

# Empfehlungen zur Bodenwasserprobenahme



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Bodenwasserprobenahme</b>	<b>4</b>
2.1	<b>Methoden</b>	<b>4</b>
2.1.1	Die einfachste Methode	4
2.1.2	Die Konstant-Vakuum-Methode	5
2.1.3	Tensiometergesteuertes Vakuum	6
2.2	<b>Erfahrungswerte</b>	<b>6</b>
2.2.1	Sandböden	6
2.2.2	Vakuumwerte	7
2.2.3	Porenverschlämmung	7
2.2.4	Erreichbare Wassermengen	7
2.3	<b>Allgemeine Empfehlungen</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Vakuumsysteme</b>	<b>9</b>
3.1	<b>Sammelflaschen</b>	<b>9</b>
3.1.1	Sammelflaschen-Kappe	9
3.1.2	Geeignete Materialien	9
3.1.3	Volumen	10
3.1.4	Überlaufschutz	10
3.2	<b>Lagerung der Lösung</b>	<b>11</b>
3.3	<b>Puffer Flasche</b>	<b>11</b>
3.4	<b>Saugschläuche</b>	<b>11</b>
3.4.1	Materialien	12
3.4.2	Dimensionierung	12
3.5	<b>Vakuumschläuche</b>	<b>12</b>
3.6	<b>Planung und Konzeption</b>	<b>14</b>
3.6.1	Die diskontinuierliche Methode:	14
3.6.2	Die Konstant-Vakuum-Methode:	14
3.6.3	Tensiometergesteuertes Vakuum:	15
3.7	<b>Höhenunterschiede</b>	<b>16</b>
3.8	<b>Probenahmeintervall</b>	<b>17</b>
3.9	<b>Energiemanagement</b>	<b>17</b>
3.10	<b>Anlegen von Vakuum</b>	<b>18</b>
3.10.1	Diskontinuierliche Methode	18
3.10.2	Kontinuierliche Methode	20
<b>4</b>	<b>Wissenschaftlicher Hintergrund</b>	<b>21</b>
4.1	<b>Unterstützende Institute</b>	<b>21</b>
4.2	<b>Materialeignung</b>	<b>22</b>
4.3	<b>UMS Saugkerzen und Saugplatten</b>	<b>23</b>
4.3.1	Saugkerzen	23
4.3.2	Saugplatten	24
4.3.3	Lysimeter KL2	24
<b>5</b>	<b>Anhang</b>	<b>25</b>
5.1	<b>Begriffsdefinitionen</b>	<b>25</b>

<b>5.2</b>	<b>Einheitenübersicht für Bodenwasser- und Matrixpotentiale</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>29</b>
	<b>Ihre Ansprechpartner bei UMS</b>	<b>32</b>

## **1 Einleitung**

Diese Anleitung dient als Ergänzung und weiterführende Literatur zu den produktspezifischen Anleitungen der UMS-Vakuumsysteme, Vacuporter und VS.

## 2 Bodenwasserprobenahme

### 2.1 Methoden

Um Bodenwasserproben zu gewinnen muss die Bodenwasser-spannung (kapillare Haltekraft des Bodens) überwunden werden. Dies kann erreicht werden mit Vakuum oder durch eine „hängende Wassersäule“ in einem Saugschlauch. Entspricht das Vakuum der Bodenwasserspannung, so ist das System „Boden – Saugkerze“ im Gleichgewicht, - es fließt kein Wasser. Ist das Vakuum größer, fließt Wasser aus dem Boden in die Saugkerze, - ist es kleiner fließt es von der Saugkerze in den Boden. Freies Wasser kann in Schwerkraftlysometern durch einen freien Ablauf gewonnen werden. Als Faustregel muss das Vakuum zumindest 50 hPa größer als die Wasserspannung sein, damit Strömungs- und Benetzungswiderstände überwunden werden.

Ein Sammeln von Bodenwasser ist unter folgenden Bedingungen möglich:

- steinreiche Böden bis pF 1 (10 hPa)
- sandige Böden bis pF 2 (100 hPa)
- lehmige Böden bis pF 2,7 (500 hPa)

Saugkerzen agieren als chemische und physikalische Filter. Hohes Vakuum an wassergesättigten Böden verursacht einen Stofftransport kleinster Partikel in die Poren der Kerze. Dieser Prozess ist irreversibel und kann bei falsch angelegtem Vakuum die Kerzen verstopfen.

UMS bietet 3 verschiedene Methoden an. Eine Empfehlung hängt stark von der Anwendung ab.

#### 2.1.1 Die einfachste Methode

Sammelflaschen werden mit einer Handvakuumpumpe auf beispielsweise 500 hPa evakuiert. Ist die Bodenwasserspannung kleiner als 500 hPa, wird Probenwasser angesaugt. Durch das angesaugte Probenwasser baut sich das Vakuum langsam ab.

Anwendungen

- Qualitative Bodenwasseruntersuchungen

#### Vorteile

- Kostengünstig
- Einfache Handhabung

#### Nachteil

- Diskontinuierliche und undefinierte Probenahme

#### Geräte

- Saugkerzen
- Handvakuumpumpe VPS-1 oder VacuPorter
- Sammelflaschen

### 2.1.2 Die Konstant-Vakuum-Methode

Das Vakuum wird auf einen Wert von 0 ... 700 hPa eingestellt und über eine Pumpe und einen Regler konstant gehalten. Durch die Wahl des Vakuums können Bodenwässer und bestimmte Porenarten beprobt werden:

- Für Sickerwasserstudien wird ein Vakuum von 60 hPa eingestellt und damit das schwach gebundene Wasser aus Grob – und Sekundärporen gewonnen. Der Wasserhaushalt wird dadurch minimal beeinflusst.
- Vakuum 100 ... 300 hPa: schwach gebundenes Porenwasser auch aus Sand-, Lehm- und Tonböden
- Vakuum 300 ... 700 hPa: gebundenes Porenwasser aus Mittelporen bei Lehm- und Tonböden.

#### Anwendungen

- Langzeit Monitoring Projekte
- Sickerwasserstudien
- Bodenwasserentnahme mit einem Vakuum, das auf eine Porengröße abgestimmt ist (s.o.)

#### Vorteil

- Definierte Probenahme

#### Nachteil

- Änderungen der Bodenwasserspannung bleiben unberücksichtigt

#### Geräte

- Saugkerzen oder Sickerwassersammler

- Vakuumstation VS, VS-pro ohne Steuertensiometer
- Sammelflaschen

### 2.1.3 Tensiometergesteuertes Vakuum

Es wird eine konstante Druckdifferenz (Wirkdruck) zur laufend gemessenen Wasserspannung eingestellt. Damit ist das Wirkpotential (Saugpotential) konstant.

Die Vorteile:

- Filtrations- und Sorptionsverhalten sind etwa konstant, - geringe Memoryeffekte.
- Die Kerzen setzen sich vergleichsweise geringfügig mit Feinpartikeln zu.
- Bis max. 700 hPa wird Wasser gewonnen, - unabhängig von der Wasserspannung. Je größer die Druckdifferenz, je feuchter der Boden, je sandhaltiger der Boden (nur bis etwa 100 hPa), desto mehr Wasser wird gewonnen.

Grenzen:

- Größerer Aufwand
- Der Füllstand des Tensiometers muß überwacht werden.

Geräte

- Saugkerzen oder Sickerwassersammler
- Vakuumstation VS, VS-pro mit Steuertensiometer
- Sammelflaschen

## 2.2 Erfahrungswerte

### 2.2.1 Sandböden

Grobsandböden oder reine Mittelsandböden sind problematisch, weil der Wassergehalt im ungesättigten Bereich häufig zu gering ist, um Bodenwasser in ausreichender Menge zu bekommen. Wenn in Sandböden gearbeitet wird, dann sollte das Vakuum kontinuierlich anliegen. Anderenfalls können Sickerwasserereignisse, die in Grobsandböden kurzzeitig sind und an der Kerze „vorbeieilen“, nicht oder nur zufällig mit erfasst werden. Im Gegensatz dazu werden bei Sandfraktionen bis zu 50% hohe Wassermengen erzielt. [Riess 1993]

### 2.2.2 Vakuumwerte

Im Gegensatz zur Bodenmatrix sind alle Poren der Kerze vollständig mit Wasser gefüllt. Wird bei z.B. sandigem Boden ein zu großes Vakuum angelegt, so führt dies zu einer Entwässerung des die Kerze umgebenden Bodens, womit die Wasserleitfähigkeit stark zurück geht. Das Vakuum ist daher nur so groß wie nötig anzulegen. Im Allgemeinen ist es ausreichend, ein Vakuum anzulegen, das um nur 50 hPa größer ist als die Bodenwasserspannung (siehe auch Hinweise im Kap. „Methoden“).

Bei diskontinuierlicher Probenahme Vakuum – kein Vakuum – Vakuum wird die natürliche Wasserbewegung gestört. Bei Sandböden besteht dabei die Gefahr, dass der Kapillarfilm im Boden mit zunehmendem Vakuum abreißt.

- ♥ Der Potentialunterschied bei unterschiedlichem Niveau von Saugkerze und Sammelflasche ist bei der Größe des Vakuums zu berücksichtigen (siehe auch Kapitel „Sammelflaschen“).

### 2.2.3 Porenverschlämmung

Die Poren der Kerzen können sich durch Feinpartikel im Laufe der Zeit verschließen. Das Spülen der Saugkerzen im eingebauten Zustand hat sich nur bedingt bewährt, da das in die Poren eingeschlämmte Feinmaterial wieder in den die Kerze umgebenden Boden gespült wird. Idealerweise sollte die Strömungsgeschwindigkeit klein – und etwa konstant sein (Tensiometersteuerung), da hier die geringste Verschlämmung beobachtet wurde. Daher sollte das Vakuum nur so groß wie nötig angelegt werden. [Riess 1993]

### 2.2.4 Erreichbare Wassermengen

- In freiem Wasser bei 500 hPa Vakuum: ca. 5 ml/10 Minuten
- In sandigem Lehmboden bei 500 hPa V: ca. 5 ml/1 Stunde (180 L/4 Jahre)
- High-flow-Keramiken können maximal die dreifache Menge an Wasser liefern.

## 2.3 Allgemeine Empfehlungen

Je länger Kerzen eingebaut sind, umso geringer werden evtl. störende Sorptionseinflüsse.

Je nach Art der Untersuchung kann es nötig sein, die Proben unter Schutzgas zu lagern.

Stark heterogene Böden sind problematisch, weil Saugkerzen punktuell wirken und je nach hydraulischem Anschluss zu Primär- oder Sekundärporen (Risse, Makroporen) verschiedenartiges Wasser gewonnen wird.

Sommermonate und trockene Böden sind problematisch, weil Bodenwasser nur bei feuchten Böden gewonnen werden kann.

Durch Mausegänge unter Grünland wird Bodenwasser rasch in tiefere Schichten verlagert, weshalb dort viel Bodenwasser anstehen kann [Riess 1993].

Auf folgende Punkte sollten Sie achten:

- ❗ Bei geregelten Systemen ist zu beachten, dass das Vakuum direkt am VS-System – und nicht an der Saugkerze gemessen wird - insbesondere bei langen Zuleitungen sind dabei die Widerstände, hervorgerufen durch Blasen in der Saugleitung zu beachten.
- ❗ Pumpen und Vakuumanlagen sind vor Probenwasser zu schützen (Überlaufschutz, ausreichendes Volumen, Wassereintrittssensor am Vakuumsystem)
- ❗ Alle Komponenten einer Vakuumanlage müssen implosionsgeschützt sein.
- ❗ Falls die Sammelflasche in einer anderen Höhe positioniert ist als die Saugkerze ist auf das hydrostatische Gefälle zu achten. (siehe Kapitel „Höhenunterschiede“.

## 3 Vakuumsysteme

### 3.1 Sammelflaschen

#### 3.1.1 Sammelflaschen-Kappe

Der Saugschlauch (Außendurchmesser 2,8 mm; Innendurchmesser 1,6 mm) wird üblicherweise an eine Sammelflasche angeschlossen, in der ein durch eine Vakuumpumpe erzeugtes Vakuum anliegt.

Am Deckel sind 2 Anschlüsse (+ 1 Reserveanschluß) angebracht (siehe Abb. rechts). Der auf der Abbildung linke Anschluß führt zu der Vakuumpumpe, der rechte Anschluß zur Saugkerze.

Der Silikon-Fixierschlauch ist dabei nicht in Berührung mit der Bodenlösung, da der Saugschlauch durch den Deckel in die Flasche hineinragt.



Der nicht abgeschnittene Reserveanschluß ist für einen weiteren Anschluß einer Saugkerze oder einer Vakuumleitung zur nächsten Sammelflasche vorgesehen (auf der Abbildung der mittlere, nach hinten versetzte Anschluß).

Für den Anschluß einer weiteren Saugkerze muß nur die Spitze abgeschnitten werden, für einen Anschluß an eine Pufferflasche wird der obere Zapfen abgeschnitten.

#### 3.1.2 Geeignete Materialien

PE, PP, PA: als Flaschen ungeeignet für Vakuumbetrieb, bedingt geeignet für Transport und Laborlagerung.

Glas: geeignet, jedoch implosionsgefährdet. Glasflaschen müssen daher einen Kunststoffmantel haben. Sie sind im Allgemeinen für Lagerung und Transport geeignet.

### 3.1.3 Volumen

Von UMS werden 3 Größen 0,5 l (SF-500), 1 l (SF-1000), 2 l (SF-2000) für die Sammelflaschen angeboten.

Die Wahl der Flasche und damit das Volumen hängen von der Anwendung ab:

1. wie viel Bodenwasser wird in einem bestimmten Zeitintervall erwartet?
2. Wird eine Mischprobe aus mehreren Saugkerzen gesammelt?
3. Sofern die Sammelflasche mit als Vakuuvorratsgefäß dient, sollte ihr Volumen ca. dreimal so groß sein wie die für Analysen benötigte Wasserprobenmenge.

Mit dem Überlaufschutz (SF-protect; siehe Kapitel im Anschluß) kann das Sammelvolumen variiert oder begrenzt werden. Um das Sammelvolumen beispielsweise auf 100 ml zu begrenzen wird der Vakuumschlauch entsprechend tief in die Flasche gedrückt.



### 3.1.4 Überlaufschutz

Bei automatischen Vakuumsystemen: Um zu verhindern, dass Wasser in die Vakuumpumpe gesaugt wird, bieten wir als Zubehör ein Überlaufschutz-Automatikventil (SF-protect) an. Die Überlaufsicherung verhindert, dass Bodenwasser aus Sammelflaschen in die Vakuumanlage fließt. Ist die Sammelflasche voll, dann koppelt die Überlaufsicherung die Flasche vom Vakuumsystem ab. Das Vakuum wird für diese Flasche abgeschaltet, während die übrigen weiter arbeiten.

Das SF-protect wird einfach auf den Vakuumschlauch aufgesteckt. Das Ventil öffnet automatisch wieder, wenn die Flasche entleert wird. Da der Überlaufschutz einen erhöhten Strömungswiderstand aufbaut, sollte an der VS ein Vakuumpuffer (2l Flasche) installiert werden.

Wichtig ist auch, dass die Vakuumleitung über T-Verbinder (siehe auch Kap. „Planung und Konzeption“ – „Übersicht“ sowie Abbildung unten rechts) an das Vakuumsystem angeschlossen werden, (Bypass – Funktion).



### 3.2 Lagerung der Lösung

Die Sammelflaschen sollten in einer im Boden versenkten Box untergebracht werden, damit die Lagerungstemperatur der Bodentemperatur entspricht und die Proben vor Licht geschützt sind (Algenbildung).

- ♥ Die Wasserproben sind vor Licht geschützt – und bei etwa gleicher Temperatur wie am Entnahmepunkt zu lagern.

### 3.3 Puffer Flasche

Es ist zu empfehlen eine zusätzliche Vakuumflasche zwischen Sammelflaschen und dem Pumpeneingang anzuordnen, als zusätzlichen Überlauf (falls kein Überlaufschutz (s.o.) eingebaut ist) sowie als Vakuumpuffer (möglichst nah an der VS).

Die modernen VS Vakuumsysteme von UMS haben als zusätzlichen Schutz des Gerätes einen Wassereinbruchssensor - dieser setzt allerdings bei einem Überlauf das gesamte System außer Betrieb!

### 3.4 Saugschläuche

Der Saugschlauch ist mit der Kerze verbunden und wird direkt an die Sammelflasche angeschlossen.

## 3.4.1 Materialien

Folgende Schlauchmaterialien können eingesetzt werden:

- PE für Anionen und Kationen
- PP für Anionen und Kationen
- PA für Anionen und Kationen
- VA-Stahl für alle Stoffe, außer Metalle, Schwermetalle
- Teflon für Schwermetalle

## 3.4.2 Dimensionierung

Grundsätzlich sollte der Saugschlauch so kurz wie möglich gewählt werden.

- Damit das Totvolumen klein bleibt und zeitnahe Proben gewonnen werden.
- Damit die Rückflussmenge bei steigenden Bodenwasser-  
spannungen klein bleibt.
- Damit der Strömungswiderstand so klein wie möglich bleibt.

♥ Luftblasen in den Saugschläuchen wirken als Strömungswiderstand. Je kleiner und länger der Schlauch, umso größer der Fließwiderstand. So kann eine 20 Meter lange PE-Leitung mit 1,6 mm Innendurchmesser im ungünstigsten Fall bis zu 500 hPa Strömungswiderstand aufbauen.

♥ Saugschläuche sind ca. 10 cm unter der Bodenoberfläche zu verlegen.

## 3.5 Vakuumschläuche

Folgende Punkte sind für die Vakuumleitung weiterhin zu beachten:

- Die Relation Oberfläche zu Volumen ist im Schlauch deutlich ungünstiger als im Sammelgefäß.
- Je länger die Schläuche, umso größer die Gefahr der Beschädigung, beispielsweise durch Verbiss und umso größer sollte das Vakuum sein.
- Die Länge der Vakuumleitung von der Pumpe/Regeleinheit zur Sammelflasche kann bis zu 200 m gewählt werden. Da nur geringe Mengen entnommen werden ist der Volumenstrom

- ebenfalls gering, ein Druckabfall bei dichten Systemen zu vernachlässigen.
- Je nach Länge und Anzahl der Kerzen und Regelsystem ist ein Schlauchinnendurchmesser von 4 – 10 mm zu wählen.
- ! Es ist darauf zu achten, dass das gesamte System vollkommen dicht ist.

### 3.6 Planung und Konzeption

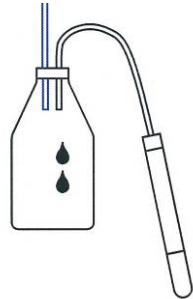
Wie in dem Kapitel „Bodenwassergewinnung“ beschrieben wird in 3 verschiedene Methoden unterschieden.

#### 3.6.1 Die diskontinuierliche Methode:

(die einfachste Methode)

Die Sammelflasche ist mit der Saugkerze verbunden. Das Vakuum wird diskontinuierlich an die Sammelflasche mittels Handvakuumpumpe (VPS-2, siehe Kap. „Zubehör-Vakuumsysteme“) oder über eine mobile Vakuumpumpe (VacuPorter) angelegt.

Bitte beachten Sie hierbei: das maximale Sammelvolumen beträgt ca 2/3 des Flaschenvolumens.



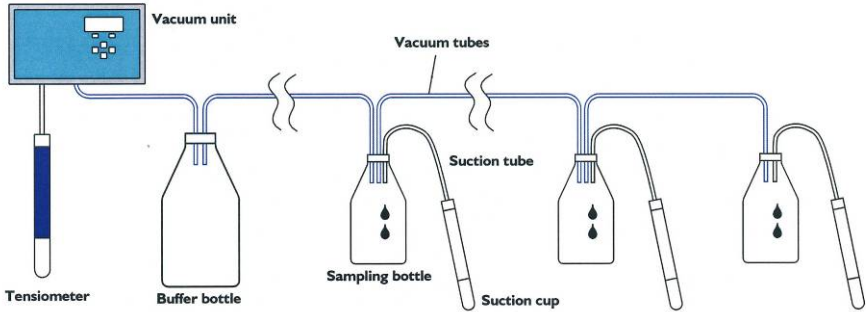
#### 3.6.2 Die Konstant-Vakuum-Methode:

Die Sammelflaschen sind mit den Saugkerzen verbunden. Das Vakuum wird kontinuierlich an die Sammelflaschen mittels Vakuumpumpe (VS Systeme siehe Kap. „Zubehör-Vakuumsysteme“) und einem fest eingestellten Unterdruck eingestellt.

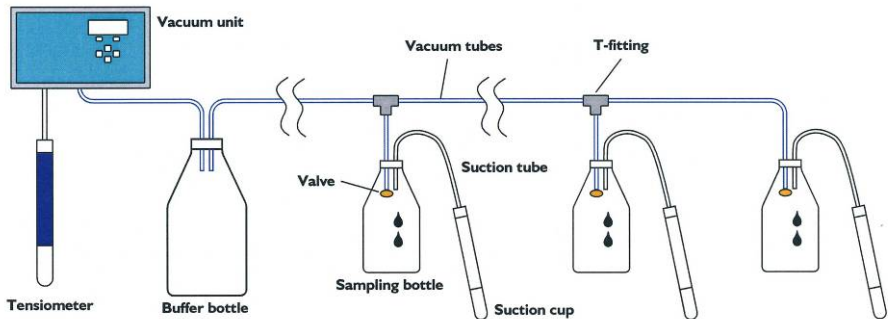
Die Vakuumpumpe ist über einen Vakuumschlauch (z.B. PE Außendurchmesser 6mm, Innendurchmesser 4 mm) mit den Sammelflaschen verbunden.

Wird ein Überlaufschutz (SF-Protect) verwendet, dann sollten die Flaschen, die an das gleiche Vakuum angeschlossen sind mit T-Schlauchverbindern verbunden werden. (siehe auch Kap. Überlaufschutz sowie Pufferflasche). Wird eine Pufferflasche verwendet, dann kann der Reserveanschluß am Deckel verwendet werden (siehe auch folgende Abbildungen, jedoch ohne Steuertensiometer).

Bei einem System mit ständig angeschlossener Vakuumpumpe ist darauf zu achten, daß es zu keiner Überflutung des Systems kommt (siehe auch Kap. Überlaufschutz sowie Pufferflasche)



**Abb: Sammelflaschen in Reihe angeordnet mit Pufferflasche als Überlaufschutz. Der Reserveanschluß wird verwendet**



**Abb: Sammelflaschen in Reihe angeordnet mit SF-protect als Überlaufschutz. Bypassfunktion über T-Stücke.**

### 3.6.3 Tensiometergesteuertes Vakuum:

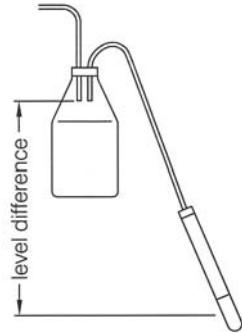
Der Aufbau und die Anordnung der Saugleitungen, Flaschen und Vakuuleitungen ist mit der Konstant-Vakuum-Methode identisch (siehe Abbildungen oben). Als Steuerelement wird ein Tensiometer an das Vakuumsystem (VS Systeme siehe Kap. Zubehör-Vakuumsysteme) angeschlossen um den Unterdruck tensionsabhängig zu regeln (siehe auch Kap. „Bodenwassergewinnung“-„Tensiometergesteuertes Vakuum“)

### 3.7 Höhenunterschiede

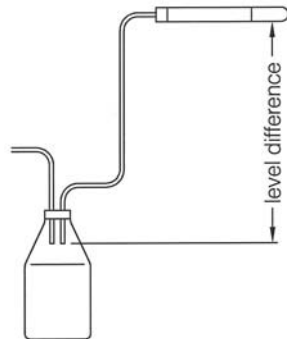
Soll aus einer Tiefe, von beispielsweise einem Meter Bodenwasser, in eine Sammelflasche an die Bodenoberfläche gefördert werden, so baut sich im Saugschlauch eine „hängende Wassersäule“ von 1 m auf. Diese reduziert das an der Kerze wirkende Vakuum um ca. 98 hPa (Abbildung rechts)

Es gilt folgende Faustregel:

- ❗ Sammelflasche höher installiert: Vakuum vergrößern um Entnahmetiefe, 1cm entspricht 1 hPa.



Ist die Sammelflasche tiefer als die Kerze angebracht – beispielsweise an Profilmähdreschern oder Schachtanlagen -, so erhöht sich entsprechend das Vakuum (Abbildung rechts). Dies gilt jedoch nur dann, wenn der Saugschlauch mit Wasser gefüllt ist! In der Regel ist das nicht der Fall, da auch Dampf- oder Luftblasen mit gefördert werden. Es sollten daher wenn möglich Sammelflasche und Saugkerze auf der gleichen Höhe installiert werden.



Sollte dies nicht möglich sein gilt folgende Faustregel:

- ❗ Sammelflasche tiefer: Vakuum entspricht dem Vakuum für gleiche Höhe, da auch Wasser gefördert werden soll, wenn Luft in der Sammelleitung ist.

### 3.8 Probenahmeintervall

Das Probenahmeintervall wird je nach Untersuchungsgegenstand gewählt. Für Langzeitstudien hat sich ein Beprobungsintervall von ein bis zwei Wochen bewährt. Sofern Spitzeneinträge bei Starkniederschlagsereignissen erfasst werden sollen, muss das Beprobungsintervall kürzer gewählt werden.

Um eine zeitlich hohe Auflösung der Wassermengen zu erhalten kann das Gewicht der Sammelgefäße mittels Wägezellen und mit Datenloggern erfasst werden. Alternativ kann das Probenwasser über eine Kippwaage (Kipplöffel) in die Sammelflasche geführt werden. Das digitale Signal kann ebenfalls mittels Datenlogger erfasst werden.

### 3.9 Energiemanagement

Bei automatischen Vakuumsystemen: Saugkerzenanlagen ohne Netzstromversorgung sind von Akkustrom oder Solar- oder Windstrom abhängig. Daher ist ein Energiemanagement notwendig, bei dem die Probenwassermenge, Leckagen und Einschaltzyklen, Lastabschaltung und Beprobungsintervalle berücksichtigt werden.

## 3.10 Anlegen von Vakuum

### 3.10.1 Diskontinuierliche Methode

Bei einer Probenahme mit diskontinuierlichem Vakuum sollte die Flasche durch ziehen des Verschlussstopfens entlüftet werden. (siehe Abbildung rechts)

Bei einem System mit diskontinuierlichem Vakuum wird der Vakuumschlauch mit der Pumpe (Handpumpe (VPS) oder mobile Pumpe (VacuPorter)) verbunden und auf das gewünschte Vakuum evakuiert. Danach wird die Vakuumleitung geknickt, damit kein atmosphärischer Druckausgleich stattfindet und das Vakuum verloren geht. Der Verschlussstopfen wird wieder aufgesteckt (siehe auch „Ablauf der diskontinuierlichen Probenahme“



### Ablauf der diskontinuierlichen Methode

<p>4. Drücken Sie möglichst schnell den Verschlußstopfen wieder auf das Anschlußstück der Sammelflasche</p>	
<p>3. Klemmen Sie die Anschlußleitung der Sammelflasche, damit beim Abziehen des Verbindungsstückes das Vakuum in der Flasche gehalten wird.</p>	
<p>2. Verbinden Sie den Vakuumschlauch der Pumpe mit dem Verbindungsstück und dem Anschluß der Sammelflasche und evakuieren bis zum gewünschten Vakuum.</p>	
<p>1. Ziehen Sie den Verschlußstopfen ab.</p>	

### **3.10.2 Kontinuierliche Methode**

(Konstant-Vakuum-Methode oder tensiometergesteuerte Methode)

Bei einer Probennahme mit kontinuierlichem Vakuum sollte die Pumpe ausgeschaltet und die Vakuumleitung entlüftet werden. Die Deckel der Flaschen lassen sich dann leicht abheben, nachdem der Schraubverschluß geöffnet wird.

Nach dem Entleeren der Sammelflaschen werden die Deckel wieder aufgeschraubt, das Vakuum auf den entsprechenden Unterdruck eingestellt und die Anlage ist wieder betriebsbereit, nachdem das eingestellte Vakuum erreicht wird. Eventuell muß aufgrund der Tensiometerwerte oder weil zuwenig Bodenlösung gesammelt wurde entsprechend nachjustiert werden, falls keine Tensiometersteuerung aktiviert ist.

## 4 Wissenschaftlicher Hintergrund

### 4.1 Unterstützende Institute

Die „Empfehlungen in diesem Manual wurden in Zusammenarbeit mit folgenden Instituten zusammengestellt:

- dem Österreichischen Bundesamt für Wasserwirtschaft Petzenkirchen,
- der Österreichischen Arbeitsgruppe Lysimeter, <http://www.lysimeter.at/>
- der Universität Hohenheim,
- der Technischen Universität München,
- Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit,
- der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft und dem
- Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft.

Mit den Empfehlungen sollen grundlegende Informationen und Erfahrungswerte für die Gewinnung und Lagerung von Bodenwasserproben zusammengefasst werden. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie können eine fachkundige Beratung nicht ersetzen, da die gesamte Prozesskette Entnahmebedingungen, Boden, Beprobungsart und –intervall, Probenlagerung und –aufbereitung und Analytik auf die Zielsetzung abgestimmt werden muss.

**Anmerkung:** Die Empfehlungen beruhen auf Erfahrungswerten, auf Laboranalysen oder ungeprüften Literaturstellen und wurden anlässlich des UMS Workshop Bodenwassergewinnung 2000 gesammelt. Diese wurden nach bestem Wissen dargestellt, sollen tendenziell gelten und können eine fachkundige Beratung nicht ersetzen. Sofern weitere, einschlägige Erfahrungen vorliegen bitten wir um Ihre Empfehlung unter [info@ums-muc.de](mailto:info@ums-muc.de).

## 4.2 Materialeignung

Sinterwerkstoffe	Keramische Saugkerzen Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Sintermaterialien P80, K100	PE/Nylon	Silizium-carbid	Duranglas-sinterwerkstoff
UMS Bezeichnung	SK20	SPE20 SPA	SIC20/SIC40	SG25 oder Sinterplatte SPG120
<b>zu untersuchende Stoffe</b>				
<b>Anionen:</b>				
NO <sub>3</sub> - Nitrat	+++	+++	+++	+++
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Sulfat	+++	+++	+++	+++
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> Phosphat	+++	+++	+++	+++
Cl <sup>-</sup> Chlorid	+++	+++	+++	+++
<b>Kationen:</b>				
Ca <sup>2+</sup> Calcium	+ [1]	++ [1]	+++	+ [1]
K <sup>+</sup> Kalium	+ [1]	++ [1]	+++	++
Na <sup>+</sup> Natrium	++[1]	+ [1]	+++	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Ammonium	+++	+++	+++	+++
Al <sup>3+</sup> Aluminium	---(kritisch [2])	++(kritisch unter pH2[1])		+++
Cu <sup>2+</sup> Kupfer	---[3] [5][8]	+++	+++	+++
Cr <sup>2+</sup> Chrom	--	+++	+++	+++
Fe <sup>2+</sup> Eisen	- [2]	+++	+++	+++
Mg <sup>2+</sup> Magnesium	--	+++	+++	+++
Ni <sup>2+</sup> Nickel	--	+++	+++	+++
<b>Elemente</b>				
S Schwefel	+ [1]	+ [1]	+++	+++
P Phosphor	++ [2]	+++	+++	+++
Si Silizium	---	+++	-	+++
DOC	++ [8]	++[3]	++	+
TOC	++ [1]	+ [1]	++	+
<b>Huminstoffe:</b>				
<b>Schwermetalle:</b>				
Cd	--- [6]	+ [6]	-	-
Pb	--- [5] [6]	+ [6]	-	-
Herbizide	+ (Atrazin) [3] [7][8]	+(Atrazin) [7]		/
Pestizide	/	/		/
Fungizide	/	/		/
PAK				

Spurenelemente	-	/	/
Bezug auf Literaturstellen	Legende		
[1] Göttlein, 1996	--- generell ungeeignet		
[2] Grossmann et al., 1987	-- ungeeignet		
[3] Klotz, Unold, 2000	- nur bei guter Kenntnis und Konditionierung		
[4] Riess, 1993	geeignet		
[5] Guggenberger und Zech 1992	/ keine Kenntnisse		
[6] Haberhauer 1997	+ bedingt geeignet		
[7] Schroll 1996	++nach Vorkonditionierung und Vorlauf geeignet		
[8] Klotz, 1997; Maß, Göttlein 2005	+++ nach Vorlauf sehr gut geeignet.		
Stand: 03/2009			

### 4.3 UMS Saugkerzen und Saugplatten

#### 4.3.1 Saugkerzen

##### SK20

Keramische Saugkerze K100 für kontinuierliche/diskontinuierliche Probenahme bei variablem Vakuum.  $\varnothing$  20 mm, Länge 60 mm. Schaft- und Schlauchlänge nach Wunsch.

##### SIC20

Siliziumcarbidsaugkerze für kontinuierliche/diskontinuierliche Probenahme bei variablem Vakuum.  $\varnothing$  20 mm, Länge 60 mm. Schaft- und Schlauchlänge nach Wunsch.

##### SPE20

Nylonsaugkerze mit PE-Sintermantel wie SKP100, jedoch schwerpunktmäßig für Metalle, Schwermetalle.  $\varnothing$  20 mm, Länge 60 mm. Schaft- und Schlauchlänge nach Wunsch.

##### SKPE25

Keramische Saugkerze SKA100FF zur Sammlung von Probenwasser im PE-Schaft. 100 cm Schaft haben ein Volumen von 250 ml, so dass ca. 100 ml Bodenwasser darin gewonnen werden kann. Diese Kerze eignet sich insbesondere für große Tiefen, da die Bodenlösung im Schaft nahe bei der Kerze gelagert wird. Erst zur Probenentnahme aus dem Schaft muss das hydrostatische Potential (bei 5 m 500 hPa) durch Vakuum oder Überdruck überwunden werden.  $\varnothing$  25 mm, Länge 65 mm. Schaft- und Schlauchlänge nach Wunsch.

##### SG25

Borsilikatglassinterkerze für kontinuierliche/diskontinuierliche Probenahme bei variablem Vakuum.  $\varnothing$  25mm, Länge 65mm. Schaft- und Schlauchlänge nach Wunsch.

### 4.3.2 Saugplatten

Saugplatten können in gestörte Bodensäulen oder gefüllte Lysimeter eingebaut werden. Weiter können Sie von Schachtwänden oder Profilgruben aus über horizontale Schächte von unten gegen den Boden gedrückt werden, - z.B. mit Luftkissen, hydraulisch oder mechanisch mit Edelstahlfedern. Da diese seitlich nicht gefasst sind muss das angelegte Vakuum exakt nach der Wasserspannung des umgebenden Bodens im gleichen Horizont gewählt werden, da anderenfalls eine hydraulische Senke oder ein Strömungswiderstand aufgebaut wird. Vorteil ist, dass eine größere Fläche beprobt wird als mit Saugkerzen.

#### **SIC300**

Bruchfeste Platte aus porösem Siliziumkarbid für Bodensäulen und Kleinlysimeter. Die Platte ist in eine Butylfolie eingefasst mit unterseitigem Schlauchanschluss.

Geeignet für -60 hPa, Lufttrittspunkt -80 hPa.

#### **SPG120**

Poröse Borosilikat Glasplatte. Geeignet für Phosphate und DOC. Der Saugschlauch endet direkt im Kern der Platte. Dadurch ist keine Folie oder Abdichtung erforderlich.

### 4.3.3 Lysimeter KL2

Das Kleinlysimeter kann vergraben werden um in-situ Sickerwasser zu sammeln - oder als Bodensäule für Laborversuche verwendet werden.

Am Boden des Behälters ist eine 0,5 bar high flow Platte eingesetzt. (Keramik oder SIC)

Ø 300 mm, Höhe 300/600/1200 mm, Lysimeterwerkstoff Edelstahl 1.4307.

## 5 Anhang

### 5.1 Begriffsdefinitionen

**Hängende Wassersäule:** Wasserhöhe in Schläuchen oder Rohren oder Porenstrukturen. Messbar wird sie in einem Rohr dadurch, dass am obersten Punkt ein Drucksensor eingebaut wird. 100 cm entsprechen einer hängenden Wassersäule von 98 hPa.

**Ungesättigte Zone:** Bodenzone oberhalb des Grundwasserspiegels bis GOK (Geländeoberkante)

**Freies Wasser:** Nicht oder nur schwach gebundenes Bodenwasser.

**Sickerwasser:** Durchfließt den Boden und bildet Grund- oder Stauwasser.

**Feldkapazität:** Die maximale Haftwassermenge eines Bodens bei freiem Wasserabzug. In Europa bei 150 hPa, in USA bei 350 hPa Wasserspannung definiert.

**Permanenter Welkepunkt:** Wasserspannung, ab der die meisten Pflanzen irreversible Schäden aufweisen, bei etwa 15000 hPa.

**Lysimeter:** Behälter mit definierter Oberfläche und einem Boden mit zumindest einem Auslass. Zur mengenmäßigen Erfassung von Wasser- und Stoffflüssen, Umsetzungsprozessen und Simulationsstudien.

**Saugkerze:** Sonde zur Gewinnung von Bodenlösung der ungesättigten Zone, bestehend aus hydrophiler Membrane, Schaft und Saugleitung.

**Tensiometer:** Messgerät zur Bestimmung der Bodenwasserspannung.

**Vakuum:** Drücke kleiner als Atmosphärendruck. Im absoluten Vakuum sind keine Gasteile mehr vorhanden.

## 5.2 Einheitenübersicht für Bodenwasser- und Matrixpotentiale

	pF	hPa	kPa=J/kg	Mpa	bar	psi	%rF
	1	-10	-1	-0,001	-0,01	-0,1450	99,9993
	2,01	-100	-10	-0,01	-0,1	-1,4504	99,9926
<b>FK Feldkapazität</b>	2.53	-330	-33	-0,033	-0,33	-4,9145	99,9756
<b>Standard Tensiometer Messbereich</b>	2.93	-851	-85,1	-0,085	-0,85	-12,345	
	3	-1.000	-100	-0,1	-1	-14,504	99,9261
	4	-10.000	-1.000	-1	-10	-145,04	99,2638
<b>Permanenter Welkepunkt</b>	4.18	-15.136	-1.513	-1.5	-15	-219,52	98,8977
	5	-100.000	-10.000	-10	-1 00	-1.450,4	92,8772
<b>Lufttrocken, luftfeuchteabhängig</b>	6	-1.000.000	-100.000	-100	-1 000	-14.504	47,7632
<b>Ofentrocken</b>	7	-10.000.000	-1.000.000	-1.000	-10 000	-145.038	0,0618
Anmerkung: 9,81hPa entsprechen 10 cm Wassersäule							

## 6 Literatur

**Czeratzki, W.; 1971:** Saugvorrichtung für kapillar gebundenes Bodenwasser. Landforschung Völkerode 21, 13-14

**DVWK; 1990:** Gewinnung von Bodenwasserproben mit Hilfe der Saugkerzenmethode. DVWK Merkblätter, Heft 217

**DVWK; 1980:** Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern

**Grossmann, J.; Quentin, K.-E.; Udluft, P.; 1987:** Sickerwassergewinnung mittels Saugkerzen – eine Literaturstudie. Z. Pflanzenernährung u. Bodenkunde 150, 281-261

**G.HENZE, 1999:** Umweltdiagnostik mit Mikrosystemen, Verlag Wiley-VCH, ISBN 3-527-29846-0.

**RAMSPACHER, P., 1993:** Erste Erfahrungen mit tensiometergesteuerten Unterdrucklysimetern zur Erstellung von Sickerwasserbilanzen (Lysimeterstation Wagna), Bericht über die 3. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter und ihre Hilfe zur umweltschonenden Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen“, BAL Gumpenstein, 20.-21.4.1993, S. 67-72.

**HARTGE, HORN, 1992:** Die physikalische Untersuchung von Böden, Verlag Enke, ISBN 3 432 82123 9.

**FEICHTINGER, F., 1992:** Erste Erfahrungen beim Einsatz eines modifizierten Feldlysimeters, Bericht über die 2. Gumpensteiner Lysimetertagung „Praktische Ergebnisse aus der Arbeit mit Lysimetern“, BAL Gumpenstein, 28.-29.4.1992, S. 59-62.

**KLAGHOFER, E., 1994:** Antworten auf die 7 Fragen an uns Lysimeterbetreiber, Bericht über die 4. Gumpensteiner Lysimetertagung „Übertragung von Lysimeterergebnissen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und Regionen“, BAL Gumpenstein, 19.-20.4.1994, S. 5-7.

**ROTH, D., R. GÜNTHER und S. KNOBLAUCH, 1994:** Technische Anforderungen an Lysimeteranlagen als Voraussetzung für die Übertragbarkeit von Lysimeterergebnissen auf landwirtschaftliche Nutzflächen, Bericht über die 4. Gumpensteiner Lysimetertagung „Übertragung von Lysimeterergebnissen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und Regionen“, BAL Gumpenstein, 19.-20.4.1994, S. 9-21.

**SCHWABACH, H. und H. ROSENKRANZ, 1996:** Lysimeteranlage Hirschstetten - Instrumentierung und Datenerfassung, Bericht über die 6. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter im Dienste des Grundwasserschutzes“, BAL Gumpenstein, 16.-17.4.1996, S. 41-45.

KRENN, A., 1997: Die universelle Lysimeteranlage Seibersdorf - Konzeption, Bericht über die 7. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter und nachhaltige Landnutzung“, BAL Gumpenstein, 7.-9.4.1997, S. 33-36.

**EDER, G., 1999:** Stickstoffausträge unter Acker- und Grünland, gemessen mit Schwerkraftlysimetern und Sickerwassersammlern, Bericht über die 8. Gumpensteiner Lysimetertagung „Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft“, BAL Gumpenstein, 13.-14.4.1999, S. 93-99.

**KUNTZE, ROESCHMANN, SCHWERDTFEGER, 1988:** Bodenkunde, Verlag UTB Ulmer, ISBN 3-8001-2563-3.

**Starr, J.L.; Meisinger, J.J. ; Parkin, T.B.; 1991:** Experience and knowledge gained from vadose zone sampling. In: NASH, R.G.; Leslie A.R. (Eds.): Groundwater Residue Sampling Design. Am. Chem. Soc. Symp. Series 465, 279-289

**Udluft, P.; Quentin, K.-E.; Grossmann, J.; 1988:** Gewinnung von Sickerwasser mittels Saugkerzen – Verbesserung der Probenahmetechnik und Minimierung der Veränderung der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Sickerwassers. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben DU 3/10-1. Institut für Wasserchemie der TU München.

## 7 Stichwortverzeichnis

---

### **B**

Bodenmatrix .....	7
Borsilikat .....	23
Bypass – Funktion .....	11

---

### **D**

diskontinuierliche Methode .....	14
diskontinuierliche Probenahme .....	7

---

### **E**

Einheitenübersicht .....	26
--------------------------	----

---

### **F**

Filtrations- und Sorptionsverhalten ...	6
---	---

---

### **H**

Handvakuumpumpe .....	4
hängende Wassersäule .....	4, 16
High flow Keramiken .....	7
hydraulischer Anschluss .....	8
hydrostatische Potential .....	23

---

### **K**

kapillare Haltekraft des Bodens .....	4
kapillarer Überlaufschutz .....	11
Kapillarfilm .....	7
Konstant-Vakuum-Methode .....	14
kontinuierliche/diskontinuierliche Probenahme .....	23

Kunststoffmantel .....	10
------------------------	----

---

### **L**

Langzeitstudien .....	17
Lysimeter .....	21

---

### **P**

Potentialunterschied .....	7
Pufferflasche .....	9

---

### **R**

Reserveanschluß .....	9
-----------------------	---

---

### **S**

Sammelflasche .....	9, 11
Sickerwasserereignisse .....	6
Sickerwasserstudien .....	5
Silikon-Fixierschlauch .....	9
Sorptionseinflüsse .....	8
Strömungswiderstand .....	24

---

### **T**

Tensiometergesteuertes Vakuum ...	15
Tensiometersteuerung .....	7
Totvolumen .....	12
trockene Böden .....	8
T-Verbinder .....	11

---

### **U**

UMS Workshop .....	21
--------------------	----

---

**V**

Vakuumvorratsgefäß..... 10

---

**W**

Wassereinbruchssensor ..... 11  
Wirkpotential ..... 6



## Ihre Ansprechpartner bei UMS

Vertrieb Georg v. Unold Tel:+49-89-126652-15  
Email: [gvu@ums-muc.de](mailto:gvu@ums-muc.de)

Bedienungsanleitung Thomas Keller Tel:+49-89-126652-19  
Email: [tk@ums-muc.de](mailto:tk@ums-muc.de)



UMS GmbH  
D-81379 München  
Gmunderstr. 37  
email: [info@ums-muc.de](mailto:info@ums-muc.de)

Ph.: +49-89-126652-0  
Fax: +49-89-126652-20



■  
Rücknahme nach Elektro G  
WEEE-Reg.-Nr. DE 69093488