrische Gesamtleitfähigkeit des Bodens in µS/cm
aD1! . . . aD9!	<i>Von Acclima nicht verwendet</i>	a<CR><LF> Keine Daten für diese Befehle. Einige Befehle können zusätzliche Daten melden, die für Werkszwecke verwendet werden. Das Format oder der Inhalt dieser Daten ist nicht garantiert.
aI!	Identifikation senden	aSSVVVVVPPPPPPVVVxx . . . xx<CR><LF> Beispiel: 014Acclima TR310W1.320008059<CR><LF> wobei: a = Sensoradresse (Beispiel = 0) SS = SDI-12-Protokollversion (Beispiel = 1.4) VVVVVV = Hersteller (Beispiel = Acclima_) PPPPPP = Modell (Beispiel = TR310W alias TDR-310W) VVV = Produktversion (Beispiel = 1.3) xx . . . xx = Seriennummer (Beispiel = 20008059)
aIC! aICC!	Identifizieren Sie gleichzeitige Messungen	a00105<CR><LF> Die Messung dauert 1 Sekunde und liefert 5 Werte. Damit wird die Messung jedoch nicht gestartet.
aIC_001! aIM_001!	Identifizieren Sie 1 st Messdatenpunkt	a ,MV, % ,Bodenfeuchte ;<CR><LF> Ablesecode = MV (Prozentuales Wasservolumen) Maßeinheiten = % Kurzbezeichnung = Bodenfeuchte
aIC_002! aIM_002!	Identifizieren Sie 2 nd Messdatenpunkt	0 ,TV,C ,Bodentemperatur ;<CR><LF> Lesecode = TV (Bodentemperatur) Maßeinheiten = C Kurzbezeichnung = Bodentemperatur
aIC_003! aIM_003!	Identifizieren Sie 3 rd Messdatenpunkt	0 ,MD, ,Relative Dielektrizitätskonstante ;<CR><LF> Lesecode = MD (Dielektrizitätskonstante) Maßeinheiten = [keine] Kurzbezeichnung = Relative Dielektrizitätskonstante

Befehl	Funktion	Reaktion des Sensors
aIC_004! aIM_004!	Identifizieren Sie 4 th Messdatenpunkt	0,MN,uS/cm,Elektrische Gesamtleitfähigkeit;<CR><LF> Lesecode = MN (Bodensalzgehalt) Maßeinheiten = uS/cm Kurzbezeichnung = Elektrische Leitfähigkeit (Bulk)
aIC_005! aIM_005!	Identifizieren Sie 5 th Messdatenpunkt	0,WS,uS/cm,Elektrische Leitfähigkeit des Porenwassers;<CR><LF> Lesecode = WS (Salzgehalt des Wassers) Maßeinheiten = uS/cm Kurzbezeichnung = Porenwasser EC
aIM! aIMC!	Identifizieren Sie die Messung	a0015<CR><LF> Die Messung dauert 1 Sekunde und liefert 5 Werte. Damit wird die Messung jedoch nicht gestartet.
aM! aMC!	Messung starten Messung starten - CRC anfordern	a0015<CR><LF> meldet, dass die Messung 1 Sekunde dauert und 5 Werte liefert, und startet dann die Messung. a<CR><LF> Der Sensor sendet nach der Messung einen Service Request zurück. Die Daten können mit dem Befehl aD0! abgerufen werden
aM! ... aM9! aMC1! ... aMC9!	Zusätzliche Messungen Zusätzliche Messungen - CRC anfordern	a0000<CR><LF> Der TDR-Sensor verwendet diese Befehle nicht. Wenn der Befehl empfangen wird, meldet der Sensor "keine Daten" zurück.
aV!	Überprüfung starten	a0016<CR><LF> 6 Datenelemente werden in 1 Sekunde zurückgegeben. a<CR><LF> Der Sensor sendet nach der Messung eine Serviceanfrage zurück. Die Daten können mit dem aD0! Befehl abgerufen werden.
aXAttt!	Wellenformpunkt t holen	aVVV<CR><LF> Der Sensor antwortet mit der Amplitude der Wellenform zum Zeitpunkt ttt , wobei ttt und vvv im Hexadezimalformat sind und ttt in Einheiten von 5 Pikosekunden und vvv ohne Einheiten angegeben ist.
aXI!	Erweitertes Identifizieren	aFwVer=vv.v.v.v,HwVer=x,MfgDate(D/M/Y)=dd/mm/yy wobei: a = Sensoradresse vv.v.v.v = Vollständige Firmware-Version x = Hardware-Version tt/mm/jj = Datum der Fertigstellung

Platzhalter-Adresse

Die TDR-Sensoren unterstützen die Verwendung der Platzhalteradresse '?' für jeden Befehl. Da alle Sensoren auf die '?'-Adresse reagieren, sollte bei Verwendung der Platzhalteradresse jeweils nur ein Sensor an den SDI-12-Anschluss angeschlossen werden. Die Sensorantwort enthält immer die tatsächliche Sensoradresse, unabhängig von der Verwendung der Platzhalteradresse oder der tatsächlichen Adresse im Befehl.

Prüfung der Kommunikation

Um zu überprüfen, ob der TDR-Sensor antwortet, verwenden Sie den Befehl "**Identifikation senden**" "**a1!**" (siehe Tabelle oben). Die Antwort kann dekodiert werden, um die Sensoradresse, das Modell, die Version und die Seriennummer zu überprüfen, wie in der obigen Tabelle angegeben. Wenn der zu prüfende Sensor der einzige an den SDI-12-Anschluss angeschlossene Sensor ist, kann die Platzhalteradresse '?' verwendet werden, wenn die aktuelle Adresse unbekannt ist.

Durchführung von Messungen mit dem SDI-12-Sensor

Acclima TDR-Sensoren erzeugen Messdaten durch zwei verschiedene Befehle. Die von beiden Befehlen erzeugten Daten sind die gleichen, aber die Befehle selbst verhalten sich ein wenig anders. Diese beiden Befehle sind "Messung starten" (**am!**) und "Gleichzeitige Messung starten" (**ac!**).

Standard-Messverfahren

Aufgrund der relativ hohen Stromaufnahme der Acclima-TDR-Sensoren ist es in der Regel vorzuziehen, diese Standardmessmethode zu verwenden, um Spannungsabfälle auf dem SDI-12-Bus zu vermeiden. (Siehe Sensoranschlüsse in diesem Dokument für weitere Informationen).

Die Sensormessung wird durch den Befehl SDI-12 Start Measurement (**am!**) eingeleitet. Dieser Befehl meldet keine Messdaten, sondern die Zeit, die für die Datenerfassung benötigt wird, und die Anzahl der Datenpunkte, die zurückgegeben werden, und beginnt dann mit den Messungen. Der Datenlogger wartet dann die angegebene Zeit, bevor er zum Sammeln der Daten zurückkehrt.

Wenn der Sensor jedoch bereit ist, die Daten zu melden, bevor die Zeit abgelaufen ist, sendet er eine Antwort auf eine Dienstanforderung (**a<CR><LF>**). Der Datenrekorder kann dann die Daten sofort abrufen, ohne die verbleibende Zeit abzuwarten.

Beispiel für eine Messung, bei der die Sensoradresse "5" ist:

Schritt	Datenlogger	TDR-Sensor	Beschreibung
1	5M!		Datenlogger gibt den Befehl Messung starten aus
2		50015<CR><LF>	Sensorberichte: in 1 Sekunde sind 5 Datenpunkte verfügbar
3			Warten Sie, bis Sie bereit sind. Bei neuen Befehlen wird die Messung abgebrochen.
4		5<CR><LF>	Der Sensor sendet eine Serviceanfrage - die Messung ist bereit
5	5D0!		Der Datenlogger fordert die Daten an
6		5+23.4+12.3+...	Sensor meldet die Messwerte

Wenn die Sensordaten von einem Sensor nach dem anderen erfasst werden (was die empfohlene Methode ist), spart die Verwendung dieses Standardmessverfahrens Zeit und Batteriestrom aufgrund der Serviceanforderung - wodurch die Notwendigkeit entfällt, auf die Worst-Case-Messdauer zu warten.

Beim Start einer Messung kann eine CRC-Prüfung angefordert werden, die den zurückgesendeten Daten beigefügt wird, um sicherzustellen, dass die Daten während der Übertragung nicht beschädigt wurden. Dazu wird nach dem "M" des Befehls "Messung starten" ein "C" wie folgt eingefügt: **aMC!** Dies bewirkt, dass am Ende der gemeldeten Datenmessung eine CRC-Prüfung durchgeführt wird. Weitere Informationen zu CRC-Prüfungen finden Sie in der SDI-12-Spezifikation, die unter www.sdi-12.org verfügbar ist.

Verfahren zur gleichzeitigen Messung

Bei der gleichzeitigen Messung vieler Sensoren können Zeit und Batteriebensdauer gespart werden, indem alle Sensoren ihre Messungen gleichzeitig durchführen. Der Befehl Start Concurrent Measurement erfüllt diesen Zweck. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Kabel und die Stromversorgung der Belastung durch mehrere gleichzeitig messende Sensoren gewachsen sind. (Siehe Sensoranschlüsse in diesem Dokument für weitere Informationen).

Bei Verwendung des Befehls "Gleichzeitige Messung" sendet der Sensor keine Dienstanforderung zurück, wenn die Daten zum Abruf bereit sind. Stattdessen muss der Rekorder die im ungünstigsten Fall erforderliche Messzeit abwarten, bevor er Daten erfasst - wie in der Antwort auf den Befehl angegeben. Auf diese Weise kann der Rekorder mit anderen Geräten kommunizieren, während der Sensor die Messung durchführt und die Daten vorbereitet.

Beispiel für eine Messung, bei der die Sensoradresse "G" ist:

Schritt	Datenlogger	TDR-Sensor	Beschreibung
1	GC!		Der Datenlogger gibt den Befehl Start Concurrent Measurement aus
2		G00105<CR><LF>	Sensorberichte: in 1 Sekunde sind 5 Datenpunkte verfügbar
3			Der Datenrekorder wartet mindestens 1 volle Sekunde lang. Die Kommunikation mit anderen SDI-12-Sensoren ist erlaubt.
4	GD0!		Der Datenlogger fordert die Daten an
5		G+23.4+12.3+...	Sensor meldet die Messwerte

Beim Start einer gleichzeitigen Messung kann eine CRC-Prüfung angefordert werden, die den zurückgesendeten Daten beigefügt wird, um sicherzustellen, dass die Daten während der Übertragung nicht beschädigt wurden. Dazu wird nach dem "C" des Befehls "Start Concurrent Measurement" ein "C" wie folgt eingefügt: **aCC!** Dies bewirkt, dass am Ende der gemeldeten Datenmessung eine CRC-Prüfung eingefügt wird. Weitere Informationen zu CRC-Prüfungen finden Sie in der SDI-12-Spezifikation, die unter www.sdi-12.org verfügbar ist.

Abrufen von Daten

Um Daten abzurufen, die durch die Befehle "Start Messung" (**aM!**), "Start gleichzeitige Messung" (**aC!**) oder "Start Verifikation" (**aV!**) angefordert wurden, gibt der Datenlogger den Befehl "Daten senden" (**aD0!**) aus. Dieser Befehl sollte in der richtigen Reihenfolge erteilt werden und kann jederzeit nach Abschluss der Messung wiederholt werden. Weitere Informationen zur Reihenfolge finden Sie in den Ab-

schnitten "Start Measurement" und "Start Verification" in diesem Dokument. Wenn dieser Befehl ausgegeben wird, bevor der Datenpuffer gefüllt ist oder nachdem eine Messung abgebrochen wurde, werden keine Daten zurückgegeben. Die Befehlsreferenz in diesem Dokument beschreibt diese Bedingungen.

Wenn ein Befehl "Messung starten" oder "Gleichzeitige Messung starten" abgeschlossen ist, enthält der Datenpuffer im Sensor Messdaten des Sensors. Bei Acclima TDR-Sensoren erzeugt jeder dieser Befehle dieselben Daten. Diese Daten bestehen aus 5 Messungen. Wenn der Befehl "Daten senden" erteilt wird (**aD0!**), meldet der Sensor die Daten wie folgt:

a+VV.V+TT.T+PP.P+BBBB+EEEE<CR><LF>

Ein Beispiel mit tatsächlichen Daten, die vom Sensor zurückgegeben werden, würde wie folgt aussehen:

2+24.5+19.5+12.6+534+2345<CR><LF>

Diese Zahlen werden auf diese Weise entschlüsselt:

Messung	Verschlüsselt	Beispiel	Einheiten
Sensor-Adresse	a	2	-
Volumetrischer Wassergehalt	+VV.V	+24.5	%
Bodentemperatur	+TT.T	+19.5	°C
Relative Dielektrizitätskonstante	+PP.P	+12.6	-
Elektrische Leitfähigkeit (Bulk)	+BBBB	+534	uS/cm
Porenwasser-Leitfähigkeit	+EEEE	+2345	uS/cm
Datenantwort vollständig	<CR><LF>	<CR><LF>	-

Überprüfung starten

Acclima TDR-Sensoren verfügen über eine interne Prüfung, die Probleme erkennen und melden kann. Der SDI-12-Befehl "Start Verification" wird verwendet, um eine Selbstprüfung durchzuführen und die Ergebnisse zu melden.

Das Verfahren zur Durchführung eines Selbstverifizierungstests ist wie folgt. In diesem Beispiel wird angenommen, dass die Sensoradresse "4" ist.

Schritt	Datenlogger	TDR-Sensor	Beschreibung
1	4V!		Der Datenlogger gibt den Befehl "Start Verification" aus
2		40016<CR><LF>	Sensorberichte: in 1 Sekunde sind 6 Datenpunkte verfügbar
3			Warten Sie, bis Sie bereit sind. Bei neuen Befehlen wird die Messung abgebrochen.
4		4<CR><LF>	Der Sensor sendet eine Dienstanforderung - die Überprüfung ist abgeschlossen
5	4D0!		Der Datenlogger fordert die Daten an
6		4+0+11.9+...	Der Sensor meldet die Verifizierungsergebnisse

Die als Antwort auf den Befehl "Send Data" (**aD0!**) gesammelten Daten haben folgendes Format, nachdem ein "Start Verification"-Befehl abgeschlossen wurde:

a+FF+XX.X+YY.Y+TT.T+LLLL+EE<CR><LF>

Ein Beispiel mit tatsächlichen Daten, die vom Sensor zurückgegeben werden, würde wie folgt aussehen:

4+0+11.9+11.5+20.2+3021+0<CR><LF> >(Keine Fehler gemeldet)

Diese Zahlen werden auf diese Weise entschlüsselt:

Daten	Verschlüsselt	Beispiel	Einheiten
Sensor-Adresse	a	4	-
Fehler-Flags	+FF	+0	-
Leerlaufspannung	+XX.X	+11.9	V
Aktive Spannung	+YY.Y	+11.5	V
Temperatur	+TT.T	+20.2	°C
Wellenform Amplitude	+LLLL	+3021	Einheiten
Fehlerdaten	+EE	+0	-
Datenantwort vollständig	<CR><LF>	<CR><LF>	-

Es gibt folgende Fehlerkennzeichen:

Fehlerkennzeichen	bit	Wert	Abhilfemaßnahmen
Messung mathematischer Fehler	6	64	Wenn keine weiteren Fehler auftreten, melden Sie den Fehlerdatenwert an Acclima, um Hilfe zu erhalten.
Hoher Leitfähigkeitsfehler	5	32	Entfernen Sie Metall, das mit den Sensorstäben in Berührung kommt, oder nehmen Sie den Sensor aus dem Medium mit sehr hoher Leitfähigkeit.
Temperatur außerhalb des Bereichs	4	16	Der Sensor liegt außerhalb des Betriebstemperaturbereichs, oder der Temperatursensor ist beschädigt.
Aktiver Spannungsfehler	3	8	Die Eingangsspannung liegt nicht innerhalb der Betriebsparameter, wenn der Sensor aktiv ist. Wird der Sensor ausreichend mit Strom versorgt? Gibt es hohe Widerstandsverluste in der Batterie oder im Kabel?
Leerlaufspannungsfehler	2	4	Die Eingangsspannung liegt nicht innerhalb der Betriebsparameter, wenn sich der Sensor im Leerlauf befindet. Stromquelle prüfen.
Die einfallende Welle steigt nicht an	1	2	Wellenformfehler. Auf Leitfähigkeitsprobleme prüfen.
Einfallende Welle beginnt hoch	0	1	Wellenformfehler, möglicherweise defekter Sensor.

Um die Fehler zu dekodieren, subtrahieren Sie den höchstmöglichen Wert der Fehlerkennzeichen von den gemeldeten Fehlerkennzeichen. Fahren Sie mit diesem Verfahren fort, bis der Wert der Fehlerkennzeichen gleich Null ist. Jeder subtrahierte Merkerwert ist ein gemeldeter Fehler. Beispiel:

Gemeldete Fehlerflags	Subtrahiertes Fehlerflag	Bedeutung
96		Vom Sensor gemeldete Fehlerflags
	-64	Messfehler. Es gibt andere Fehler, die behoben werden können, so dass Sie Acclima noch nicht anrufen müssen.
32		Neuer Wert für Fehlerkennzeichen - Fehler bestehen weiterhin
	-32	Hoher Leitfähigkeitsfehler
0		Keine Fehler mehr.

Abrufen der Wellenform des TDR-Sensors

Die TDR-Sensoren von Acclima wurden als Geräte zur Messung der Zeitbereichs-Bodendurchlässigkeit und des Feuchtigkeitsgehalts entwickelt, finden aber auch in vielen anderen Forschungsbereichen Anwendung. Die TDR-Wellenformen enthalten viel mehr Daten als nur den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens. Aus ihnen kann die elektrische Leitfähigkeit des Bodens bestimmt werden. Auch andere Eigenschaften des Bodens haben einen Einfluss auf die Merkmale der Wellenform - daher ist es für einige Forscher sinnvoll, TDR-Wellenformen zur Charakterisierung dieser zusätzlichen Eigenschaften zu verwenden. Der spektrale Inhalt der Acclima-TDR-Wellenformen bleibt gut erhalten, da sich zwischen dem Wellenleiter und dem Digitalisierer kein Tiefpassfilter (Koaxialkabel) befindet. Diese Faktoren bieten die Möglichkeit für zusätzliche Analysen der Wellenform im Zeit- und Frequenzbereich, die zusätzliche Eigenschaften des Mediums liefern können. Für das Herunterladen von Wellenformen, die für diese Zwecke verwendet werden sollen, sind spezielle Befehle vorgesehen.

Die bequemste Methode zur Erfassung einer Wellenform ist die Verwendung des Acclima SDI-12-Lesegeräts. Ein einfacher Tastendruck veranlasst den Sensor, die Wellenform zu erfassen, sie zu komprimieren, um Zeit bei der Übertragung zu sparen, und sie dann mit einer erhöhten Baudrate über das SDI-12-Kabel zu senden. Der gesamte Vorgang dauert etwa 6 Sekunden - der größte Teil davon ist Kommunikationszeit. Die Kurvenform kann dann über den USB-Anschluss aus dem Speicher des Lesegeräts abgerufen werden. Die Kurvenformpunkte werden im .csv-Format gespeichert.

Das Abrufen einer Wellenform ohne den Acclima SDI12 Reader kann mit dem erweiterten SDI-12-Befehl erfolgen:

aXA~~t~~ttt!

Dabei ist "a" die Geräteadresse, "xA" der erweiterte Befehlscode für die Meldung eines Punktes auf der Wellenform, "ttt" eine hexadezimale Zeitordinate in Einheiten von 5 ps und "!" das Befehlsendezeichen. Dieser Befehl gibt eine hexadezimale Zeichenkette zurück, die die angegebene Amplituden-Zeit-Ordinate der Wellenform darstellt.

Beispiel: Abfrage der Amplitude einer Wellenform zur Zeit 1100 Pikosekunden

1. Umrechnung der Zeit in 5ps-Einheiten: $1100 / 5 = 220$
2. Konvertieren Sie die 5ps-Zeit in hexadezimal: $220 \Rightarrow 0DC$
3. Übermittlung der Anfrage (setzt Adresse = 1 voraus): `1XA0DC!`
4. Abrufen der Antwortzeichenfolge - zum Beispiel: `18E6<CR><LF>`

5. Entfernen Sie die Adresse (1) und das Abschlusszeichen <CR><LF> = 8E6
6. Umrechnung des Codes von Hexadezimal in Dezimal: 8E6 => 2278 Amplitudeneinheiten

Die gesamte Wellenform kann heruntergeladen werden, indem aufeinanderfolgende Zeitpunkte angefordert werden. Dieser Vorgang dauert mehrere Minuten, und der Sensor muss während des gesamten Vorgangs vollkommen ruhig gehalten werden, da jeder Punkt zum Zeitpunkt der Abfrage gemessen wird.

Wellenformen können mit den DataSnap-Produkten von Acclima und der SnapView-Software oder mit dem Acclima SDI-12 Sensor Reader schneller erfasst werden. Diese Produkte beschleunigen die Download-Zeit drastisch, indem sie die Daten komprimieren, indem sie erhöhte Kommunikationsdatenraten verwenden, die nicht SDI-12-konform sind. Aufgrund der hohen Datenraten funktioniert diese Art der Wellenformerfassung in der Regel nicht gut über lange Kabel (mehr als 10-20 Meter).