

# Neue Methode zur Messung hydro-physikalischer Eigenschaften von Kultursubstraten und Bewertung ihrer Eignung für gärtnerische Anwendungen

Uwe Schindler<sup>1\*</sup> und Frank Eulenstein<sup>1,2</sup>

## Zusammenfassung

Kultursubstrate werden speziell entwickelt für die Anwendung in Gärtnereien und für Blumentöpfe in Privathaushalten. Gewöhnlich werden sie als Mischung aus Hochmoortorf und anderen organischen und mineralischen Zusätzen hergestellt. Ein nachhaltiges, umweltfreundliches und ressourcenschonendes Wassermanagement im Gartenbau, das für gutes Pflanzenwachstum und hohe Erträge sorgt, erfordert die Kenntnis der Eignung der Kultursubstrate für jede spezifische Anwendung. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, sind verlässliche Methoden zur Messung und Bewertung von hydro-physikalischen Qualitätsindikatoren erforderlich. Hier wurde die Eignung des Erweiterten Verdunstungsverfahrens (EEM) und des zugehörigen HYPROP-Systems (Hydraulic PROProperty Analyzer) für die sehr locker gelagerten Substrate erfolgreich getestet. EEM und HYPROP ermöglichen die gleichzeitige und effektive Messung der Wasserretentionskurve und der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeitsfunktion. Der kapillare Wasseraufstieg kann aus der hydraulischen Leitfähigkeit berechnet werden. Zusätzlich werden die begrenzenden Qualitätsindikatoren Schrumpfung und Wiederbenetzungshemmung während der Versuchsdurchführung gemessen. Ein Bewertungsrahmen wurde entwickelt und an 19 kommerziellen Kultursubstraten und vergleichsweise zwei ausgewählten mineralischen Böden getestet. Die Bewertung wurde getrennt für die Anwendung bei freier Dränung im Feld und für das Wachstum in Blumentöpfen vorgenommen. Die Bewertung basiert auf: i- Anteil an leicht pflanzenverfügbarem Wasser, ii- Luftvolumen, iii- Kapillaraufstieg, iv- Wiederbenetzbarkeit und v- Schrumpfungsverhalten und besteht aus einer 5-Klassen-Skala zwischen sehr gut und nicht ausreichend. Die begrenzenden Indikatoren werden in einer 3 Klassen-Skala bewertet. Das beste Kultursubstrat in dieser Studie bestand aus Torf, Kokosfasern und Perlite. Kritisch zu bewerten war das Luftvolumen in Blumentöpfen geringer Höhe. Das Risiko eines Luftmangels wird durch die Zugabe von Ton erhöht. Zukünftige Arbeiten sollten ausgerichtet sein auf die Entwicklung einer Probenvorbereitung, die eine hohe Reproduzierbarkeit und praxisnahe hydro-physikalische Messergebnisse sichert. Ziele für zukünftige Forschungsarbeiten bestehen in einer methodischen Spezifizierung der Probenvorbereitung und der Entwicklung von Torfersatzstoffen.

## Summary

Growing media are specially created for use in nurseries and flowerpots in private households. Usually they are produced as a mixture of peat and other organic and mineral ingredients. Sustainable, environmentally friendly, and resource-saving horticultural water management that provides good plant growth and high yields requires knowledge of the suitability of growing media for each specific application. To meet this claim, reliable methods for measuring and evaluating hydro-physical quality indicators of growing media are required. Here, the suitability of the Extended Evaporation Method (EEM) and the associated HYPROP system (Hydraulic PROProperty Analyzer) for the very loosely bedded substrates was successfully tested. EEM and HYPROP allow the simultaneous and effective measurement of the water retention curve and the unsaturated hydraulic conductivity function. The capillary water rise can be calculated from the hydraulic conductivity. In addition, the limiting quality indicators shrinkage and re-wettability inhibition will be measured during the experimental procedure. A hydro-physical assessment framework has been developed and tested on 19 commercial growing media and comparatively selected mineral soils. The hydro-physical evaluation was made separately for field application in free drainage and growth in containers. The rating is based on: i- plant available water, ii- air volume, iii- capillary rise, iv- rewetting time and v- shrinkage behavior and consists of a 5-class rating between very good and not sufficient. The limiting indicators are rated in a 3-class scale. The best growing medium in this study was a composition of peat, coconut fiber and perlite. The risk of lack of air can be increased by the addition of clay. Future work should be focused on the development of a sample preparation that ensures high reproducibility and practical hydro-physical measurement results. Goals for future research include a methodological specification of the sample preparation and the development of peat substitutes.

<sup>1</sup> Mitscherlich Akademie für Bodenfruchtbarkeit (MITAK), GmbH, Prof.-Mitscherlich-Allee 1, D-14641 PAULINENAUE

<sup>2</sup> Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. Müncheberg

\* Ansprechpartner: Dr. Uwe Schindler, schindler@mitak.de



## Einleitung

Die Qualitätsbeurteilung von Kultursubstraten beschränkt sich derzeit im Wesentlichen auf die Inhaltsstoffe und die chemische Zusammensetzung. Informationen für den Nutzer zu hydro-physikalischen Eigenschaften sind weitgehend nicht verfügbar, nach Schmilewski (2017) aber von großer Bedeutung, da sie im Gegensatz zu den chemischen Eigenschaften während der Nutzung kaum gezielt beeinflusst werden können. Der Wasser- und besonders der Lufthaushalt der Substrate sind von entscheidender Bedeutung für das Pflanzenwachstum (Schmilewski 2017). Die Anforderungen an das erforderliche Luftvolumen reichen je nach Autor von 10 bis 40 Vol.-% (Bohne 2006). In Containern und Blumentöpfen sollte eine Durchlüftung besonders im unteren Wurzelbereich sichergestellt werden (Schmilewski 2017).

Es müssen verlässliche Methoden für die Bestimmung hydro-physikalischer Eigenschaften zur Verfügung stehen. Standardmäßig erfolgt ihre Messung derzeit mit der Sandbox nach DIN EN 13041. Die Messung ist aufwendig, die Ergebnisse sind unpräzise und fehlerbehaftet (Raviv und Lieth 2008, Al Naddafa et al. 2011). Das Gesamtporenvolumen als Basis für die Quantifizierung der Luftkapazität wird nicht gemessen, sondern aus angenommenen Reindichtewerten berechnet. Die Schrumpfung der ofentrockenen Probe ist in ihrer Aussage als Qualitätsindikator stark eingeschränkt, solange keine Aussage für den bedeutsamen Saugspannungsbereich bis 100 hPa getroffen werden kann. Wiederbenetzung und Hysterese des pflanzenverfügbaren Wasser- und Luftvolumens werden vollständig vernachlässigt. Eine Unterscheidung für Feld- und Topfbedingungen erfolgt nicht und auch die Topfhöhe als wichtige Variable für die Beurteilung des Wasser- aber insbesondere des Lufthaushaltes (Schindler et al. 2017b) wird vernachlässigt.

**Tabelle 1: Zusammensetzung der Kultursubstrate und mineralischen Böden.**

| Nr | Zusammensetzung                       |
|----|---------------------------------------|
| 1  | 30% Hh, 40% Ko, 30% P                 |
| 2  | 50 % Hh (H3-H5), G, R, T              |
| 3  | 60 % Hh (H3-H5), (H6-H7), Ko, T, P    |
| 4  | 60 % Hh (H3-H5), (H6-H7), R, G, Ko, K |
| 5  | Hh (H3-H8), G, P, K                   |
| 6  | Hh (H2-H5), G, R, K                   |
| 7  | Hh (H3-H5), (H7-H9)                   |
| 8  | Hh (H3-H8), G, R, P, T, Ko            |
| 9  | Hh (H2-H5), G, R, P, T, K             |
| 10 | 80 % Hh (H3-H5), (H6-H7), Ko, T       |
| 11 | 75 % Hh (H3-H5), (H6-H7), Ko, T, K    |
| 12 | Hh (H3-H8), T, P                      |
| 13 | 90 % Hh (H4-H8), 10 % T, K            |
| 14 | R, Ko, T, Guano                       |
| 15 | 95 % Hh (H3-H7), P, Ko                |
| 16 | Hh (H3-H8), R, G, T, K                |
| 17 | Hh (H2-H5), P, T, K                   |
| 18 | Hh (H2-H4), (H7-H9), G, R             |
| 19 | Hh (H3-H8), R, G                      |
| 20 | Lehm (Ls3)                            |
| 21 | Ton (Lts)                             |

Hh- Hochmoortorf, H3 Zersetzungsgrad 3, R- Kompost aus Holz- und Forstabfällen, G- Kompost aus Grünabfällen und Landschaftspflegematerial, P- Perlit, K- Kalk, T- Ton, Ko- Kokosfaser

Nachfolgend soll die Anwendbarkeit des Erweiterten Verdunstungsverfahrens (EEM) und des HYPROP (HYdraulic PROProperty analyzer, Schindler et al. 2010) für die hydro-physikalische Messung und Beurteilung von Kultursubstraten geprüft. Dazu werden die hydro-physikalischen Eigenschaften von kommerziellen Kultursubstraten und vergleichsweise von ausgewählten mineralischen Böden gemessen und für unterschiedliche gärtnerische Anwendungen bewertet.

## Material und Methoden

### Substrate

19 unterschiedliche handelsübliche Kultursubstrate wurden ausgewählt (Tabelle 1). Hauptkomponente der Kultursubstrate war Weiß und Schwarztorf aus Hochmooren. Der Torfanteil variierte zwischen 30 und 100 %. Ein Substrat (Nr. 14 von Neudohum) war torffrei, bestehend aus Rindenumus, Kokosfaser und Zusätzen von Ton. Weitere Beimengungen waren Kompost aus Forst- (F) und Grünabfällen (G), Kokosfasern (Ko) und mineralische Bestandteile (Perlit- P, Kalk- Ka, und Ton- T). Darüberhinaus wurden zwei Substrate (Ls3, Lts) aus mineralischen A-Horizonten in die Untersuchung einbezogen und die Qualität der Nutzung für gärtnerische Anwendungen vergleichsweise bewertet.

### Messung hydro-physikalischer Eigenschaften

Das Erweiterte Verdunstungsverfahren und das HYPROP sind hinlänglich bekannt, angewendet und getestet für die Messung der hydro-physikalischen Eigenschaften von Mineral- und Moorböden (Schindler et al. 2010, Schindler et al. 2012, Schelle et al. 2010, Schelle et al. 2013). In dieser Studie wird die Eignung des Verfahrens für die sehr locker gelagerten Kultursubstrate getestet. Zusätzlich zu den Standardeigenschaften, Wasserretentionskurve, ungesättigte hydraulische Leitfähigkeitsfunktion, Trockenrohdichte, können die Hysterese (Schindler et al. 2015a) der hydraulischen Kennfunktionen und die Schrumpfung (Schindler et al. 2015b) gemessen werden. Die Schrumpfung wurde für diese Untersuchungen in vereinfachter Weise aus der Durchmesseränderung an der Probenoberfläche während der Verdunstungsmessung abgeleitet. Der kapillare Wasseraufstieg wurde aus der hydraulischen Leitfähigkeitsfunktion berechnet. Die Wiederbefeuchtungseigenschaften wurden während der Versuchsdurchführung nach der Water Drop Penetration Time Methode (WDPT, Beardsell et al. 1982, Schmidt 1995, Blanco-Canqui & Lal 2009) quantifiziert. Dazu wurde ein Tropfen auf die Probe gegeben, und die Infiltrationszeit in Sekunden gemessen. Die Messung wurde je Messzeitpunkt in 4-facher Wiederholung durchgeführt. Die dadurch verursachte Störung des Verdunstungsverlaufes war vernachlässigbar.

### Probenvorbereitung

Die Substrate wurden locker in Plastikrohre (Durchmesser 15 oder 20 cm, Füllhöhe 60cm) eingefüllt und anschließend etwa 48 Stunden kapillar gesättigt. Die Rohre standen dabei in einer Schale mit etwa 5 cm Wasserfüllung. Während der Sättigung trat eine Setzung ein, so dass nach Abschluss der

kapillaren Sättigung die Substratsäule auf etwa 52 bis 48 cm über der Wasseroberfläche in der Schale zusammengesackt war und die Saugspannung an der Substratoberfläche etwa 50 hPa betrug. Im Folgenden wurden die oberen 4 cm des Substrates entnommen, gemischt und damit die 250 cm<sup>3</sup> Stechzylinder locker gefüllt. Die Füllung erfolgte in 2 Etappen. Zunächst wurde der Stechzylinder (Probenzylinder) gefüllt und 5 Mal aufgesteckt. Anschließend wurde ein zweiter Zylinder aufgesetzt, bis zur Hälfte mit Substrat gefüllt und wiederum 5 Mal aufgesteckt. Die Oberfläche wurde geglättet, die Probe im Wasserbad gesättigt, mit dem HYPROP verbunden und die Messung gestartet. Die Probenvorbereitung ist angelehnt an die standardisierte Verfahrensweise in den Niederlanden, sichert eine Reproduzierbarkeit der Einfüllichte und ermöglicht die hydraulische Vergleichbarkeit von Blumenerden und Substraten unterschiedlicher Ausgangsfeuchte des Basismaterials in der Verpackung (Schindler et al. 2017b).

### Bewertung der hydro-physikalischen Qualitätsindikatoren

Die Bewertung kann grundsätzlich für alle gärtnerischen Anwendungen erfolgen. In dieser Studie wurde die Gesamtbewertung beispielhaft für die Anwendung in 20 cm hohen Blumentöpfen und für Feldbedingungen durchgeführt. Qualitätsindikatoren sind der pflanzenverfügbare Luft- und Wasseranteil im Saugspannungsbereich bis 100 hPa, im Feld bis 800 hPa und der kapillare Wassertransport. Die Bewertung erfolgt in 5 Klassen (Schindler et al. 2017a, *Tabelle 2*). Ein Luftgehalt kleiner als 10 Vol.-% wurde in Anlehnung an Raviv & Lieth (2008) als wachstumsmindernd angenommen. Der Anteil an pflanzennutzbarem Wasser sollte möglichst hoch sein (Bohne 2006), jedoch nach Handrek & Black (2004) mindestens 35 Vol.-% nicht unterschreiten, um

**Tabelle 2: Bewertung der Basiseigenschaften.**

| Parameter                          | Klasse |         |         |         |      |
|------------------------------------|--------|---------|---------|---------|------|
|                                    | 1      | 2       | 3       | 4       | 5    |
| PAW <sup>1)</sup> (% by vol.)      | < 20   | 20 – 25 | 25 – 30 | 30 – 35 | ≥ 35 |
| LV <sup>2)</sup> (% by vol.)       | < 2    | 2 – 5   | 5 – 8   | 8 – 10  | ≥ 10 |
| KW <sub>5</sub> <sup>3)</sup> (cm) | < 30   | ≥ 30    |         |         |      |

<sup>1)</sup> pflanzenverfügbares Wasser, <sup>2)</sup> LV- Luftvolumen, <sup>3)</sup> KW<sub>5</sub>- kapillare Aufstiegshöhe für eine 5mm<sup>d</sup> Rate

**Tabelle 3: Bewertung der limitierenden Faktoren.**

| Parameter                     | Klasse |        |      |
|-------------------------------|--------|--------|------|
|                               | 0      | 1      | 2    |
| W (in Sekunden) <sup>1)</sup> | ≤ 5    | 5 – 15 | > 15 |
| S <sup>2)</sup> (Vol.-%)      | ≤ 2    | 2 – 5  | > 5  |

<sup>1)</sup> W – Benetzungszeit eines Wassertropfens, <sup>2)</sup> Schrumpfung

**Tabelle 4: Gesamtbewertung der hydro-physikalischen Eignung von Kultursubstraten im Gartenbau.**

| Bewertung    | Punkte     |
|--------------|------------|
| Sehr gut     | ≥ 10       |
| Gut          | < 10 - > 8 |
| befriedigend | < 8 - > 6  |
| Genügend     | < 6 - > 4  |
| Ungenügend   | ≤ 4        |

Wasserstress zu vermeiden. Qualitätsmindernde Indikatoren sind Schrumpfung und Benetzungshemmung. Sie wurden in 3 Klassen bewertet (*Tabelle 3*), wobei nur der höchste Wert aus beiden Indikatoren berücksichtigt wird. Die Gesamtbewertung erfolgt in 5 Klassen (*Tabelle 4*) zwischen ungenügend (≤ 4 Punkte) und sehr gut (≥ 10 Punkte).

### Ergebnis und Diskussion

Die hydro-physikalischen Kennwerte der untersuchten Kultursubstrate und mineralischen Böden zeigten eine große Variabilität bei fast allen Kennwerten (*Tabelle 5*). Die Reproduzierbarkeit der Vergleichsmessungen innerhalb der Substratvarianten war hoch. Der Wassergehalt bei Sättigung variierte zwischen 87,1 und 71,8 Vol.-%. Große Unterschiede zeigten sich auch beim pflanzenverfügbaren Wasser- und Luftvolumen, der Schrumpfung, Wiederbenetzung und der Kapillarität. Die statistischen Auswertungen aus Schindler et al. 2017b werden auch von diesen Untersuchungsergebnissen bestätigt, dass Einmischung von Ton das Luftvolumen negativ beeinflusst. Das ist insbesondere von Bedeutung in Blumentöpfen mit einer geringeren Höhe als 20 cm. Die mineralischen Substrate zeigten zwar keine Einschränkungen durch Schrumpfung oder Wiederbefeuchtung, die Basiskennwerte Wasser- und Luftgehalt und Kapillarität waren jedoch deutlich geringer als die der Kultursubstrate.

Die Bewertung der Kultursubstrate reichte von genügend bis sehr gut (*Tabelle 6*). Besonders groß war die Differenzierung bei der Anwendung in Blumentöpfen. Hauptursache war das nicht ausreichende Luftvolumen und die limitierenden Faktoren Schrumpfung und Benetzungshemmung. Bei freier Dränung unter Feldbedingungen gab es keine Einschränkungen des Luftvolumens. Begrenzend und qualitätsmindernd war hier der begrenzte pflanzenverfügbare Wasseranteil. Das beste Substrat bei diesen Untersuchungen (Nr. 1) war eine Mischung aus Hochmoortorf (30 %), Kokosfaser (40 %) und Perlit (30 %). Hochmoortorf und Kokosfasern haben hohe Wasserspeichereigenschaften, Perlit und Kokosfasern begünstigen die Durchlüftung. In der Topfanwendung erreichte das Produkt die Maximalbewertung von 12 Punkten. In der Feldanwendung war der pflanzenverfügbare Wasseranteil die Ursache für eine mit 9 Punkten „nur“ gute Bewertung. Im Mittel wurden die Kultursubstrate mit befriedigend bewertet. Die mineralischen Substrate erreichten vergleichsweise dazu im Mittel gerade noch ein „genügend“.

Aus den Untersuchungen zeigte sich, dass Substrate die keine Zusätze von Ton, dafür jedoch Anteile von Kokosfasern, Perlit, Kompost und geringere Beimengungen von Hochmoortorf enthielten, überwiegend Luftgehalte 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.

### Schlussfolgerungen

Das erweiterte Verdunstungsverfahren und das zugehörige Messgerät HYPROP ermöglichen eine komplexe hydro-physikalische Analyse auch der sehr locker gelagerten Kultursubstrate. Neben der simultanen Messung der Wasserretentionskurve und der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit können gleichzeitig die Schrumpfung und

Tabelle 5: Hydro-physikalische Kennwerte der Kultursubstrate und mineralischen Böden.

| Nr                 | Θ <sub>s</sub> | FK   | pWP  | Luft <sub>p20</sub><br>Vol.-%. | Luft <sub>F</sub> | PAW <sub>p20</sub> | PAW <sub>F</sub> | S   | KW <sub>5</sub><br>cm | W<br>sec |
|--------------------|----------------|------|------|--------------------------------|-------------------|--------------------|------------------|-----|-----------------------|----------|
| 1                  | 83,4           | 40,8 | 12,3 | 17,5                           | 42,7              | 37,7               | 24,7             | 0   | 40,1                  | 0,1      |
| 2                  | 81             | 47,3 | 14,3 | 7,6                            | 33,7              | 30,6               | 22,9             | 7   | 79,9                  | 2        |
| 3                  | 80,8           | 40,8 | 20,1 | 13,8                           | 40                | 32,1               | 19,8             | 6,2 | 29,3                  | 0,1      |
| 4                  | 81,1           | 39,8 | 12,6 | 13,7                           | 41,3              | 31,5               | 20,2             | 3,3 | 12,7                  | 1        |
| 5                  | 83,4           | 52   | 12,3 | 6,9                            | 31,4              | 29,6               | 26               | 7   | 36,4                  | 2        |
| 6                  | 78,8           | 43,2 | 12,7 | 11,6                           | 35,6              | 29,2               | 20,8             | 0,8 | 15,9                  | 6        |
| 7                  | 84,5           | 55,1 | 29,8 | 2,7                            | 29,4              | 32,5               | 20,6             | 0,6 | 47,7                  | 1        |
| 8                  | 75,8           | 40,8 | 30   | 6,8                            | 35                | 32,8               | 10,3             | 1   | 26,7                  | 6        |
| 9                  | 83,1           | 54,7 | 31,1 | 7,2                            | 28,5              | 26,5               | 18,5             | 6,2 | 13,1                  | 2        |
| 10                 | 84,4           | 44,1 | 18   | 13,6                           | 40,4              | 31,4               | 24               | 6,2 | 29,3                  | 0,1      |
| 11                 | 80,7           | 38,8 | 4,6  | 13,9                           | 41,9              | 33,5               | 23,2             | 0,8 | 29,3                  | 0,1      |
| 12                 | 81,2           | 50,6 | 12,8 | 5,7                            | 30,6              | 29,1               | 21,1             | 6,6 | 45,7                  | 0,1      |
| 13                 | 84,2           | 53,8 | 23,8 | 4,5                            | 30,4              | 31,1               | 22,4             | 9,1 | 24,4                  | 1        |
| 14                 | 87,1           | 31,6 | 21,4 | 31,7                           | 55,5              | 26,7               | 8,6              | 0,4 | 17,9                  | 0,1      |
| 15                 | 86,2           | 45,1 | 29,1 | 11,7                           | 41,1              | 34,4               | 14               | 2,1 | 42,9                  | 2        |
| 16                 | 79             | 46,2 | 29,9 | 11,8                           | 32,8              | 26,7               | 14,9             | 3,3 | 26,7                  | 15       |
| 17                 | 79,6           | 46,4 | 10   | 9,4                            | 33,1              | 27,9               | 21,9             | 5,4 | 54,7                  | 0,1      |
| 18                 | 86             | 48   | 7,7  | 6,5                            | 38                | 36,6               | 25,2             | 6,2 | 45,7                  | 1        |
| 19                 | 71,8           | 38,7 | 4,6  | 9,3                            | 33,1              | 28,2               | 22,5             | 2,1 | 10,1                  | 0,1      |
| MW                 | 81,7           | 45,1 | 17,7 | 10,8                           | 36,5              | 31                 | 20,1             | 3,9 | 33,1                  | 2,1      |
| Mineralische Böden |                |      |      |                                |                   |                    |                  |     |                       |          |
| 20                 | 37,5           | 30,5 | 15   | 2                              | 7                 | 13,4               | 8,4              | 0   | 21                    | 0        |
| 21                 | 43             | 37,8 | 22,6 | 1,4                            | 5,2               | 11,6               | 7,7              | 0   | 17                    | 0        |
| MW                 | 40,3           | 34,1 | 18,8 | 1,7                            | 6,1               | 12,5               | 8,1              | 0   | 19,0                  | 0        |

Θ<sub>s</sub>-Wassergehalt bei Sättigung, FK-Feldkapazität, Luft<sub>p20</sub>, Luft<sub>F</sub>-Luftgehalt im Blumentopf mit einer Höhe von 20 cm und bei freier Dränung, PAW<sub>p20</sub>-pflanzenverfügbares Wasser im Topf mit 20 cm Höhe zwischen Luftvolumen und 100 hPa, PAW<sub>F</sub>-pflanzenverfügbares Wasser bei freier Dränung zwischen Feldkapazität und 800 hPa Saugspannung, S<sub>100</sub>-Schrumpfung, KW<sub>5</sub>-stationäre kapillare Aufstiegshöhe für eine Rate von 5mm<sup>d</sup><sup>-1</sup>, W- Benetzungszeit.

Tabelle 6: Hydro-physikalische Bewertung der Kultursubstrate und mineralischen Böden.

| Nr                     | Luft <sub>p20</sub> | Luft <sub>F</sub> | WK <sub>p20</sub> | WK <sub>F</sub> | KW <sub>5</sub> | S   | W   | B <sub>p20</sub> | B <sub>F</sub> | MW <sub>B</sub> |
|------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----|-----|------------------|----------------|-----------------|
| 1                      | 5                   | 5                 | 5                 | 2               | 2               | 0   | 0   | 12               | 9              | 10,5            |
| 2                      | 3                   | 5                 | 4                 | 2               | 2               | 2   | 0   | 7                | 7              | 7,0             |
| 3                      | 5                   | 5                 | 4                 | 1               | 1               | 2   | 0   | 8                | 5              | 6,5             |
| 4                      | 5                   | 5                 | 4                 | 2               | 1               | 1   | 0   | 9                | 7              | 8,0             |
| 5                      | 3                   | 5                 | 3                 | 3               | 2               | 2   | 0   | 6                | 8              | 7,0             |
| 6                      | 5                   | 5                 | 3                 | 2               | 1               | 0   | 1   | 8                | 7              | 7,5             |
| 7                      | 2                   | 5                 | 4                 | 2               | 2               | 0   | 0   | 8                | 9              | 8,5             |
| 8                      | 3                   | 5                 | 4                 | 1               | 1               | 0   | 1   | 7                | 6              | 6,5             |
| 9                      | 3                   | 5                 | 3                 | 1               | 1               | 2   | 0   | 5                | 5              | 5,0             |
| 10                     | 5                   | 5                 | 4                 | 2               | 1               | 2   | 0   | 8                | 6              | 7,0             |
| 11                     | 5                   | 5                 | 4                 | 2               | 1               | 0   | 0   | 10               | 8              | 9,0             |
| 12                     | 3                   | 5                 | 3                 | 2               | 2               | 2   | 0   | 6                | 7              | 6,5             |
| 13                     | 2                   | 5                 | 4                 | 2               | 1               | 2   | 0   | 5                | 6              | 5,5             |
| 14                     | 5                   | 5                 | 3                 | 1               | 1               | 0   | 0   | 9                | 7              | 8,0             |
| 15                     | 5                   | 5                 | 4                 | 1               | 2               | 1   | 0   | 10               | 7              | 8,5             |
| 16                     | 5                   | 5                 | 3                 | 1               | 1               | 1   | 2   | 7                | 5              | 6,0             |
| 17                     | 4                   | 5                 | 3                 | 2               | 2               | 2   | 0   | 7                | 7              | 7,0             |
| 18                     | 3                   | 5                 | 5                 | 3               | 2               | 2   | 0   | 8                | 8              | 8,0             |
| 19                     | 4                   | 5                 | 3                 | 2               | 1               | 1   | 0   | 7                | 7              | 7,0             |
| MW                     | 4                   | 5                 | 4                 | 2               | 1               | 1   | 0   | 7,7              | 6,9            | 7,3             |
| Mineralische Standorte |                     |                   |                   |                 |                 |     |     |                  |                |                 |
| 20                     | 2                   | 3                 | 1                 | 1               | 1               | 0   | 0   | 4                | 5              | 4,5             |
| 21                     | 1                   | 3                 | 1                 | 1               | 1               | 0   | 0   | 3                | 5              | 4,0             |
| MW                     | 1,5                 | 3,0               | 1,0               | 1,0             | 1,0             | 0,0 | 0,0 | 3,5              | 5,0            | 4,2             |

B<sub>p20</sub>, B<sub>F</sub>-Bewertung für die Anwendung in Töpfen der Höhe 20 cm und im Feld, MW<sub>B</sub>-mittlere Bewertung

die Wiederbenetzung gemessen werden. Damit lassen sich in einem Messdurchlauf alle Kennwerte quantifizieren,

die für eine hydro-physikalische Qualitätsbeurteilung von Kultursubstraten erforderlich sind.

Die Messung und Bewertung von Kultursubstraten nach DIN EN 13041 (2012) sollten in weitergehenden Forschungsarbeiten kritisch hinterfragt und bezüglich der Aussagefähigkeit für praktische Anwendungen im Gartenbau geprüft werden.

Die Messung hydro-physikalische Eigenschaften wird derzeit sowohl an mechanisch vorbelasteten (PPO 1999, Schindler et al. 2017b) als auch locker befüllten (DIN EN 13041) Proben vorgenommen. Die unterschiedliche Proben-vorbereitung kann bedeutsam für das Messergebnis sein. In zukünftigen Untersuchungen sollte geprüft werden, welche Vorgehensweise eine hohe Reproduzierbarkeit sichert und die Bedingungen in der Praxis am besten abbildet.

Die untersuchten Kultursubstrate waren gekennzeichnet durch ein sehr hohes pflanzennutzbares Wasserspeichervolumen, besaßen aber je nach Zusammensetzung unterschiedlich stark ausgeprägte Nutzungseinschränkungen durch Schrumpfung und Wiederbenetzungshemmung. Besonders kritisch zu bewerten war die Luftversorgung in Blumentöpfen mit einer Höhe geringer als 20 cm. Durch Zugabe von Ton wird das Risiko von Luftmangel erhöht.

Hochmoortorf ist eine endliche und schützenswerte Ressource. Zukünftige Forschung sollte auf die Entwicklung von Torfersatzstoffen ausgerichtet sein. Die hydrothermale Karbonisierung von Landschaftspflegematerial und anderer organischer Reststoffe bietet eine aussichtsreiche Möglichkeit der Torfsubstituierung (Rebeling et al. 2015, Grewe 2016).

Der Bewertungsrahmen hydro-physikalischer Qualitätsindikatoren hat sich als praktikabel erwiesen, sollte allerdings in der Diskussion mit Gartenbauspezialisten und Erdenherstellern diskutiert und ggf. präzisiert werden.

## Literatur

- Al Naddafa O., Livieratos I., Stamatakisa A., Tsiogiannis I., Gizas G., Savvas D. (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.
- Beardsell D.V., Nichols D.G. (1982) Wetting properties of dried-out nursery pot media. *Scientia Hort.*, 17, 49-59.
- Blanco-Canqui H., Lal R. (2009) Extent of soil water repellency under long-term no-till soils. *Geoderma*. 149, 171-180.
- Bohne H. (2006) Physikalische Substrateigenschaften. *Gehölzforschung* Band 6. Hrsg. Abt. Baumschule, Institut für Zierpflanzen- und Gehölzwissenschaften, Naturwissenschaftliche Fakultät Universität Hannover.
- DIN EN 13041 (2012) Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate- Bestimmung der physikalischen Eigenschaften- Rohdichte (trocken), Luftkapazität, Pflanzenverfügbares Wasser, Schrumpfungswert, und Gesamtporenvolumen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Grewe T. (2016) Hydrothermale Carbonisierung von Landschaftspflegematerial Parameteranalyse und Methodenentwicklung in Richtung einer Prozessmodellierung. Diss. Univ. Oldenburg, 236 pp.
- Handrek K., BLACK N. (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.
- PPO Analysereeks (1999) Aangepast beperkt fysisch onderzoek potgrond. © PPO Glastuinbouw. 5 pp.
- Raviv M., Lieth J.H. (2008) *Soilless culture: Theory and practice*. Elsevier London, pp. 579. ISBN: 978-0-444-52975-6.
- Rebeling T., von Frieling P., Buchholz J., Grewe T. (2015) Hydrothermal carbonization: combination of heat of reaction measurements and theoretical estimations. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 119(3), 1941-1953. <http://doi.org/10.1007/s10973-014-4361-7>.
- Schelle H., Iden S.C., Peters A., Durner W. (2010) Analysis of the Agreement of Soil Hydraulic Properties Obtained from Multistep-Outflow and Evaporation Method. *Vadose Zone J.* 9. doi:10.2136/vzj2010.0050.
- Schelle H., Heise L., Jaenicke K., Durner W. (2013) Water retention characteristics of soils over the whole moisture range: a comparison of laboratory methods. *European Journal of Soil Science*, December 2013, 64, 814-821. doi: 10.1111/ejss.12108, 2013.
- Schindler U., Durner W., Unold G. v., Müller L., Wieland R. (2010) The evaporation method: extending the measurement range of soil hydraulic properties using the air-entry pressure of the ceramic cup. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173, 4, 563-572.
- Schindler U., Müller L., da Veiga M., Zhang Y., Schlindwein S.L., Hu C. (2012) Comparison of water-retention functions obtained from the extended evaporation method and the standard methods sand/kaolin boxes and pressure plate extractor. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174, 4, 527-534.
- Schindler U., Unold G. v., Müller L. (2015a) Laboratory measurement of soil hydraulic functions in a cycle of drying and rewetting. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 5, 4, 281-286.
- Schindler U., Doerner J., Müller L. (2015b) Simplified method for quantifying the hydraulic properties of shrinking soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 178, 1, 136-145.
- Schindler U., Müller L. (2017a) Hydraulic performance of horticultural substrates - 2. Development of an evaluation framework. *Horticulturae* 3, 1, Article 6.
- Schindler U., Lischeid G., MÜLLER L. (2017b) Hydraulic performance of horticultural substrates - 3. impact of substrate composition and ingredients. *Horticulturae* 3, 1, Article 7.
- Schmidt W. (1995) Einfluß der Wiedervernässung auf physikalischen Eigenschaften des Moorkörpers der Friedländer Großen Wiese. *Zeitschrift f. Kulturtechnik und Landentwicklung*. 36: 107-111.
- Schmilewski G.K. (2017) *Kultursubstrate und Blumenerden – Eigenschaften, Ausgangsstoffe, Verwendung*. Hrsg. Industrieverband Garten e.V., 254 Seiten.

