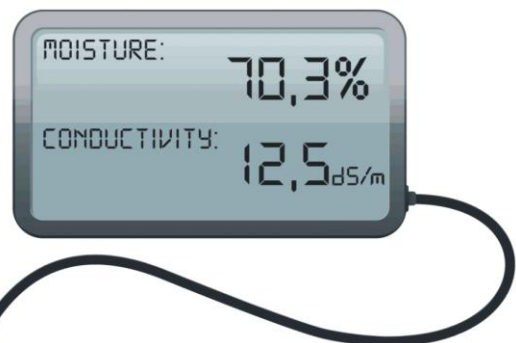


Praxisnahe und einfach zu handhabende Bestimmung von Bodenleitfähigkeit und Salzgehalt mit TRIME-Sonden

IMKO´s TRIME TDR-Sonden können jetzt standardmäßig sowohl Bodenleitfähigkeit EC als auch Feuchte und Temperatur auf volumetrischer Basis messen. Eine Ermittlung des Salzgehaltes in mg-Salz/Liter-Wasser ist für unterschiedliche Böden bei unterschiedlichen Bodenfeuchten möglich, direkt vor Ort, in unterschiedlichen Bodentiefen und ohne umständliche Labormethoden.

Präzise Messungen mit TRIME-Sonden

- TRIME-Sonden messen die Leitfähigkeit mit demselben großen TDR-Messfeld welches für die Messung der volumetrischen Feuchte erzeugt wird. Der Kontaktschluss der Sondenstäbe im Boden ist dabei weit unkritischer als bei „galvanischen“ EC-Sonden wo schon kleine Luftspalte zu erheblichen Abweichungen führen.
- TRIME-Sonden garantieren durch den Einsatz isolierter Stäbe einen Langzeiteinsatz über mehrere Jahre. Unisolierte bzw. blanke Stäbe wären der Gefahr von chemischen und galvanischen Langzeiteffekten ausgesetzt was die Genauigkeit erheblich beeinflussen würde, mit erheblichen Problemen wenn diese Sonden dann aus größeren Einbautiefen wegen einer Stabreinigung wieder ausgebaut werden müssten.
- TRIME-Sonden messen parallel sowohl Feuchte als auch Leitfähigkeit mit 1GHz Frequenz. Dies bedeutet eine exakte Trennung von Feuchte und Leitfähigkeit. Damit ist eine für die Praxis zuverlässige Bestimmung der Porenwasserleitfähigkeit EC_w oder des Salzgehaltes in TDS (mg Salz/Liter Wasser) bei unterschiedlichen Bodenfeuchten möglich.
- Alle TRIME-Sonden sind betreffend Feuchte und Leitfähigkeit gleichlaufend basiskalibriert. Dies erlaubt eine praxisnahe Überprüfung der Grenzwerte für den Dünger Gehalt als auch versalzte Böden nach FAO2006.



Die Analyse von Böden betreffend der Bodenleitfähigkeit EC_{TRIME}

Hinweis: Die Analyse der elektrischen Leitfähigkeit EC (Electrical Conductivity) ist ein immens komplexes Thema. Diese kurze Zusammenfassung soll keine wissenschaftliche Abhandlung sein oder bisherige Untersuchungen zum Thema Bodenleitfähigkeit analysieren.

Für Böden in Landwirtschaft und Gartenbau ist die Messung der elektrischen Leitfähigkeit EC immens wichtig, da hiermit die Menge der insgesamt gelösten Salze oder total gelösten Ionen im Wasser (TDS-Total-Dissolved-Salt) bestimmt werden kann. Erschwerend hierbei ist, dass einige Ionen wie Natrium und Chlorid mehr zur EC beitragen als andere Ionen wie Phosphor und Kalium. Pflanzen benötigen Hauptnährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium in größeren Mengen, in kleinere Mengen auch Mikronährstoffe oder Spurenelemente wie Eisen, Mangan oder Molybdän. Nitrate werden von Pflanzen als Nährstoffe verwertet und in der Landwirtschaft als Düngemittel eingesetzt. Sie können direkt von pflanzlichen Organismen als Stickstoffquelle aufgenommen und verwertet werden. Die richtige Menge von Ionen oder Mineralien im Boden ist von großer Wichtigkeit. Falscher oder zu viel Dünger schadet dem Boden und den Pflanzen oft mehr als es nützt.

Zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit wird eine EC-Sonde (meist Platin-beschichtet) in Wasser getaucht und eine Anzeige des Messergebnisses EC_W ist unmittelbar auf einem Display möglich. In Wasser ist dies relativ einfach weil es ein homogenes Medium ist. Für Böden ist dies leider nicht so einfach möglich; beträchtlicher Laboraufwand ist notwendig um präzise Aussagen zu Bodenleitfähigkeit und Salzbelastung zu machen. Bei landwirtschaftlichen und gärtnerischen Böden wird mit analytischen Methoden die Leitfähigkeit bestimmt, indem durch Mischen von einem definierten Volumen Boden mit einem definierten Volumen Wasser die Messung der elektrischen Leitfähigkeit in der Suspension oder einem Bodenwasser-Extrakt (mit vorheriger Filterung) erfolgt. Einzelne Länder und Behörden haben hierzu verschiedene Methoden standardisiert. Die Labor-Messwerte sind so aussagefähig, dass daraus Empfehlungen und Programme für die Bodenbehandlung abgeleitet werden können. Die Analyse wird im Allgemeinen von einem Bodenkunde durchgeführt. Obwohl die Laboregebnisse zuverlässig sind, bleibt diese Methode umständlich, zeitintensiv und damit teuer.

Als Ersatz für die Labormethode haben in den zurückliegenden Jahren verschiedene Hersteller immer wieder Sensoren auf den Markt gebracht mit denen die Leitfähigkeit direkt im Boden gemessen werden kann. Die elektrische Leitfähigkeit EC bezieht sich hierbei auf die Bulk-Electrical-Conductivity im Boden. Obwohl es einzelne reproduzierbare Ergebnisse mit diesen Sonden gab, waren die Messergebnisse zu unpräzise um daraus exakte Aussagen zur Salzbelastung des Bodens zu machen oder um Empfehlungen für die Bodenbehandlung auszusprechen. Die Einflussgrößen für elektrische EC-Sonden sind vielfältig. In die Messung der ohmschen Bulk-Electrical-Conductivity gehen ein: Temperatur, Bodenfeuchte und granuläre Boden-Zusammensetzung sowie die mechanische Dimension der EC-Sonde. Die Messung der Bulk-Electrical-Conductivity mit ohmschen EC-Sonden war bisher mehr von akademischem als praktischem Interesse.

IMKO hat diese Herausforderung aufgegriffen und hat mit den TRIME TDR-Sonden jetzt eine völlig neue und praktikable Methode zur Messung der Salzbelastung in Böden entwickelt. Durch die Verwendung von beschichteten Stäben und der volumetrischen TDR-Messung mit 1GHz von sowohl Feuchte als auch der Leitfähigkeit EC_{TRIME} kann die Salzbelastung im Boden direkt vor Ort bestimmt werden, ohne umständliche Labormethoden. Weil die präzise Messung der Bodenfeuchte für die Messung der EC so wichtig ist, gibt es für die TRIME-Sondenserie Porenwasser-Kalibrierkurven für eine Auswahl klassischer Böden um mit den Parametern Feuchte (in%) und EC_{TRIME} manuell den Salzgehalt mg/Liter (TDS) bestimmen zu können. Momentan sind diese Porenwasser-Kurven für Sand und lehmige Böden erstellt worden. Es ist geplant, im Laufe der Zeit entsprechende Feuchte/EC_{TRIME} Diagramme für Standard-Böden zu veröffentlichen bzw. zur Verfügung zu stellen. IMKO rechnet damit, dass mit ca. 4-5 Boden-Diagrammen die meisten Böden abgedeckt werden können.

EC_{TRIME} Messbereich von TRIME-Sonden PICO64, PICO32, T3-IPH und PICO-PROFILE

Alle TRIME-Sonden sind gleichlaufend basiskalibriert. Eine Bestimmung der Porenwasserleitfähigkeit EC_w (oder als TDS in mg Salz pro Liter Wasser) in Böden ermöglicht eine Überprüfung der Grenzwerte für versalzte Böden nach FAO2006 auf den spezifischen Boden.

Messbereich Conductivity für PICO64, PICO32, T3-IPH und PICO-PROFILE:

0...10dS/m EC_{TRIME} (dabei ist je nach Feuchtegehalt EC_w >20dS/m)

Alle TRIME-Sonden werden mit einer linearen EC_{TRIME} Kalibrierkurve mit zwei Punkten basiskalibriert. Dies sorgt dafür, dass sich alle TRIME-Sonden eines Sondentyps (z.B. PICO32) betreffend der EC_{TRIME} Messung gleich verhalten.

Kalibrierpunkt1: Trockene Glasperlen = 0dS/m EC_{TRIME}

Kalibrierpunkt2: gesättigte Glasperlen mit EC_w 5dS/m = 5dS/m EC_{TRIME}

Bei Kalibrierpunkt1 wird mit trockenen Glasperlen (nicht mit Luft) sichergestellt, dass der EC_{TRIME} Leitfähigkeitsbereich der TRIME-Sonde bei trockenen Böden mit 0dS/m beginnt. Dies erhöht den dynamischen Messbereich der TRIME-Sonden und erlaubt eine Messung der Porenwasser-Leitfähigkeit bzw. des Salzgehaltes auch in niedrigeren Feuchtebereichen.

Die Kalibrierung am Kalibrierpunkt2 erfolgt mit gesättigten Glasperlen welche mit Salzwasser auf eine Porenwasser-Leitfähigkeit EC_w = 5dS/m eingestellt wurde (bei 23°C).

Messung der Porenwasserleitfähigkeit bzw. des Salzgehaltes in Böden

Die mögliche Salzbelastung von Böden ist abhängig vom Bodentyp und der Pflanzenart und kann grob eingeteilt werden:

Leichte Versalzung: 1-3g Salz/Liter

Mittlere Versalzung: 3-5g Salz/Liter

Starke Versalzung: 5-10g Salz/Liter

Sehr starke Versalzung: >10 g Salz/Liter

Die Umrechnung des Salzgehaltes in Gramm Salz/Liter Wasser (TDS Total-Dissolved-Solids) in die Porenwasserleitfähigkeit EC_w geschieht über:

Salzgehalt in Gramm Salz pro Liter Wasser TDS = EC_w * 0,64

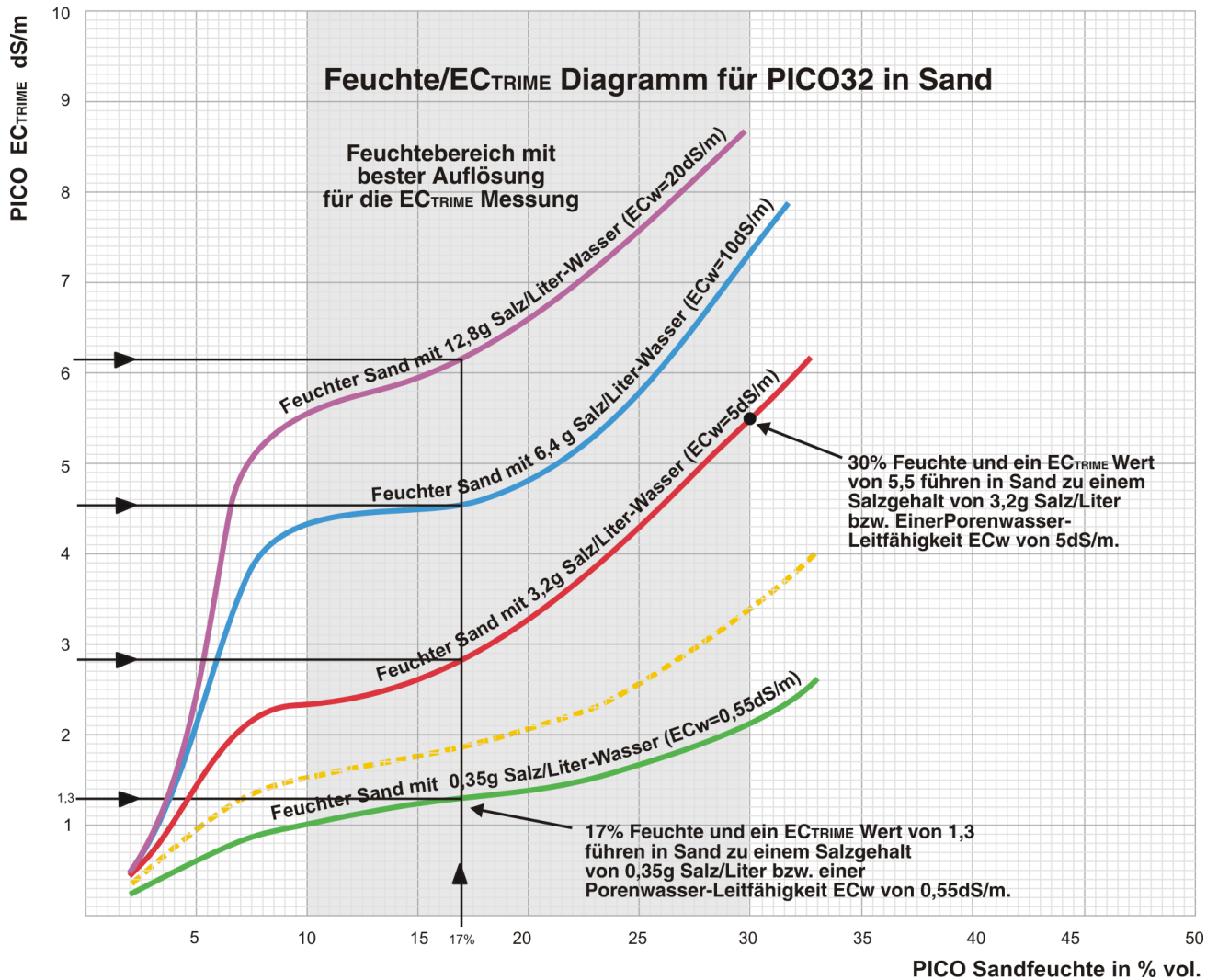
Mit EC_w = 5mS/cm ergeben sich somit 3,2 Gramm Salz pro Liter (Poren)Wasser

EC_w kann mit einem Labor-Konduktometer bestimmt werden. 1dS/m = 1mS/cm

Mit Hilfe eines Feuchte/ EC_{TRIME} Diagramms für die PICO32 bzw. PICO64 ist die Bestimmung der Porenwasserleitfähigkeit oder des Salzgehaltes für Sand und Böden bei unterschiedlichen Feuchtegehalten möglich. Mit den einzelnen Porenwasser-Kurven kann über die gemessene Bodenfeuchte in Vol.% und dem Messparameter EC_{TRIME} die Porenwasserleitfähigkeit EC_w bzw. der Salzgehalt eines Bodens in mg Salz/Liter bestimmt werden.

Die beide nachfolgend dargestellten Feuchte/ EC_{TRIME} Diagramme wurden für Sand und einen lehmigen Boden erstellt. Wir empfehlen die Erstellung eines eigenen Feuchte/ EC_{TRIME} Diagramms für den jeweils vorgesehenen Boden mit den möglichen Salzbelastungen.

Nachfolgendes Diagramm zeigt Kurvenverläufe bei der PICO32 für Sande mit unterschiedlichem Salzgehalt. Sand1 wurde mit Leitungswasser mit 0,55dS/m angemischt. Sand2 wurde mit Wasser welches eine Leitfähigkeit von 5dS/m aufweist, Sand3 mit Wasser von 10dS/m und Sand4 mit Wasser von 20dS/m, angemischt. PICO32 ermittelt bei einer Feuchte von z.B. 17% unterschiedliche EC_{TRIME} Leitfähigkeiten, je nach Porenwasserleitfähigkeit des feuchten Sandes. Der Feuchtebereich mit der besten Messwertauflösung für die EC_{TRIME} Messung liegt je nach Salzgehalt zwischen 10% und 30%.



Die Bestimmung des Salzgehaltes über die Feuchte und EC_{TRIME}

Mit den beiden Parametern Feuchte und EC_{TRIME} kann der Salzgehalt in Sanden bestimmt werden, indem man mit der Feuchte von der X-Achse senkrecht in das Diagramm nach oben geht, sowie mit EC_{TRIME} auf der Y-Achse waagrecht nach rechts in das Diagramm geht.

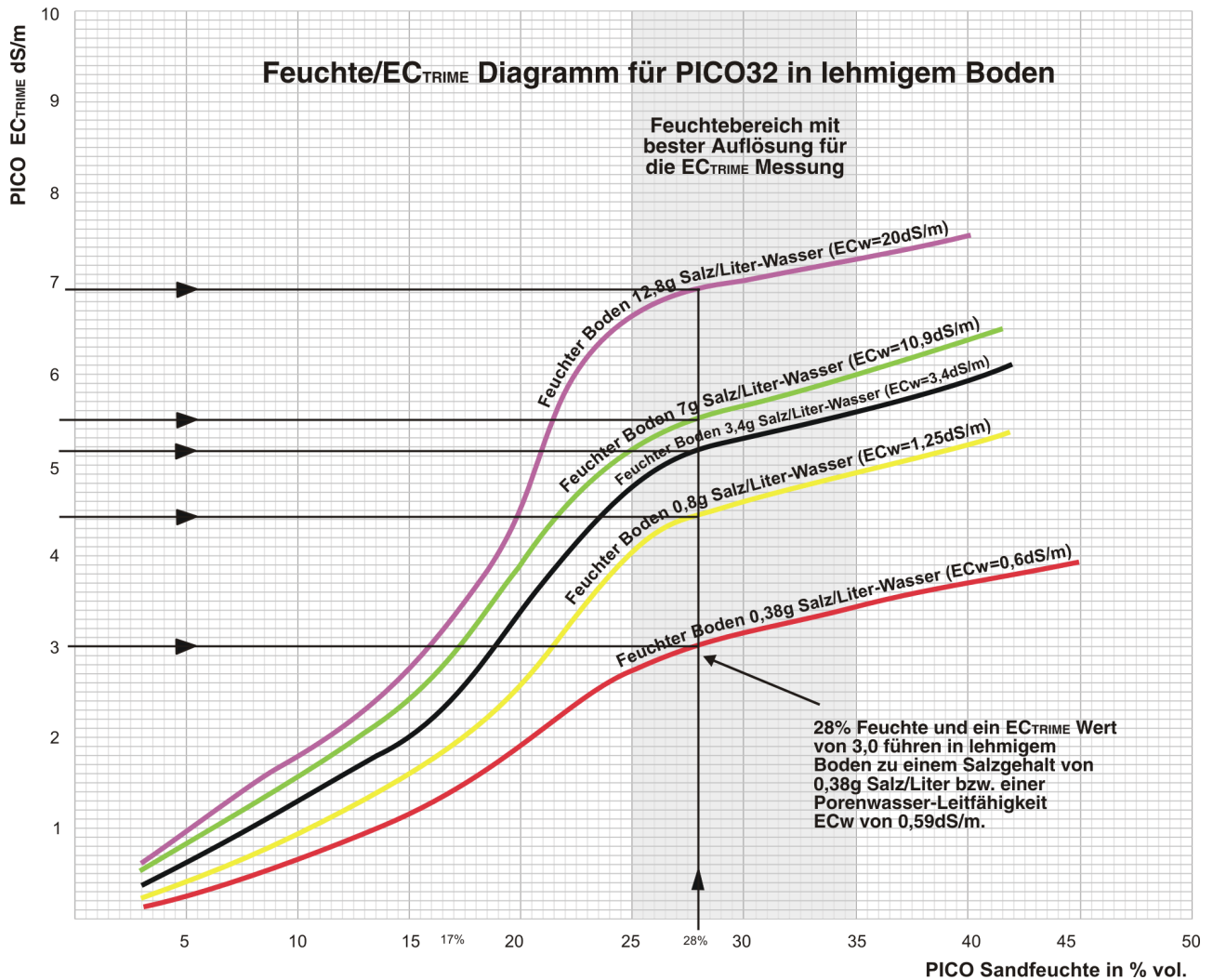
Der Schnittpunkt von Feuchte und EC_{TRIME} führt zum Salzgehalt EC_w im Sand-Diagramm.

Bei z.B. 17% Feuchte und einem EC_{TRIME} von 4,6dS/m liegt der Schnittpunkt auf der blauen Kurve,

was einem Salzgehalt von 6,4g Salz pro Liter Wasser im Boden entspricht. Bei z.B. 30% Feuchte und einem EC_{TRIME} von 5,5dS/m wäre der Salzgehalt 3,2g Salz pro Liter Wasser im Boden.

In diesem Sand-Diagramm sind vier Porenwasser-Kurven abgebildet. Bei Schnittpunkten welche zwischen diesen vier Kurven liegen (z.B. gelbe Kurve), muss das Ergebnis betreffend des Salzgehaltes interpoliert werden.

Nachfolgendes Diagramm zeigt einen Kurvenverlauf von EC_{TRIME} bei der PICO32 für einen lehmigen Boden mit unterschiedlichen Salzgehalten. PICO32 ermittelt bei einer Feuchte von z.B. 28% unterschiedliche EC_{TRIME} Leitfähigkeiten, je nach Porenwasserleitfähigkeit des feuchten lehmigen Bodens. Der Feuchtebereich mit der besten Messwertauflösung für die EC_{TRIME} Messung liegt bei lehmigen Böden zwischen 25% und 35%.



Auch hier führt der Schnittpunkt von Feuchte und EC_{TRIME} zum Salzgehalt EC_w im Boden-Diagramm.

Erstellung eines Feuchte/ EC_{TRIME} Diagramms für einen speziellen Boden

Nachfolgende Beschreibung zeigt eine mögliche Vorgehensweise zur Erstellung von Feuchte/ EC_{TRIME} Porenwasser-Kurven für einen speziellen Boden:

1. Bodenprobe entnehmen und mit einem Laborverfahren den Salzgehalt bestimmen. (z.B. EC_w vom Sättigungswasser bestimmen).
2. Die Bodenprobe komplett durchtrocknen auf 0% Feuchte. Danach den Boden so zerkleinern bzw. zermahlen, dass er von Hand möglichst gleichmäßig angefeuchtet werden kann (z.B. mit einem Wasserzerstäuber).
3. Mit einer Porenwasserlösung von z.B. 2,56 g Salz/Liter (entspricht EC_w von 4mS/cm) den Boden auf den ersten Feuchte-Messpunkt z.B. 5% gleichmäßig anfeuchten. Beim Salzgehalt ist der bereits im Boden enthaltene Salzgehalt zu berücksichtigen. D.h. wären im Boden bereits 1g Salz/Liter enthalten, würde man eine Kurve für eine Porenwasser-Leitfähigkeit von 2,56g + 1g = 3,56g Salz/Liter bzw. 5,5dS/m aufnehmen.
In einem Gefäß (kein Metall und nicht zu klein!) den Boden so verdichten, dass es der natürlichen Dichte weitgehend entspricht. Beim Einstechen der PICO-Sonde zur Feuchtemessung ist es zu empfehlen, mehrere Messungen pro Feuchtepunkt durchzuführen um daraus einen Mittelwert jeweils für Feuchte und EC_{TRIME} zu bilden. Es ist darauf zu achten, dass das Messfeld um die Stäbe herum nicht gestört wird, z.B. durch vorhergehende Einstiche.
4. Den Boden möglichst homogen mit der Porenwasserlösung $EC_w=4mS/cm$ weiter anfeuchten auf z.B. 8% Feuchte. Erneut in einem Gefäß den Boden so verdichten, dass es der natürlichen Dichte weitgehend entspricht. Beim Einstechen der PICO-Sonde ist es zu empfehlen, mehrere Messungen pro Feuchtepunkt durchzuführen um daraus einen Mittelwert jeweils für Feuchte und EC_{TRIME} zu bilden. Es ist darauf zu achten, dass das Messfeld um die Stäbe herum nicht gestört wird, z.B. durch vorhergehende Einstiche.
5. Mehrere Feuchte- und EC_{TRIME} Werte bis zur Bodensättigung aufnehmen.
6. Mit den aufgenommenen Feuchte- und EC_{TRIME} Werten die Porenwasser-Kurve für z.B. 3,56g Salz/Liter bzw. $EC_w=5,5dS/m$ erstellen.
7. Mit unterschiedlichen Porenwasserlösungen mehrere Kurven aufnehmen.

Falls die Bodenprobe bereits zu stark mit Salz belastet ist, wäre ein Auswaschen der Ionenanteile denkbar, allerdings ohne dass Feinanteile verloren gehen. Nach einem nachträglichen Durchtrocknen und Zerkleinern des Bodens kann die Feuchte/ EC_{TRIME} Kurve mit einem geringeren Salzgehalt aufgenommen werden. Wird der Boden mit Leitungswasser mit z.B. 0,32g Salz/Liter gewaschen, dann könnte damit die unterste Kurve im Feuchte/ EC_{TRIME} Diagramm erstellt werden, wenn beim Anfeuchten destilliertes Wasser verwendet wird.

Anmerkung: Der Aufwand für ein Feuchte/ EC_{TRIME} Diagramm ist nicht unerheblich. IMKO hat die Hoffnung, dass mit dem Feuchte/ EC_{TRIME} Verfahren im Vergleich mit Labormethoden, eine einfachere, schnellere, bessere und allgemein akzeptierte Bestimmung der Salzbelastung von Böden möglich ist.

Es ist geplant, im Laufe der Zeit entsprechende Feuchte/ EC_{TRIME} Diagramme für Standard-Böden zu veröffentlichen bzw. zur Verfügung zu stellen. Wir rechnen damit, dass mit ca. 4-5 Diagrammen die meisten Böden abgedeckt werden können.