

Uwe Schindler, Lothar Müller, Frank Eulenstein

Vereinfachte Methode zur Messung und Bewertung hydraulischer Kennwerte von Blumenerden und Substraten im Gartenbau

Simplified method for quantifying and evaluating the hydraulic properties of potting soils and gardening substrates in horticulture

224

Zusammenfassung

Blumenerden und Substrate werden für die gärtnerische Nutzung als Mischung aus verschiedenen organischen und mineralischen Komponenten hergestellt. Im Rahmen dieser Studie wurden insgesamt 18 handelsübliche Blumenerden und Substrate hydraulisch untersucht. Ziele der Studie waren (i) die Prüfung des erweiterten Verdunstungsverfahrens für die Quantifizierung der hydraulischen Eigenschaften der Erden und (ii) die Diskussion und Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich deren hydraulischer Eignung. Die Variablen für die hydraulische Bewertung waren (i) die Wasserkapazität im leicht pflanzenverfügbaren Bereich, die (ii) Luftkapazität und (iii) der kapillare Wasseranstieg. Als begrenzende Faktoren wurden zusätzlich die Schrumpfung und die Wiederbenetzungszeit quantifiziert. Die hydraulische Bewertung erfolgte getrennt für die Anwendung im Topf und unter freier Dränung. Die Messung der hydraulischen Kennwerte erfolgte mit dem HYPROP System (HYdraulic PROPerTy analyser), das methodisch auf dem erweiterten Verdunstungsverfahren (EEM) basiert. Das HYPROP ermöglicht die simultane Messung der Wasserretentionskurve und der hydraulischen Leitfähigkeitsfunktion an 250 cm³ Stechzylinderproben bis nahe dem permanenten Welkepunkt. Die Messzeit beträgt 3 bis 10 Tage. Die parallele Messung von mehreren Proben ist möglich. Zusätzlich kann der Schrumpfungsverlauf gemessen werden. Die Wiederbenetzungsei-

genschaften wurde mit der „Water Drop Penetration Time Method“ quantifiziert. Letzteres konnte während des Verdunstungsversuches erfolgen, so dass alle erforderlichen hydraulischen Informationen in einem Messdurchlauf bestimmt werden konnten. Der gesättigte Wassergehalt der untersuchten Erden lag zwischen 71,8 und 87,1 Vol.-%. Die Wasserversorgung wurde von den meisten geprüften Erden abgesichert. Kritisch hingegen war die Luftkapazität im Blumentopf, wobei diese bei mehr als 50% der Proben unter dem Grenzwert von 10 Vol.-% lag. Dabei zeigte sich, dass Substrate die keine Zusätze von Ton hatten, dafür jedoch Anteile von Kokosfasern, Perlite, Kompost und geringere Beimengungen von Hochmoortorf enthielten, überwiegend Luftkapazitäten größer als 10 Vol.-% hatten. Bewertungsrelevante Unterschiede zwischen den Erden gab es auch im Schrumpfungsverhalten und bei der Wiederbenetzung. Um die Beurteilung der hydraulischen Eignung von Blumenerden effektiver und vergleichbarer machen zu können, sollte ein Bewertungsrahmen entwickelt werden. Die Beurteilung der Einzelgrößen sollte sich an anerkannten Grenzwerten orientieren und die Eignung in einer Punkteskala abgebildet werden.

Stichwörter: Blumenerden, Substrate, Wasserretentionskurve, Wasserkapazität, Luftkapazität, ungesättigte hydraulische Leitfähigkeitsfunktion, erweitertes Verdunstungsverfahren (EEM), HYPROP, Schrumpfung, Benetzung

Institut

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg, Deutschland

Kontaktanschrift

Prof. Dr. agr. Dr. h.c. Uwe Schindler, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg, E-Mail: uschindler@zalf.de

Zur Veröffentlichung angenommen

6. Mai 2015

Abstract

Gardening substrates are produced for horticultural use as a mixture of different organic and mineral ingredients. 18 commercial gardening substrates were hydraulically investigated during this study. The aims of the study were (i) to examine the extended evaporation method (EEM) for quantifying the hydraulic properties of gardening media and (ii) to discuss and evaluate the results in terms of their suitability for horticulture. The variables for the hydraulic evaluation were (i) the easily plant available water, (ii) the air capacity, and (iii) the capillary rise. Additionally, the shrinkage and the rewetting time were quantified as limiting factors. The hydraulic evaluation was applied separately for cultivation in containers and in the ground (free drainage). The hydraulic properties were measured with the HYPROP system (HYdraulic PROPerty analyser), which is methodologically based on the extended evaporation method (EEM). HYPROP enables the simultaneous measurement of the water retention curve and the unsaturated hydraulic conductivity function of 250 cm³ substrate samples close to the wilting point. The measurement varies between 3 and 10 days. Multiple soil or substrate samples can be studied simultaneously, and shrinkage can be measured. The rewetting behaviour was quantified using the water drop penetration time method. This measurement was applied during the evaporation experiment. This means that all required information could be determined during the evaporation experiment. The saturated water content of the samples varied between 71.8 and 87.1% by vol. Most of the tested substrates guaranteed a supply of water. However, the air capacity in containers was a critical factor. For more than 50% of the investigated substrates the water capacity was lower than the threshold value of 10% by vol. It was found that substrates without clay but containing coir, perlite, compost and a small amount of bog peat generally achieved air capacities greater than 10% by vol. The shrinkage and rewetting time also revealed evaluation-relevant differences between the substrates investigated. A more effective evaluation of the hydraulic suitability of soilless media in horticulture requires the development of an evaluation framework. The assessment of the individual values should be based on accepted threshold values, and the suitability should be evaluated based on a point scale.

Key words: Soilless media, gardening substrates, potting soils, water retention curve, water capacity, air capacity, unsaturated hydraulic conductivity, extended evaporation method (EEM), HYPROP, shrinkage, water drop penetration time

1 Einleitung

Blumenerden und Substrate werden angewendet in Gewächshäusern und privaten Haushalten für die Blumen- und Gemüseproduktion, als Zuschlagsstoffe für die

Verbesserung von Böden sowie für die Anzucht von Ziergewächsen und Obstgehölzen (BUNT, 1988; YOGEV et al., 2006; VERDONCK, 2007; RAVIV und LIETH, 2008; PARDOSSI et al., 2011; DI LORENZO et al., 2013). Sie werden als Mischung aus verschiedenen organischen und mineralischen Komponenten hergestellt. Hauptbestandteil ist gewöhnlich Hochmoortorf, dem zur Verbesserung der Struktur und der physikalischen Eigenschaften verschiedenartiger Kompost aus Garten oder Forstrückständen, Kokosfasern und mineralische Bestandteile (Sand, Ton, Steinwolle, Perlite u.a.) in unterschiedlichen Anteilen beigemischt wird. Auch vollständig torffreie Substrate sind auf dem Markt und werden erfolgreich angewendet (RAVIV und LIETH, 2008). Die Nährstoffzugabe richtet sich nach der konkreten Kultur die angebaut werden soll.

Torfort und Zersetzungsgrad sowie die Komponenten, aus denen die Substrate hergestellt sind, bestimmen ihre hydraulischen Eigenschaften (BEARDELL et al., 1979; OBRADOVIC und SUKHA, 1993; ABAD et al., 2002; ÖZKAYNAK und SAMANCI, 2005; FAZELI et al., 2007; CARON et al., 2014). Dazu wurden in den letzten Jahrzehnten umfangreiche Studien veröffentlicht (HEISKANEN, 1995; RICHARDS et al., 1986; NOWAK und STROJNY, 2004; RAVIV et al., 2005; RAVIV und LIETH, 2008; AL NADDAF et al., 2011; CARON et al., 2014). Dabei zeigte sich, dass der Wasser- und besonders der Lufthaushalt von entscheidender Bedeutung für das Pflanzenwachstum in gärtnerischen Kulturen sind. RAVIV und LIETH (2008) schlussfolgern, dass ein Luftgehalt kleiner als 10 Vol.-% wachstumsmindernd wirkt. Um Wasserstress zu vermeiden, sollte die Wasserkapazität nach HANDREK und BLACK (2004) im leicht verfügbaren Bereich (Saugspannungen zwischen 10 und 100 hPa) zwischen 25 und 35 Vol.-% betragen.

Gewöhnlich erfolgt die Bestimmung der hydraulischen Eigenschaften von Blumenerden und Substraten nach dem Sandbox-Verfahren (RAVIV und LIETH, 2008; AL NADDAF et al., 2011; DIN EN, 13041, 2012). Hiermit wird ausschließlich die Wasserretentionsfunktion bestimmt, und das auch nur im Bereich zwischen Wassersättigung und einer Saugspannung von 100 hPa. Von Bedeutung für die Beurteilung der Eignung von Blumenerden sind jedoch auch Wasserspeichereigenschaften in höheren Saugspannungsbereichen sowie die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit (RAVIV und LIETH, 2008). Letztere wird einzeln mit der „One-Step-Outflow-Method“ gemessen (BIBBIANI, 2002; BIBBIANI et al., 2014; CARON et al., 2014). Diese Methoden sind zeitaufwendig und fehleranfällig. Die Messung von Schrumpfung und Hysteresis ist nicht möglich. Desweiteren ist die Wiederbenetzbarkeit von entwässerten Substraten von Bedeutung für die Wasserspeicherung und Pflanzenwasserversorgung (RITSEMA und DEKKER, 1996; BLANCO-CANQUI und LAL, 2009).

Nachfolgend sollen (i) die Anwendbarkeit der erweiterten Verdunstungsmethode (EEM, SCHINDLER et al., 2010) für die Quantifizierung der hydraulischen Eigenschaften von Blumenerden und Substraten geprüft und (ii) die Ergebnisse der untersuchten Erden hinsichtlich ihrer hydraulischen Eignung diskutiert werden.

2 Material und Methoden

2.1 Erweiterte Verdunstungsmethode (EEM)

Eine Bodenprobe (250 cm³ Stechzylinder) wird wasser-gesättigt. Die Probe wird mit einem Messkopf verbunden auf dem zwei Tensiometer montiert sind (Abb. 1, rechts). Die Probe wird mit dem Messkopf verspannt und so basal abgedichtet. Der Messkopf wird mit aufgesetzter Probe auf eine Waage gestellt, und im Zeitintervall (zwischen 10 Minuten und mehreren Stunden) werden die Saugspannungen und die Probenmasse online mit einem Computer erfasst. Die Messung ist beendet, wenn Luft in die Tensiometer eindringt und die angezeigte Saugspannung auf 0 zurückgeht. Die Probe wird vom Messkopf entfernt und die Restfeuchte durch Trocknung bei 105 °C gemessen. Die Saugspannungs- und Massewerte bilden die Grundlage für die Berechnung der Wasserretentions- und der hydraulischen Leitfähigkeitsfunktion (Gl. 1).

$$K(\Psi_{\text{mittel}}) = \frac{\Delta m}{\alpha A \Delta t i_m \rho} \quad \text{Gl. 1}$$

Ψ_{mittel} ist die mittlere Saugspannung des unteren (3,75 cm unter der Probenoberfläche) und des oberen Tensiometers (1,25 cm über der Probenoberfläche), geometrisch gemittelt im Zeitintervall Δt , Δm ist die Differenz der Probenmasse (entspricht dem verdunsteten Wasservolumen $\Delta V_{\text{H}_2\text{O}} = \Delta m / \rho$ der Gesamtprobe im Messintervall, ρ ist die Dichte von Wasser, α ist der Fluxfaktor (im Fall nicht schrumpfender Proben ist $\alpha = 2$, SCHINDLER et al., 2010), A ist die Probenoberfläche und i_m ist der mittlere hydraulische Gradient im Zeitintervall.

Datenpunkte der Wasserretentionskurve sind Wertepaare von mittlerer Saugspannung und Wassergehalt zum jeweiligen Zeitpunkt t . Die Verwendung von Siedeverzugtensiometern ermöglicht die Quantifizierung der hydraulischen Kennfunktionen bis nahe dem permanenten Welkepunkt mit dem HYPROP System (Abb. 1, UMS GmbH München, 2011). Aus Bodentrockenmasse und Volumen der Probe wird die Trockenrohddichte berechnet.

Die Messzeit ist abhängig von der Verdunstungsrate und der zu verdunstenden Wassermenge und beträgt zwischen 3 und 10 Tagen. Die parallele Messung von Proben ist möglich. Das Verfahren ist mehrfach wissenschaftlich geprüft und als geeignet bewertet worden (WENDROTH et al., 1993; PETERS und DURNER, 2008).

2.2 Probenvorbereitung

Die Blumenerde wurde locker in ein Plastikrohr (Durchmesser 15 cm, Höhe 65 cm) bis 5 cm unter Oberkante eingefüllt und anschließend gesättigt. Das Rohr stand dabei in einer Mitscherlichschale. Die Wasserzugabe erfolgte zunächst über die Oberfläche. Nachdem Wasser an der Basis des Rohres austrat, wurde die Oberfläche abgedeckt. Die weitere Sättigung erfolgte danach über 48 Stunden kapillar aus der etwa 3 cm hoch mit Wasser gefüllten Schale. Während der Sättigung trat eine Setzung ein, so dass nach Abschluss der kapillaren Sättigung die Erdsäule auf etwa 50 cm zusammensackt war und die Saugspannung an der Oberfläche der Blumenerde etwa 50 hPa betrug. Im Folgenden wurden die oberen 10 cm des Blumenerdematerials entnommen, gemischt und damit die 250 cm³ Stechzylinder locker gefüllt. Während des Füllungsvorganges wurde der Stechzylinder jeweils 10 mal hart auf den Arbeitstisch aufgesetzt, wodurch die Blumenerde im Zylinder gestaucht wurde. Diese Vorgehensweise ist angelehnt an die Verfahrensweise nach DIN EN, 13041, sichert eine Reproduzierbarkeit und ermöglicht die hydraulische Vergleichbarkeit von Blumenerden unterschiedlicher Ausgangsfeuchte.

2.3 Hydraulische Variable

Die **Wasser- und die Luftkapazität** wurde aus der Wasserretentionskurve abgeleitet. Dabei wurde zwischen der Anwendung in Töpfen (Containern) und der Ausbringung auf dem gewachsenen Boden (freie Dränung) unterschieden. Das leicht verfügbare Wasser (EAW) in Töpfen entsprach dabei der Differenz der Wassergehaltswerte nach (i) gravitativer Entwässerung und (ii) bei einer Saugspannung von 100 hPa (RAVIV und LIETH, 2008, DIN EN, 13041). Unter Bedingungen freier Dränung wurde dieser



Abb. 1. HYPROP System, links im Multimodus, rechts die Einzelkomponenten des Messsystems.

Anteil in Anlehnung an TAYLOR (1965) zwischen dem Wassergehalt bei Feldkapazität (pF 1.8, KA5 (2005) und dem Wassergehalt bei 800 hPa definiert. Die Luft- und Wasserkapazität in Töpfen ist abhängig von der Topfhöhe. Beide Kenngrößen sind tiefenabhängig. An der Topfbasis ist das Substrat gesättigt, die Saugspannung ist 0 hPa. An der Oberfläche eines z.B. 20 cm hohen Topfes (P20) beträgt die Saugspannung im statischen Fall 20 hPa. Für diese Bedingungen wurde die Wasser- bzw. Luftkapazität im Topf aus der Differenz zwischen Wassersättigung an der Topfbasis und den bis zur Topfoberfläche in cm-Schritten aufsummierten Wassergehalts- bzw. Luftgehaltswerten aus der Wasserretentionsfunktion errechnet. Die Luftkapazität unter freier Dränung wurde definiert als Differenz der Wassergehalte zwischen Wassersättigung und Feldkapazität.

Der **kapillare Wasseraufstieg** wurde aus der hydraulischen Leitfähigkeitsfunktion für eine stationäre kapillare Aufstiegsrate von 5 mm d^{-1} berechnet (SCHINDLER und DANNOWSKI, 1982).

Die **Schrumpfung** von Blumenerde- und Substratproben wurde analog der Anwendung unterschieden zwischen (i) Topf: Schrumpfung bei 100 hPa und (ii) freie Dränung: Schrumpfung bei 800 hPa. Die Schrumpfung bei 100 hPa wurde aus der Durchmesseränderung an der Probenoberfläche abgeschätzt. Dies war möglich, da die Schrumpfung von der Probefläche bis zur Probenoberfläche linear erfolgt und Isotropie zugrunde gelegt werden kann (SCHINDLER et al., 2015). An der Probenbasis wurde zu diesem Zeitpunkt eine 0-Schrumpfung angenommen. Daraus ergab sich das Volumen der geschrumpften

Probe aus der dem Durchmesser in Probenmitte und der zugehörigen Probenhöhe. Die Schrumpfung bei 800 hPa wurde aus der Schrumpfung der ofentrockenen (105°C) Probe (Vermessung der Probegeometrie mit einer Schiebellehre) abgeschätzt und bewertet. Eine genauere Messmethode ist bei SCHINDLER et al. (2015) beschrieben. Hier wird die Schrumpfung der Probe während der Verdunstungsmessung kontinuierlich erfasst, so dass Aussagen zur Schrumpfung in jeder Phase der Austrocknung möglich sind. Diese Arbeitsweise ist aufwendiger, da die Probe dafür aus dem Metallzylinder entfernt und mit einer flexiblen, luft- und wasserundurchlässigen Membran umhüllt wird. Die Messung des Schrumpfungsverlaufes erfolgt dann mit einem Umfangsmesser, der online mit dem Messsystem (HYPROP, UMS GmbH München, 2011) und dem Computer verbunden ist. Gleichzeitig werden bei dieser Prozedur neben der Schrumpfung simultan die Wasserretentionskurve und die hydraulische Leitfähigkeitsfunktion gemessen.

Die **Wiederbenetzungszeit** wurde mit der „Water Drop Penetration Time Methode“ (WDPT) (VAN'T WOUDT, 1959; BEARDELL et al., 1979; SCHMIDT, 1995; BLANCO-CANQUI und LAL, 2009). gemessen und nach der benötigten Zeit für die Infiltration des Tropfens in die Probe bewertet. Die Messungen erfolgten während der Verdunstungsmessung bei etwa 100 und 800 hPa.

2.4 Blumenerden und Substrate

Insgesamt wurden 18 handelsübliche Blumenerden und Substrate untersucht (Tab. 1). 17 der untersuchten Erden

Tab. 1. Zusammensetzung der Blumenerden, Substrate

Nr.	Bezeichnung	Zusammensetzung
1	Rasenerde	Hh (H3-H8), R, G
2	Pflanzerde	100% Hh (H2-H4) H7-H9, G, R
3	Pflanzsubstrat	100% Hh (H2-H5), P, T, Ka
4	Pflanzerde	Hh (H3-H8), R, G, P, T, Ka
5	Aktiverde	95% Hh (H3-H7), P, Ko
6	Blumenerde	R, T, Ko, Guano
7	Blumenerde	90% Hh (H4-H8), 10% T, Ka
8	Gärtnererde	Hh (H3-H8), T, P
9	Aktiverde	75% Hh (H3-H5 und H6-H7), Ko, T, Ka
10	Aktiverde	80% Hh (H3-H5 und H6-H7), Ko, T
11	Bioerde	Hh (H2-H5), G, R, P, T, Ka
12	Blumenerde	Hh (H3-H8), G, R, P, T, Ko
13	Rhododendronerde	Hh (H3-H5 und H7-H9)
14	Blumenerde	Hh (H2-H5), G, R, Ka
15	Blumenerde	Hh (H3-H8), G, P, Ka
16	Aktiv Pflanzerde	60% Hh (H3-H5 und H6-H7), R, G, Ko, Ka
17	Aktiv Bioerde	60% Hh (H3-H5 und H6-H7), Ko, T, P
18	Blumenerde mit Naturton	50% Hh (H3-H5), G, R, T

Hh – Hochmoortorf, H3 Zersetzungsgrad 3, R – Kompost aus Forstabfällen, G – Kompost aus Grünabfällen, P – Perlite, Ka – Kalk, T – Ton, Ko – Kokosfaser

und Substrate waren zusammengesetzt aus unterschiedlichen Anteilen Hochmoortorf (Hh: 50 bis 100%) mit Zersetzungsgrad zwischen H2 bis H7 (KA5, 2005). Weitere Beimengungen waren Kompost aus Forst- (F) und Grünabfällen (G), Kokosfasern (Ko) und mineralische Bestandteile (Perlite – P, Kalk – Ka, und Ton – T). Die Blumenerde 6 war torffrei.

3 Ergebnisse und Diskussion

Abb. 2 zeigt die Wasserretentionskurven aller Proben. Zu keiner Zeit wurden Kontaktprobleme bei den Saugspannungsmessungen beobachtet, auch nicht dann, wenn die Messungen bis zum permanenten Welkepunkt fortgeführt wurden. Mit Ausnahme der torffreien Probe (Nr. 6) zeigten alle anderen Erden einen vergleichbaren Verlauf. Der gesättigte Wassergehalt lag zwischen 71,8 und 87,1 Vol.-%. Legt man die Grenzwerte von HANDREK und BLACK (2004) für eine gute Wasserversorgung (25 bis 35 Vol.-%) zugrunde, so war die Wasserkapazität aller Blumenerden und Substrate bei Topfkulturen optimal (Tab. 2). Unter freier Dränung differenzieren sich die Erden deutlich. Mit Ausnahme der Substrate 4, 5, 12 und des torffreien Substrates 6 war die Wasserkapazität auch bei dieser Nutzung als gut zu bewerten. Deutliche Unterschiede und Einschränkungen zeigten jedoch die Luftkapazitätswerte bei 20 cm hohen Töpfen. Nur von 8 Proben wird der Grenzwert von 10 Vol.-% (RAVIV und LIETH, 2008) erreicht und überschritten. Mehr als 50% der Blumenerden und Substrate waren im Bereich der Luftversorgung als kritisch zu bewerten. Unter Bedingungen der freien Dränung war die Luftversorgung durchweg optimal gesichert. Die hydraulische Leitfähigkeit und der dadurch bestimmte kapillare Wasseraufstieg sind Kenngrößen für die Fähigkeit der Erden und Substrate, Wasser und Nährstoffe zu transportieren und damit bedeutsam für die Wasser- und Nährstoffversorgung der angebauten Kultur (RAVIV und LIETH, 2008).

Einschränkend für die Eignung von Blumenerden und Substraten und mindernd für die Versorgung der Pflanzen

mit Wasser, Luft und Nährstoffen wirken eine gehemmte Wiederbenetzung (RITSEMA und DEKKER, 1996), sowie die Schrumpfung. Beides kann zu präferentieller Tiefenverlagerung und Austrag von Wasser und Nährstoffen führen (RAVIV und LIETH, 2008). Auch hier unterschieden sich die Substrate und Blumenerden deutlich. Die torffreie Blumenerde wies nur geringe Schrumpfung und keine Minderung der Benetzungszeit auf. Ähnliches trifft für die Proben 3, 8, 9 und 17 zu. Bei der Benetzungszeit ist anzumerken, dass sich diese im Zuge der Austrocknung deutlich differenziert. Die torffreie Probe Nr. 6 behält ihre sehr gute Wiederbenetzbarkeit auch bei deutlich geringerer Feuchte, während die Blumenerden 1, 7 und 18 sehr schnell hydrophobe Eigenschaften annahmen. So stieg die Wiederbenetzungszeit bei Probe 18 auf über 100 Sekunden, wenn die Saugspannung 800 hPa erreichte.

Aus den Untersuchungen zeigte sich, dass Substrate, die keine Zusätze von Ton, dafür jedoch Anteile von Kokosfasern, Perlite, Kompost und geringere Beimengungen von Hochmoortorf enthielten, überwiegend Luftkapazitäten größer als 10% aufwiesen. Auch die Schrumpfung und die Wiederbenetzungszeit blieben bei diesen Proben meistens in einem vertretbaren Rahmen. Diese Aussagen werden durch Ergebnisse von HEISKANEN (1995) gestützt.

4 Schlussfolgerungen

Das erweiterte Verdunstungsverfahren und das zugehörige Messgerät HYPROP ermöglichen eine komplexe hydraulische Analyse von Blumenerden und Substraten. Neben der simultanen Messung der Wasserretentionskurve und der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit kann gleichzeitig die Schrumpfung der Bodenproben gemessen werden. Das kann in vereinfachter Weise durch Messung der Durchmesseränderung an der Probenoberfläche während der Verdunstungsmessung erfolgen. Eine deutlich genauere aber aufwendigere Möglichkeit ist die computergestützte Messung des Schrumpfungsverlaufes mit HYPROP und einem zusätzlichen Umfangsmeter (SCHINDLER et al., 2015). Unter Nutzung der hydraulischen Leitfähigkeits-

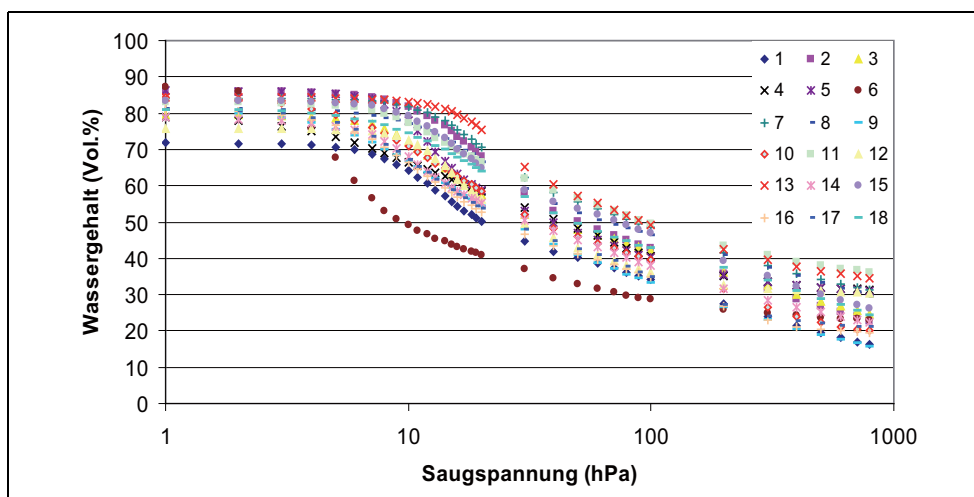


Abb. 2. Wasserretentionsfunktionen der untersuchten Blumenerden und Substrate.

Tab. 2. Hydraulische Kennwerte der Blumenerden und Substrate

Nr.	Θ_s	FK	Luft _{p20}	Luft _{FD}	EAW _{p20}	EAW _{FD}	S ₁₀₀	S _{tr}	KW ₅	WDPT
	Vol.-%									
									cm	sec
1	71,8	38,7	9,3	33,1	28,2	22,5	1,3	20,4	10,1	0,1
2	86,0	48,0	6,5	38,0	36,6	25,2	5,3	32,7	45,7	1
3	79,6	46,4	9,4	33,1	27,9	21,9	3,2	20,4	54,7	0,1
4	79,0	46,2	11,8	32,8	26,7	14,9	1	20,4	26,7	15
5	86,2	45,1	11,7	41,1	34,4	14,0	0,8	13,8	42,9	2
6	87,1	31,6	31,7	55,5	26,7	8,6	0,1	6,8	17,9	0,1
7	84,2	53,8	4,5	30,4	31,1	22,4	7,4	32,7	24,4	1
8	81,2	50,6	5,7	30,6	29,1	21,1	3	23,6	45,7	0,1
9	80,7	38,8	13,9	41,9	33,5	23,2	1,5	20,4	29,3	0,1
10	84,4	44,1	13,6	40,4	31,4	24,0	7,1	26,7	29,3	0,1
11	83,1	54,7	7,2	28,5	26,5	18,5	4,5	20,4	13,1	2
12	75,8	40,8	6,8	35,0	32,8	10,3	1	13,8	26,7	6
13	84,5	55,1	2,7	29,4	32,5	20,6	4,2	28,2	47,7	1
14	78,8	43,2	11,6	35,6	29,2	20,8	0,5	13,8	15,9	6
15	83,4	52,0	6,9	31,4	29,6	26,0	7,6	29,7	36,4	2
16	81,1	39,8	14,7	41,3	31,5	20,2	6,8	25,9	12,7	1
17	80,8	40,8	13,8	40,0	32,1	19,8	4,2	26,7	29,3	0,1
18	81,0	47,3	7,6	33,7	30,6	22,9	6,5	20,4	79,9	2

Θ_s – Wassergehalt bei Sättigung, FK – Feldkapazität, Luft_{p20}, Luft_{FD} – Luftkapazität im Blumentopf mit einer Höhe von 20 cm und bei freier Dränung, EAW_{p20} – leicht verfügbares Wasser im Topf mit 20 cm Höhe zwischen Luftkapazität und 100 hPa, EAW_{FD} – leicht verfügbares Wasser bei freier Dränung zwischen Feldkapazität und 800 hPa Saugspannung, S₁₀₀ – Schrumpfung bei 100 hPa, S_{tr} – Schrumpfung der bei 105°C getrockneten Probe, KW₅ – stationäre kapillare Aufstiegshöhe für eine Rate von 5 mm^d⁻¹, WDPT – Benetzungszeit bei 100 hPa

funktion kann der kapillare Wasseraufstieg berechnet werden. Eine wichtige Kenngröße für die Beurteilung der hydraulischen Eignung von Blumenerden ist die Wiederbenetzungszeit (water drop penetration time). Die Messung kann während des Messverlaufes zu beliebigen Zeitpunkten an der Probe durchgeführt werden. Die dadurch verursachte Störung des Verdunstungsverlaufes ist vernachlässigbar.

Um die Beurteilung der hydraulischen Eignung von Blumenerden effektiver und vergleichbarer machen zu können, sollte ein Bewertungsrahmen entwickelt werden. Die Beurteilung der Einzelgrößen sollte sich an anerkannten Grenzwerten orientieren und die Eignung in einer Punkteskala abgebildet werden.

Literatur

- AL NADDAF, O., I. LIVIERATOS, A. STAMATAKISA, I. TSIROGIANNISB, G. GIZASB, D. SAVVAS, 2011: Hydraulic characteristics of composted pig manure, perlite, and mixtures of them, and their impact on cucumber grown on bags. *Scientia Horticulturae* **129**, 135-141.
- AG Boden, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5), 5. verb. und erw. Aufl., Stuttgart, Schweizerbart, 438 S.
- BEARDSELL, D.D., D.C. NICHOLS, D.I. JONES, 1979: Physical properties of nursery potting mixes. *Scientia Horticulturae* **11**, 1-8.

- BEARDSELL, D.V., D.G. NICHOLS, 1982: Wetting properties of dried-out nursery pot media. *Scientia Horticulturae* **17**, 49-59.
- BIBBIANI, C., 2002: An iterative procedure to estimate hydraulic characteristic of plant substrates from one-step outflow data. *Agricoltura Mediterranea* **132**, 232-45.
- BIBBIANI, C., C.A. CAMPIOTTI, L. INCROCCI, 2014: Estimation of hydraulic properties of growing-media with a one-step-outflow technique. *International Symposium on Growing Media and Soilless Cultivation*. 1034, 319-325, ISSN 0567-7572.
- BLANCO-CANQUI, H., R. LAL, 2009: Extent of soil water repellency under long-term no-till soils. *Geoderma* **149**, 171-180.
- BUNT, A.C., 1988: Media and Mixes for Container-Grown Plants. Second ed., London, UK, Unwin Hyman Ltd.
- CARON, J., S. PEPIN, Y. PERIARD, 2014: Physics of Growing Media in a Green Future. *International Symposium on Growing Media and Soilless Cultivation*. 1034, 309-317. ISSN 0567-7572.
- DI LORENZO, R., A. PISCIOTTA, P. SANTAMARIA, V. SCARIOT, 2013: From soil to soil-less in horticulture: quality and typicity. *Italian Journal of Agronomy* **8**, 255-260.
- DIN EN, 13041, 2012: Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate - Bestimmung der physikalischen Eigenschaften- Rohdichte (trocken), Luftkapazität, Wasserkapazität, Schrumpfungswert, und Gesamtporenvolumen. Berlin, Beuth Verlag.
- HANDREK, K., N. BLACK, 2004: Growing Media for Ornamental Plants and Turf. Univ. of New South Wales Press ISBN 0 86840 333 4.
- HEISKANEN, J., 1995: Physical properties of two-component growth media based on Sphagnum peat and their implications for plant-available water and aeration. *Plant and Soil* **172**, 45-54.
- NOWAK, J.S., Z. STROJNY, 2004: Changes in physical properties of peat-based substrates during cultivation period of gerbera. *Acta Horticulturae* **644**, 319-323.
- OBRAĐOVIC, A., C. SUKHA, 1993: Effect of different potting mixtures on potato mini-tuber production. *J. Sci. Agric. Res.* **53**, 39-45.

- ÖZKAYNAK, E., B. SAMANCI, 2005: Yield and yield components of greenhouse, field and seed bed grown potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets. Akdeniz Univ. Ziraat Fakültesi Dergisi **18** (1), 125-129.
- PARDOSSI, A., G. CARMASSI, C. DIARA, L. INCROCCI, R. MAGGINI, D. MASSA, 2011: Fertigation and Substrate Management in Closed Soilless Culture. Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, University of Pisa, Pisa, Italy.
- PETERS, A., W. DURNER, 2008: Simplified evaporation method for determining soil hydraulic properties. J. Hydrol. **356**, 147-162, DOI: 101016/j.jhydrol200804016.
- RAVIV, M., J.H. LIETH, 2008: Soilless culture: Theory and practice. London, Elsevier, pp. 579. ISBN: 978-0-444-52975-6.
- RICHARDS, D., M. LANE, D.V. BEARDSSELL, 1986: The influence of particle size distribution in pinebark, sand, brown coal potting mixes on water supply aeration and plant growth. Scientia Horticulturae **29** (1), 1-14.
- RITSEMA, C.J., L.W. DEKKER, 1996: Water repellency and its role in forming preferred flow paths in soils. Australian Journal of Soil Research **34**, 475-487.
- SCHINDLER, U., R. DANNOWSKI, 1982: Untersuchungen zum kapillaren Wasseraufstieg aus dem Grundwasser 1. Mitteilung: Methodik zur Quantifizierung des kapillaren Wasseraufstiegs. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin **26**, 3, 125-132.
- SCHINDLER, U., W. DURNER, G. VON UNOLD, L. MUELLER, R. WIELAND, 2010: The evaporation method – Extending the measurement range of soil hydraulic properties using the air-entry pressure of the ceramic cup. J. Plant Nutr. Soil Sci. **173** (4), 563-572.
- SCHINDLER, U., J. DOERNER, L. MÜLLER, 2015: Simplified method for quantifying the hydraulic properties of shrinking soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. **178**, 136-145.
- SCHMIDT, W., 1995: Einfluß der Wiedervernässung auf physikalischen Eigenschaften des Moorkörpers der Friedländer Großen Wiese. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung **36**, 107-111.
- TAYLOR, A., 1965: Managing irrigation water on the farm. Transactions of Amer. Soc. of Agri. Engineers.
- UMS GmbH Munich, 2012: HYPROP® – Laboratory evaporation method for the determination of pF-curves and unsaturated conductivity. http://www.ums-muc.de/en/products/soil_laboratory/hyprop.html.
- VERDONCK, O., 2007: Status of soilless culture in Europe. In: Chow, K.K. Proceedings of the International Conference & Exhibition on Soilless Culture. Acta Horticulturae **742**, 35-39.
- VAN'T WOUT, B.D., 1959: Particle coatings affecting the wettability of soils. Journal of Geophysical Research **64**, 263-267.
- WENDROTH, O., W. EHLERS, J.W. HOPMANS, H. KAGE, J. HALBERTSMA, J.H.M. WÖSTEN, 1993: Reevaluation of the evaporation method for determining hydraulic functions in unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. **57**, 1436-1443.
- YOGEV, A., M. RAVIV, Y. HADAR, 2006: Plant-waste based compost suppressive to diseases caused to pathogenic *Fusarium oxysporum*. Euro. J. Plant Pathol. **116**, 267-278.