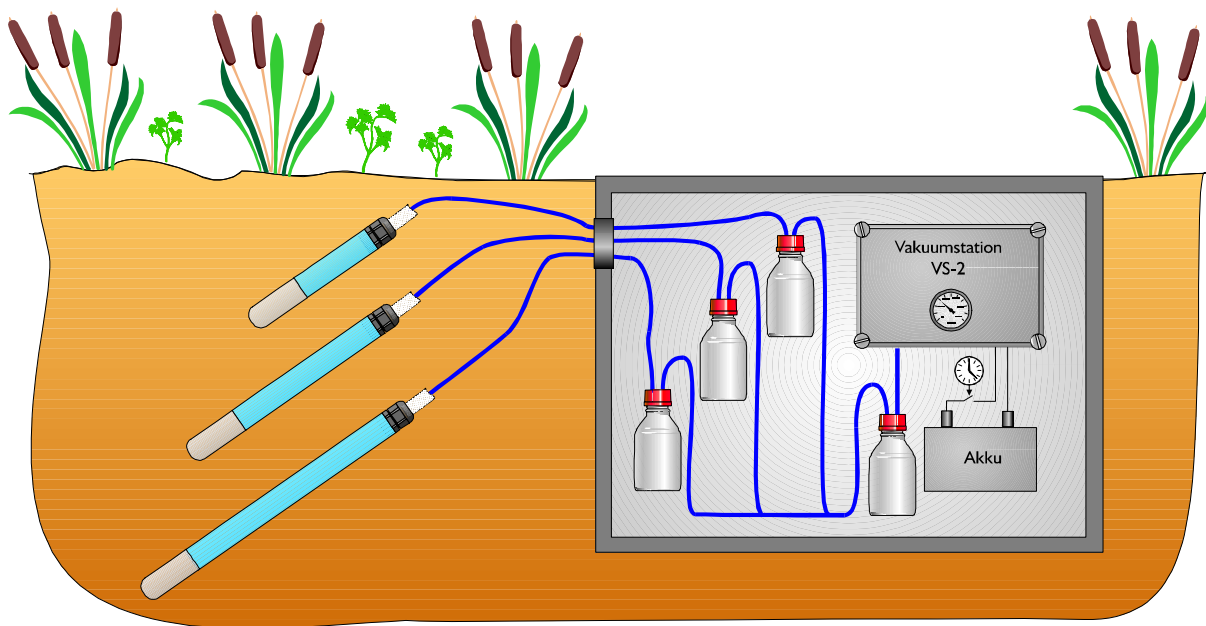


Empfehlungen für die Gewinnung von Bodenwasser mittels Saugkerzen oder keramischen Platten.

v. Unold G. UMS GmbH; 2000

Erstellt in Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Bundesamt für Wasserwirtschaft Petzenkirchen, der Österreichischen Arbeitsgruppe Lysimeter, der Universität Hohenheim, der Technischen Universität München, dem Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Neuherberg, und dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft.



Mit den Empfehlungen sollen grundlegende Informationen und Erfahrungswerte für die Gewinnung von Bodenwasser zusammengefaßt werden. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie können eine fachkundige Beratung nicht ersetzen.

1. Verfahren zur Gewinnung von Bodenwasser:

Um Bodenwasser zu gewinnen muß die Bodenwasserspannung (kapillare Haltekraft des Bodens) überwunden werden. Dies kann erreicht werden mit Vakuum oder durch eine „hängende Wassersäule“ in einem Saugschlauch. Entspricht die Wasserspannung dem Vakuum, 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.

1.1. Low Cost Methode:

Sammelflaschen werden mit einer Handvakuumpumpe auf beispielsweise 500 hPa evakuiert. Ist die Bodenwasserspannung kleiner 500 hPa, wird Probenwasser angesaugt. Durch das angesaugte Probenwasser baut sich das Vakuum langsam ab. Als Faustregel sollte das Vakuum immer 50hPa größer sein, damit Strömungs- und Benetzungswiderstände überwunden werden.

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 Sickerwässer und bestimmte Porenarten beprobt werden:

1.2.1. Für Sickerwasserstudien wird ein Vakuum von 60 hPa eingestellt und damit das schwach gebundene Wasser aus Grob – und Sekundärporen gewonnen. Der Wasserhaushalt wird dadurch nur geringfügig beeinflusst.

1.2.2. Vakuum 100 ... 300 hPa: schwach gebundenes Porenwasser auch aus Lehm- und Tonböden

1.2.3. Vakuum 300 ... 700 hPa: gebundenes Porenwasser aus Mittelporen.

1.3. Tensiometergesteuertes Vakuum:

Es wird eine Druckdifferenz (Wirkdruck) zur laufend gemessenen Wasserspannung geregelt. Diese kann konstant (SCS-7) oder variabel (SCS-8) sein.

1.3.1. Die Vorteile:

1.3.1.1. Der Bodenwasserhaushalt wird am wenigsten gestört.

1.3.1.2. Filtrationsverhalten ist etwa konstant, - geringe Memoryeffekte

1.3.1.3. Die Kerzen setzen sich vergleichsweise geringfügig mit Feinpartikeln zu.

1.3.1.4. Bis max. 700 hPa wird Wasser gewonnen, - unabhängig von der Wasserspannung. Je größer die Druckdifferenz, je feuchter der Boden, je sandhaltiger der Boden (bis ca. 50%), umso mehr Wasser.

1.3.1.5. Die Chemie stimmt.

ENTWURFSTEXTE

1.3.2. Die Nachteile:

1.3.2.1. Größerer Aufwand

1.3.2.2. Das Tensiometer muß befüllt sein.

2, Welche Saugkerzen- oder Saugplattenmaterialien sind geeignet für welche Untersuchung?

Grundsätzlich sollten Saugkerzen/Saugplatten vor dem Einbau mit ca. 500 ... 2000 ml entionisiertem Wasser gespült und mit adäquater Bodenlösung, beispielsweise mit 1 molarer NH_4Cl -Lösung vorkonditioniert werden. Je nach Boden und Untersuchungsart müssen die ersten 100 ml ... 2000 ml (Vorlauf) gewonnene Bodenlösung verworfen werden.

Sinterwerkstoffe ----- zu untersuchende Stoffe	Keramische Saugkerzen Al_2O_3 Sintermaterialien P80, K100	PE/Nylon SPE20 SPA	Duranglassinterplatte GSP120
Anionen:			
NO_3^- Nitrat	+++	+++	+++
SO_4^{2-} Sulfat	+++	+++	+++
PO_4^{3-} Phosphat	+++	+++	+++
Cl^- Chlorid	+++	+++	+++
Kationen:			
Ca^{2+} Calcium	+ [1]	++ [1]	+ [1]
K^+ Kalium	+ [1]	++ [1]	++
Na^+ Natrium	++ [1]	+ [1]	
NH_4^+ Ammonium	+++	+++	+++
Al^{3+} Aluminium	---(kritisch [2])	++ (kritisch unter pH2[1])	+++
Cu^{2+} Kupfer	---[3] [5][8]	+++	+++
Cr^{2+} Chrom	--	+++	+++
Fe^{2+} Eisen	- [2]	+++	+++
Mg^{2+} Magnesium	--	+++	+++
Ni^{2+} Nickel	--	+++	+++
Elemente			
S Schwefel	+ [1]	+ [1]	+++
P Phosphor	++ [2]	+++	+++
Si Silizium	---	+++	+++

ENTWURFSTEXTE

DOC	+ [8]	++ [3]	+
TOC	+ [1]	+ [1]	+
Huminstoffe:			
Schwermetalle:			
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 [2] Grossmann et al., 1987 [3] Klotz, Unold, 2000 [4] Riess, 1993 [5] Guggenberger und Zech 1992 [6] Haberhauer 1997 [7] Schroll 1996 [8] Klotz, 1997		--- generell ungeeignet -- ungeeignet - nur bei guter Kenntnis und Konditionierung geeignet / keine Kenntnisse + bedingt geeignet ++ nach Vorkonditionierung und Vorlauf geeignet +++ nach Vorlauf sehr gut geeignet.	

3. Welche Saugkerze oder Saugplatte ist geeignet für welche Anwendung?

SKL100: Keramische Saugkerze für kontinuierliche Probenahme mit konstantem Vakuum. Bei Handpumpenbetrieb sammelt sich Bodenwasser auch im Schaft, das bei der Probenahme aus dem Schaft abgesaugt werden muß. \varnothing 20mm, Länge 60mm. Schaft- und Schlauchlänge nach Wunsch.

SKP100: Keramische Saugkerze für kontinuierliche/diskontinuierliche Probenahme bei variablem Vakuum. \varnothing 20mm, Länge 60mm. Schaft- und Schlauchlänge nach Wunsch.

SPE20: Nylonsaugkerze mit PE Sintermantel wie SKP100, jedoch schwerpunktmäßig für Metalle, Schwermetalle. \varnothing 20mm, Länge 60mm. Schaft- und Schlauchlänge nach Wunsch.

SKPE25: Keramische Saugkerze 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 25mm, Länge 65mm. Schaft- und Schlauchlänge nach Wunsch.

SMS1: Mikrosaugkerze aus Nylon für Stechzylinder und punktuelle Untersuchungen. \varnothing ca. 2,3 mm, Länge 50 mm oder 100 mm.

KP-SEC/LY300: Keramische Platten 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. \varnothing 278mm, Dicke 10 mm, Butylfolie.

KL1: Keramisches Kleinlysimeter oder Krumenlysimeter. Die keramische Bodenplatte ist dabei eingefäßt von einem PE Zylinder. Damit ist die Vakuumregelung nicht so kritisch zu bewerten wie bei der keramischen Platte. Mit dem Kleinlysimeter kann die Sickerwassermenge am besten erfaßt werden. \varnothing 300mm, Höhe 300mm, Lysimeterwerkstoff PE.

GSP1: Die gebrauchsmustergeschützte Glassinterplatte hat innenliegende Bohrungen mit seitlichem Schlauchanschluß und eignet sich für Spurenelementanalysen bei minimaler Störung der natürlichen,

ENTWURFSTEXTE

hydraulischen Situation. Kapillaranschluß zum Boden erfolgt von allen Seiten. Mit einer offenen Porosität von über 50% kann sie auch quer in Bodensäulen eingebaut werden und stört den Wasserfluß kaum.

4. Schläuche für Bodenlösung und Vakuum:

4.1. 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

4.2. Länge des Saugschlauches:

Grundsätzlich sollte der Saugschlauch so kurz wie möglich gewählt werden.

4.2.1. Damit das Totvolumen klein bleibt und zeitnahe Proben gewonnen werden.

4.2.2. Damit die Rückflußmenge bei steigenden Wasserspannungen klein bleibt.

4.2.3. Über Luftblasen im Saugschlauch wird ein Strömungswiderstand aufgebaut, verursacht durch den Benetzungswinkel. Im Extremfall (5mm Luft, 5mm Wasser, 5mm Luft ...) kann sich in 1,6mm PE Schlauch ein Widerstand bis zu 500 hPa aufbauen.

4.2.4. Die Relation Oberfläche zu Volumen ist im Schlauch deutlich ungünstiger als im Sammelgefäß.

4.2.5. Je länger die Schläuche, um so größer die Gefahr der Beschädigung, beispielsweise durch Verbiß.

4.3. 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. ist ein Druckabfall bei dichten Systemen zu vernachlässigen.

4.4. Je nach Länge und Anzahl der Kerzen und Regelsystem ist ein Schlauchinnendurchmesser von 4 – 10 mm zu wählen.

5, Sammelgefäße:

5.1. Geeignete Materialien:

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

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

5.2. Volumen

Sofern die Sammelflasche mit als Vakuumvorratsgefäß dient sollte ihr Volumen ca. 3 mal so groß sein wie die für Analysen benötigte Wasserprobenmenge. Auch hier gilt, daß bei nassen Böden sehr viele, feuchten Böden weniger und bei trockenen Böden kein Wasser gewonnen wird.

6. Einbauempfehlungen:

6.1. Die Einbaulage ist so zu wählen, daß die Hauptflußrichtung nicht durch die Lage des Kerzenschaftes gestört wird. Beispielsweise sollte die Saugkerze bei vertikalem Fluß in einem Winkel von mindestens 20° zur Vertikalen eingebaut werden.

6.2.. Zwischen den Saugkerzen ist ausreichend Raum vorzusehen, damit sich die Saugkerzen nicht gegenseitig beeinflussen.

6.3. Bei tensiometergesteuerten Saugkerzenanlagen ist darauf zu achten, daß das Steuertensiometer außerhalb des hydraulischen Kegels der Saugkerze liegt, um hydraulische Kurzschlüsse zu vermeiden.

6.4. Sofern Saugkerzen von Schachtwänden oder Profilwänden aus eingebaut werden sollen, darf die Wand den Beprobungsort nicht beeinflussen. Der dazu nötige Abstand der Kerze von der Schachtwand sollte je nach Bodenart zumindest 1 m sein. Bei Schächten mit \varnothing 2 m zumindest 2m. Der Abstand sollte mit der Tiefe und dem Tongehalt zunehmen.

6.5. Durch das Bohren darf keine Verschleppung von Bodenmaterial erfolgen. Dazu ist beispielsweise organischer Oberboden großzügig abzutragen, bevor in den Mineralboden gebohrt wird.

6.6. Kapillarkontakt: Saugkerzen brauchen einen guten kapillaren Kontakt zur Bodenmatrix. Daher sollte der Durchmesser des Bohrers über die Länge der Kerze exakt den Durchmesser der Kerze haben, damit diese nach dem Einbau einen festen Sitz hat. Der übrige Bohrer sollte 1-2mm größer als der Schaftdurchmesser sein, damit die Störung noch klein, jedoch ein einwandfreier Sitz der Kerze selbst festgestellt werden kann.

6.7. Eingeschlämmt sollte nur dann werden, wenn der Boden durch Makroporen, Risse, Altwurzelgänge oder Wurmgänge gestört ist. Das Schlämmmaterial sollte aus der Bohrfraktion des Beprobungstiefe genommen werden. Dieses Bohrgut wird im Mörser zermahlen oder gesiebt und aus den Feianteilen eine dünnflüssige Paste gerührt. Davon gibt man mit einer Spezialspritze maximal bis zu 50 ml bei Kiesböden, 20 ml bei Sandböden in das Bohrloch und setzt innerhalb kürzest möglicher Zeit (max. von 10 Sekunden bei Kiesböden) die Kerze ein! Beachten Sie bitte, daß jedes Schlämmen einen synthetischen Boden direkt an der Kerze simuliert. Dieser speichert deutlich mehr Wasser als ein Sand- oder Kiesboden.

ENTWURFSTEXTE

6.8. Verwendung von Hüllrohren:

6.8.1. Bei der Verwendung von Hüllrohren ist zu beachten, daß diese Kondenswasser und Leckwasser nicht zur Kerze hin, sondern von der Kerze weg fördern müssen. Die Einbaulage ist daher unter einem Gefälle von mind. 3% zur Profil- oder Schachtwand hin zu wählen.

6.8.2. Die Hüllrohre sollten höchstens bis auf 50cm zur Kerze geführt sein.

6.9. Zum Bohren können Rammverfahren angewandt werden.

6.9.1. Bei rammenden Bohrverfahren (Rammkernsonden, Erdraketen) sollte je nach Boden nur bis etwa 100 cm zur Beprobungsstelle gerammt werden. Der restliche Länge sollte gestochen werden um das Bodengefüge nicht zu stören.

6.9.2. In dichten Sandböden kann mit Rammkernsonden gearbeitet werden, - mit Erdraketen nicht.

7. Probenahmerhythmus

Dieses 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.

8. Erreichbare Wassermengen:

8.1. K 100 Kerze in freiem Wasser bei 500 hPa Vakuum: ca. 5ml/10 Minuten

8.2. K 100 Kerze in sandigem Lehmboden bei 500 hPa V: ca. 5 ml/1 Stunde (180 L/4 Jahre)

8.3. High flow Keramiken können maximal die dreifache Menge an Wasser liefern.

9. Allgemeine Erfahrungswerte

9.1. 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]

9.2. Grobsandböden, Kiese und Schotter sind problematisch, da Bohrlöcher nicht stehenbleiben. Sie müssen daher mit Hüllrohren gestützt werden (siehe auch 9.1.).

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

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

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

9.6. 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.

9.7. 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.

9.8. Bei ganzjährigem Betrieb ist darauf zu achten, daß die Kerzen, Schlauchleitungen und Sammelflaschen in frostsicherer Tiefe befinden.

9.9. Schlauchleitungen sind vor Verbiß zu schützen.

9.10. Pumpen und Vakuumanlagen sind vor Probenwasser zu schützen.

ENTWURFSTEXTE

9.11. Keramische Platten sind bruchempfindlich! Daher müssen keramische Platten in ein ebenes Sandbett eingebaut - oder anderweitig von unten her gleichmäßig abgestützt werden.

9.12. Keramische Sinterwerkstoffe zersetzen sich bei hoher Säurefracht, - Aluminium wird frei. Daher empfehlen wir entgegen anderen Empfehlungen von Säurespülungen grundsätzlich abzusehen. Die Kerzen sollen entweder mit entionisiertem Wasser gespült werden oder mit der erwarteten Bodenlösung vorgespült werden. Sofern genügend Zeit zur ersten Probenahme bleibt kann auf die Konditionierung verzichtet werden, wenn die Proben der ersten Wochen oder etwa 1000 ml verworfen werden.

9.13. Je länger Kerzen eingebaut sind, umso geringer werden die störende Soptionseinflüsse.

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

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

9.16. Vakuumanlagen sind vor Implosionen zu schützen.

9.17. Die Bodenlösung sollte nur mit wenigen, bekannten Materialien in Berührung kommen.

9.18. 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 eingeschlammte Feinmaterial wieder in den die Kerze umgebenden Boden gespült wird. Idealerweise sollte die Strömungsgeschwindigkeit klein – und etwa konstant sein (Tensiometersteuerung), da hier die geringste Verschlammung beobachtet wurde.

9.19. Hydrostatisches Potential

Soll aus einer Tiefe von beispielsweise einem Meter Bodenwasser in eine Sammelflasche an der Bodenoberfläche gefördert werden, so baut sich im Saugschlauch eine „hängende Wassersäule“ von 1 m auf. Diese reduziert das an der Kerze wirkende Vakuum um 100 hPa.

Ist die Sammelflasche tiefer als die Kerze angebracht – beispielsweise an Profilwänden oder Schachtanlagen -, so erhöht sich entsprechend das Vakuum.

Dies gilt jedoch nur dann, wenn der Saugschlauch komplett mit Wasser gefüllt ist! In der Regel ist das nicht der Fall, sondern es werden auch Dampf- oder Luftblasen mitgefördert.

ENTWURFSTEXTE

Es sollten daher wenn möglich Sammelflasche und Saugkerze auf der gleichen Höhe installiert werden.

Ist das nicht möglich, dann gelten als Faustregel bei:

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

b, Sammelflasche tiefer: Vakuum entspricht dem Vakuum für gleiche Höhe.

9.20. Kerzen müssen in frostsicherer Tiefe eingebaut – oder im Winter ausgebaut werden, da Keramiken nicht frostsicher sind.

9.21. Bei geregelten Systemen ist zu beachten, daß das Vakuum direkt in der Flasche – und nicht nach der Pumpe gemessen wird, - insbesondere bei langen Zuleitungen.

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.

10. Literatur – Zur Einsichtnahme bei UMS verfügbar:

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

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.

ENTWURFSTEXTE

11. 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 100 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 Boden 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.

12. Einheiten:

hPa: Hektopascal, Einheit für Wasserspannung und Vakuum

1 hPa = 1 mbar

1 hPa = 0,1 kPa

1 hPa = 1cm Wassersäule

1000 hPa = 15 psi

10 hPa = pF1

100 hPa = pF2

1000 hPa = pF3

10.000 hPa = pF4