THE GLOBE PROGRAM
A Worldwide Science and Education Program

GLOBE
@University of Cologne

GLOBE Pedosphären-Untersuchung

Messung der Bodenfeuchte (SMAP)

Universität zu Köln | Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät | **Bodenfeuchte (SMAP)** | Bearbeitung vom 16.10.18

Übersicht und Lernziele

Dieses Modul beschreibt die…

- Auswahl eines Standortes zur Untersuchung der Bodenfeuchte.
- Vorgehensweise bei der Durchführung der Untersuchung.
- Kalibrierung der erforderlichen Instrumente.
- im GLOBE-Protokolle angewandten Methoden.

Nach der Bearbeitung kann man…

- die Bodenfeuchte gemäß der GLOBE Protokolle messen.
- das Vorgehen bei der Probennahme beschreiben.
- Daten in die GLOBE-Datenbank übertragen und veranschaulichen.

Bodenfeuchte

Der Boden verhält sich wie ein Schwamm, der sich über große Teile der Landoberfläche erstreckt. Er nimmt Regen und Schneeschmelze auf, beeinflusst den Abfluss und hilft Überschwemmungen zu kontrollieren.

Das absorbierte Wasser wird an der Oberfläche der Bodenpartikel sowie in deren Zwischenräumen gehalten. Dort steht es Pflanzen in Zeiten geringerer Niederschläge zur Verfügung. Ein Teil des Bodenwassers gelangt durch Verdunstung wieder in die Atmosphäre, ein anderer gelangt ins Grundwasser.

Der Soil Moisture Active Passive (SMAP) Satellit

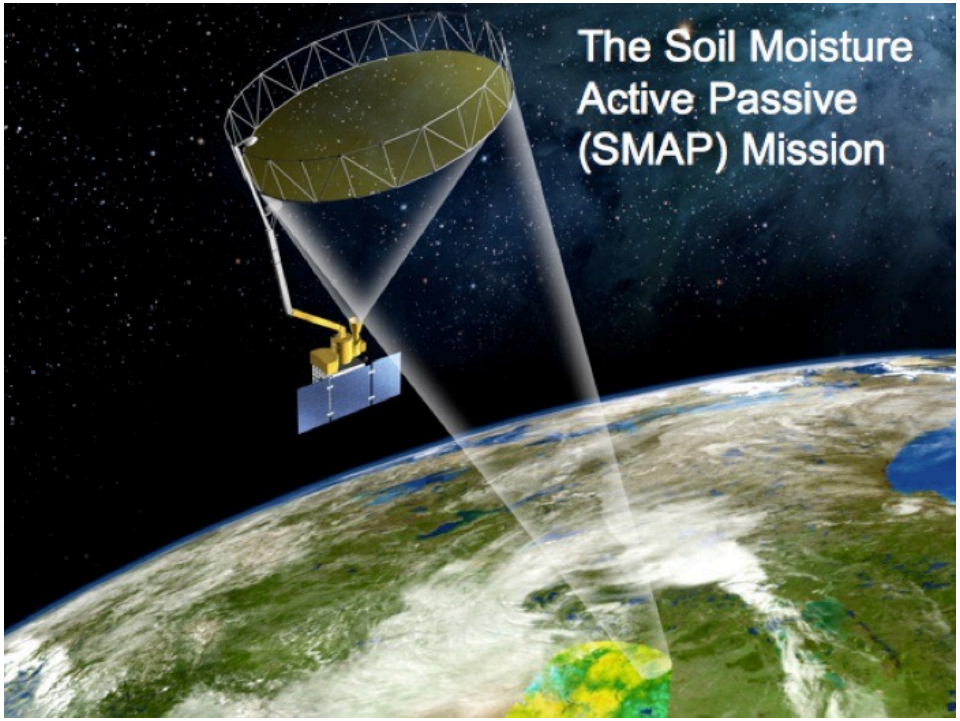


Bild: NASA

Im Abstand von 3 Tagen erstellt der SMAP Satellit eine weltweite Karte der Bodenfeuchte. Dabei wird die volumetrische Bodenfeuchte der oberen 5 cm des Bodens. Mit Hilfe des GLOBE SMAP-Protokolls lassen sich die Messdaten des Satelliten über *in situ* (vor Ort) Messungen überprüfen.

Benötigte Materialien

- Eine **Wärmelampe** (Dauertemperatur von 60 – 90 °C für 2 oder 3 Tage) oder eine **Wärmebrücke** (250-Watt-Infrarotlampe)
- (Idealerweise wird ein **Trocknungsofen** verwendet)
- Eine **Waage** mit einer Genauigkeit von 0,1 g und einem Messbereich bis 600 g
- Verschließbare **Plastikbeutel**
- **Probendosen** mit einer Höhe von 5 cm (z. B. eine leere und saubere Tunfisch-, Katzenfutter- oder Ananasdose ohne Abziehlasche).
- **Plastikfolie** und **Gummibänder**, um die Dose luftdicht zu verschließen
- Einen **Messzylinder** (mind. 100 ml; empfohlen: 500 ml)
- **Spaten/Schaufel**
- **GPS-Gerät**
- Ein **Zollstock**, sowie ein **Lineal** mit Millimeterangabe
- **Permanent Marker** zur Beschriftung der Plastikbeutel und Dosen

Zeitpunkt für eine Bodenfeuchtemessung

- Längen- und Breitengrad des gewählten Standorts werden bestimmt.
- Der exakte Zeitpunkt des Überfluges durch den SMAP-Satelliten kann mit dem SMAP Overflight Tool herausgefunden werden.
- Für Messungen kommen alle Tage in Frage, an denen der Satellit morgens den gewählten Untersuchungsstandort überfliegt.
- Auf dieser Grundlage lässt sich ein Probenplan erstellen.
- Die Probennahme sollte möglichst um 06.00 Uhr Ortszeit (± 3 Stunden) erfolgen.

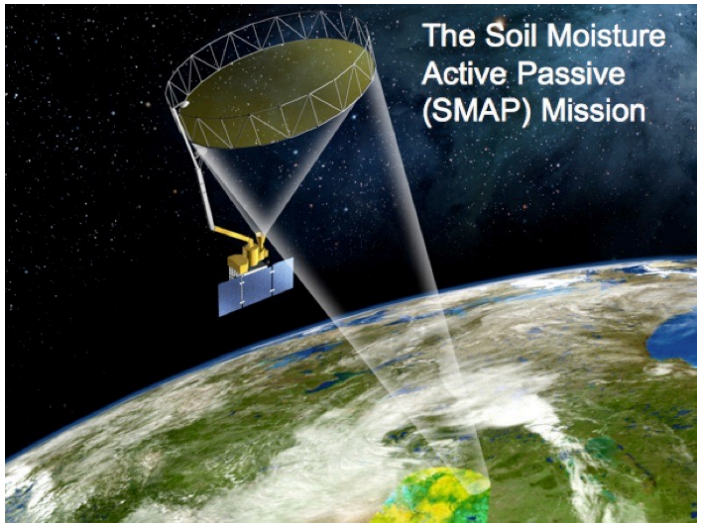


Bild: NASA

TIPP

SMAP fliegt in einer Umlaufbahn mit einem 8-tägigen Wiederholungsmuster.

Kalibrieren der Waage

- Die Waage muss gemäß den Angaben des Herstellers kalibriert werden. Alternativ kann hierzu ein Vergleichsgewicht verwendet werden, wobei auftretende Abweichungen notiert werden müssen.
- Bei einer digitalen Waage ist zunächst darauf zu achten, dass diese auf Null gesetzt wurde (Tara-Funktion) und die Messung in Gramm erfolgt.

Vorbereitung der Probendosen

- Zunächst muss die Masse der Behälter ermittelt werden. Bei einer verschließbaren Dose erfolgt die Messung ohne Verschlusskappe.

- Die Behälter werden beschriftet mit…
  - der Masse des Behälters und
  - einer eindeutigen ID-Nummer.

- Plastikbeutel werden beschriftet mit…
  - dem Datum,
  - der Uhrzeit und
  - der Probennummer.

- Die Masse des Behälters wird mit einer Genauigkeit von 0,1 g in der Data Entry App unter der Rubrik *„Empty Container Mass“* eingetragen.

Vorbereitung der Probendosen

- Auf der GLOBE-Homepage gibt es ein Diskussionsforum zu SMAP.
- Der Kopfbereich des Datenblattes kann bereits ausgefüllt werden.
- Mit einer Markierung am Blatt der Schaufel kann verhindert werden, dass diese bei der Probennahme tiefer als 5 cm eingestochen wird.
- Es werden folgende Materialien benötigt:
  - Beschriftete Dosen und Deckel oder Plastikfolie & Gummibänder
  - Zollstock oder Maßband
  - GPS-Gerät oder Smartphone mit GPS App
  - Smartphone mit GLOBE Data Entry App oder Bodenfeuchte Datenblatt
  - Markierungshilfen zum Abstecken des Untersuchungsfeldes

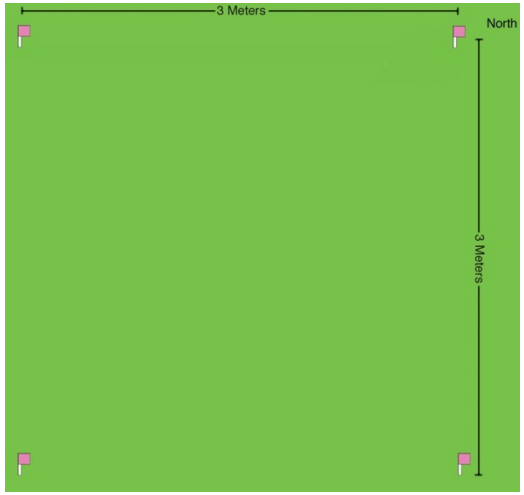
TIPP

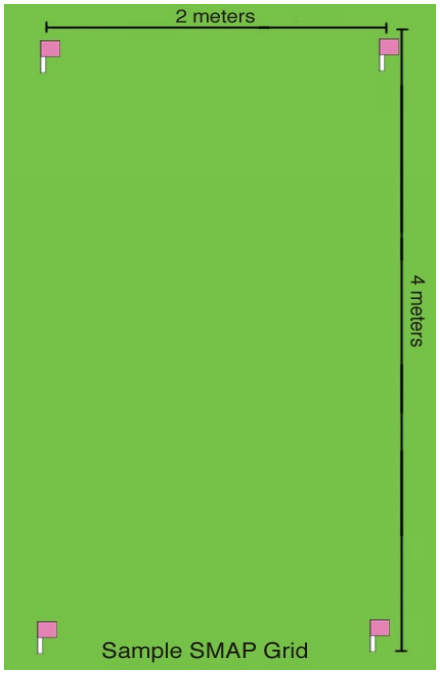
Für eine konsistente Messung ist es wichtig die Probennahme möglichst zur selben Zeit an den Messtagen durchzuführen. Eine Probennahme nach 09.00 Uhr ist zu vermeiden.

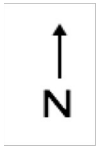
Wahl des Messstandortes

Bei der Standortwahl ist zu beachten, dass innerhalb des Messjahres genügend Proben im Abstand von 25 cm entnommen werden können. Weiterhin sollte der Standort…

- flach sein.
- eine gleichmäßige Oberflächenbedeckung aufweisen.
- nicht von Bäumen oder größeren Pflanzen bedeckt sein.
- möglichst frei von Steinen sein.
- keine bewässerte Fläche sein.

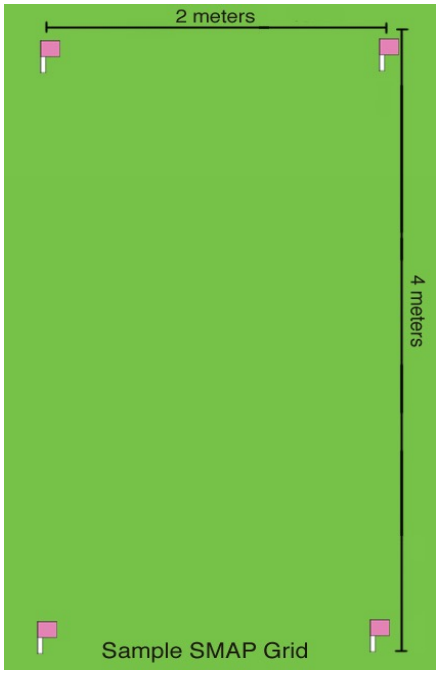


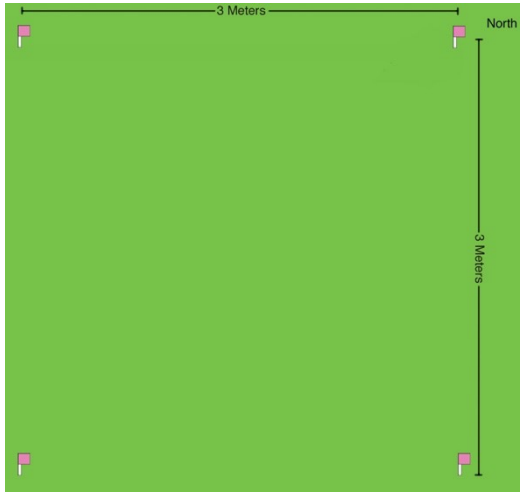


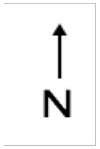


Blockraster

- Für das Blockraster zur Probennahme wird eine Fläche von 3 m auf 3 m empfohlen.
- Grundsätzlich ist jede rechteckige Fläche für das Blockraster geeignet, solange die Oberfläche möglichst gleichmäßig ist.







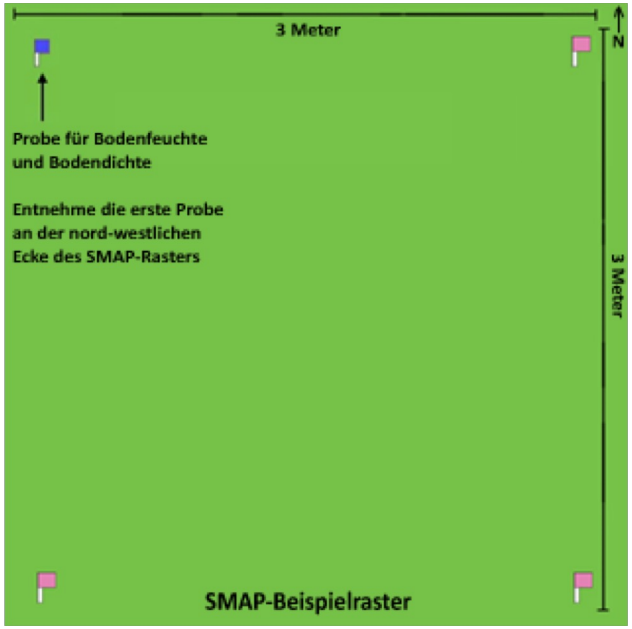
Schema eines SMAP Blockrasters für die Entnahme von Bodenproben

Anlegen des Blockrasters

- Mit einem Zollstock oder einem Maßband werden die Seiten des Rasters festgelegt.
- Die vier Eckpunkte des Rasters werden mit Markierungshilfen gekennzeichnet.

Probennahme

- Bei der ersten und bei jeder zehnten Messung wird zusätzlich zur Bodenfeuchteprobe eine Probe zur Bestimmung der Bodendichte entnommen.
- Die genaue Beschreibung wird in den darauffolgenden Folien gezeigt.
- **Hinweis**: Die erste Probe sollte in der nordwestlichen Ecke des Blockrasters entnommen werden.



Vorbereitung der Probennahme

- Zunächst müssen die Bodenvegetation bzw. das Gras an der Stelle der Probennahme entfernt werden.

Probennahme mit einem Stechzylinder

- Der Stechzylinder wird vollständig in den Boden gedrückt, so dass er mit der Bodenoberfläche bündig abschließt.
- Bei festem Boden kann ein Holzblock auf den Stechzylinder gelegt werden, um diesen mit einem Hammer in die Erde einzuschlagen.
- Um ein Verbiegen des Stechzylinders zu verhindern sollte jedoch nach Möglichkeit eine Probennahme mit Schaufel und Plastiktüte erfolgen, sobald der Boden aufgeweicht ist.

Entnahme des Stechzylinders

- Der Stechzylinder wird mitsamt der umgebenden Erde mit einer Schaufel ausgehoben.
- Um kein Probenmaterial zu verlieren, muss das Schaufelblatt unter den Stechzylinder gelangen.
- Überschüssige Erde wird auf Höhe des Dosenrandes abgestreift.
- Proben mit Steinen oder sonstige größeren Fremdkörpern sind ungeeignet und müssen wiederholt werden.
- Das Volumen der Probe muss mit dem der Dose übereinstimmen. Die Überschüssige Erde an der Außenseite des Stechzylinders muss entfernt werden.

Versiegelung der Bodenproben

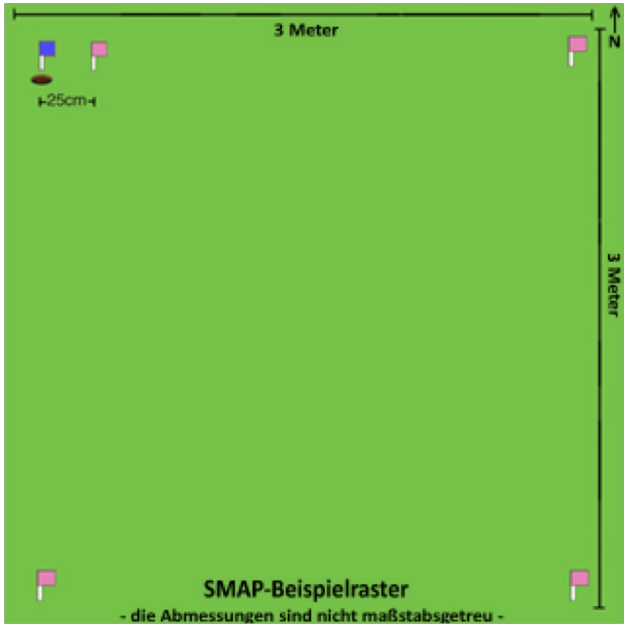
- Die beschriftete Probendose muss mit einem Deckel oder einem wasserdichten Material abgedeckt werden.
- Danach kann die Bodenprobe im Labor gewogen und der Trocknungsvorgang begonnen werden.

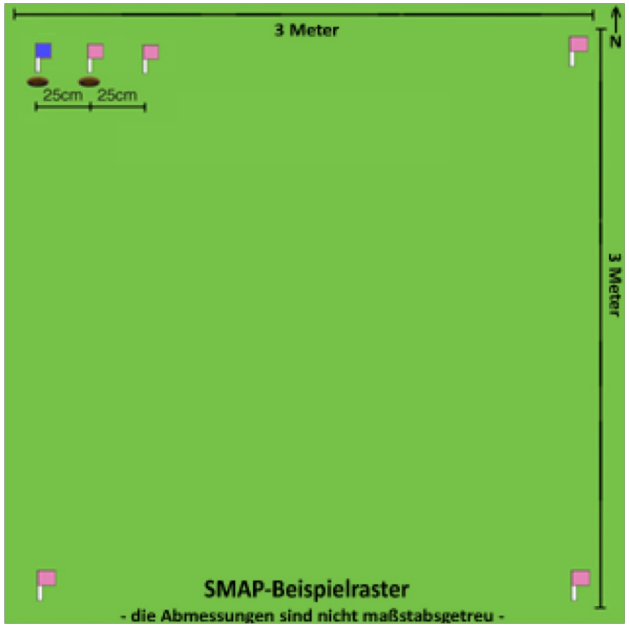
Vorgehen bei den fortlaufenden Probennahmen

- Der Boden wird aufgelockert, indem die Schaufel 5 cm tief eingestochen wird.
- Steine, die größer sind als eine Erbse (über 5 mm), große Wurzeln, Würmer, Larven und andere Tiere müssen entfernt werden.
- Die Erde wird in einen bereits verschließbaren, beschrifteten Plastikbeutel gefüllt.
- Der Beutel wird verschlossen.

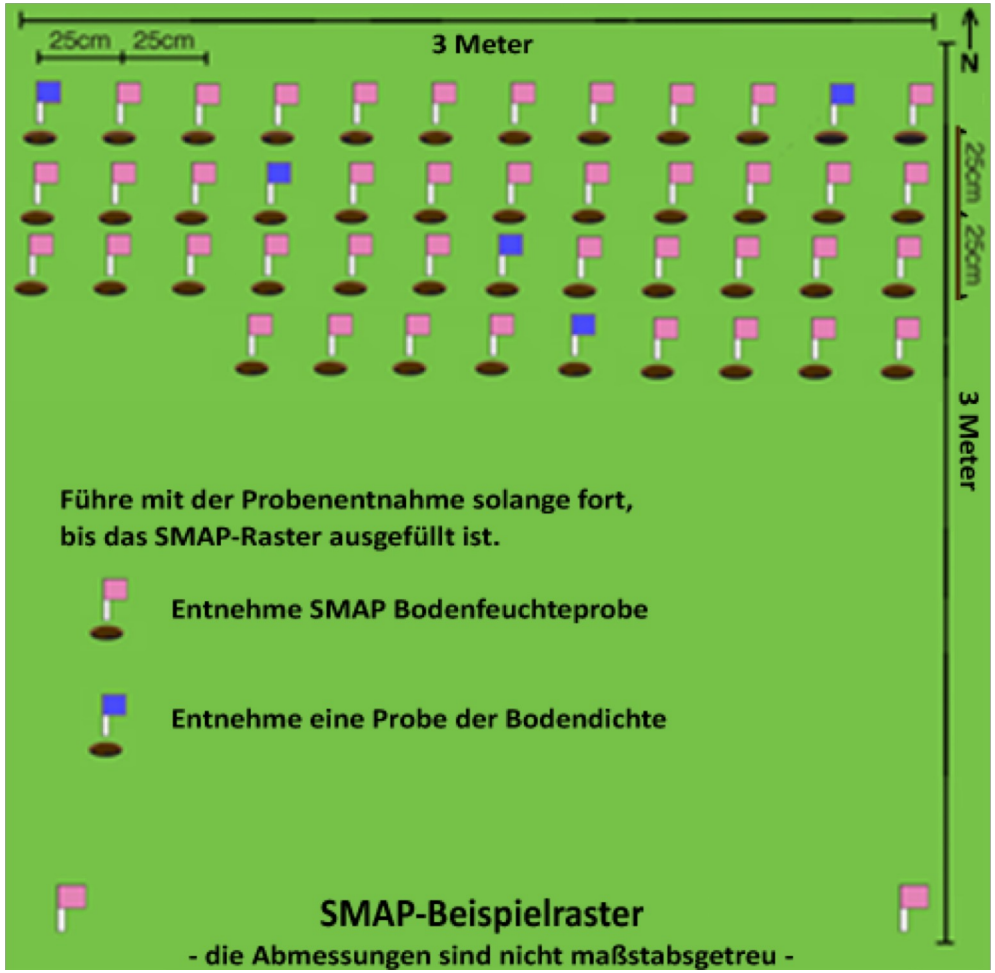
Verteilung der Bodenproben

- Beim nächsten Überflug des SMAP Satelliten wird die Bodenprobe in einem Abstand von 25 cm von der vorherigen entnommen.
- Im Zeitraum eines Jahres sollten die Bodenproben nicht näher als 25 cm nebeneinander liegen.





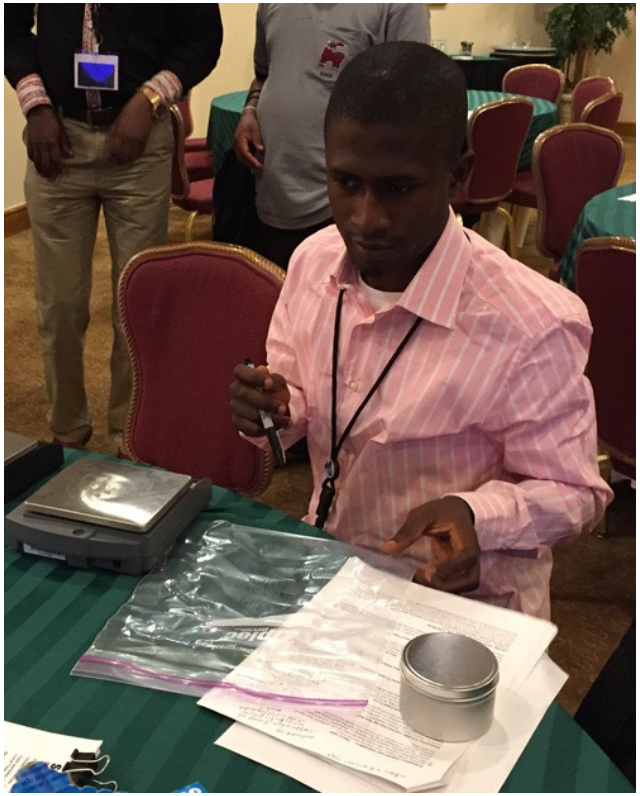
Beispielhafte Darstellung eines SMAP Blockrasters



Arbeitsschritte im Labor

Laboranweisungen

- Zur Bestimmung der gravimetrischen und volumetrischen Bodenfeuchte sind die nachfolgenden Schritte notwendig.



Benötigte Materialien

- Ein **Trocknungsofen** oder eine **Wärmelampe**
- **Thermometer**, dessen Messbereich 105 °C abdeckt (sofern ein Trocknungsofen genutzt wird)
- Bodenproben, in einem **wärmebeständigen Behälter**
- **Waage** mit einer Genauigkeit von 0,1 g und einem Messbereich bis 400 g (empfohlen bis 600 g)
- **Ofenhandschuhe**
- **GLOBE Data Entry App** oder **Bodenfeuchte Datenblatt** – SMAP Block Muster
- Permanent **Marker**

Trocknung einer Bodenprobe in einer Dose

Folgendes ist beim Trocknen mit einer **Wärmelampe** zu beachten:

Ein verschließbarer Beutel muss beschriftet werden mit…

- der leeren Masse des Beutels,
- der Probennummer,
- dem Datum der Probennahme,
- der Bezeichnung des Entnahmestandortes.

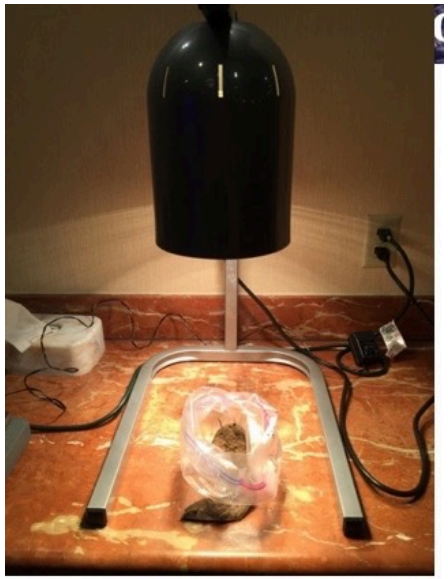
Die Abdeckung der Probendose muss entfernt und der Inhalt umgehend in den beschrifteten Beutel gegeben werden. **Die Probe muss vollständig umgefüllt werden**.

Bestimmung der feuchten Masse

- Danach wird die Probe im Beutel auf einer kalibrierten Waage gewogen.
- Die Masse wird mit einer Genauigkeit von 0,1 g als *feuchte Masse* in das dazu vorgesehene Feld in der Data Entry App bzw. auf dem Datenblatt übertragen.

Trocknung der Bodenproben

- Beim Öffnen des Probenbeutels werden die Ränder umgeschlagen, um eine möglichst große Öffnung zu schaffen.
- Falls die Bodenprobe klumpig ist, muss diese vorsichtig von außen mit der Hand gelockert werden. Die Erde darf nicht mit der Hand berührt werden.
- Der geöffnete Beutel wird 20 – 40 cm unterhalb der 250-Watt Wärmelampe platziert, um die Trocknung zu beginnen.
- Es sollten unbedingt Topflappen oder Ofenhandschuhe getragen werden, um Verbrennungen zu vermeiden.
- Nach 2 – 3 Tagen wird die Probe erneut gewogen.



Ausgangsmasse: 146,3 g

Überprüfung des Trocknungsprozesses

- Um sicher zu gehen, dass das Wasser vollständig verdampft ist, sollte die Probe nochmals für mindestens zwei Stunden getrocknet und anschließend gewogen werden.
- Sofern sich beim Wiegen eine Veränderung von mehr als 0,3 g ergibt, ist der Trocknungsprozess noch nicht vollständig abgeschlossen.
- Die Trocknung der Probe muss solange wiederholt werden, bis die Veränderung weniger als 0,3 g beträgt.
- Erst dann ist der Trocknungsprozess abgeschlossen.

Dichte der Bodenproben

- Bei Verfügbarkeit eines Trocknungsofens sollte die Probennahme und die Trocknung mit Hilfe von Stechzylindern erfolgen.
- Die Bodendichte wird mit jeder zehnten Probennahme bestimmt. Dabei wird ein Stechzylinder verwendet, während es bei allen anderen Messungen genügt, die Probe in einen verschließbaren Beutel zu geben.

Die Bestimmung der Masse einer noch feuchten Probe erfolgt mit einer Genauigkeit von 0,1 g

Feuchte Masse: 398,0 g

Die Trocknung der Probe erfolgt gemäß des Protokolls

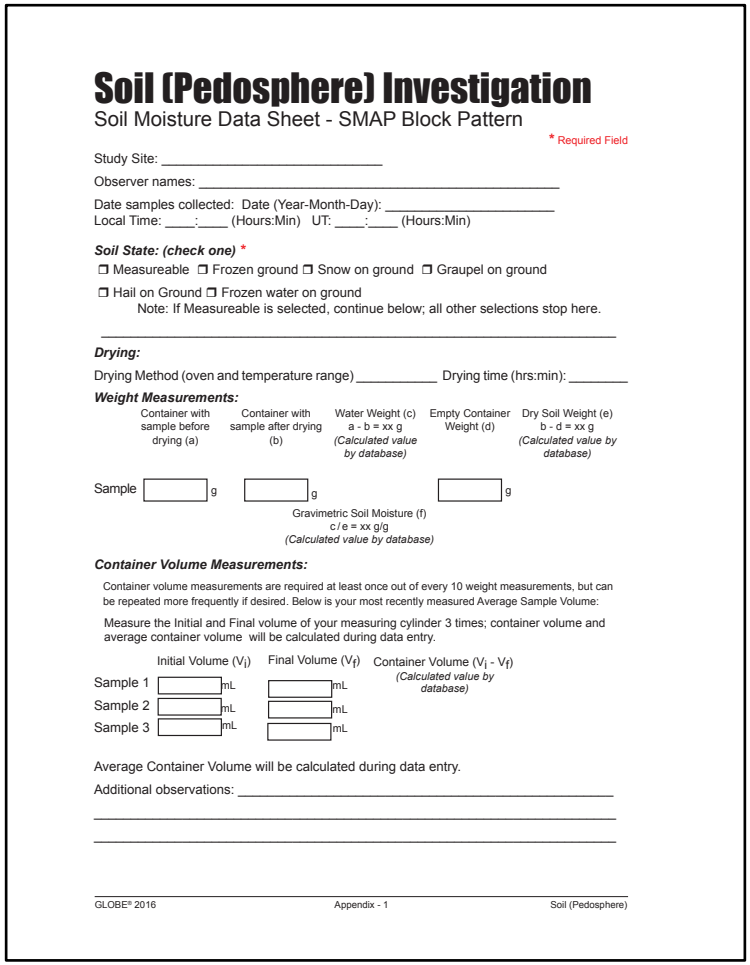
Die Masse der getrockneten Probe erfolgt mit einer Genauigkeit von 0,1 g

Trockenmasse: 348,0 g

Angaben auf dem Datenblatt

Nach dem Trocknungsprozess werden die folgenden Informationen auf dem Datenblatt (bzw. direkt in der Data Entry App) erfasst:

- Trocknungsdauer und -methode
- Trockenmasse und zugehörige Behälternummer
- Masse des verschließbaren Beutels



Soil (Pedosphere) Investigation

Soil Moisture Data Sheet - SMAP Block Pattern

* Required Field

Study Site: _____

Observer names: _____

Date samples collected: Date (Year-Month-Day): _____
Local Time: ____:____ (Hours:Min) UT: ____:____ (Hours:Min)

Soil State: (check one) *

❒ Measureable ❒ Frozen ground ❒ Snow on ground ❒ Graupel on ground

❒ Hail on Ground ❒ Frozen water on ground
Note: If Measureable is selected, continue below; all other selections stop here.

Drying:

Drying Method (oven and temperature range) _____ Drying time (hrs:min): _____

Weight Measurements:

	Container with sample before drying (a)	Container with sample after drying (b)	Water Weight (c) a - b = xx g *(Calculated value by database)*	Empty Container Weight (d)	Dry Soil Weight (e) b - d = xx g *(Calculated value by database)*
Sample	____ g	____ g		____ g	

Gravimetric Soil Moisture (f)
c / e = xx g/g
(Calculated value by database)

Container Volume Measurements:

Container volume measurements are required at least once out of every 10 weight measurements, but can be repeated more frequently if desired. Below is your most recently measured Average Sample Volume:

Measure the Initial and Final volume of your measuring cylinder 3 times; container volume and average container volume will be calculated during data entry.

	Initial Volume (V_i)	Final Volume (V_f)	Container Volume (V_i - V_f) *(Calculated value by database)*
Sample 1	____ mL	____ mL	
Sample 2	____ mL	____ mL	
Sample 3	____ mL	____ mL	

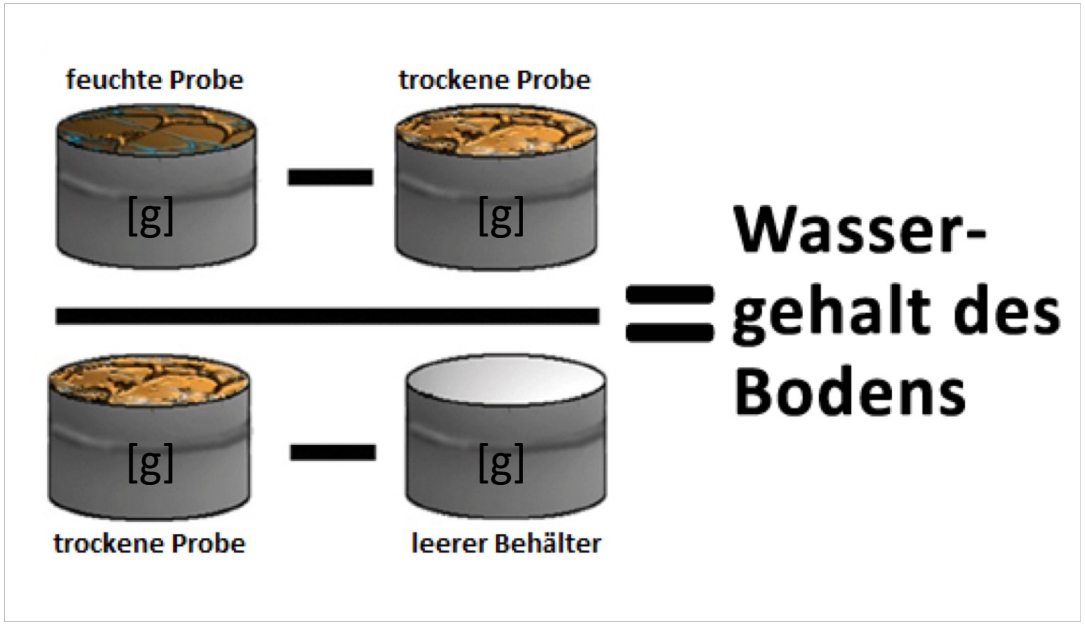
Average Container Volume will be calculated during data entry.

Additional observations: _____

GLOBE® 2016 Appendix - 1 Soil (Pedosphere)

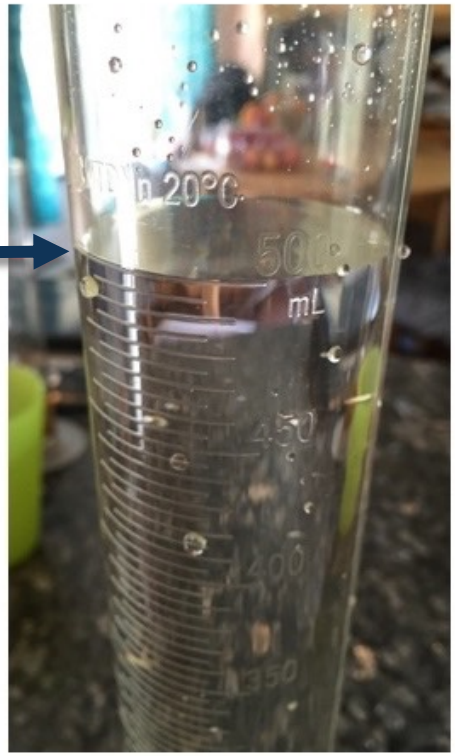
Berechnung des gravimetrischen Bodenwassergehalts

Mit nachfolgender Formel wird die gravimetrische Bodenfeuchte berechnet.



Befüllen des Messzylinders

- Nachdem die Bodenprobe aus der Dose umgefüllt, getrocknet, gewogen und geleert wurde, soll mit Hilfe eines wassergefüllten Messzylinder das Volumen der Probendose bestimmt werden.
- Die Messung soll 3-mal durchgeführt werden
- Das Wasservolumen wird am unteren Rand des Meniskus abgelesen.
- Der Rand des Messzylinders wird getrocknet, damit kein Wasser in die Dose gelangt, das bei der Volumenmessung nicht berücksichtigt wurde.
- Das ursprüngliche Volumen wird notiert.

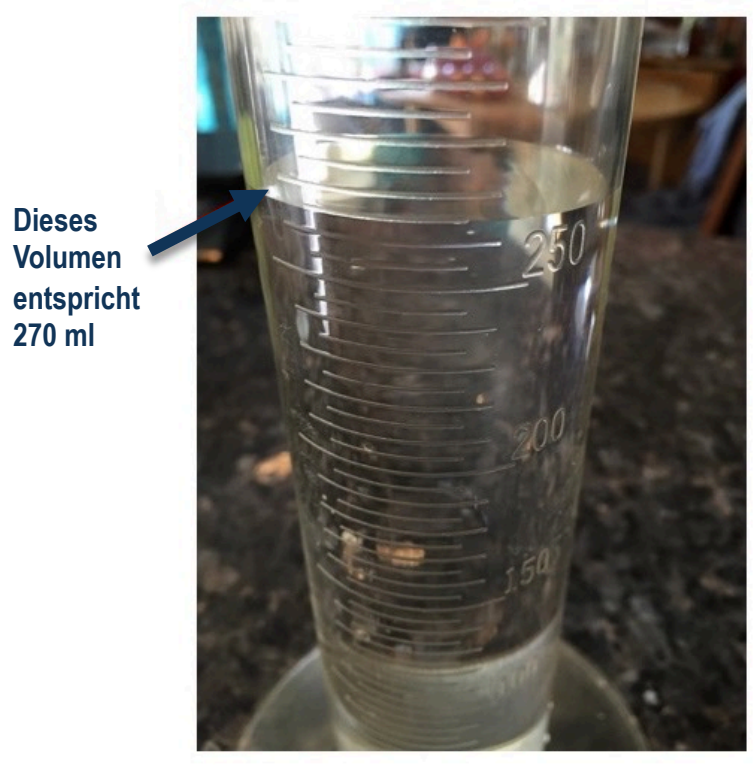


Befüllen der Probendose

- Die Probendose muss auf einer ebenen Fläche stehen.
- Der Dosenrand darf nicht verbeult sein, damit das Wasser eine flache Oberfläche bilden kann.
- Die Dose wird bis zum Rand mit Wasser befüllt.

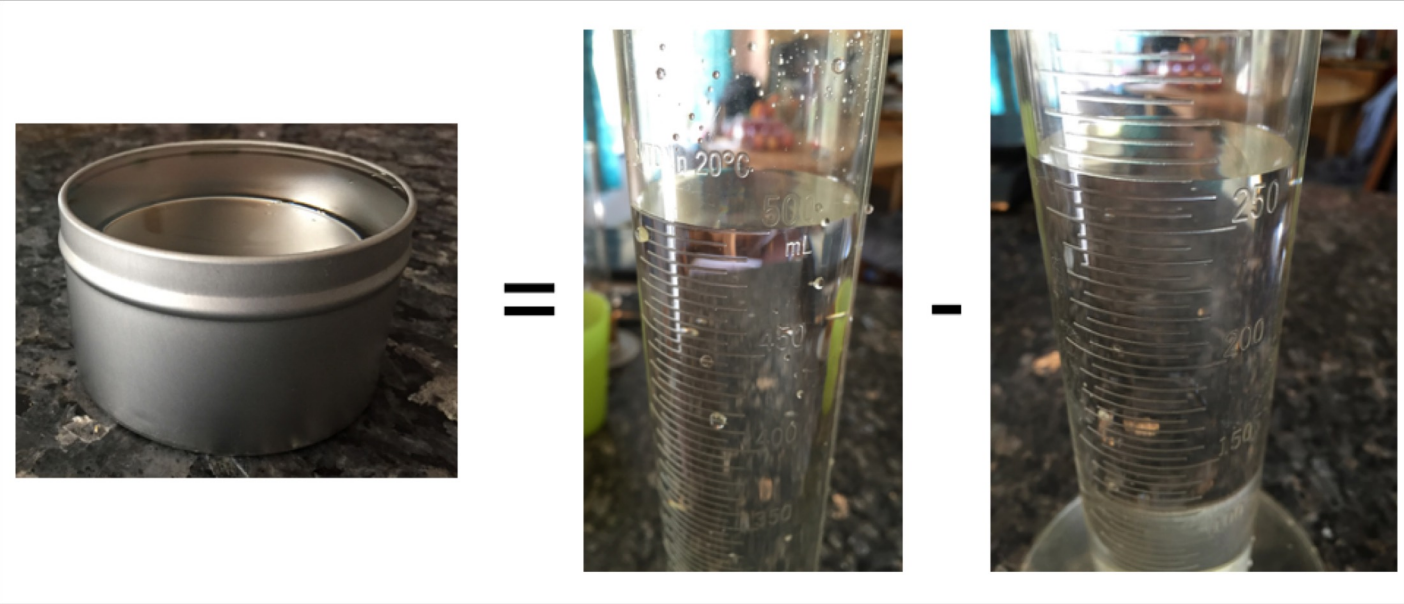
Ablesen des Endvolumens

- Das verringerte Volumen im Messzylinder wird als Endvolumen V_{End} notiert.
- Ist das Volumen des Messzylinders geringer als das der Probendose, so reicht das Wasser nicht vollständig zum befüllen der Dose aus. In diesem Fall wird zunächst der Messzylinder befüllt und die Füllmenge notiert. Nach dem Umfüllen des Wassers in die Probendose wird der vorherige Schritt wiederholt. Sobald die Dose vollständig befüllt ist, kann das Volumen des im Messzylinder verbliebenen Wassers als V_{End} abgelesen werden.
- Das Ausgangsvolumen V_{Aus} ist die Summe aus allen anfänglichen Wasservolumina, mit denen der Messzylinder befüllt wurde.



Berechnung des Dosenvolumens

Das Volumen dieser Probendose ist $\mathbf{500\ ml\ - 270\ ml = 230\ ml}$



- Es gilt die Formel $V_{Dose} = V_{Aus} - V_{End}$
- Falls der Messzylinder 2-mal befüllt wurde, gilt $V_{Dose} = V_1 + V_2 - V_{End}$
- Falls der Messzylinder 3-mal befüllt wurde, gilt $V_{Dose} = V_1 + V_2 + V_3 - V_{End}$

Berechnung der Bodenprobendichte

Das Volumen der Probendose ergibt sich aus dem Mittelwert der drei Volumenmessungen:

$$\bar{V} = \frac{1}{3} \cdot (V_{Dose\ 1} + V_{Dose\ 2} + V_{Dose\ 3})$$

Die Bodenprobendichte ist die Trockenmasse des Bodens geteilt durch das Volumen der Probe:

$$Bodenprobendichte = \frac{M_{Trocken} - M_{Behälter}}{\bar{V}} \quad \left[{}^{g}/_{ml}\right]$$

Hinweis: $1\ ml\ =\ 1\ cm^3$, daher kann die Einheit auch als $[g/cm^3]$ angeben werden.

„Bodenprobendichte“ wird in GLOBE dafür genutzt, um diese von der „Bodendichte“ („*Bulk Density*“) gemäß des Bodendichteprotokolls zu unterscheiden.

Berechnung des volumetrischen Wassergehalts

SMAP misst den volumetrischen Wassergehalt. Daher müssen die gravimetrischen Werte umgerechnet werden, um diese mit den Satellitendaten vergleichen zu können.

$$Volumetrische\ Bodenfeuchte = \frac{V_{Wasser}}{V_{Boden}}$$

Die Dichte von Wasser beträgt annähernd $1\ {}^{g}/_{ml}$.

$$V_{Wasser} = \frac{Masse_{Wasser}}{Dichte_{Wasser}}$$

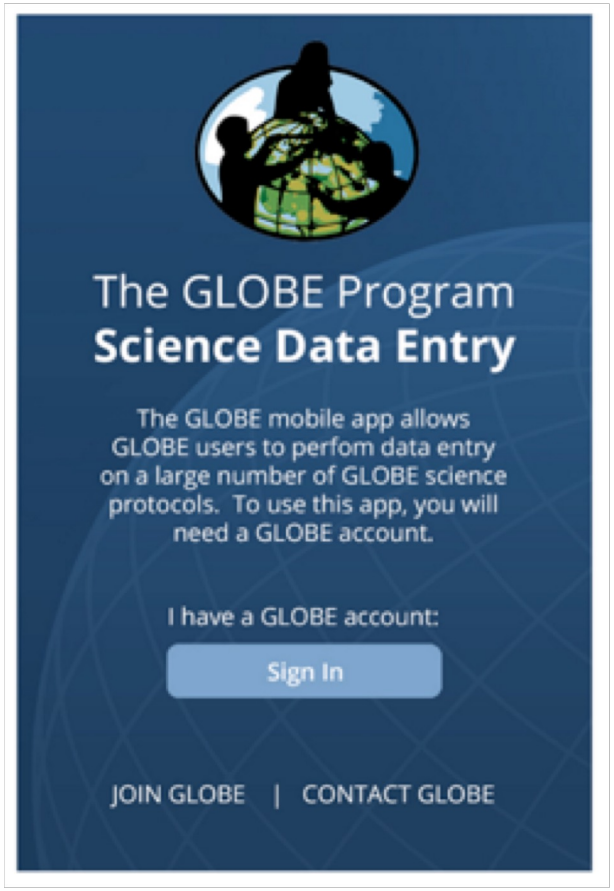
Daher entspricht das Wasservolumen in ml oder cm^3 der Wassermasse in g.

$$V_{Boden} = \frac{M_{Trocken}}{M_{Behälter}} \cdot \frac{1}{Bodenprobendichte}$$

Übermittlung der Daten an GLOBE

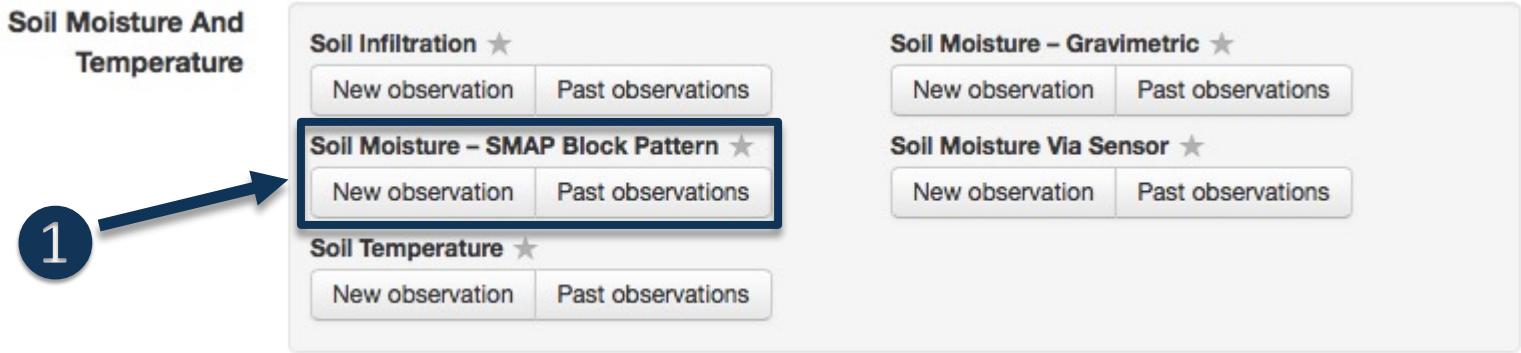
Es gibt drei verschiedene Möglichkeiten, um Messergebnisse in die Datenbank von GLOBE einzupflegen:

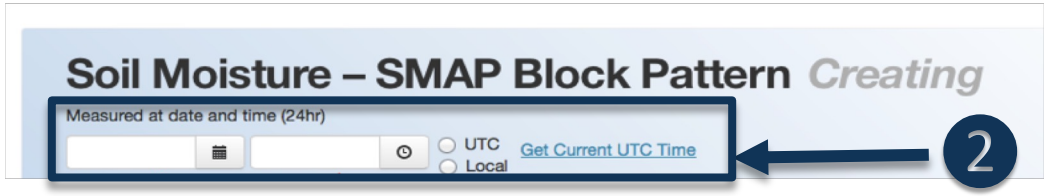
- Per manueller Dateneingabe auf der GLOBE Homepage mit der Live Data Entry Funktion.
- Per E-Mail an die Adresse data@globe.gov. Nähere Details finden sich in der Anleitung.
- Über die für iOS und Android erhältliche GLOBE Mobile Data App.



Dateneingabe über die GLOBE Homepage

- In der Rubrik Soil Moisture – SMAP Block Pattern wird die Schaltfläche New Observation betätigt ①.
- Datum und Uhrzeit (Angabe von Ortszeit oder UTC erforderlich) der Messung werden in die entsprechenden Eingabefelder eingetragen ②.
- Danach wird die erweiterte Eingabemaske zur Datenerfassung eingeblendet.

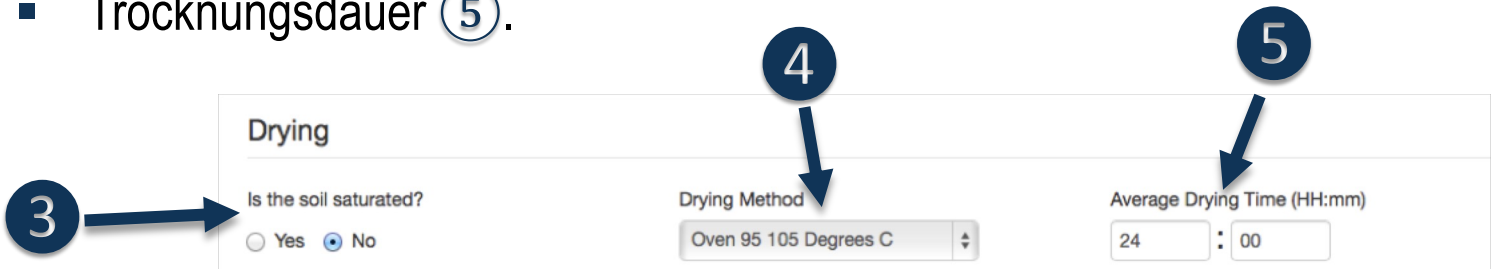




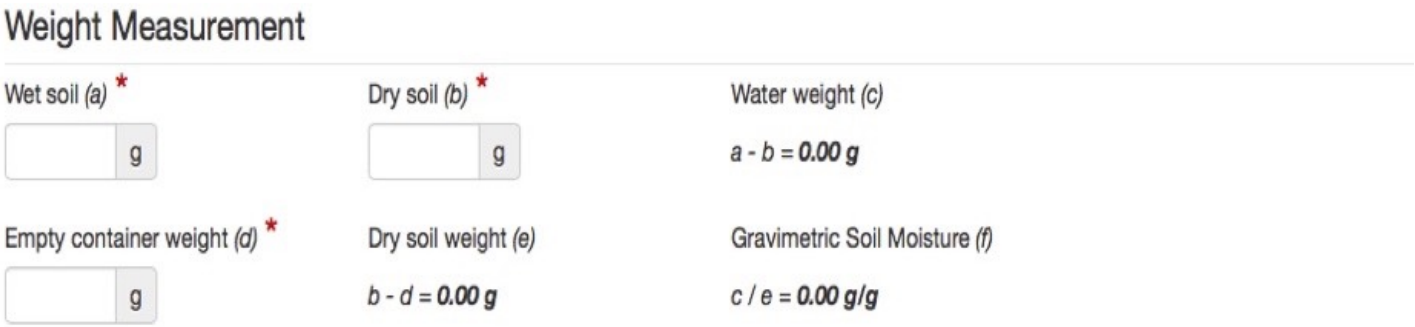
Dateneingabe über die GLOBE Homepage

Zur Datenerfassung sind zunächst die folgende Angaben erforderlich:

- Sättigung der Bodenprobe ③.
- Trocknungsmethode ④.
- Trocknungsdauer ⑤.



Danach können die gemessenen Daten der Bodenprobe eingetragen werden:



Eingabe von Messwerten

- Beispielhafte Messwerte zu einer Probe, die in einer Probendose getrocknet wurde.

Weight Measurement

Wet soil *(a)* *	Dry soil *(b)* *	Water weight *(c)*
398.4 g	348.5 g	*a - b* = ***49.90 g***
Empty container weight *(d)* *	**Dry soil weight *(e)***	**Gravimetric Soil Moisture *(f)***
31.5 g	*b - d* = ***317.00 g***	*c / e* = ***0.16 g/g***

- Beispielhafte Messwerte zu einer Probe, die in einem Plastikbeutel getrocknet wurde.

Weight Measurement

Wet soil *(a)* *	Dry soil *(b)* *	Water weight *(c)*
146.8 g	132.5 g	*a - b* = ***14.30 g***
Empty container weight *(d)* *	**Dry soil weight *(e)***	**Gravimetric Soil Moisture *(f)***
10.5 g	*b - d* = ***122.00 g***	*c / e* = ***0.12 g/g***

Eingabe der Behältervolumina

- Die drei Messungen zu den Ausgangs- und Endvolumina müssen eingegeben werden.
- Der Mittelwert des Dosenvolumen und die volumetrische Bodenfeuchte werden automatisch berechnet.

Container Volume Measurements

Container Volume Measurements are required at least once out of every 10 weight measurements, but can be repeated more frequently if desired. Below is your most recently measured Average Sample Volume.

Previous Average Sample Volume: none Measured on: none

Number of samples since last volume measurement: 0 New Measurement Required

Would you like to:

○ Continue to use this value ◉ Enter new measurement

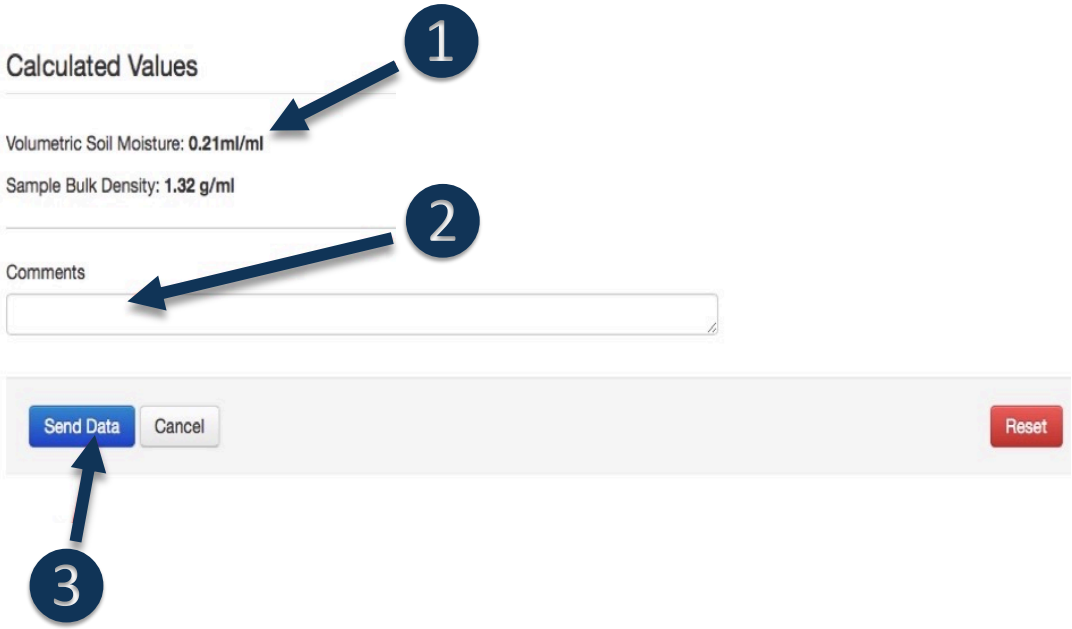
Measure the Initial and Final volume of your measuring cylinder and the container volume will be calculated automatically.

	Initial Volume (V_i) *	Final Volume (V_f) *	Container Volume Measurements (V_i - V_f)
Sample 1	500 ml	260 ml	V_i - V_f = ***240.00 ml***
Sample 2	500 ml	259 ml	V_i - V_f = ***241.00 ml***
Sample 3	500 ml	259 ml	V_i - V_f = ***241.00 ml***

New Average Sample Volume: **240.67 ml**

Prüfen und übermitteln der Daten

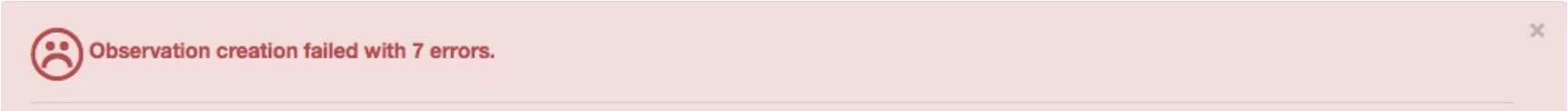
- Es muss darauf geachtet werden, dass die berechneten Daten auch zu den gemessenen Werten passen (1).
- Ergänzungen können als Kommentar eingefügt werden (2).
- Danach können die Daten an GLOBE übermittelt werden (3).



Automatisierte Datenüberprüfung

Sofern die eingegebenen Messwerte plausibel sind, erscheint folgender Hinweis:

Andernfalls wird eine Fehlermeldung generiert

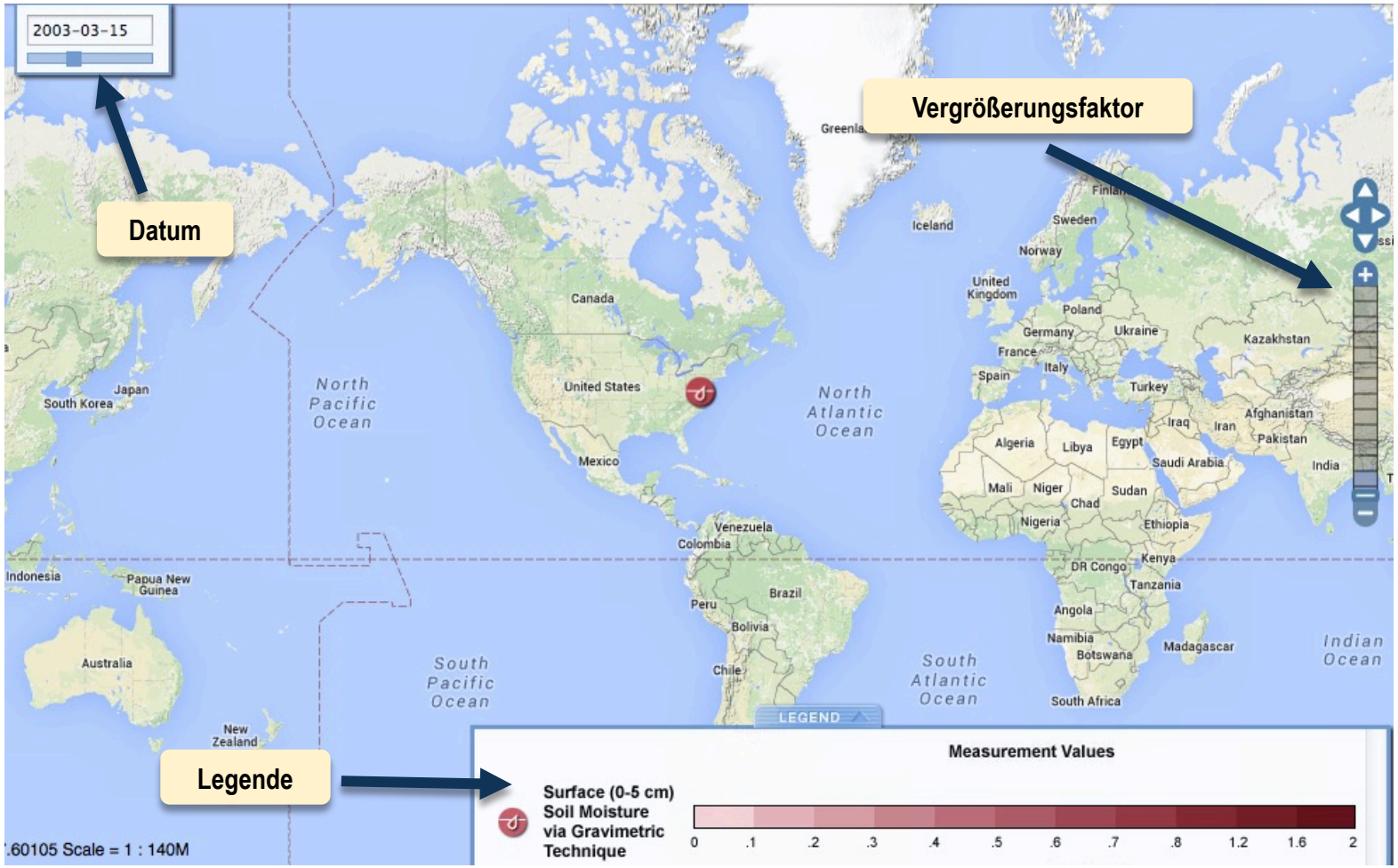


Nach der Korrektur der Eingaben können die Daten erneut übermittelt werden.

TIPP

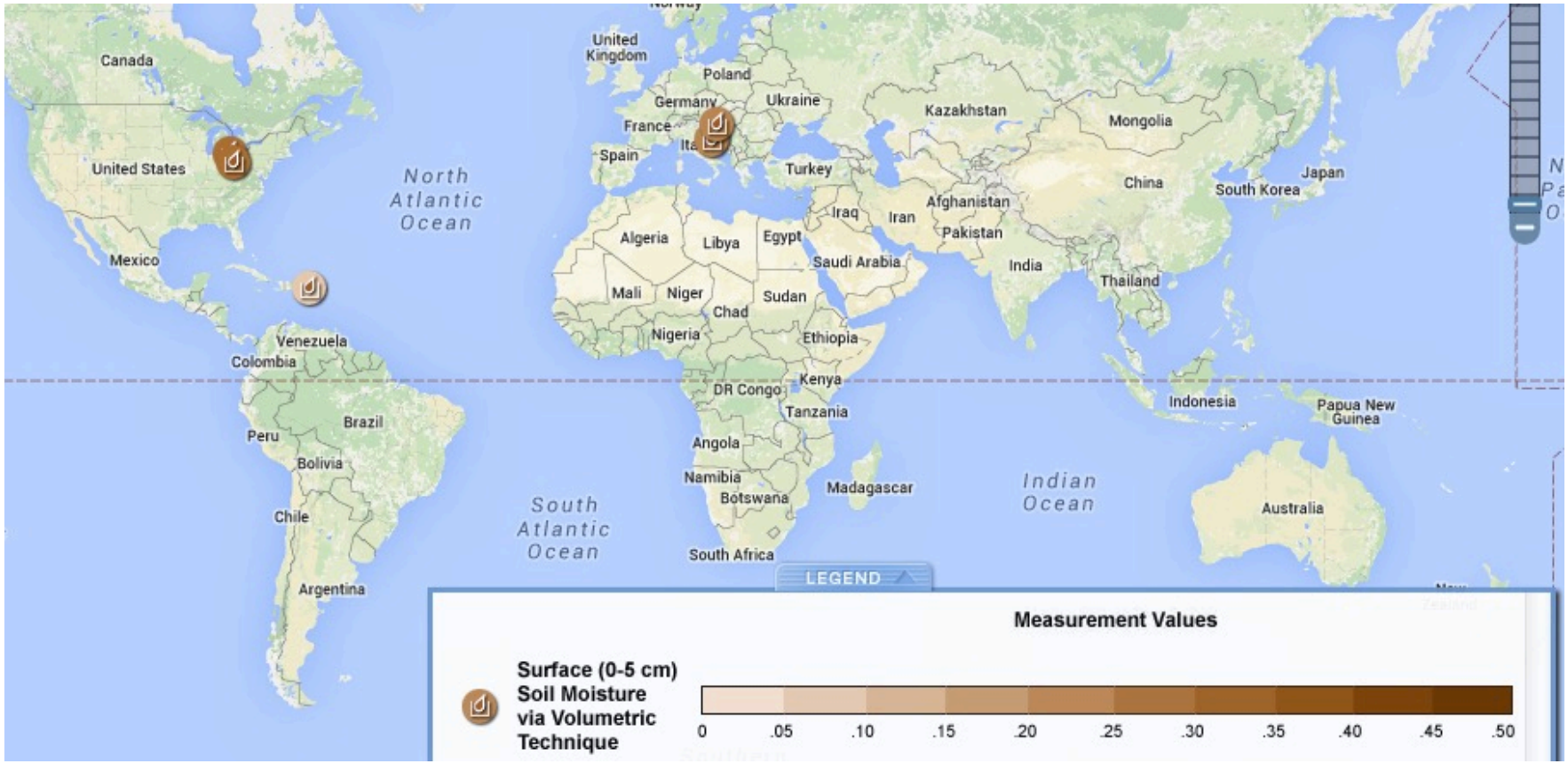
Sofern auch nach der Korrektur der Daten Probleme auftreten, sollte man den GLOBE Community Support kontaktieren.

Veranschaulichung im GLOBE Visualization System



Ebene mit ausgewählten gravimetrischen Daten zur Bodenfeuchte

Veranschaulichung im GLOBE Visualization System



Ebene mit ausgewählten volumetrischen Daten zur Bodenfeuchte

Über diese Folien

Autoren Izolda Trachtenberg
Dixon Butler
Russane Low

Zeichnungen Jenn Glaser
(Scribe Arts)

Bildrechte Izolda Trachtenberg

Unterstützung

Deutsche Bearbeitung