



Endbericht zum Forschungsvorhaben Nr. A/22/09

Blau-grüne Zapfstellen für Stadtgrün

**Kapillarbewässerung als Speicher- und Transportmedium zur
Versorgung innerstädtischen Grüns**

Projektlaufzeit:

15.10.22 bis 30.09.23

Endbericht zum Forschungsvorhaben A/22/09

Blau-grüne Zapfstellen für Stadtgrün

Kapillarbewässerung als Speicher- und Transportmedium zur
Versorgung innerstädtischen Grüns

Projektlaufzeit: 15.10.22 bis 30.09.23

Projektleiter: Jürgen Eppel

Projektbearbeiter: Dr. Claus Prinz



Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus



und gefördert durch die Stadt Würzburg

Veitshöchheim, Januar 2024

Zuwendungsempfänger:

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau
Institut für Stadtgrün und Landschaftsbau (ISL), An der Steige 15, 97209 Veitshöchheim
www.lwg.bayern.de, poststelle@lwg.bayern.de

Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Problemstellung.....	6
3	Versuchsansatz	7
3.1	Versuchsziele	7
3.2	Versuchsaufbau	7
3.2.1	Technische Ausstattung	8
3.2.2	Funktion und Wirkung	12
3.2.3	Grafische Übersicht des Versuchsaufbaus	14
3.3	Versuchsablauf	15
4	Ergebnisse der Datenauswertung.....	17
4.1	Auswertung des volumetrischen Bodenwassergehalts	17
4.1.1	Volumetrischer Bodenwassergehalt: Etablierungsphase	17
4.1.2	Volumetrischer Bodenwassergehalt: kapillare Steighöhe 40 cm	27
4.1.3	Volumetrischer Bodenwassergehalt: kapillare Steighöhe 50 cm	32
4.1.4	Volumetrischer Bodenwassergehalt: kapillare Steighöhe 60 cm	37
4.1.5	Volumetrischer Bodenwassergehalt: kapillare Steighöhe 70 cm	42
4.1.6	Volumetrischer Bodenwassergehalt: Zwischenfazit	47
4.2	Auswertung der Wasserbilanz	47
4.2.1	Wasserbilanz: kapillare Steighöhe 40 cm	48
4.2.2	Wasserbilanz: kapillare Steighöhe 50 cm	52
4.2.3	Wasserbilanz: kapillare Steighöhe 60 cm	56
4.2.4	Wasserbilanz: kapillare Steighöhe 70 cm	60
4.2.5	Wasserbilanz: Zwischenfazit	64
4.3	Auswertung der Tension	65
4.3.1	Tension: Etablierungsphase	66
4.3.2	Tension: kapillare Steighöhe 40 cm	70
4.3.3	Tension: kapillare Steighöhe 50 cm	73
4.3.4	Tension: kapillare Steighöhe 60 cm	76
4.3.5	Tension: kapillare Steighöhe 70 cm	79
5	Literatur.....	82
6	Ausblick	83

1 Zusammenfassung

Zur Ermittlung des volumetrischen Wassergehalts im Boden wurden SMT (Soil Moisture Tension) Sensoren eingesetzt und in unterschiedlichen Tiefen und Abständen zum Ballen im Substrat eingebaut. Bei der Auswertung ist zu erkennen, dass die tieferen Substratschichten einen weitestgehend stabilen volumetrischen Wassergehalt aufweisen und als verhältnismäßig stabil eingestuft werden können. Da nur sehr geringe Mengen an Niederschlagswasser durch die Stammöffnung in das System eingetragen wurden, ist die stabile Grundfeuchtigkeit über die Leistungsfähigkeit des kapillaren Wassertransport durch die Mineralwolle zu begründen. Dabei lag der volumetrische Wassergehalt im Boden über den gesamten Versuchszeitraum bei gemittelt 8%, was bei einer maximalen volumetrischen Wasserkapazität des Substrats von 20 - 35 Vol.% eine gute Grundfeuchtigkeit erkennen lässt. Lediglich in Lysimetergefäß 03 sind Austrocknungstendenzen erkennbar. Diese bestehen seit Beginn der Aufzeichnungen und haben sich bis zum Versuchsende nur geringfügig entwickelt. Daher kann hier auch eine nicht optimale Einbausituation des Sensors vermutet werden.

Bei der Auswertung der Wasserbilanz wurde der Wasserverbrauch ermittelt, der sich durch den kapillaren Wassertransport vom Speicher in das Substrat einstellte. Dabei stellte sich heraus, dass die größten Transportleistungen stets in Zeiträumen ohne Niederschlag und bei überwiegend heißen Temperaturen erfolgten. Die einzelnen Transportleistungen variierten je nach Lysimetergefäß und kapillarer Steighöhe, es konnte jedoch kein signifikanter Zusammenhang zwischen den einzelnen Transportleistungen und der kapillaren Steighöhe festgestellt werden. Die gemittelt höchsten Transportleistungen fanden bei den kleinsten und größten Steighöhen statt. Dies führt zu der Annahme, dass die kapillare Leistungsfähigkeit der Mineralwolle im Rahmen dieser Untersuchung noch nicht ihr Maximale Leistungsfähigkeit erreicht hat. Die den gesamten Versuchszeitraum und alle Lysimetergefäße gemittelte Transportleistung lag bei rund 3,72 Liter Wassernachspeisung pro Quadratmeter Dochtfläche und Tag. Bezogen auf die eingebaute Dochtfläche mit 0,4 Quadratmeter bildet dies vermutlich denn ungefähren Wasserverbrauch der gepflanzten *Sophora japonica* pro Tag ab. Wasserverluste durch Verdunstung über die Substratoberfläche dürften dabei nur geringfügig stattgefunden haben, da sie nach oben durch einen Deckel weitestgehend abgeschirmt war.

Die im Rahmen des Versuchs eingebauten FRT (Full Range Tension) Sensoren erwiesen sich als sehr störanfällig und fielen gerade in den tieferen Substratschichten fast vollständig aus. Ferner mussten Nullpunktverschiebungen bei den Sensoren festgestellt werden, durch die eine Interpretation der gelieferten Daten schlussendlich nicht belastbar durchgeführt werden kann. Da sie dennoch einen Eindruck über die ungefähre Pflanzenverfügbarkeit des im Substrat enthaltenen Wassergehalts vermitteln, wurden die gewonnen Daten im Rahmen dieses Berichtes dargestellt.

2 Problemstellung

Unsere Städte kämpfen mit den Wirkfolgen des Klimawandels, Hochwasser folgt auf anhaltende Trockenperioden mit extremen Temperaturspitzen, die sich auch in Form von immer häufigeren Tropennächten abbilden. Damit wird der Lebensraum Stadt für den Menschen zu einer immer größer werdenden gesundheitlichen Belastung.

Die Stadtplanung hat schon lange erkannt, dass der Einsatz von grüner Infrastruktur ein wirksames Instrument ist, um die sich im urbanen Raum noch verschärfenden negativen Wirkfolgen des Klimawandels abzumildern. Hierbei sind Kombinationen aus Frischluftzufuhr, Kaltluftentstehung, Strahlungsreduktion und Regenwasserrückhalt physikalisch betrachtet die wirkungsvollsten Effekte zur Schaffung klimaresilienter Stadträume. Darüber hinaus sind auch die von Grün ausgehenden Wohlfahrtswirkungen für die urbane Lebensqualität aus physischer und psychischer Sicht von gesellschaftlicher Bedeutung. An den positiven Effekten kann jedoch nur dann partizipiert werden, wenn das Grün ausreichend Vital ist und eine dementsprechende Leistungsfähigkeit vorzuweisen hat. Hier können nur solche Pflanzen Aussicht auf Erfolg versprechen, wenn sie sich auch unter den besonderen Standortbedingungen urbaner Räume gut entwickeln.

Bei der Untersuchung stadtklimaresilienter Vegetation ist in erster Linie deren Trockentoleranz ein entscheidendes Kriterium zur Eignungsbeurteilung. Ganz ohne Wasser kommen jedoch auch diese Selektionen nicht aus. Auch wenn sie im Vergleich zu anderen Pflanzen eine höhere Trockenheitstoleranz aufweisen, benötigt auch die stadtklimaresiliente Vegetation eine gewisse Minimalversorgung mit Wasser, deren Höhe sich je nach Pflanzenart und Standortbedingung unterscheidet. Diesen Wasserbedarf versuchen Pflanzen grundsätzlich über die Wurzelhaare im Bodenvolumen zu decken. Hierbei ist die Pflanze grundsätzlich bestrebt, ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen den transpirierenden oberirdischen Pflanzenteilen und dem wasseraufnehmenden Wurzelwerk herzustellen. Einsetzende Trockenheit führt zunächst zu einem geringen bis mäßigen Wassermangel im Boden. Die Pflanze reagiert darauf mit einem reduzierten bis eingestellten Triebwachstum und stellt die Assimilate dem Wurzelwachstum zur Verfügung, um tiefere Bodenschichten zur Wasseraufnahme zu erschließen (Farook et al. 2009). Bei anhaltender Trockenheit stellt sich ein starker bis sehr starker Wassermangel ein, wodurch schlussendlich auch das Wurzelwachstum zum Erliegen kommt und das Absterben der Pflanze einsetzt. Durch das Absterben der Pflanze gehen nicht nur deren Wohlfahrtswirkungen, sondern auch das in die Herstellung, Entwicklung und Unterhaltung bisher investierte Kapital.

Der vorliegende Bericht wertet Untersuchungsergebnisse zum kapillaren Wassertransport aus, um Erkenntnisse über das Leistungspotential zum Erhalt einer Bodengrundfeuchtigkeit in anhaltenden Trockenperioden. Die Erkenntnisse münden dabei an verschiedenen Stellen in Empfehlungen zum Einsatz in der Praxis.

3 Versuchsansatz

Ziel des Versuchs ist die Aufrechterhaltung einer Grundfeuchtigkeit im Boden, zum Erhalt grüner Infrastruktur im urbanen Raum. Dabei betrachtet das Vorhaben anfallendes Regenwasser als Ressource, die am Ort der Entstehung gespeichert und zeitversetzt zum Regenereignis genutzt werden soll. Die Nutzbarmachung soll bei abnehmender Grundfeuchtigkeit im Boden einsetzen und dessen Austrocknung verhindern. So können die Negativfolgen von regenarmen Trockenphasen auf die grüne Infrastruktur reduziert werden.

Der für die Nutzbarmachung erforderliche Wassertransport zwischen Speicherort und pflanzennaher Abgabestelle erfolgt über kapillarwirksame Materialien. Die Transportleistung beruht damit auf physikalischen Prozessen und erfordert keine externen Energiequellen zur Betreibung komplexer Pumpen- und Sensortechnik. Ähnlich verhält es sich mit dem Prinzip des einsetzenden Wassertransports bei abnehmender Grundfeuchtigkeit im Boden, welches ebenfalls auf physikalischen Prozessen beruht. Die kapillarwirksamen Materialien liefern an der Abgabestelle nur dann Wasser nach, wenn die Wassersättigung in diesem Bereich abnimmt. Dies begründet die Annahme, dass sich auf diese Weise eine kontinuierlich stabile Bodenfeuchtigkeit aufrechterhalten lässt.

3.1 Versuchsziele

Der Versuch soll Aufschluss darüber geben, welche Grundfeuchtigkeit im Boden durch kapillaren Wassertransport bei unterschiedlichen Steighöhen senkrecht entgegen der Schwerkraft aufrechterhalten werden kann. Damit soll das Potential der maximalen Transportleistung bei definierten Steighöhen unter Laborbedingungen untersucht wurde. Im Rahmen eines Vorversuchs wurden unterschiedliche Materialien hinsichtlich ihrer Transportkapazität untersucht. Hierbei stellte sich heraus, dass sowohl Polyamidfasern als auch Mineralwolle vielversprechende Ergebnisse liefern. Im Rahmen dieses Praxisversuchs wurde entschieden, dass für die weiteren Untersuchungen die Mineralwolle als kapillarwirksames Transportmedium eingesetzt werden soll, da die Leistungsfähigkeit zur Kunstfaser sehr ähnlich ist und der Eintrag von Kunststoffen im Erdreich vermieden werden soll. Dabei geht es um die Eruierung der kapillaren Leistungsfähigkeit im eingebauten Zustand, um Erkenntnisse über die Praxistauglichkeit des kapillaren Wassertransports zu gewinnen. Dabei werden unterschiedliche Steighöhen von 30, 40, 50, 60 und 70 cm betrachtet, deren Datenerfassung bei jeweils drei Wiederholungen über einen Zeitraum von vier Wochen bei gleichbleibender Pegelhöhe erfolgte.

3.2 Versuchsaufbau

Für den Einbau des Versuchs „blau-grüne Zapfstellen“ standen drei zweifach Lysimeterstationen mit insgesamt sechs Lysimetergefäßen des Instituts für Stadtgrün und Landschaftsbau (ISL) zur Verfügung. Jede Station ist mit einem Wartungs- und Technikschaft ausgestattet, der durch einen zentralen Einstiegsschacht mit fest montierter Einstiegsleiter erschlossen wird. Von dort besteht Zugriff auf die druckwasserdichten Sensordurchführungen in der Seitenwand der Lysimetergefäße, Datenlogger und die jeweiligen Wägemonitore zur Gewichtsbestimmung (siehe Bild 1).

Die einzelnen Edelstahl-Lysimetergefäße sind baugleich. Mit einer lichten Höhe von 1,0 Meter und einem Innendurchmesser von 1,596 Meter besitzt jedes Gefäß eine Oberfläche von 2 m² und ein Volumen von 2 m³. An der dem Kontrollschacht zugewandten Seite können durch insgesamt 28 druckwasserdichte Sensordurchführungen Sonden und Sensoren in das Volumen installiert werden (siehe Bild 2). Jedes Gefäß fußt auf 3 Präzisionswägezellen der Genauigkeitsklasse C3 mit einer Nennlast von bis zu 5.000 kg. Das Gesamtgewicht des Versuchs betrug im Mittel ca. 3.500 kg im erdfeuchten Zustand.

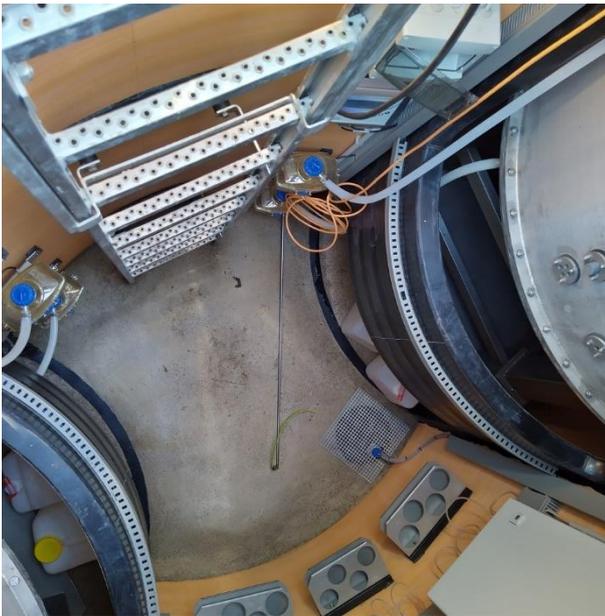


Bild 1: Blick von oben in einen Kontrollschacht der zweifach Lysimeteranlage. (Bildautor: ©Kendzia, LWG)



Bild 2: Leeres Lysimetergefäß mit Blick auf seitliche Sensordurchführungen. (Bildautor: ©Kendzia, LWG)

3.2.1 Technische Ausstattung

Der Versuchsaufbau besteht aus den nachfolgend beschriebenen Komponenten:

- **Wasserspeicher:** Als Speichervolumen wurde ein GFK-Rechteckbehälter (glasfaserverstärkter Kunststoff) mit einem Fassungsvermögen von 300 Liter eingesetzt. Der Behälter wurde durch einen GFK-Flachdeckel nach oben abgedichtet. In den Deckel wurde zur Durchführung des Dochtes eine Öffnung mit einem lichten Maß von 40,02 x 100,02 cm geschnitten. Zusätzlich wurde eine kreisrunde Öffnung mit einem Durchmesser von 7,5 cm geschnitten. Diese Öffnung dient zur Durchführung eines DN 75 HT-Rohrs zur Befüllung und Wartung des Wasserspeichers.

- **Wartungsrohr:** Zur Befüllung und Wartung des Wasserspeichers ragt ein DN 75 HT-Rohr 20 cm tief vom Deckel aus in den Speicher. Das Rohr endet 45 cm oberhalb der Abdeckplatte des Lysimetergefäßes und ist durch eine Abdeckkappe nach oben geschlossen, um den Eintrag von Regenwasser zu verhindern. Zur Einführung von Sensor- und Befüllungstechnik wurde das Rohr am oberen Ende seitlich aufgeschnitten.
- **Docht:** als Medium für den kapillaren Wassertransport wurden 5 cm starke Mineralwollmatten aus Basalt mit der Bezeichnung „WSM-50/120 Wasserspeichermatten“ eingesetzt. Das Ausgangsformat der Mineralwollmatten betrug 120 x 100 x 5 cm. Zur Herstellung des kapillarwirksamen Dochtes wurden jeweils 8 Mineralwollmatten mit den Versuchsmaßen 80 x 100 x 5 cm aufeinandergelegt und senkrecht im Wasserspeicher aufgestellt. Damit stand eine Dochoberfläche von 0,4 m² als transpirationsfähiger Übergang zum Substrat zur Verfügung.
- **Dochtummantelung:** Die Mineralwollmatten verlaufen in einer rechteckigen Ummantelung aus 1 mm Stahlblech mit den Seitenlängen 40 x 100 cm, bei einer Höhe von 80 cm. Das Stahlblech wurde unterseits auf der langen Seite an drei Stellen beidseitig um ca. 10 cm mit einem Trennschleifer in Blattstärke aufgeschnitten, um den Wassereintritt vom Speicher in den Docht zu ermöglichen.
- **Substrat:** Die Lysimeterbehälter wurden mit einem erdfeuchten Substrat der FLL Bauweise 2 mit der Bezeichnung „Vulkatree L 0-32“ lagenweise aufgefüllt. Um zu gewährleisten, dass die Befüllung der Lysimetergefäße auf gleiche Weise erfolgt, wurde zuvor im Bodenlabor das spezifische Gewicht des verwendeten Substrats bei einem Verdichtungsgrad von 92 % DPr ermittelt, das hier 1,65 t/m³ betrug. Ausgehend von lageweisen Schichten mit einer Stärke von 13 cm wurde abzüglich des Volumens der eingebauten Systembauteile das Einbaugewicht der einzelnen Lagen ermittelt. Die Kontrolle des Einbaugewichts erfolgte sukzessive mit der Befüllung durch Gewichtsablesung auf dem jeweiligen Wägemonitor im Wartungsschacht der zweifach Lysimeterstation. Die Verdichtung auf 92 % DPr im eingebauten Zustand erfolgte mittels Handstamper.
- **Bodenfeuchtesonde SMT-100 digital (RS485) UGT-Bus:** dienen zur Messung des volumetrischen Wassergehalts und der Bodentemperatur im Substrat. Von diesen wurden insgesamt vier Sonden je Lysimetergefäß in unterschiedlichen Messtiefen und Messhöhen vorgesehen. Davon wurden zwei Sonden mit einem Abstand von 45 cm zur Innenwand des Lysimetergefäßes in den Tiefen 20cm und 40 cm von der Oberfläche gesetzt. Die zwei weiteren Sonden wurden direkt am Pflanzballen mit einem Abstand von 75 cm zur Innenwand des Lysimetergefäßes ebenfalls in den Tiefen 20 cm und 40 cm von der Oberfläche gesetzt.

Technische Daten Bodenfeuchte:

- Messbereich 0 bis 60 % (0 bis 100 % mit eingeschränkter Genauigkeit)
- Genauigkeit ± 3 %, nach spezifischer Kalibrierung ± 1 %
- Auflösung 0,1 %

Technische Daten Temperatur:

- Messbereich -40 bis +80 °C
- Genauigkeit $\pm 0,2$ %
- Auflösung 0,01 °C

- **Fullrange Tensiometer FRT 5D:** dient zur Ermittlung des pflanzenrelevanten Wasserspannungsbereichs mit integrierter Temperaturmessung. Von diesen wurden insgesamt zwei Sensoren je Lysimetergefäß vorgesehen. Eine Sonde wurde mit einem Abstand von 65 cm zur Innenwand des Lysimetergefäßes in 40 cm Tiefe (Dochtoberfläche) gesetzt und die Zweite mit einem Abstand von 75 cm zur Innenwand in 20 cm Tiefe (am Pflanzballen).
- Messbereich Tension: -100 bis +1.500 kPa
- Messbereich Temperatur: -40 bis 60 °C
- **Drucksensor:** Zur Pegelmessung im Wasserspeicher wurde jeweils ein mit Edelstahlgehäuse und Keramikmembran eingesetzt. Dieser wurde auf eine je nach Versuchsfortschritt definierte Pegelhöhe eingestellt und veranlasste ab 2 cm Wasserpegelverlust die Wiederauffüllung des Wasserpegels auf die Sollhöhe.
- Messbereich 0 – 0,5m WS

- **Automatisches Nachfüllsystem für Wasserspeicher:** bestehend aus einer automatischen Steuereinheit, sieben Wassersteckdosen, zwei Ventilboxen und sechs Bewässerungsventilen. Die Signalgebung zur Nachfüllung erfolgte über die Pegelmessung des Drucksensors.
- **Wetterstation:** ausgestattet mit Klimasensoren zur Erfassung der folgenden lokalen Klimadaten:
 - Globalstrahlung; Messbereich: 0 bis 2000 W/m²
 - Luftfeuchtigkeit; Messbereich: 0 bis 100 % [± 2 %]
 - Lufttemperatur; Messbereich: -30 bis + 120 °C [± 0,2 K]
 - Windrichtung; Messbereich: 0 bis 360 ° [± 5 °]
 - Windgeschwindigkeit; Messbereich: 0,5 bis 50 m/s [± 0,5 m/s]
 - Niederschlagsmenge; Messbereich: 0 bis 8 mm/min
 - Luftdruck (barometrisch) Messbereich: 900 bis 1050 hPa [± 0,5 hPa]
- **Datenlogger:** zur Erfassung der Sensordaten. Die erfassten Daten werden an einen virtuellen Rechner des Landesamts für Digitalisierung, Breitband und Vermessung gesendet mit Zugriff über Remotedesktopverbindung. Die Datenvisualisierung erfolgt über das Softwaremodul „LysiData LDVisu“
- **Bepflanzung:** Für die Bepflanzung der Lysimetergefäße wurde jeweils ein Exemplar von *Sophora japonica* (Perlschnurbaum) in der Pflanzqualität Heister Sol 3xv mB 200 – 250 cm vorgesehen. Dieser wurde aufgrund seiner ausgeprägten Hitzebeständigkeit und Trockenstresstoleranz ausgewählt.
- **Lysimetergefäßabdeckung:** Im Fremdwassereintrag zu minimieren, wurde jedes Lysimetergefäß durch eine 15 mm dicke Siebdruckplatte aus Birke, mit einem Durchmesser von 180 cm abgedeckt. Der seitliche Überstand der Siebdruckplatte zum Außenrand des Lysimetergefäßes betrug 20 cm, um ein Eintropfen zu vermeiden. Zur Durchführung der oberirdischen Pflanzenteile war eine Öffnung mit 30 cm Durchmesser in der Mitte der Siebdruckplatte vorgesehen. Diese wurde zusätzlich mit einem 10 cm hohen Stahlblechrahmen versehen, um den Eintrag von Oberflächenwasser in die Lysimetergefäße zu minimieren. Die Abdeckung wurde auf Pflastersteinen gelagert, die auf dem Pflanzsubstrat platziert waren. Die Abdeckung war damit Bestandteil des Gesamtgewichts.

3.2.2 Funktion und Wirkung

Der Versuchsaufbau bildet eine unterirdische Bauweise zur kapillaren Wasserversorgung von Bäumen ab. Dabei wird zisternenartig gespeichertes Wasser über ein kapillarwirksames Dochtmaterial senkrecht nach oben in eine Pflanzgrube transportiert, um die Bodenfeuchtigkeit im unmittelbaren Umfeld auch in Trockenperioden aufrecht zu erhalten. Die Umsetzung des hier dargestellten Versuchsaufbaus wäre in der Praxis im Kontext von Neupflanzungen umsetzbar. Für die Versorgung von bereits bestehenden Baumpflanzungen ist neben dem vertikalen auch ein horizontaler Kapillartransport erforderlich. Dieser ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Das Funktions- und Wirkprinzip des Versuchsaufbaus ist über die Schritte Wasserspeicherung, Kapillartransport und Wasserabgabe zu definieren.

Wasserspeicherung:

Die Wasserversorgung erfolgt durch eine seitlich angeschlossene Druckwasserleitung. Die Einspeisung wird durch ein Verteilsystem zu jedem Lysimetergefäß durch Bewässerungsventile reguliert. Der Wasserzufluss erfolgt über handelsübliche Gartenschläuche, die über eine Rohrverbindung (HT-Rohr DN 75) von der Oberfläche in den Wasserspeicher eingeführt werden. Auf dem Grund des Wasserspeichers ist ein kapazitiver Spezial-Drucktransmitter (Drucksensor) installiert, der bei fallendem Pegel ein Signal zur Öffnung an die Bewässerungsventile sendet. Die Programmierung der Drucksensoren sieht vor, dass mit Erreichen eines definierten Mindestpegel der Wasserstand im jeweiligen Speicher automatisch um +2 cm aufgefüllt wird. Dies bewirkt einen zwischen zwei Konstanten schwankenden Wasserpegel mit definierter Höhe, wodurch kontinuierliche Bedingungen für die Wasserversorgung des kapillarwirksamen Dochtes gewährleistet werden können.

Kapillartransport:

Der Wassertransport aus dem Speicher erfolgt senkrecht entgegen der Schwerkraft. Als kapillarwirksames Transportmedium werden Matten aus hydrophiler Mineralwolle eingesetzt, die einen definierten Abgabehorizont an der Dochtoberfläche im Substrat und je nach Höhe des Wasserpegels einen definierten Aufnahmehorizont unten im Wasserspeicher erfahren. Das Dochtmaterial ist zwischen den definierten Horizonten wasserundurchlässig durch ein Stahlblech ummantelt, damit die Wasserabgabe ausschließlich an der Dochtoberfläche erfolgt.

Die Wasseraufnahme in das Dochtmaterial erfolgt durch seitliche Schlitzöffnungen, die bis 10 cm senkrecht über den Grund des Wasserspeichers reichen und somit dessen Mindestfüllhöhe definiert. Damit ist sichergestellt, dass bei der Untersuchung unterschiedlicher Steighöhen die Messergebnisse nicht durch ungewollten Wasserverlust beeinflusst wird. Die Pegelhöhe zwischen dem äußeren Wasserspeicher und dem inneren Dochtmaterial wird folglich über den Ausgleich der Wassersäulen hergestellt. Ab der Höhe der sich ausgleichenden Wassersäulen erfolgt der Wassertarnsport anhand der kapillaren Transportleistung des verwendeten Materials. Die Transportleistung wird dabei beeinflusst durch die zu überwindende Schwerkraft bzw. Steighöhe, durch die Bedingungen am Abgabehorizont und durch die kapillare Leistungsfähigkeit des Trägermaterials.

Wasserabgabe

Der Übergang zwischen der Dochtoberfläche als Abgabehorizont und dem Pflanzsubstrat erfolgt in direktem Kontakt. Während im Rahmen von Versuchsziel 1 das Potenzial der maximalen Transportleistung in Abhängigkeit von der Steighöhe untersucht wurde, ist die in Versuchsziel 2 ermittelte Transportleistung abhängig von dem tatsächlichen Wasserbedarf im Bereich der Dochtoberfläche. Weist das Substrat hier eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit auf, wird unabhängig von der definierten Steighöhe kein kapillarer Wassertransport stattfinden, da im Substrat kein physikalischer Bedarf besteht. Daraus resultiert die Erwartung, dass sich auf diese Weise eine kontinuierlich stabile Bodenfeuchtigkeit aufrechterhalten lässt. Die Bodenfeuchtigkeit des Substrats wird im Wesentlichen durch die Wasseraufnahme von Wurzeln der verwendeten *Sophora japonica* und durch die Transpiration des Bodens an der Oberfläche. Letztere ist durch die Abdeckung der Lysimetergefäße zwar reduziert, jedoch nicht ausgeschlossen. Darüber hinaus wird die Bodenfeuchtigkeit auch durch einen nicht gänzlich auszuschließenden Regenwassereintrag beeinflusst, da die oberirdischen Pflanzenteile durch eine Öffnung in der Abdeckung geführt werden müssen. Folglich wird durch direktes Hineinregnen und durch entlang der Äste hinablaufendes Oberflächenwasser ein gewisser externer Wasserzufluss stattfinden. Anhand der Daten der Wetterstation in Abgleich mit den Daten der Bodenfeuchtesonden wird dieser Einfluss ausgewertet werden.

3.2.3 Grafische Übersicht des Versuchsaufbaus

Alle hier beschriebenen Bestandteile beschreiben die Grundausrüstung jedes einzelnen Lysimetergefäßes. Die Trennung erfolgt lediglich aus Gründen der Übersichtlichkeit.

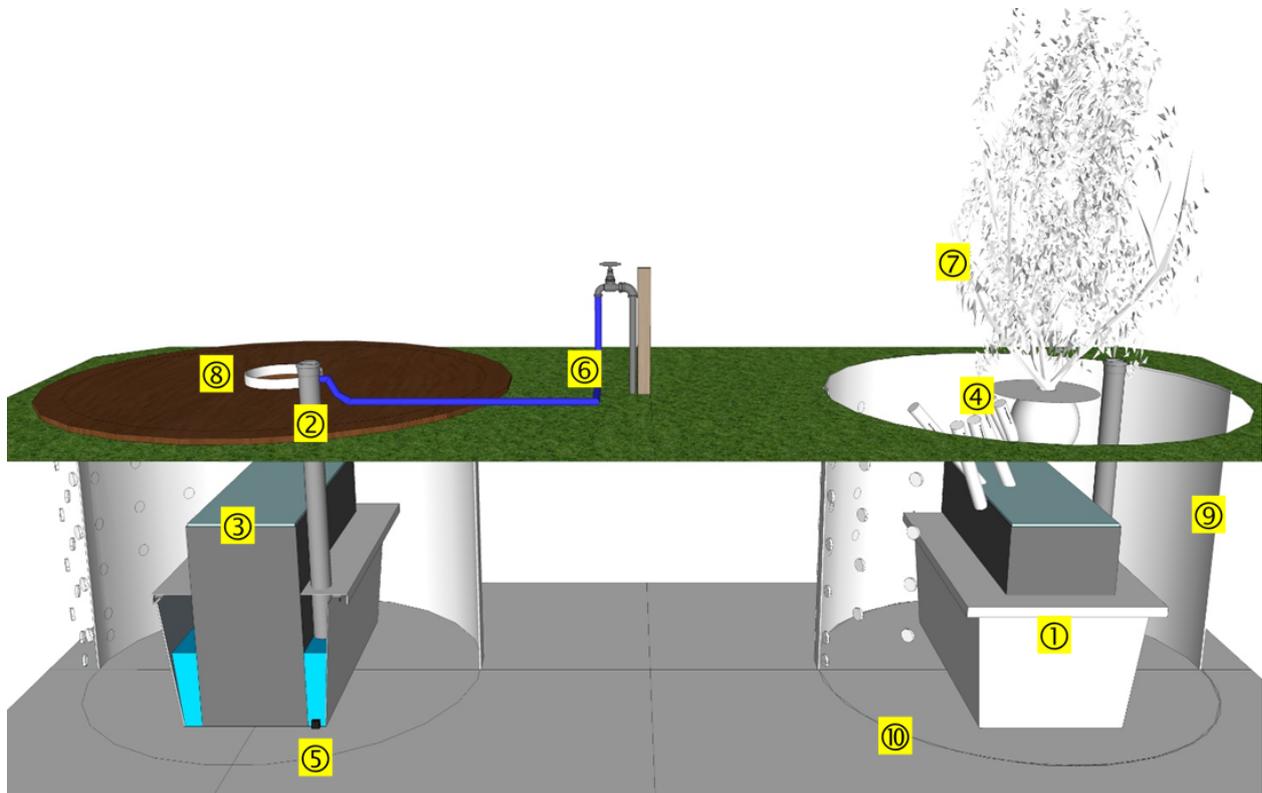


Bild 3: Grafische Übersicht der wesentlichsten Versuchsbestandteile im eingebauten Zustand. (Bildautor: ©Prinz, LWG)

- ① Wasserspeicher mit Deckel („GFK-Rechteckbehälter“ mit 300 l Fassungsvermögen)

- ② Wartungsrohr („DN 75 HT-Rohr“ zur Befüllung und als Durchlass für Drucksensor)

- ③ Docht mit Ummantelung („WSM-50/120 Wasserspeichermatten“ mit 0,4 m² Oberfläche)

- ④ Sensoren in unterschiedlichen Höhen und Abständen („SMT 100 digital“ und „FRT 5D“)

- ⑤ Drucksensor am Grund des Wasserspeichers

- ⑥ Automatisches Nachfüllsystem

- ⑦ Bepflanzung mit *Sophora japonica*

- ⑧ Lysimetergefäßabdeckung mit Innenkragen an innerer Öffnung

- ⑨ Substratauffüllung

- ⑩ Wägezellen unterhalb des Lysimetergefäßes

Versuchsbestandteile

3.3 Versuchsablauf

Der Einbau des Versuchsaufbaus erfolgte im Zeitraum vom 29. Mai bis 3. Juni. Die Installation der baulichen Elemente wie auch die Befüllung und Bepflanzung der Lysimetergefäße erfolgte durch den Versuchsbetrieb des Instituts für Stadtgrün und Landschaftsbau (ISL). Die Errichtung der Wetterstation wie auch Installation und Inbetriebnahme der Sensor- und Befüllungstechnik erfolgten durch die Firma „Umwelt-Geräte-Technik GmbH“ (UGT). Während die Inbetriebnahme der Sensortechnik in den Lysimetergefäßen am 3. Juni abgeschlossen wurde, konnte die Sensortechnik der Wetterstation erst am 23. Juni in Betrieb genommen werden, ab diesen Zeitpunkten beginnt die jeweilige Datenerfassung.

Etablierungsphase:

Der Versuchsablauf steigt ab dem 3. Juni in eine Etablierungsphase ein, um ausgeglichene Bodenfeuchtigkeitsverhältnisse als Ausgangssituation zu etablieren. Dabei sind die Lysimetergefäße durch eine 15 mm dicke Siebdruckplatte abgedeckt, um den Eintrag von Regenwasser in das Substrat zu minimieren.

Der Wasserpegel des eingebauten Speichervolumens war in allen sechs Lysimetergefäßen vom 3. Juni bis zum Beginn der ersten Pegelreduzierung am 3. August auf eine Füllhöhe von 50 cm eingestellt. Mit Erreichen des Minimums von 48 cm, wurde der Wasserpegel automatisch bis 50 cm wieder aufgefüllt. Die kapillare Steighöhe bis zum Wasserabgabepunkt an der Dochtoberflächen betrug damit kontinuierlich ca. 30 cm.

Um die frisch gepflanzten *Sophora japonica* an den Standort zu gewöhnen, wurden die Bäume in den ersten drei Wochen gegossen. Die Wassergaben erfolgten von oben über die mittige Öffnung der Abdeckung mittels Gießkanne, dabei waren folgende Gießintervalle und Wassermengen vorgesehen:

- 03.06.2023 bis 07.06.2023: täglich 20 Liter Wasser je Baum
- 09.06.2023 bis 21.06.2023: alle zwei Tage 20 Liter Wasser je Baum
- Nach dem 21.06.2023 fanden bis zum Versuchsende keine weiteren Gießvorgänge statt.

Kapillare Steighöhen 40 cm und 50 cm:

Am 3. August wurden die Drucksensoren auf neue Werte programmiert, um in den Wasserspeichern unterschiedliche Pegelstände vorzuhalten. Die Datenerfassung der reduzierten Pegelstände sah eine dreifache Wiederholung vor und erfolgte bis zum 4. September. Folgende Pegelstandaufteilung war dabei vorgesehen:

Gefäß	Pegelstand Wasserspeicher (cm)	Kapillare Steighöhe (cm)	Zeitraum
Lysimetergefäß 1	40	40	03.08. – 04.09.2023
Lysimetergefäß 2	40	40	03.08. – 04.09.2023
Lysimetergefäß 3	40	40	03.08. – 04.09.2023
Lysimetergefäß 4	30	50	03.08. – 04.09.2023
Lysimetergefäß 5	30	50	03.08. – 04.09.2023
Lysimetergefäß 6	30	50	03.08. – 04.09.2023

Kapillare Steighöhen 60 cm und 70 cm:

Eine weitere Reduzierung der Pegelstände erfolgte am 4. September und sah eine Datenerfassung bis zum 04. Oktober vor. Dabei war folgender Pegelstandaufteilung vorgesehen:

Gefäß	Pegelstand Wasserspeicher (cm)	Kapillare Steighöhe (cm)	Zeitraum
Lysimetergefäß 1	20	60	04.09. – 04.10.2023
Lysimetergefäß 2	20	60	04.09. – 04.10.2023
Lysimetergefäß 3	20	60	04.09. – 04.10.2023
Lysimetergefäß 4	10	70	04.09. – 04.10.2023
Lysimetergefäß 5	10	70	04.09. – 04.10.2023
Lysimetergefäß 6	10	70	04.09. – 04.10.2023

4 Ergebnisse der Datenauswertung

Die Ergebnisse werden differenziert nach den einzelnen Phasen des Versuchsablaufs dargestellt und im Rahmen eines Zwischenfazits ausgewertet. Abschließend erfolgt eine Gesamtauswertung, um aus diesen Handlungsempfehlungen abzuleiten.

4.1 Auswertung des volumetrischen Bodenwassergehalts

Mit dem volumetrischen Wassergehalt wird der Wasseranteil im Boden in Prozent abgebildet, in dem dieser auf ein Einheitsvolumen bezogen wird. Ein Wert von 10.0 %H bedeutet, dass 10 % des gesamten Bodenvolumens aus Wasser besteht. Bei natürlichen Böden liegt der volumetrische Wassergehalt für gewöhnlich zwischen 0 und 50 %. Das Potential des maximal möglichen Wassergehalts wird durch den Luftporenanteil im Boden definiert und kann bei gartenbaulichen Substraten auch deutlich höher sein. Im Rahmen des Versuchs wurde ein zertifiziertes Substrat nach FLL-Bauweise II mit der Produktbezeichnung „Vulkatree 0-32“ eingesetzt. Dieses besitzt im verdichteten Zustand eine maximale Wasserkapazität von 20-35 Vol.% (VulkaTec Riebensahm GmbH 2023).

4.1.1 Volumetrischer Bodenwassergehalt: Etablierungsphase

SMT 75, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 30 cm (Ballen- und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 1 Seite 19. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand direkt am Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 0,5 % abgesunken. Während in den Lysimetergefäßen 02, 03 und 05 der Wassergehalt leicht anstieg, führte der Rückgang in den Lysimetergefäßen 01, 04 und 06 ist zu dem leicht abfallenden Wassergehalt.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 29,0 bis 3,0 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 14,8 % ab. Dabei sind die Messergebnisse des Sensors in Lysimetergefäß 03 in allen Bereichen auffallend niedrig, wodurch der Mittelwert beeinflusst wird. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine mittlere Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität des Substrats.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 4,3 bis 9,3 % und bilden damit einen gemittelten Tiefstwert von 6,7 % ab. Aus den Abbildung 2 bis Abbildung 7 ist zu erkennen, dass sich diese Trockenphasen mit dem Ende der Gießaktivitäten sukzessive entwickeln. Das sich hier immer wieder Ausschläge mit höherem Wassergehalt abbilden, ist auf den Eintrag von Regenwasser über den Stammabfluss zu erklären. Da sich die hier beschriebenen Sensoren mit einer Einbautiefe von 20 cm nah der Oberfläche befinden, wirkt sich der Stammabfluss unmittelbar auf das Messergebnis aus. Grundsätzlich ist zu erkennen, dass im Substrat auch zu Trockenphasen eine gute Grundfeuchtigkeit vorhanden ist.

Ein Rückschluss auf die Leistungsfähigkeit des kapillarwirksamen Dochtmaterials ist hier jedoch nur ansatzweise möglich, da die Messergebnisse aufgrund der Gießaktivitäten in den ersten Wochen beeinflusst sind.

SMT 75, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 30 cm (Ballen- und Dochnah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 1 Seite 19. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe nahe der Dochtoberfläche und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand nah am Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 7,5 % angestiegen. Lediglich in Lysimetergefäß 03 ist ein Rückgang zu verzeichnen, der über den hohen Wassergehalt am Messungsbeginn zu erklären ist. Damit ist eine sich insgesamt erhöhende Bodenfeuchtigkeit festzustellen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 31,8 bis 46,6 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 37,3 % ab. Der gemittelte Wassergehalt übertrifft die Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität des Substrats um 2,3 % und beschreibt Phasen hoher Feuchtigkeit.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 1,0 bis 8,7 % und bilden damit einen gemittelten Tiefstwert von 5,4 % ab. Aus Abbildung 2 bis Abbildung 7 ist zu erkennen, dass sich der volumetrische Wassergehalt in unmittelbarer Dochnähe im Vergleich mit den Ergebnissen aus der Einbautiefe von 20 cm relativ konstant verhält. Sowohl Wassergaben durch Gießaktivitäten als auch Stammwasserabfluss führen hier nur zu geringfügigen Schwankungen der Grundfeuchtigkeit. Da sich auch Trockenphasen in diesem Bereich kaum auf den volumetrischen Wassergehalt auswirken, ist hier bereits ein Hinweis auf den stabilisierenden Einfluss des kapillarwirksamen Dochtes auf die Grundfeuchtigkeit im Substrat zu sehen.

Tabelle 1 Datenanalyse im Etablierungszeitraum der SMT 75 Bodenfeuchte Sensoren

Datenanalyse im Etablierungszeitraum					
Datum:	03.06.2023 - 03.08.2023				
Höhe Wasserpegel:	50 cm				
Kapillare Steighöhe	30 cm				
Sensorbezeichnung:	SMT	75	Bodenfeuchte	20 cm	[%]
	SMT	75	Bodenfeuchte	40 cm	[%]
					Messeinheit
					Einbautiefe von OK
					Typ der erfassten Eigenschaft
					Einbauabstand der Sensorspitze zur Außenwand in cm
					Soil Moisture Tension (Technische Kennung)
Messergebnisse [% volumetrischer Wassergehalt im Boden]					
Einbautiefe:	20 cm			40 cm	
Messungsbeginn:	13,9 %	Lysimeter 01		11,7 %	Lysimeter 01
	17,3 %	-- 02		6,8 %	-- 02
	23,7 %	-- 03		1,0 %	-- 03
	12,1 %	-- 04		7,6 %	-- 04
	7,4 %	-- 05		10,6 %	-- 05
	15,3 %	-- 06		19,8 %	-- 06
Mittelwert:	15,0 %			9,6 %	
Messungsende:	15,8 %	Lysimeter 01		9,5 %	Lysimeter 01
	36,1 %	-- 02		10,5 %	-- 02
	19,0 %	-- 03		2,3 %	-- 03
	20,9 %	-- 04		7,2 %	-- 04
	22,9 %	-- 05		13,4 %	-- 05
	20,5 %	-- 06		11,5 %	-- 06
Mittelwert:	22,5 %			9,1 %	
Höchstwert:	41,5 %	Lysimeter 01		14,4 %	Lysimeter 01
	46,6 %	-- 02		11,8 %	-- 02
	32,9 %	-- 03		3,0 %	-- 03
	31,8 %	-- 04		10,5 %	-- 04
	34,0 %	-- 05		20,0 %	-- 05
	36,7 %	-- 06		29,0 %	-- 06
Mittelwert:	37,3 %			14,8 %	
Tiefstwert:	4,3 %	Lysimeter 01		8,3 %	Lysimeter 01
	9,3 %	-- 02		3,7 %	-- 02
	7,3 %	-- 03		1,0 %	-- 03
	6,1 %	-- 04		4,1 %	-- 04
	6,8 %	-- 05		6,8 %	-- 05
	6,5 %	-- 06		8,7 %	-- 06
Mittelwert:	6,7 %			5,4 %	

Niederschlag und Temperatur in der Etablierungsphase:

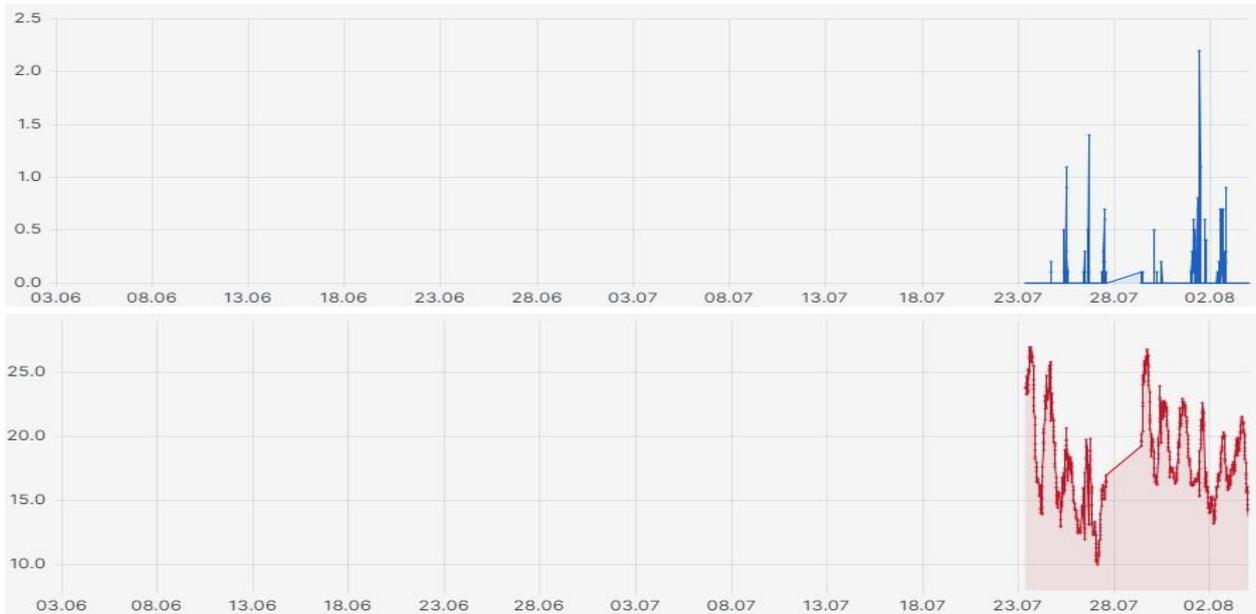


Abbildung 1 **Wetterstation**: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) in der Etablierungsphase

Messdiagramme des Bodenwassergehalts im Zeitraum Etablierungsphase der Lysimetergefäße 01 bis 06 in Abbildung 2 bis Abbildung 7.



Abbildung 2 **Lysimeter 01**: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

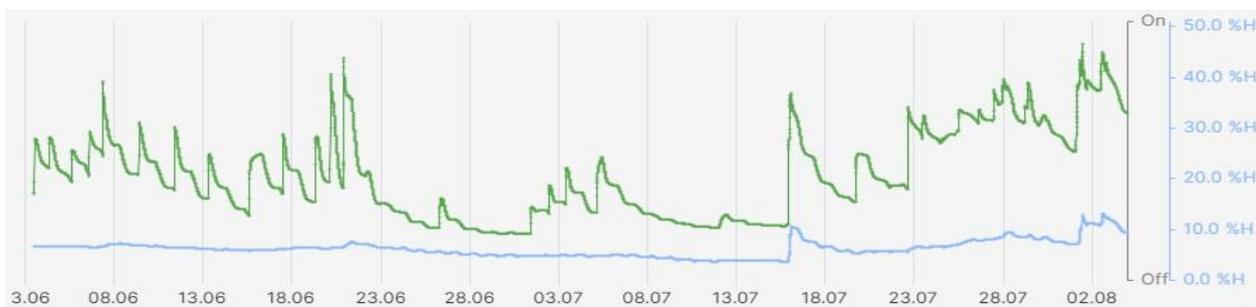


Abbildung 3 **Lysimeter 02**: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

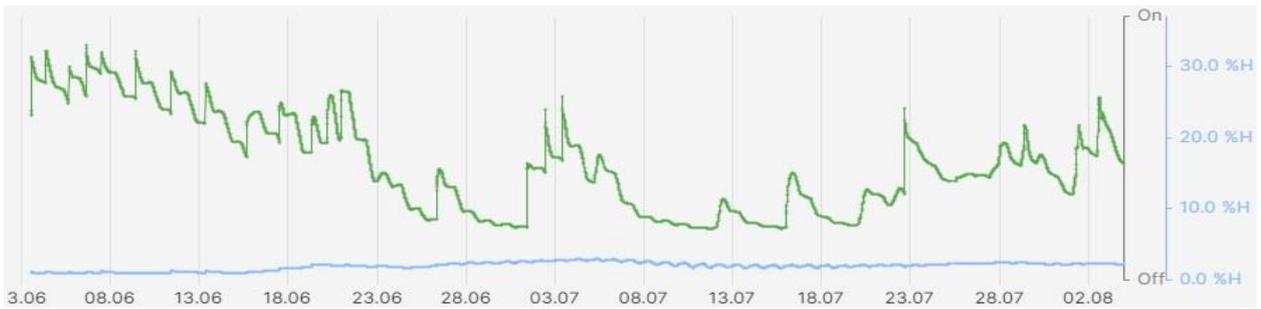


Abbildung 4 **Lysimeter 03**: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"



Abbildung 5 **Lysimeter 04**: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"



Abbildung 6 **Lysimeter 05**: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"



Abbildung 7 **Lysimeter 06**: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

SMT 45, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 30 cm (Ballenfern und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 2 Seite 24. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und in einem Abstand von 45 cm zur Außenwand platziert. Damit beträgt die Entfernung zum Pflanzballen ca. 30 cm.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 0,5 % abgesunken. Während in den Lysimetergefäßen 02, 03 und 05 der Wassergehalt leicht anstieg, führte der Rückgang in den Lysimetergefäßen 01, 04 und 06 ist zu dem leicht abfallenden Wassergehalt.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 29,0 bis 3,0 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 14,8 % ab. Dabei sind die Messergebnisse des Sensors in Lysimetergefäß 03 in allen Bereichen auffallend niedrig, wodurch der Mittelwert beeinflusst wird. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine mittlere Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 4,3 bis 9,3 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 6,7 % ab. Aus Abbildung 9 bis Abbildung 14 ist zu erkennen, dass sich diese Trockenphasen mit dem Ende der Gießaktivitäten sukzessive entwickeln. Das sich hier immer wieder Ausschläge mit höherem Wassergehalt abbilden, ist auf den Eintrag von Regenwasser über den Stammabfluss zu erklären. Da sich die hier beschriebenen Sensoren mit einer Einbautiefe von 20 cm nah der Oberfläche befinden, wirkt sich der Stammabfluss unmittelbar auf das Messergebnis aus. Grundsätzlich ist zu erkennen, dass im Substrat auch zu Trockenphasen eine gute Grundfeuchtigkeit vorhanden ist.

Ein Rückschluss auf die Leistungsfähigkeit des kapillarwirksamen Dochtmaterials ist hier jedoch nur ansatzweise möglich, da die Messergebnisse aufgrund der Gießaktivitäten in den ersten Wochen beeinflusst sind.

SMT 45, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 30 cm (Ballen- und Dochtfern)

Datenübersicht: siehe Tabelle 2 Seite 24. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe auf Höhe der Dochtoberfläche und mit einem Abstand von 45 cm zur Außenwand ca. 30 cm entfernt zum Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 0,9 % angestiegen. Lediglich in Lysimetergefäß 05 ist ein Rückgang zu verzeichnen. Während in der höheren Einbautiefe die Bodenfeuchtigkeit leicht abgefallen ist, ist sie in den tieferen Lagen insgesamt angestiegen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 15,5 bis 24,8 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 21,1 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine hohe Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats und bildet damit eine Phase hoher Bodenfeuchtigkeit in der tieferen Substratschicht ab.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 5,3 bis 8,0 % und bilden damit einen gemittelten Tiefstwert von 6,6 %. Aus Abbildung 9 bis Abbildung 14 ist zu

erkennen, dass sich Schwankungen des volumetrischen Wassergehalts in der oberen Substratschicht zeitnah und in ähnlicher Ausprägung auch in den tieferen Substratschichten abbilden. Damit besteht ein deutlicher Unterschied zur Entwicklung des volumetrischen Wassergehalts in unmittelbarer Dochnähe, wo sich Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit in der oberen Substratschicht deutlich weniger auswirkten und eine relativ konstante Bodenfeuchtigkeit vorlag. Auch dies ist als Indiz für Bodenfeuchtigkeitsregulierende Wirkung zu werten, die sich durch den kapillaren Wassertransport des Dochtmaterials einstellt.

Tabelle 2 Datenanalyse im Etablierungszeitraum der SMT 45 Bodenfeuchte Sensoren

Datenanalyse im Etablierungszeitraum					
Datum:	03.06.2023 - 03.08.2023				
Höhe Wasserpegel:	50 cm				
Kapillare Steighöhe	30 cm				
Sensorbezeichnung:	SMT	45	Bodenfeuchte	20 cm	[%]
	SMT	45	Bodenfeuchte	40 cm	[%]
					Messeinheit
					Einbautiefe von OK
					Typ der erfassten Eigenschaft
					Einbauabstand der Sensorspitze zur Außenwand in cm
					Soil Moisture Tension (Technische Kennung)
Messergebnisse [% volumetrischer Wassergehalt im Boden]					
Einbautiefe:	20 cm			40 cm	
Messungsbeginn:	6,0 %	Lysimeter 01		7,2 %	Lysimeter 01
	6,8 %	“- 02		5,3 %	“- 02
	6,3 %	“- 03		5,6 %	“- 03
	8,4 %	“- 04		8,0 %	“- 04
	6,8 %	“- 05		7,4 %	“- 05
	6,5 %	“- 06		7,5 %	“- 06
Mittelwert:	6,8 %			6,8 %	
Messungsende:	7,3 %	Lysimeter 01		8,2 %	Lysimeter 01
	8,4 %	“- 02		5,3 %	“- 02
	8,3 %	“- 03		8,7 %	“- 03
	8,8 %	“- 04		10,0 %	“- 04
	6,8 %	“- 05		6,0 %	“- 05
	8,6 %	“- 06		7,7 %	“- 06
Mittelwert:	8,0 %			7,7 %	
Höchstwert:	19,5 %	Lysimeter 01		23,8 %	Lysimeter 01
	24,6 %	“- 02		15,5 %	“- 02
	24,3 %	“- 03		20,7 %	“- 03
	27,5 %	“- 04		24,8 %	“- 04
	26,5 %	“- 05		22,0 %	“- 05
	27,1 %	“- 06		19,7 %	“- 06
Mittelwert:	24,9 %			21,1 %	
Tiefstwert:	6,0 %	Lysimeter 01		7,2 %	Lysimeter 01
	6,8 %	“- 02		5,3 %	“- 02
	6,3 %	“- 03		5,6 %	“- 03
	7,8 %	“- 04		8,0 %	“- 04
	6,2 %	“- 05		6,0 %	“- 05
	7,5 %	“- 06		7,4 %	“- 06
Mittelwert:	6,8 %			6,6 %	

Messergebnisse des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum der Etablierungsphase in Abbildung 8

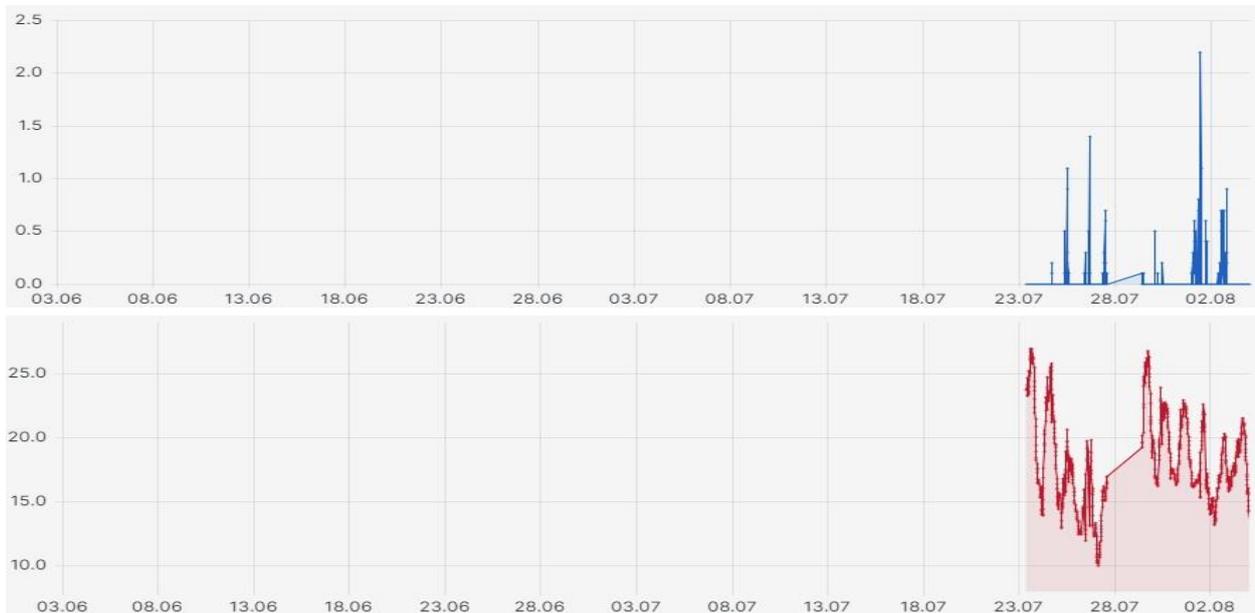


Abbildung 8 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) in der Etablierungsphase

Messdiagramme des Bodenwassergehalts im Zeitraum Etablierungsphase der Lysimetergefäße 01 bis 06 in Abbildung 9 bis Abbildung 14

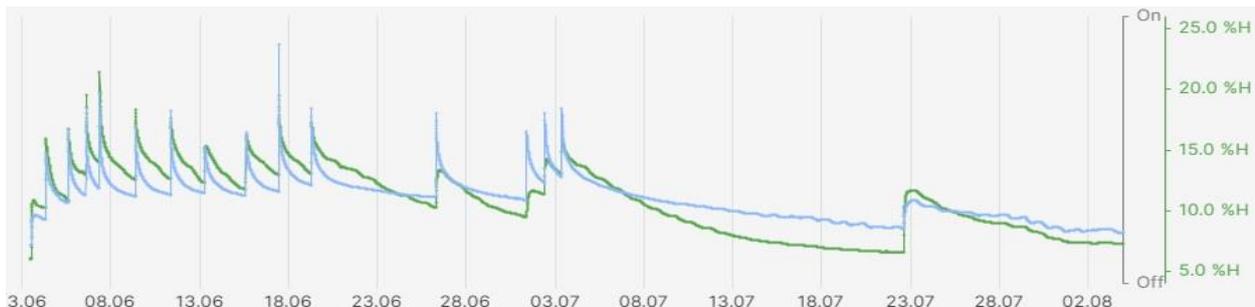


Abbildung 9 Lysimeter 01: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

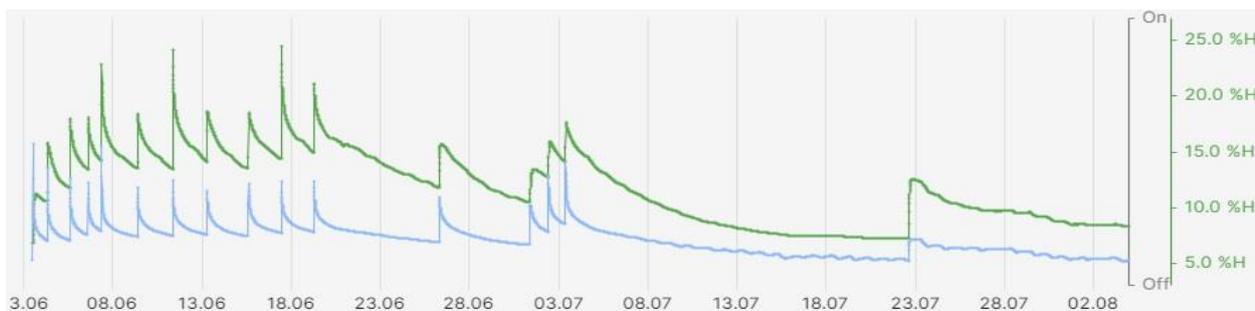


Abbildung 10 Lysimeter 02: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

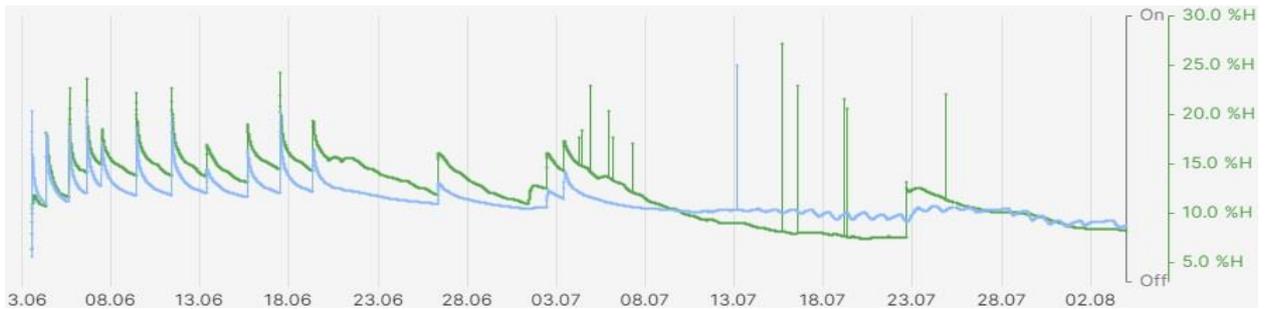


Abbildung 11 Lysimeter 03: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

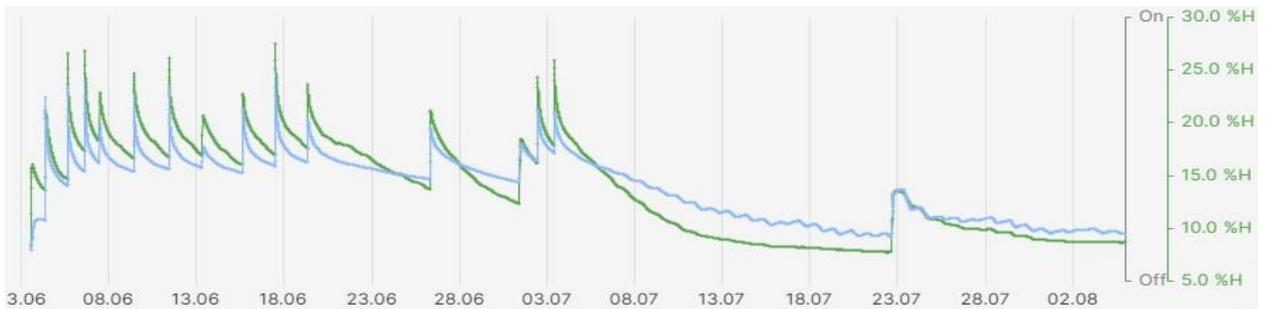


Abbildung 12 Lysimeter 04: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

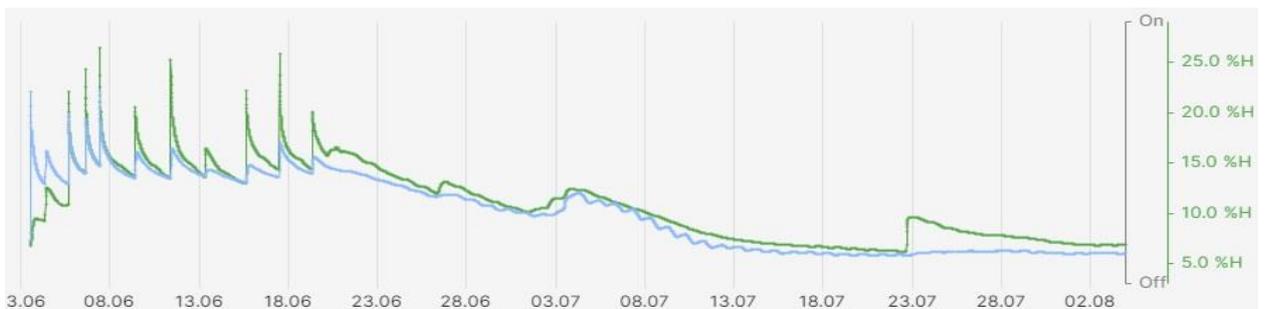


Abbildung 13 Lysimeter 05: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

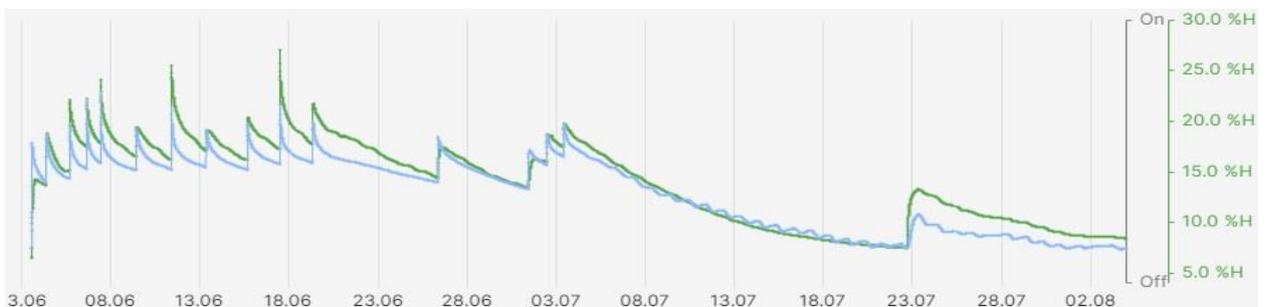


Abbildung 14 Lysimeter 06: Messergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

4.1.2 Volumetrischer Bodenwassergehalt: kapillare Steighöhe 40 cm

SMT 75, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 40 cm (Ballen- und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 3 Seite 29. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand direkt am Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 0,7 % angestiegen. Während in den Lysimetergefäßen 01 und 02 der Wassergehalt leicht abfiel, führte der Anstieg in den Lysimetergefäß 03 zu dem leicht ansteigenden Wassergehalt.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 25,7 bis 50,5 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 34,9 % ab. Dabei sind die Messergebnisse des Sensors in Lysimetergefäß 02 mit einem rund doppelt so hohen Wert auffallend hoch, wodurch der Mittelwert beeinflusst wird. Der gemittelte Wassergehalt erreicht maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats und beschreibt Phasen sehr hoher Feuchtigkeit. Diese sind vermutlich durch den Wassereintrag über Stammwasserabfluss bei Regenereignissen zu erklären.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 7,0 bis 12,5 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 9,1 % ab. Aus Abbildung 16 bis Abbildung 18 ist zu erkennen, dass sich die Trockenphase im Zusammenhang mit ausbleibenden Regenereignissen und hohen Temperaturen bis 35 °C entwickelt. Das sich hier immer wieder Ausschläge mit höherem Wassergehalt abbilden, ist auch hier auf den Eintrag von Regenwasser über den Stammabfluss zu erklären. Da sich die hier beschriebenen Sensoren mit einer Einbautiefe von 20 cm nah der Oberfläche befinden, wirkt sich der Stammabfluss unmittelbar auf das Messergebnis aus. Grundsätzlich ist zu erkennen, dass im Substrat auch zu Trockenphasen eine gute Grundfeuchtigkeit vorhanden ist.

SMT 45, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 40 cm (Ballenfern und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 3 Seite 29. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und in einem Abstand von 45 cm zur Außenwand platziert. Damit beträgt die Entfernung zum Pflanzballen ca. 30 cm.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 1,8 % abgesunken, in keinem der Gefäße war ein Anstieg zu verzeichnen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 6,0 bis 8,3 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 7,2 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine mäßige Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 5,9 bis 6,3 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 6,1 % ab. Aus Abbildung 20 bis Abbildung 22 ist zu erkennen, dass der Regenwassereintrag über Stammwasserabfluss hier keine Auswirkungen hat. Die Bodenfeuchtigkeit nimmt sukzessive ab, wobei sich die Kurve im letzten Drittel des Zeitraums auf einem relativ konstanten Niveau stabilisiert. Der Wasserverlust ist an dieser Stelle auf Transpirationsverluste an der Oberfläche zurückzuführen, da in diesem Bereich noch keine Durchwurzelung im Substrat erfolgt ist.

SMT 75, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 40 cm (Ballen- und Dochnah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 3 Seite 29. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe nahe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand nah am Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 0,7 % abgesunken. Lediglich in Lysimetergefäß 01 ist ein leichter Anstieg um 1,5 % zu verzeichnen. Damit ist eine sich insgesamt verringernde Bodenfeuchtigkeit festzustellen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 2,4 bis 12,3 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 8,9 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine mäßige Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 1,9 bis 9,5 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 5,2 % ab. Aus Abbildung 16 bis Abbildung 18 ist zu erkennen, dass sich der volumetrische Wassergehalt in unmittelbarer Dochnähe im Vergleich mit den Ergebnissen aus der Einbautiefe von 20 cm relativ konstant verhält. Sowohl Wassergaben durch Gießaktivitäten als auch Stammwasserabfluss führen hier nur zu geringfügigen Schwankungen der Grundfeuchtigkeit. Da sich auch Trockenphasen in diesem Bereich kaum auf den volumetrischen Wassergehalt auswirken, ist hier bereits ein Hinweis auf den stabilisierenden Einfluss des kapillarwirksamen Dochtes auf die Grundfeuchtigkeit im Substrat zu sehen.

SMT 45, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 40 cm (Ballen- und Dochtfern)

Datenübersicht: siehe Tabelle 3 Seite 29. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe auf Höhe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 45 cm zur Außenwand ca. 30 cm entfernt zum Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 1,4 % abgesunken, in keinem der Gefäße war ein Anstieg zu verzeichnen. Damit ist sowohl in Dochnähe als auch Dochtfern ein abnehmender Wassergehalt festzustellen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 6,6 bis 8,7 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 7,8 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine niedrige Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats und bildet damit eine Phase geringer Bodenfeuchtigkeit in der tieferen Substratschicht ab.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 3,3 bis 7,2 % und bilden damit einen gemittelten Tiefstwert von 5,7 %. Aus Abbildung 20 bis Abbildung 22 ist zu erkennen, dass der Wassergehalt in Lysimeter 01 und 03 in der tieferen Substratschichten deutlich über den Messergebnissen der oberen Substratschichten liegt. Während der Wassergehalt in der oberflächennahen Substratschicht bei nur schwachen Schwankungen kontinuierlich abnimmt, sind in der tieferen Substratschicht ausgeprägte Schwankungen durch regelmäßig an- und absteigende Wassergehalte festzustellen.

Tabelle 3 Datenanalyse der SMT 75 und 45 Bodenfeuchte Sensoren bei kapillarer Steighöhe von 40 cm

SMT Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 40 cm						
Datum:	03.08.2023 - 04.09.2023					
Höhe Wasserpegel:	40 cm					
Kapillare Steighöhe	40 cm					
Sensorbezeichnung:	SMT	75 oder 45	Bodenfeuchte	20 cm	[%]	
	SMT	75 oder 45	Bodenfeuchte	40 cm	[%]	
					Messeinheit	
					Einbautiefe von OK	
					Typ der erfassten Eigenschaft	
					Einbauabstand der Sensorspitze zur Außenwand in cm	
					Soil Moisture Tension (Technische Kennung)	
Messergebnisse [% volumetrischer Wassergehalt im Boden]						
	SMT 75			SMT 45		
Einbautiefe:	20 cm	40 cm		20 cm	40 cm	
Messungsbeginn:	15,8 %	9,5 %		7,3 %	8,2 %	Lysimeter 01
	13,6 %	11,0 %		8,4 %	5,3 %	“-“ 02
	19,0 %	2,3 %		8,3 %	8,7 %	“-“ 03
Mittelwert:	16,13 %	7,6 %		8,0 %	7,4 %	
Messungsende:	13,6 %	11,0 %		6,0 %	6,6 %	Lysimeter 01
	23,7 %	7,3 %		6,3 %	3,3 %	“-“ 02
	13,1 %	2,3 %		6,2 %	8,0 %	“-“ 03
Mittelwert:	16,8 %	6,9 %		6,2 %	6,0 %	
Höchstwert:	28,5 %	12,1 %		7,3 %	8,2 %	Lysimeter 01
	50,5 %	12,3 %		6,0 %	6,6 %	“-“ 02
	25,7 %	2,4 %		8,3 %	8,7 %	“-“ 03
Mittelwert:	34,9 %	8,9 %		7,2 %	7,8 %	
Tiefstwert:	7,0 %	9,5 %		5,9 %	6,5 %	Lysimeter 01
	12,5 %	4,3 %		6,3 %	3,3 %	“-“ 02
	7,7 %	1,9 %		6,2 %	7,2 %	“-“ 03
Mittelwert:	9,1 %	5,2 %		6,1 %	5,7 %	

Grafische Messergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 15 und Abbildung 19
- Messdiagramme des Bodenwassergehalts der Lysimetergefäße 01 bis 03
 - o SMT 75 (Ballennahe Messung) Abbildung 16 bis Abbildung 22
 - o SMT 45 (Ballenferne Messung) Abbildung 16 bis Abbildung 22

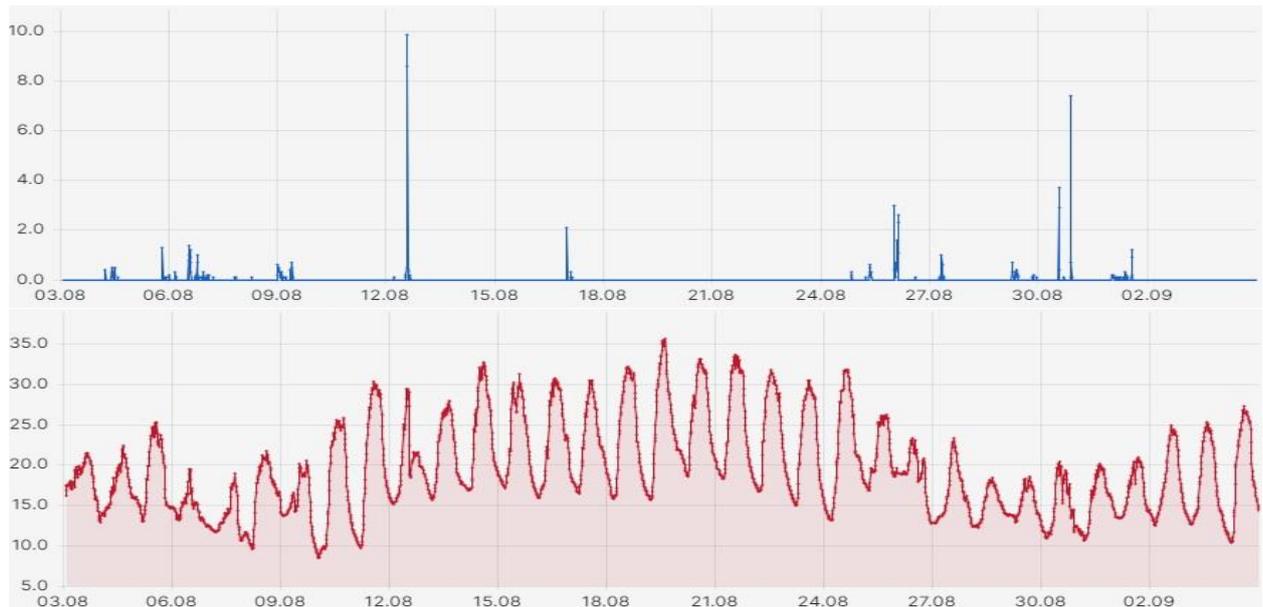


Abbildung 15 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm



Abbildung 16 Lysimeter 01: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

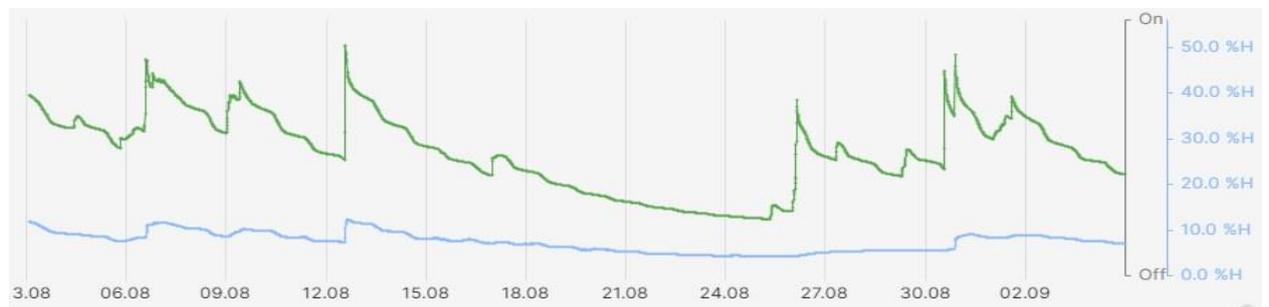


Abbildung 17 Lysimeter 02: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

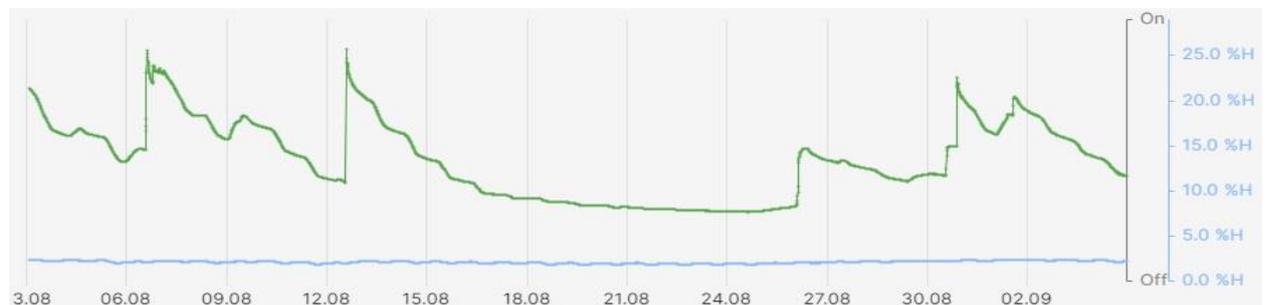


Abbildung 18 Lysimeter 03: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

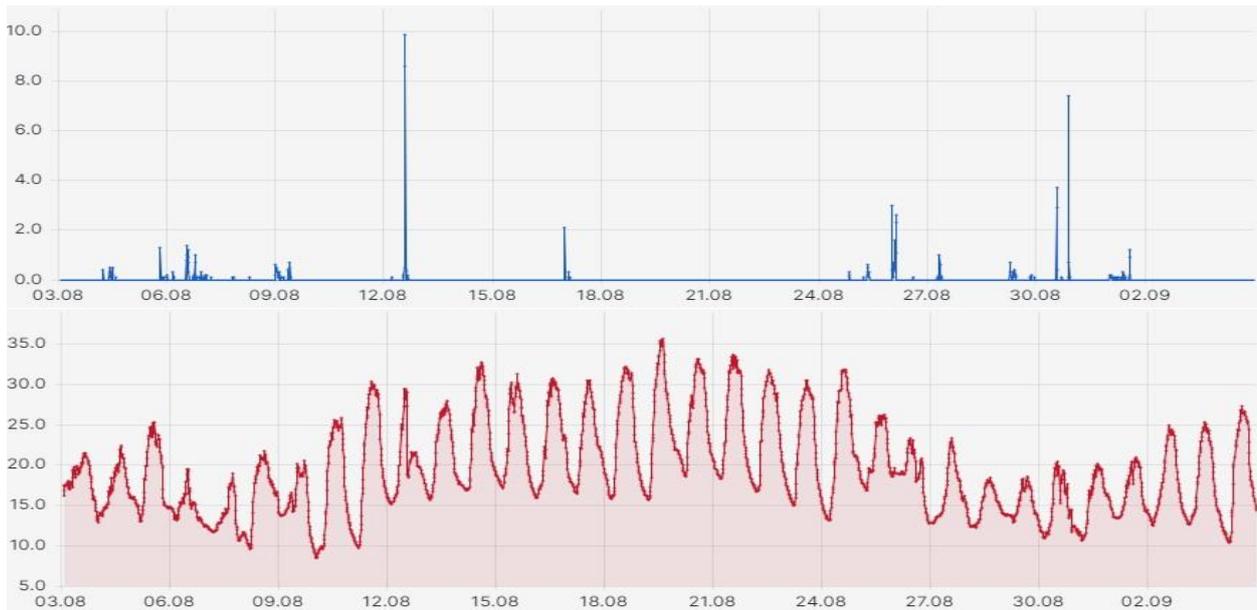


Abbildung 19 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm

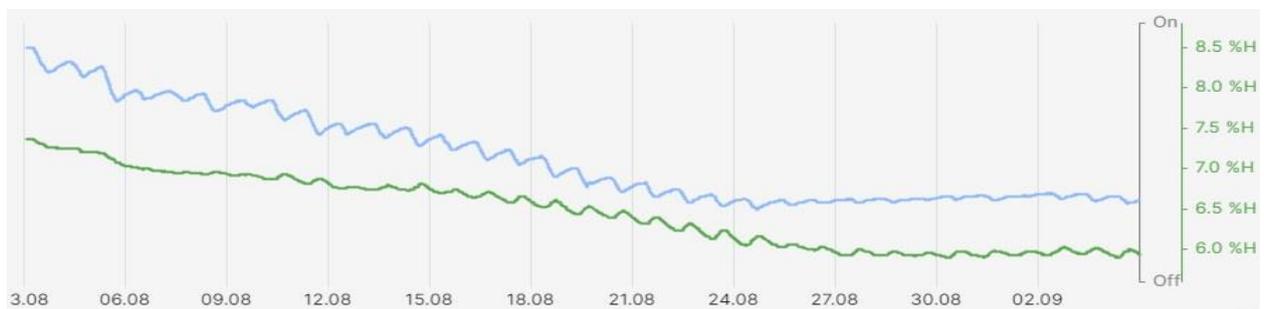


Abbildung 20 Lysimeter 01: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

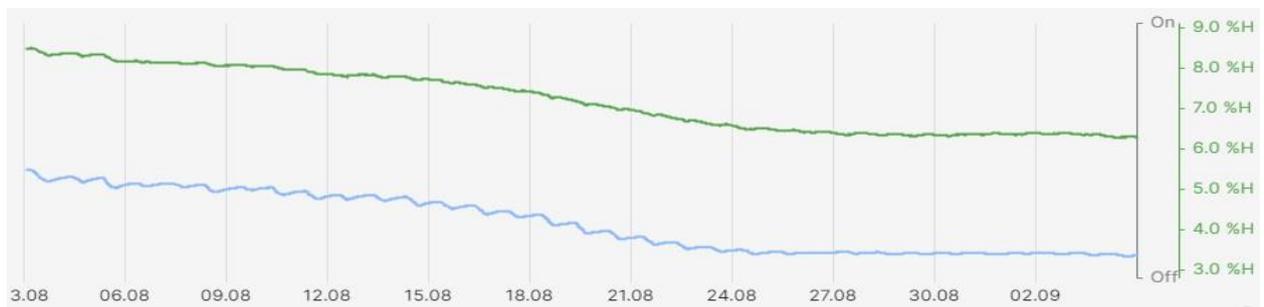


Abbildung 21 Lysimeter 02: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

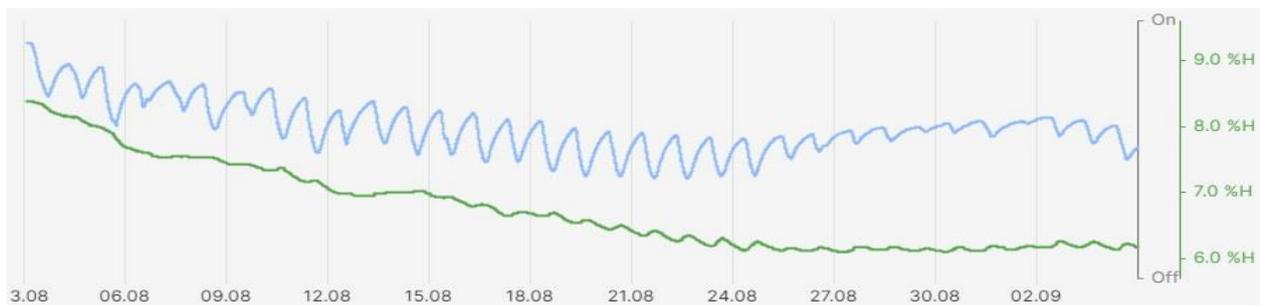


Abbildung 22 Lysimeter 03: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

4.1.3 Volumetrischer Bodenwassergehalt: kapillare Steighöhe 50 cm

SMT 75, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 50 cm (Ballen- und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 4 Seite 34. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand direkt am Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 4,4 % abgefallen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 14,8 bis 35,4 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 28,4 % ab. Der gemittelte Wassergehalt erreicht die maximale Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats und beschreibt Phasen sehr hoher Feuchtigkeit. Diese sind vermutlich durch den Wassereintrag über Stammwasserabfluss bei Regenereignissen zu erklären.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 7,5 bis 8,3 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 7,9 % ab. Aus Abbildung 24 bis Abbildung 26 ist zu erkennen, dass sich die Trockenphasen im Zusammenhang mit ausbleibenden Regenereignissen und hohen Temperaturen bis 35 °C entwickelten. Diese Entwicklung bildete sich auch bei der zeitgleich erfolgten Messreihe der Steighöhe 40 cm ab. Das sich hier immer wieder Ausschläge mit höherem Wassergehalt abbilden, ist auch hier auf den Eintrag von Regenwasser über den Stammabfluss zu erklären. Da sich die hier beschriebenen Sensoren mit einer Einbautiefe von 20 cm nah der Oberfläche befinden, wirkt sich der Stammabfluss unmittelbar auf das Messergebnis aus. Grundsätzlich ist zu erkennen, dass im Substrat auch zu Trockenphasen eine gute Grundfeuchtigkeit vorhanden ist.

SMT 45, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 50 cm (Ballenfern und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 4 Seite 34. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und in einem Abstand von 45 cm zur Außenwand platziert. Damit beträgt die Entfernung zum Pflanzballen ca. 30 cm.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 1,5 % abgesunken, in keinem der Gefäße war ein Anstieg zu verzeichnen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 6,8 bis 8,8 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 8,1 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine geringe Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 5,9 bis 7,5 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 6,5 % ab. Aus Abbildung 28 bis Abbildung 30 ist zu erkennen, dass der Regenwassereintrag über Stammwasserabfluss hier keine Auswirkungen hat. Die Bodenfeuchtigkeit nimmt sukzessive ab, wobei sich die Kurve im letzten Drittel des Zeitraums auf einem relativ konstanten Niveau stabilisiert. Der Wasserverlust ist an dieser Stelle auf Transpirationsverluste an der Oberfläche zurückzuführen, da in diesem Bereich noch keine Durchwurzelung im Substrat erfolgt ist.

SMT 75, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 50 cm (Ballen- und Dochnah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 4 Seite 34. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe nahe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand nah am Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 1,9 % abgesunken. In keinem der Gefäße ist ein Anstieg zu verzeichnen. Damit ist eine sich insgesamt verringernde Bodenfeuchtigkeit festzustellen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 8,3 bis 20,0 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 13,7 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine mittlere Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 4,7 bis 8,3 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 6,7 % ab. Aus Abbildung 24 bis Abbildung 26 ist zu erkennen, dass sich der volumetrische Wassergehalt in unmittelbarer Dochnähe im Vergleich mit den Ergebnissen aus der Einbautiefe von 20 cm relativ konstant verhält. Sowohl Wassergaben durch Gießaktivitäten als auch Stammwasserabfluss führen hier nur zu geringfügigen Schwankungen der Grundfeuchtigkeit. Lediglich in Lysimetergefäß 05 entwickelt sich ein deutlicher Anstieg der Bodenfeuchtigkeit im Zusammenhang mit Regenwassereinträgen über den Stammabfluss. Als Ursache hierfür kann vermutet werden, dass hier das Wasser im Vergleich zu den anderen Lysimetergefäßen deutlich schneller versickert und damit die Messergebnisse beeinflusst. Da sich auch hier Trockenphasen in diesem Bereich kaum auf den volumetrischen Wassergehalt auswirken, ist ein Hinweis auf den stabilisierenden Einfluss des kapillarwirksamen Dochtes auf die Grundfeuchtigkeit im Substrat zu sehen.

SMT 45, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 50 cm (Ballen- und Dochtfern)

Datenübersicht: siehe Tabelle 4 Seite 34. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe auf Höhe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 45 cm zur Außenwand ca. 30 cm entfernt zum Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 1,3 % abgesunken, in keinem der Gefäße war ein Anstieg zu verzeichnen. Damit ist sowohl in Dochnähe als auch Dochtfern ein abnehmender Wassergehalt festzustellen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 6,0 bis 10,0 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 7,9 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine geringe Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats und bildet damit eine Phase geringer Bodenfeuchtigkeit in der tieferen Substratschicht ab.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 5,6 bis 7,5 % und bilden damit einen gemittelten Tiefstwert von 6,4 %. Aus Abbildung 28 bis Abbildung 30 ist zu erkennen, dass der Wassergehalt in Lysimeter 01 und 03 in den tieferen Substratschichten das Niveau der Messergebnisse der oberen Substratschichten erreicht, der Wassergehalt beider Substratschichten ist also annähernd gleich. In allen Lysimetergefäßen ist zu erkennen, dass sich das Wassergehaltsniveau im letzten Drittel des Messzeitraums auf einem relativ konstanten Niveau stabilisiert.

Tabelle 4 Datenanalyse der SMT 75 und 45 Bodenfeuchte Sensoren bei kapillarer Steighöhe von 50 cm

SMT Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 50 cm						
Datum:	03.08.2023 - 04.09.2023					
Höhe Wasserpegel:	30 cm					
Kapillare Steighöhe	50 cm					
Sensorbezeichnung:	SMT	75 oder 45	Bodenfeuchte	20 cm	[%]	
	SMT	75 oder 45	Bodenfeuchte	40 cm	[%]	
					Messeinheit Einbautiefe von OK Typ der erfassten Eigenschaft Einbauabstand der Sensorspitze zur Außenwand in cm Soil Moisture Tension (Technische Kennung)	
Messergebnisse [% volumetrischer Wassergehalt im Boden]						
	SMT 75			SMT 45		
Einbautiefe:	20 cm	40 cm		20 cm	40 cm	
Messungsbeginn:	20,9 %	7,2 %		8,8 %	10,0 %	Lysimeter 04
	22,9 %	13,4 %		6,8 %	6,0 %	“-“ 05
	13,1 %	11,5 %		8,6 %	7,7 %	“-“ 06
Mittelwert:	19,0 %	10,7 %		8,1 %	7,9 %	
Messungsende:	13,2 %	5,1 %		7,5 %	7,6 %	Lysimeter 04
	17,7 %	11,7 %		6,0 %	5,8 %	“-“ 05
	12,9 %	9,7 %		6,2 %	6,3 %	“-“ 06
Mittelwert:	14,6 %	8,8 %		6,6 %	6,6 %	
Höchstwert:	35,0 %	8,3 %		8,8 %	10,0 %	Lysimeter 04
	35,4 %	20,0 %		6,8 %	6,0 %	“-“ 05
	14,8 %	12,7 %		8,6 %	7,7 %	“-“ 06
Mittelwert:	28,4 %	13,7 %		8,1 %	7,9 %	
Tiefstwert:	7,5 %	4,7 %		7,5 %	7,5 %	Lysimeter 04
	8,0 %	7,1 %		5,9 %	5,6 %	“-“ 05
	8,3 %	8,3 %		6,1 %	6,2 %	“-“ 06
Mittelwert:	7,9 %	6,7 %		6,5 %	6,4 %	

Grafische Messergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 23 und Abbildung 27
- Messdiagramme des Bodenwassergehalts der Lysimetergefäße 04 bis 06 in
 - SMT 75 (Ballennahe Messung) Abbildung 24 bis Abbildung 26
 - SMT 45 (Ballenferne Messung) Abbildung 28 bis Abbildung 30

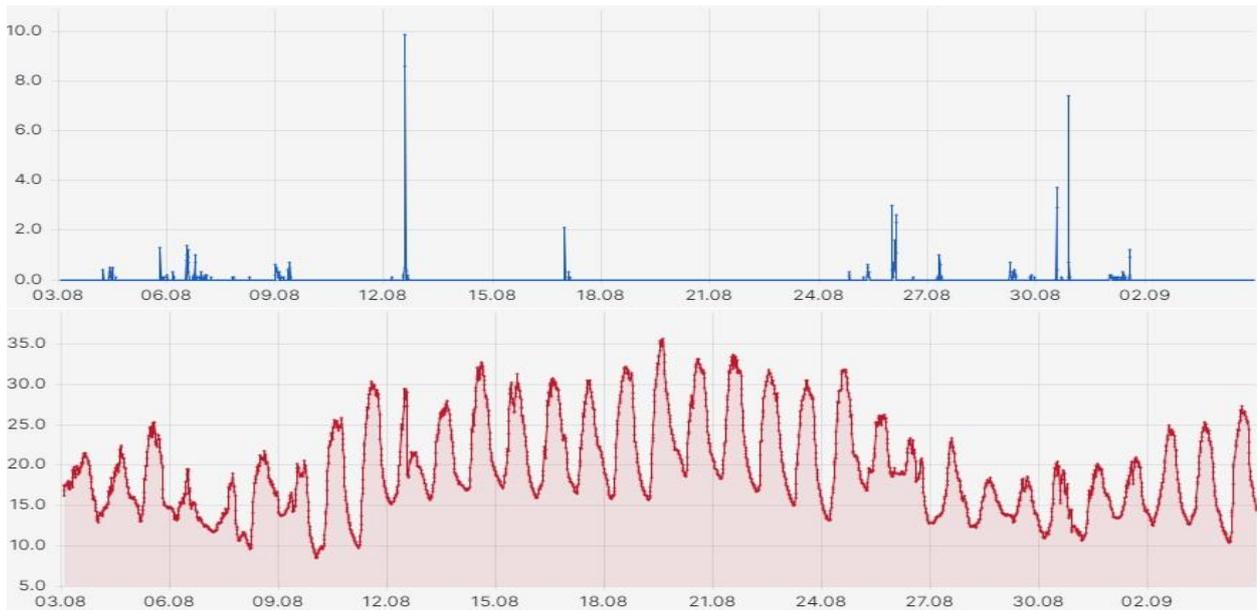


Abbildung 23 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm

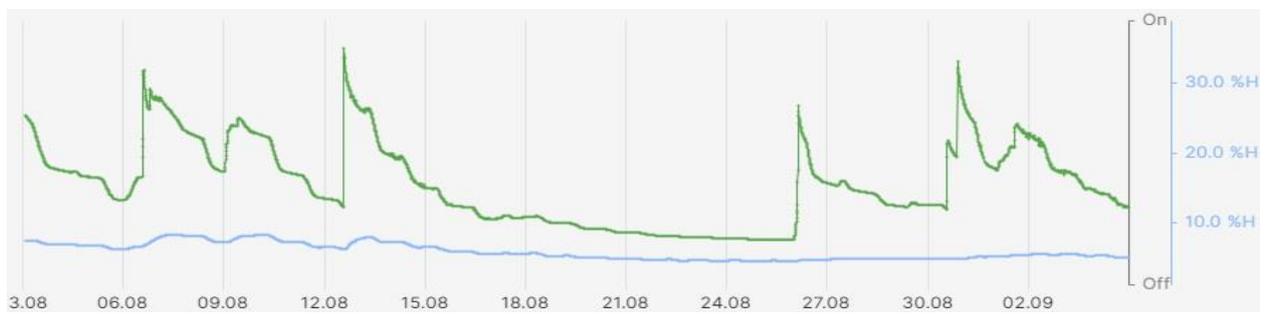


Abbildung 24 Lysimeter 04: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

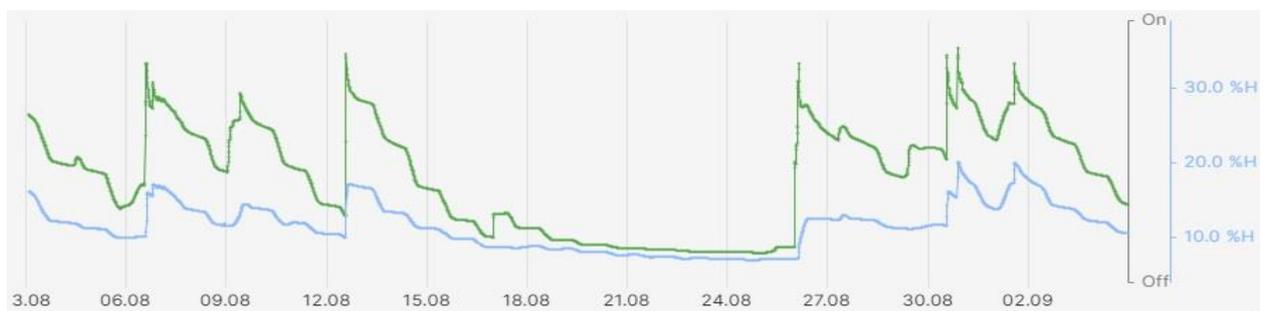


Abbildung 25 Lysimeter 05: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

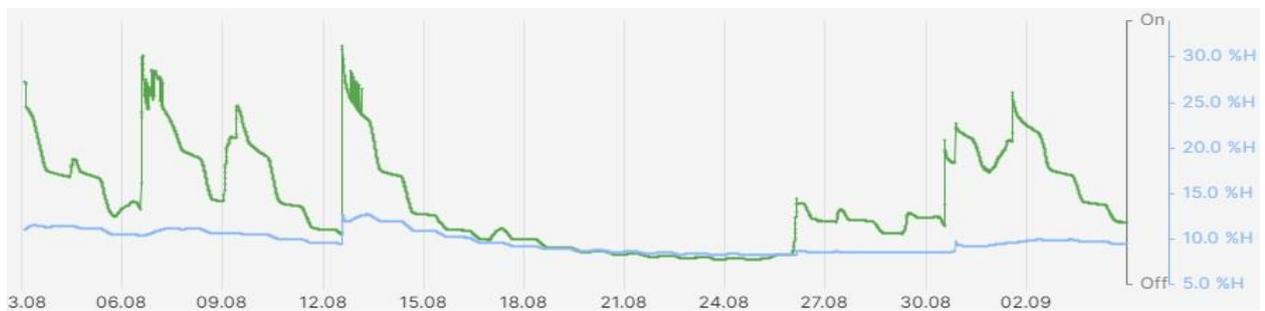


Abbildung 26 Lysimeter 06: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

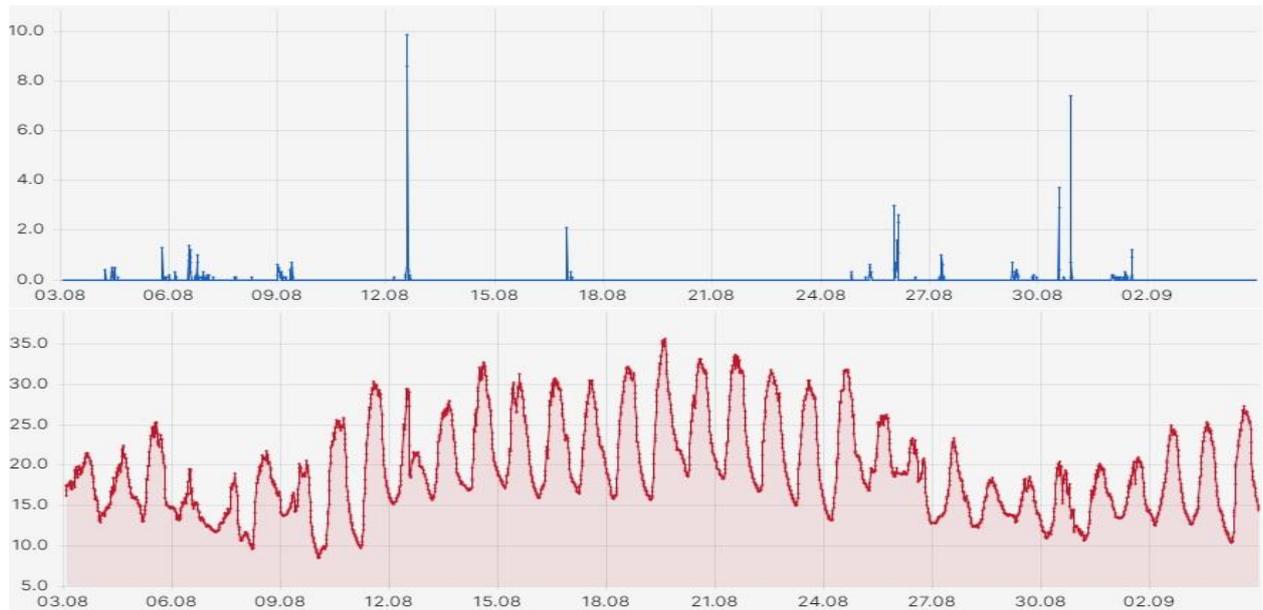


Abbildung 27 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm

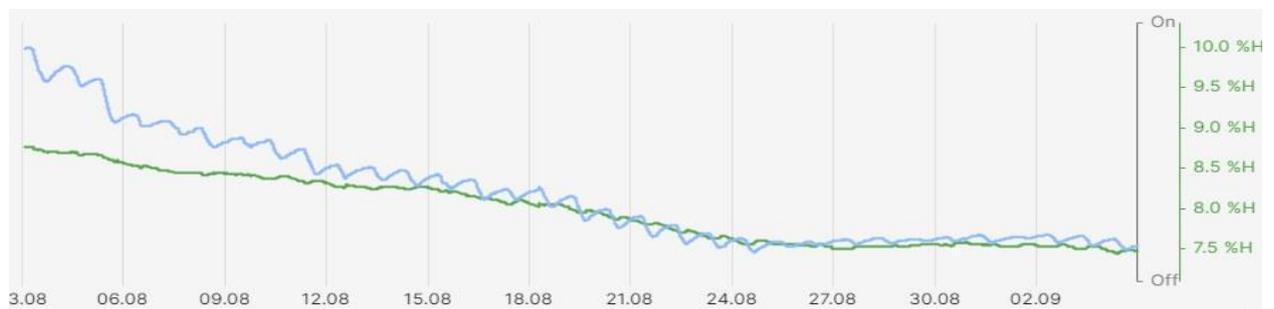


Abbildung 28 Lysimeter 04: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

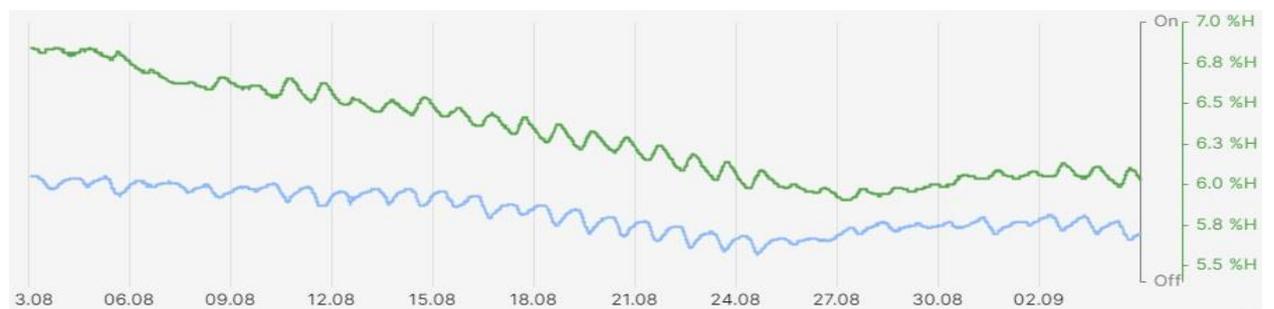


Abbildung 29 Lysimeter 05: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

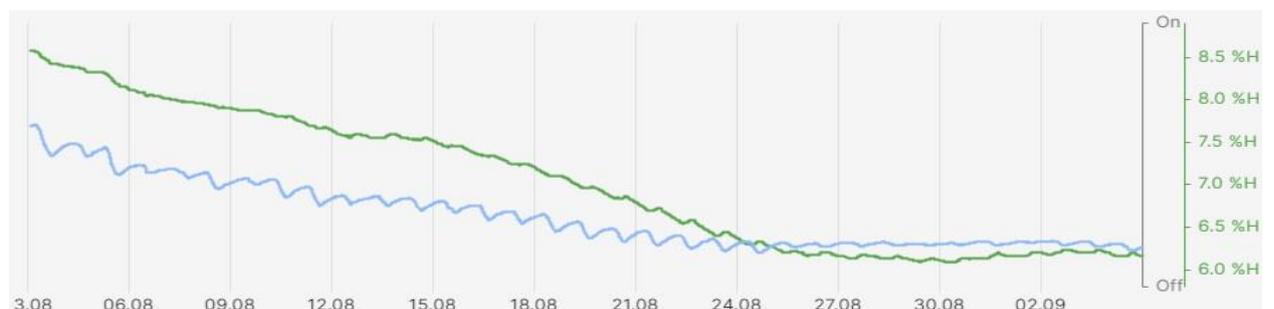


Abbildung 30 Lysimeter 06: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

4.1.4 Volumetrischer Bodenwassergehalt: kapillare Steighöhe 60 cm

SMT 75, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 60 cm (Ballen- und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 5 Seite 39. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand direkt am Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 2,8 % abgefallen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 13,6 bis 23,7 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 18,1 % ab. Der gemittelte Wassergehalt liegt wenig unterhalb der maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats und beschreibt Phasen hoher Feuchtigkeit. Diese sind vermutlich durch den Wassereintrag über Stammwasserabfluss bei Regenereignissen zu erklären.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 7,5 bis 11,4 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 8,9 % ab. Aus Abbildung 32 bis Abbildung 34 ist zu erkennen, dass sich die Trockenphasen im Zusammenhang mit ausbleibenden Regenereignissen und hohen Temperaturen bis runde 30 °C entwickelten. Das sich hier immer wieder Ausschläge mit höherem Wassergehalt abbilden, ist auch hier auf den Eintrag von Regenwasser über den Stammabfluss zu erklären. Da sich die hier beschriebenen Sensoren mit einer Einbautiefe von 20 cm nah der Oberfläche befinden, wirkt sich der Stammabfluss unmittelbar auf das Messergebnis aus.

SMT 45, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 60 cm (Ballenfern und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 5 Seite 39. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und in einem Abstand von 45 cm zur Außenwand platziert. Damit beträgt die Entfernung zum Pflanzballen ca. 30 cm.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 0,5 % abgesunken, in keinem der Gefäße war ein Anstieg zu verzeichnen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 6,0 bis 6,6 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 6,3 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine geringe Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 5,5 bis 6,0 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 5,7 % ab. Aus Abbildung 36 bis Abbildung 38 ist zu erkennen, dass der Regenwassereintrag über Stammwasserabfluss hier keine Auswirkungen hat. Die Bodenfeuchtigkeit nimmt sukzessive ab, wobei sich die Kurve im letzten Drittel des Zeitraums in den Lysimetergefäßen 01 und 02 auf einem relativ konstanten Niveau stabilisiert. Der Wasserverlust ist an dieser Stelle auf Transpirationsverluste an der Oberfläche zurückzuführen, da in diesem Bereich noch keine Durchwurzelung im Substrat erfolgt ist.

SMT 75, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 60 cm (Ballen- und Dochnah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 5 Seite 39. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe nahe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand nah am Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 2,0 % abgesunken. In keinem der Gefäße ist ein Anstieg zu verzeichnen. Damit ist eine sich insgesamt verringere Bodenfeuchtigkeit festzustellen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 2,3 bis 11,0 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 6,9 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine geringe Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 1,5 bis 9,1 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 4,9 % ab. Aus Abbildung 32 bis Abbildung 34 ist zu erkennen, dass sich der volumetrische Wassergehalt in unmittelbarer Dochnähe im Vergleich mit den Ergebnissen aus der Einbautiefe von 20 cm relativ konstant verhält. Sowohl Wassergaben durch Gießaktivitäten als auch Stammwasserabfluss führen hier zu keinen sichtbaren Schwankungen der Grundfeuchtigkeit. Da sich auch hier Trockenphasen in diesem Bereich kaum auf den volumetrischen Wassergehalt auswirken, ist ein Hinweis auf den stabilisierenden Einfluss des kapillarwirksamen Dochtes auf die Grundfeuchtigkeit im Substrat zu sehen.

SMT 45, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 60 cm (Ballen- und Dochtern)

Datenübersicht: siehe Tabelle 5 Seite 39. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe auf Höhe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 45 cm zur Außenwand ca. 30 cm entfernt zum Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 0,7 % abgesunken, in keinem der Gefäße war ein Anstieg zu verzeichnen. Damit ist sowohl in Dochnähe als auch Dochtern ein abnehmender Wassergehalt festzustellen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 3,3 bis 8,0 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 6,0 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine geringe Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats und bildet damit eine Phase geringer Bodenfeuchtigkeit in der tieferen Substratschicht ab.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 3,1 bis 6,2 % und bilden damit einen gemittelten Tiefstwert von 5,1 %. Aus Abbildung 36 bis Abbildung 38 ist zu erkennen, dass der Wassergehalt in Lysimeter 01 und 03 in den tieferen Substratschichten das Niveau der Messergebnisse der oberen Substratschichten übertrifft. Während die obere Substratschicht zunehmend austrocknet, da sich hier auch kein Stammwassereinfluss auswirkt, bleibt der Wassergehalt in der tieferen Substratschicht stabil. In Lysimetergefäß 03 ist nach Erreichen eines Tiefstandes am 11. September wieder ein Anstieg des Wassergehaltes zu verzeichnen.

Tabelle 5 Datenanalyse der SMT 75 und 45 Bodenfeuchte Sensoren bei kapillarer Steighöhe von 60 cm

SMT Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 60 cm						
Datum:	04.09.2023 - 04.10.2023					
Höhe Wasserpegel:	20 cm					
Kapillare Steighöhe	60 cm					
Sensorbezeichnung:	SMT	75 oder 45	Bodenfeuchte	20 cm	[%]	
	SMT	75 oder 45	Bodenfeuchte	40 cm	[%]	
					Messeinheit	
					Einbautiefe von OK	
					Typ der erfassten Eigenschaft	
					Einbauabstand der Sensorspitze zur Außenwand in cm	
					Soil Moisture Tension (Technische Kennung)	
Messergebnisse [% volumetrischer Wassergehalt im Bode						
	SMT 75			SMT 45		
Einbautiefe:	20 cm	40 cm		20 cm	40 cm	
Messungsbeginn:	13,6 %	11,0 %		6,0 %	6,6 %	Lysimeter 01
	23,7 %	7,3 %		6,3 %	3,3 %	“-“ 02
	13,1 %	2,3 %		6,2 %	8,0 %	“-“ 03
Mittelwert:	16,8 %	6,9 %		6,2 %	6,0 %	
Messungsende:	13,1 %	9,2 %		5,6 %	6,2 %	Lysimeter 01
	15,9 %	4,0 %		5,6 %	3,1 %	“-“ 02
	13,0 %	1,5 %		6,0 %	6,6 %	“-“ 03
Mittelwert:	14,0 %	4,9 %		5,7 %	5,3 %	
Höchstwert:	13,6 %	11,0 %		6,0 %	6,6 %	Lysimeter 01
	23,7 %	7,3 %		6,3 %	3,3 %	“-“ 02
	17,0 %	2,3 %		6,6 %	8,0 %	“-“ 03
Mittelwert:	18,1 %	6,9 %		6,3 %	6,0 %	
Tiefstwert:	7,5 %	9,1 %		5,5 %	6,2 %	Lysimeter 01
	11,4 %	4,0 %		5,6 %	3,1 %	“-“ 02
	7,8 %	1,5 %		6,0 %	6,0 %	“-“ 03
Mittelwert:	8,9 %	4,9 %		5,7 %	5,1 %	

Grafische Messerergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 31 und Abbildung 35
- Messdiagramme des Bodenwassergehalts der Lysimetergefäße 04 bis 06 in
 - SMT 75 (Ballennahe Messung) Abbildung 32 bis Abbildung 34
 - SMT 45 (Ballenferne Messung) Abbildung 36 bis Abbildung 38

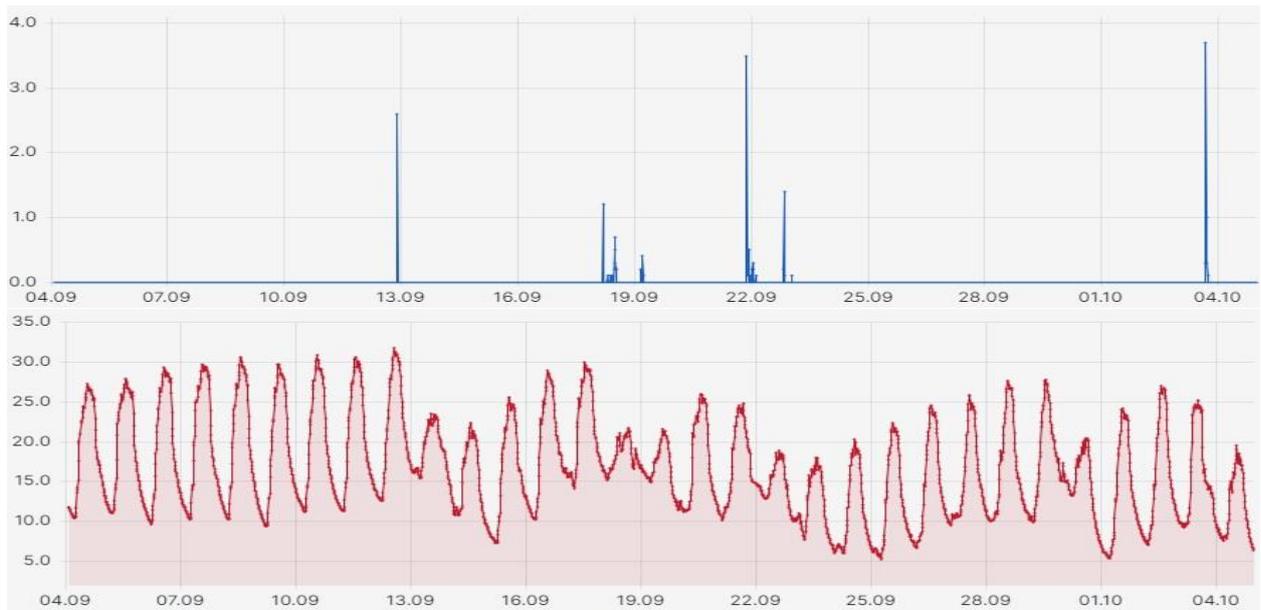


Abbildung 31 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm



Abbildung 32 Lysimeter 01: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"



Abbildung 33 Lysimeter 02: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"



Abbildung 34 Lysimeter 03: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

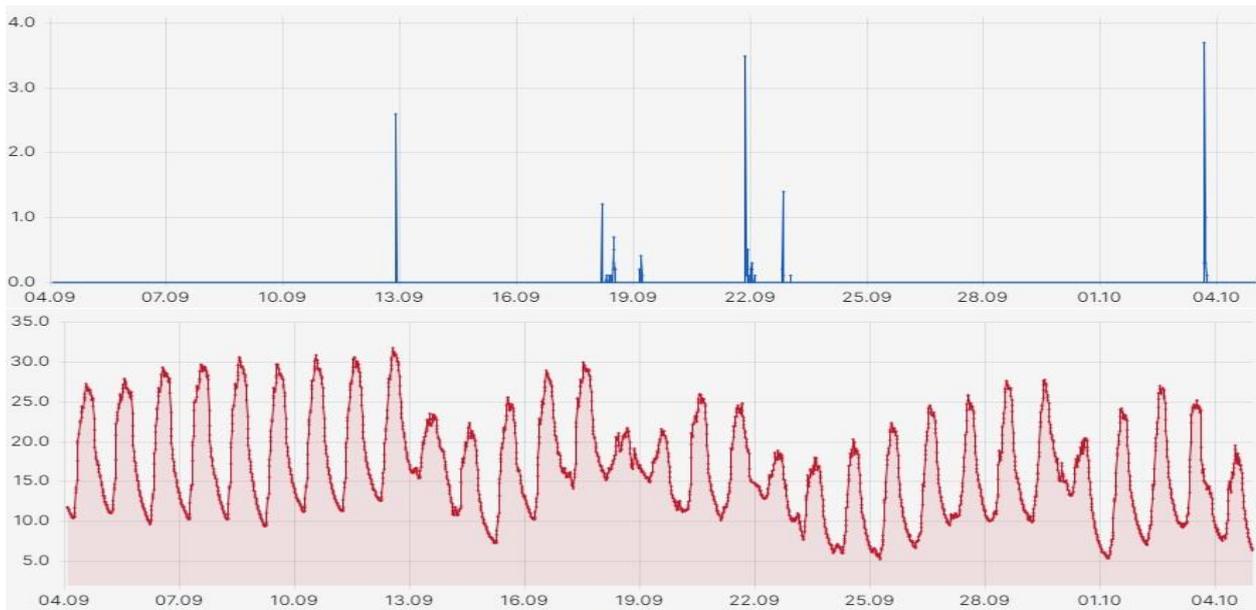


Abbildung 35 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm

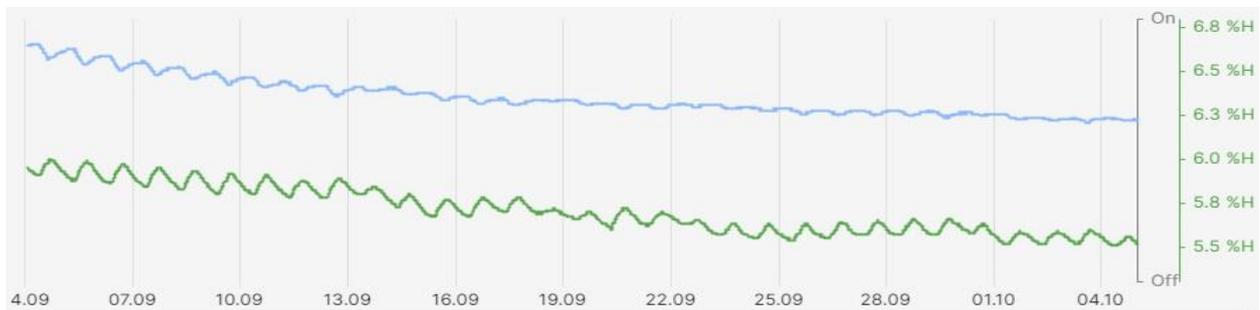


Abbildung 36 Lysimeter 01: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

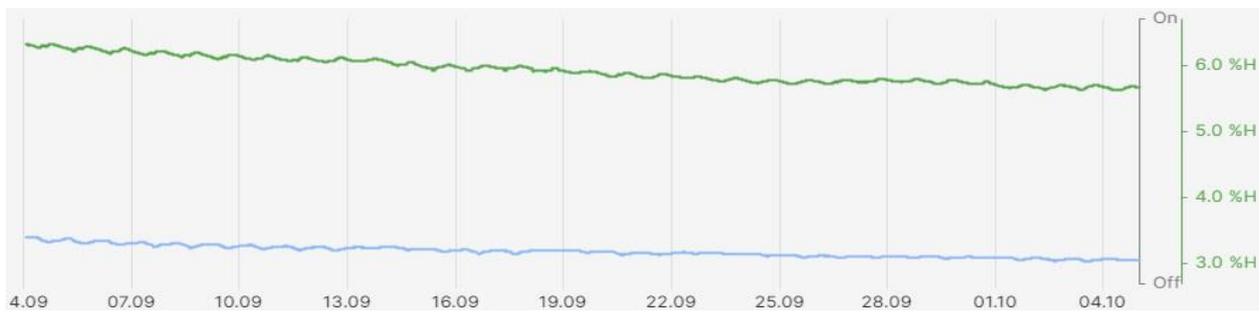


Abbildung 37 Lysimeter 02: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

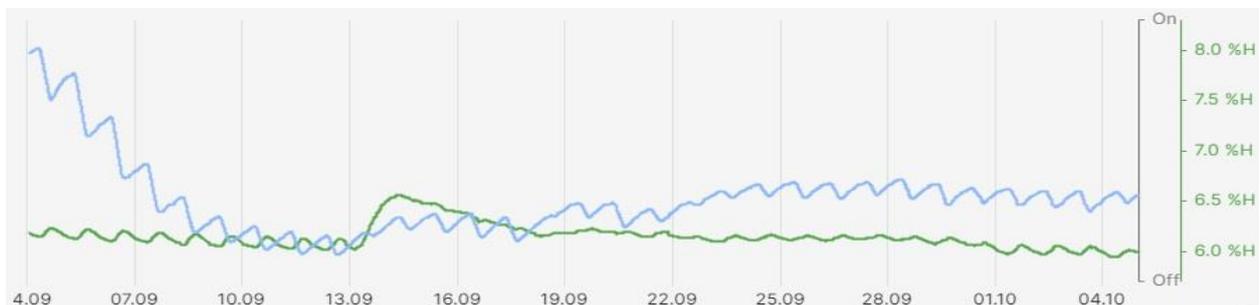


Abbildung 38 Lysimeter 03: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 45 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 45 Bodenfeuchte 40cm [%]"

4.1.5 Volumetrischer Bodenwassergehalt: kapillare Steighöhe 70 cm

SMT 75, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 70 cm (Ballen- und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 6 Seite 44. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand direkt am Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 0,4 % angestiegen. Dies ist auf die insgesamt hohen Wassergehaltswerte in Lysimetergefäß 05 zurückzuführen. In den Gefäßen 04 und 06 ist der Wassergehalt zwischen Messungsbeginn und -ende leicht gesunken.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 14,8 bis 30,8 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 20,7 % ab. Der gemittelte Wassergehalt erreicht die maximale Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats und beschreibt Phasen hoher Feuchtigkeit. Diese sind vermutlich durch den Wassereintrag über Stammwasserabfluss bei Regenereignissen zu erklären.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 7,6 bis 8,3 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 7,9 % ab. Aus Abbildung 40 bis Abbildung 42 ist zu erkennen, dass sich die Trockenphasen im Zusammenhang mit ausbleibenden Regenereignissen und hohen Temperaturen bis 30 °C entwickelten. Diese Entwicklung bildete sich auch bei der zeitgleich erfolgten Messreihe der Steighöhe 60 cm ab. Das sich hier immer wieder Ausschläge mit höherem Wassergehalt abbilden, ist auch hier auf den Eintrag von Regenwasser über den Stammabfluss zu erklären. Da sich die hier beschriebenen Sensoren mit einer Einbautiefe von 20 cm nah der Oberfläche befinden, wirkt sich der Stammabfluss unmittelbar auf das Messergebnis aus. Grundsätzlich ist zu erkennen, dass im Substrat auch zu Trockenphasen eine gute Grundfeuchtigkeit vorhanden ist.

SMT 45, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 70 cm (Ballenfern und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 6 Seite 44. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und in einem Abstand von 45 cm zur Außenwand platziert. Damit beträgt die Entfernung zum Pflanzballen ca. 30 cm.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 0,5 % abgesunken, in keinem der Gefäße war ein Anstieg zu verzeichnen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 6,1 bis 7,5 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 6,6 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine geringe Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 5,4 bis 7,2 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 6,1 % ab. Aus Abbildung 44 bis Abbildung 46 ist zu erkennen, dass der Regenwassereintrag über Stammwasserabfluss hier keine sichtbaren Auswirkungen hat. Die Bodenfeuchtigkeit nimmt sukzessive ab, wobei sich die absteigende Kurve im letzten Drittel des Zeitraums in Lysimetergefäß 06 auf einem relativ konstanten Niveau stabilisiert. In den Gefäßen 04 und 05 bilden sich im letzten Drittel des Messzeitraums wieder leicht ansteigende Wassergehalte ab, die zum Ende jedoch wieder leicht abfallen und den insgesamt absteigenden Trend fortsetzen.

SMT 75, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 70 cm (Ballen- und Dochnah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 6 Seite 44. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe nahe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand nah am Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 2,4 % abgesunken. In keinem der Gefäße ist ein Anstieg zu verzeichnen. Damit ist eine sich insgesamt verringernde Bodenfeuchtigkeit festzustellen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 5,1 bis 11,7 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 8,8 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine geringe Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 3,9 bis 7,9 % und bilden einen gemittelten Tiefstwert von 6,2 % ab. Aus Abbildung 40 bis Abbildung 42 ist zu erkennen, dass sich der volumetrische Wassergehalt in unmittelbarer Dochnähe im Vergleich mit den Ergebnissen aus der Einbautiefe von 20 cm relativ konstant verhält. Wassereintrag bei Regenereignissen durch Stammwasserabfluss führt hier nur zu keinen sichtbaren Schwankungen der Grundfeuchtigkeit. Lediglich in Lysimetergefäß 05 entwickelt sich ein leichter Anstieg der Bodenfeuchtigkeit im Zusammenhang mit Regenwassereinträgen über den Stammabfluss, wie es auch in der Messreihe der Steighöhe 50 cm der Fall war. Auch hier kann als Ursache vermutet werden, dass hier das Wasser im Vergleich zu den anderen Lysimetergefäßen deutlich schneller versickert und damit das Messergebnis beeinflusst wird. Da sich auch hier Trockenphasen in diesem Bereich kaum auf den volumetrischen Wassergehalt auswirken, ist ein Hinweis auf den stabilisierenden Einfluss des kapillarwirksamen Dochtes auf die Grundfeuchtigkeit im Substrat zu sehen.

SMT 45, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 70 cm (Ballen- und Dochtfern)

Datenübersicht: siehe Tabelle 6 Seite 44. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe auf Höhe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 45 cm zur Außenwand ca. 30 cm entfernt zum Pflanzballen platziert.

In den Lysimetergefäßen ist von Messungsbeginn bis Messungsende der volumetrische Wassergehalt im Mittel um 0,4 % abgesunken, in keinem der Gefäße war ein Anstieg zu verzeichnen. Damit ist sowohl in Dochnähe als auch Dochtfern ein abnehmender Wassergehalt festzustellen.

Die Höchstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 5,8 bis 7,6 % und bilden damit einen gemittelten Höchstwert von 6,6 % ab. Der gemittelte Wassergehalt beschreibt eine geringe Wassersättigung, verglichen mit den Herstellerangaben zur maximalen Wasserkapazität von 20 - 35 Vol.% des Substrats und bildet damit eine Phase geringer Bodenfeuchtigkeit in der tieferen Substratschicht ab.

Die Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts schwanken von 5,3 bis 7,2 % und bilden damit einen gemittelten Tiefstwert von 6,1 %. Aus Abbildung 44 bis Abbildung 46 ist zu erkennen, dass der Wassergehalt in Lysimeter 01 und 03 in den tieferen Substratschichten das Niveau der Messergebnisse der oberen Substratschichten übertrifft. Somit ist in den der tieferen Substratschicht ein höherer Wassergehalt als in der oberen Substratschicht

festzustellen. In allen Lysimetergefäßen ist zu erkennen, dass sich das Wassergehaltsniveau im letzten Viertel des Messzeitraums auf einem relativ konstanten Niveau stabilisiert. Die niveaumäßige Stabilisierung des Wassergehalts setzt etwas später ein, als es bei den niedrigeren Steighöhen der Fall war.

Tabelle 6 Datenanalyse der SMT 75 und 45 Bodenfeuchte Sensoren bei kapillarer Steighöhe von 70 cm

SMT Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 70 cm							
Datum:	04.09.2023 - 04.10.2023						
Höhe Wasserpegel:	10 cm						
Kapillare Steighöhe	70 cm						
Sensorbezeichnung:	SMT	75 oder 45	Bodenfeuchte	20 cm	[%]		
	SMT	75 oder 45	Bodenfeuchte	40 cm	[%]		
					Messeinheit Einbautiefe von OK Typ der erfassten Eigenschaft Einbauabstand der Sensorspitze zur Außenwand in cm Soil Moisture Tension (Technische Kennung)		
Messergebnisse [% volumetrischer Wassergehalt im Boden]							
	SMT 75			SMT 45			
Einbautiefe:	20 cm	40 cm		20 cm	40 cm		
Messungsbeginn:	13,2 %	5,1 %		7,5 %	7,6 %	Lysimeter 04	
	17,7 %	11,7 %		6,0 %	5,8 %	"- 05	
	13,1 %	9,7 %		6,2 %	6,3 %	"- 06	
Mittelwert:	14,7 %	8,8 %		6,6 %	6,6 %		
Messungsende:	12,3 %	3,9 %		7,2 %	7,3 %	Lysimeter 04	
	20,1 %	7,4 %		5,6 %	5,4 %	"- 05	
	12,9 %	7,9 %		5,4 %	5,9 %	"- 06	
Mittelwert:	15,1 %	6,4 %		6,1 %	6,2 %		
Höchstwert:	16,5 %	5,1 %		7,5 %	7,6 %	Lysimeter 04	
	30,8 %	11,7 %		6,1 %	5,8 %	"- 05	
	14,8 %	9,7 %		6,2 %	6,3 %	"- 06	
Mittelwert:	20,7 %	8,8 %		6,6 %	6,6 %		
Tiefstwert:	7,6 %	3,9 %		7,2 %	7,2 %	Lysimeter 04	
	7,9 %	6,7 %		5,6 %	5,3 %	"- 05	
	8,3 %	7,9 %		5,4 %	5,9 %	"- 06	
Mittelwert:	7,9 %	6,2 %		6,1 %	6,1 %		

Grafische Messergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 39 und Abbildung 43
- Messdiagramme des Bodenwassergehalts der Lysimetergefäße 04 bis 06 in
 - SMT 75 (Ballennahe Messung) Abbildung 40 bis Abbildung 42
 - SMT 45 (Ballenferne Messung) Abbildung 44 bis Abbildung 46

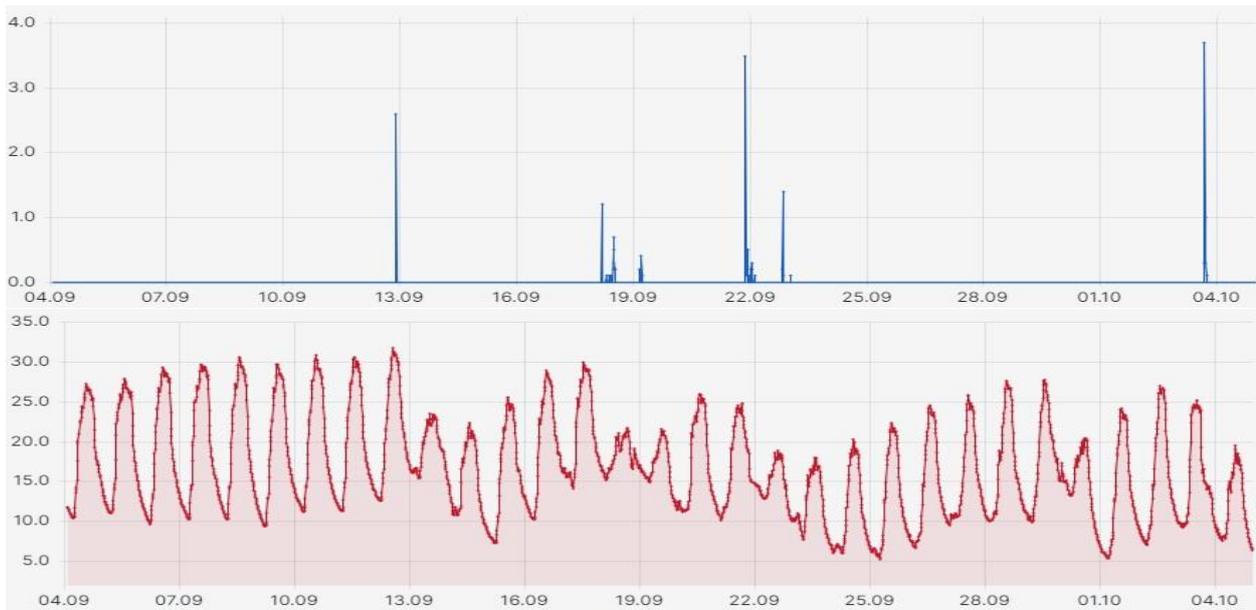


Abbildung 39 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm



Abbildung 40 Lysimeter 04: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"



Abbildung 41 Lysimeter 05: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"



Abbildung 42 Lysimeter 06: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

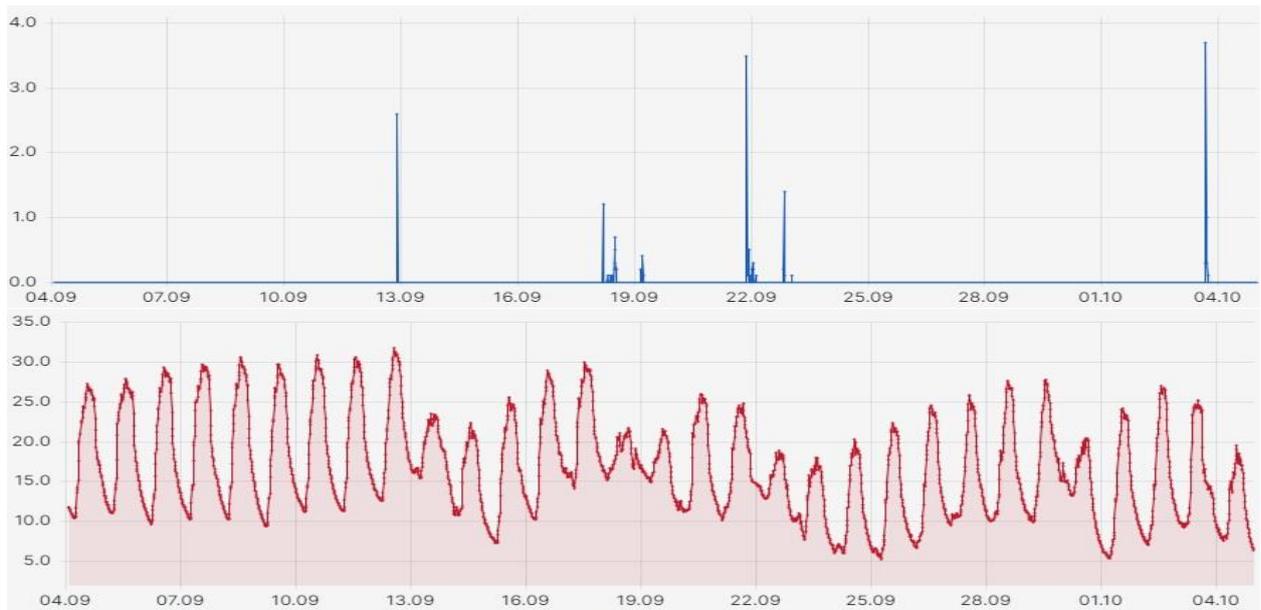


Abbildung 43 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm



Abbildung 44 Lysimeter 04: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

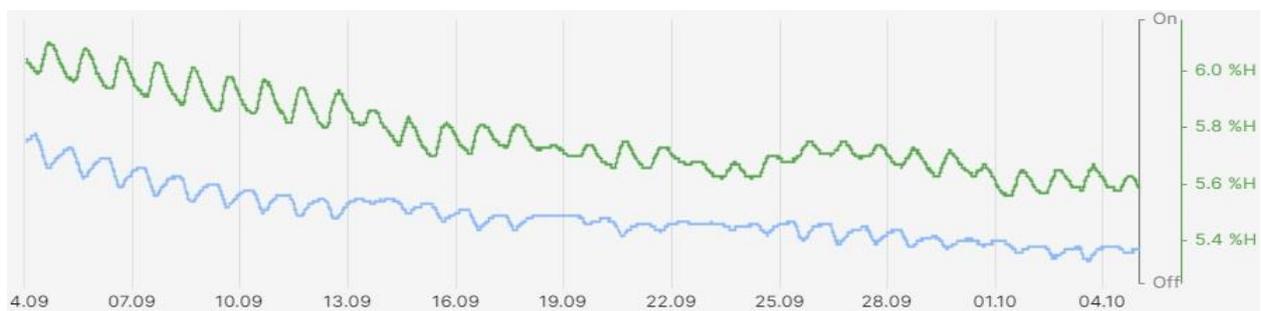


Abbildung 45 Lysimeter 05: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

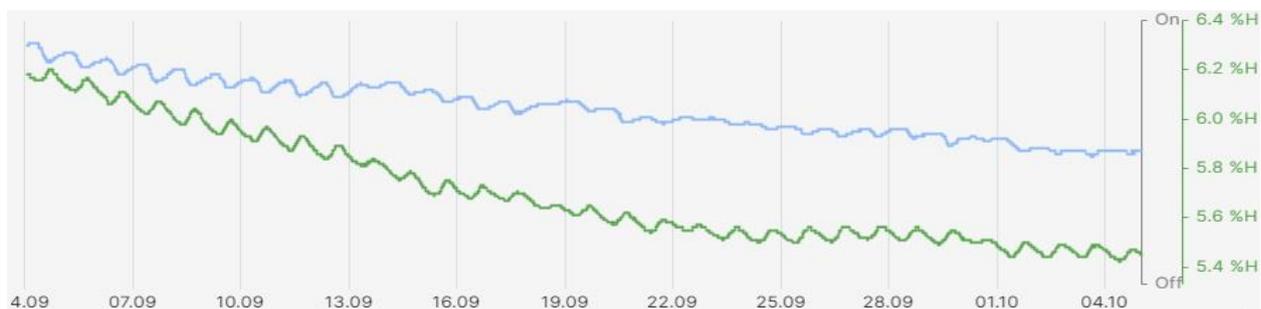


Abbildung 46 Lysimeter 06: Ergebnisse des volumetrischen Bodenwassergehalts im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch die Sensoren: Grün = "SMT 75 Bodenfeuchte 20cm [%]" Blau = "SMT 75 Bodenfeuchte 40cm [%]"

4.1.6 Volumetrischer Bodenwassergehalt: Zwischenfazit

Die dargestellten Messwerte bei den unmittelbar am Ballen positionierten SMT-Sensoren zeigen, dass der volumetrische Wassergehalt in der oberen Substratschicht (20 cm unter Oberkante) in 45 von 48 Fällen über den Messwerten der tieferen Substratschicht (40 cm unter Oberkante) liegt. Lediglich in drei Fällen und dies stets bei der Auswertung der Tiefstwerte, übertrifft der Wassergehalt der tieferen Substratschicht den der oberen Substratschicht. Die tieferen Substratschichten weisen also einen insgesamt geringeren volumetrischen Wassergehalt auf, dafür erfährt dieser aber auch erheblich schwächer ausgeprägte Schwankungen und ist als stabiler zu beurteilen.

Bei den ca. 30 cm entfernt zum Ballen positionierten SMT-Sensoren ist festzustellen, dass hier nicht die oberen Substratschichten die insgesamt höheren volumetrischen Wassergehalte aufweisen. Hier liegen 31 der insgesamt 48 dargestellten Messwerte der tieferen Substratschicht über dem Wassergehalt der oberen Substratschicht. Gleichzeitig erfahren beide Substratschichten insgesamt gering ausgeprägte Schwankungen, was speziell in der oberen Substratschicht über den ausbleibenden Stammwassereintrag zu begründen ist, da hier das Substrat durch einen Deckel nach oben abgeschirmt ist. Da in diesem Bereich die Schwankungen des Wassergehalts erheblich geringer sind als im ballennahen Umfeld, ist hier ein Beleg für die Auswirkungen des externen Eintrags von Niederschlagswasser in den Versuchsaufbau zu sehen. Der Eintrag erfolgte über den Stammabfluss und den Regenfall durch die erforderliche Öffnung im Deckel zur Durchführung des Stammes.

Dass die ermittelten Tiefstwerte des volumetrischen Wassergehalts der tieferen Substratschicht, die der oberen Substratschicht zumeist übertreffen deutet zusätzlich auf eine geringere Austrocknungstendenz hin, die sich bis zum Ende des Versuchszeitraums fortsetzt.

4.2 Auswertung der Wasserbilanz

Anhand der Wasserbilanz wird ermittelt, welche Wassermengen über den Versuchszeitraum in den jeweiligen Lysimetergefäßen umgesetzt werden. Hierzu werden die Daten der Wägezellen ausgewertet, auf denen die einzelnen Lysimetergefäße frei gelagert sind. Dabei wird das Gewicht der Lysimetergefäße inklusive aller Einbauten im Zehnminutentakt über die gesamte Versuchslaufzeit erfasst. Der Wasserspeicher des jeweiligen Lysimetergefäßes ist mit einem Drucksensor ausgestattet. Dieser erfasst permanent den aktuellen Wasserpegel und sendet bei Erreichen einer definierten Mindestfüllhöhe ein Signal zur Nachspeisung an das automatische Befüllsystem, um den Wasserpegel auf +2 cm über Mindestfüllhöhe aufzufüllen.

Zur Ermittlung der nachgespeisten Wassermenge wird das Gewicht zum Zeitpunkt der signalauslösenden Mindestfüllhöhe erfasst und mit dem Gewicht nach der Auffüllung verglichen. Dabei entspricht die Gewichts Differenz in Gramm der nachgespeisten Wassermenge in Milliliter. Da die Zeiträume zwischen den einzelnen Nachfüllvorgängen und die Größe der transpirationsfähigen Oberfläche bekannt sind, können konkrete Rückschlüsse über die durch den kapillarwirksamen Docht transportierte Wassermenge im Zeitraum zwischen den Auffüllvorgängen ermittelt werden.

Zur Beurteilung der Temperaturverhältnisse wird folgende Einteilung verwendet.

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Mittl. Max	2,7	4,1	8,8	13,6	18,2	20,7	23,2	23,1	18,5	13,3	7,1	3,5
sehr kalt	<-10	<-10	<-10	n.v.*	<-10	<-10						
kalt	<0	<0	<0	<0	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	<0	<0	<0
mäßig kalt	1-3	1-4	1-9	n.v.*	1-7	1-4						
sehr kühl	n.v.*	n.v.*	n.v.*	1-9	<14	<14	<14	<14	<14	1-8	n.v.*	n.v.*
kühl	n.v.*	n.v.*	n.v.*	10-13	14-17	14-17	14-17	14-17	14-17	9-12	n.v.*	n.v.*
mild	3-7	4-8	9-13	14-18	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	13-17	7-11	4-8
sehr mild	8-12	9-13	14-18	19-23	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	18-22	12-16	9-13
ungewöhnlich mild	>13	>14	>19	>24	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	>23	>17	>14
ungewöhnlich warm	n.v.*	n.v.*	>22	>27	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	>26	n.v.*	n.v.*
mäßig warm	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	18-23	18-23	18-23	18-23	18-23	n.v.*	n.v.*	n.v.*
warm	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	24-26	24-26	24-26	24-26	24-26	n.v.*	n.v.*	n.v.*
sehr warm	n.v.*	n.v.*	n.v.*	n.v.*	27-29	27-29	27-29	27-29	27-29	n.v.*	n.v.*	n.v.*
heiß			>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30		
sehr heiß						>35	>35	>35				

*n.v.: nicht verwendet



Abbildung 47 Verwendete Begriffe zur Temperatureinteilung. Quelle: Deutscher Wetterdienst (2018)

4.2.1 Wasserbilanz: kapillare Steighöhe 40 cm

Datenübersicht: siehe Tabelle 8 Seite 50. In Lysimetergefäß 01 fanden im Messzeitraum vom 03.08.2023 bis 04.09.2023 insgesamt zehn Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 7,94 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 08, in einem Zeitraum von 1,6 Tagen (23.08.2023 bis 24.08.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 2,32 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 10, in einem Zeitraum von 4,31 Tagen (28.08.2023 bis 01.09.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 49 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 48 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung heiße Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 31 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Dem gegenüber bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung mäßig warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 20 °C in Verbindung mit insgesamt 25,1 mm Niederschlag ab, wovon ca. 1,8 mm durch die Stammöffnung in das Substrat eingetragen wurden.

In Lysimetergefäß 02 fanden im Messzeitraum vom 03.08.2023 bis 04.09.2023 insgesamt sieben Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 9,45 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 01, in einem Zeitraum von 1,19 Tagen (03.08.2023 bis 04.08.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 1,56 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 03, in einem Zeitraum von 6,9 Tagen (12.08.2023 bis 19.08.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 50 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 48 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung mäßig warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 21 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Dem Gegenüber bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung heiße Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 31 °C in Verbindung mit insgesamt 23,4 mm Niederschlag ab, wovon ca. 1,7 mm durch die Stammöffnung in das Substrat eingetragen wurden.

In Lysimetergefäß 03 fanden im Messzeitraum vom 03.08.2023 bis 04.09.2023 insgesamt dreizehn Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 8,93 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 08, in einem Zeitraum von 1,12 Tagen (20.08.2023 bis 21.08.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 2,56 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 02, in einem Zeitraum von 4,1 Tagen (05.08.2023 bis 09.08.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 51 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 48 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung heiße Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 34 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Dem Gegenüber bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung mäßig warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 21 °C in Verbindung mit insgesamt 20,0 mm Niederschlag ab, wovon ca. 1,4 mm durch die Stammöffnung, mit einem Durchmesser von 30 cm bzw. eine Fläche von 0,071 m im Verhältnis zu 1 m², in das Substrat eingetragen wurden.

Tabelle 7 Zusammenfassung der Wasserbilanz der Lysimetergefäße 01 bis 03 bei kapillarer Steighöhe 40 cm

Lysimeter 01	Höchste Transportleistung mit 7,94 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 31 °C
		 kein Regen
	Geringste Transportleistung mit 2,32 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 20 °C
		 25,1 mm
Lysimeter 02	Höchste Transportleistung mit 9,45 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 21 °C
		 kein Regen
	Geringste Transportleistung mit 1,56 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 31 °C
		 23,4 mm
Lysimeter 03	Höchste Transportleistung mit 8,93 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 34 °C
		 kein Regen
	Geringste Transportleistung mit 2,56 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 21 °C
		 20,0 mm

Tabelle 8 Datenanalyse der Wasserbilanz bei kapillarer Steighöhe von 40 cm

Wasserbilanz Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 40 cm						
Datum:		03.08.2023 - 04.09.2023				
Höhe Wasserpegel:		40 cm		Höchstwert:		Grün
Kapillare Steighöhe		40 cm		Tiefstwert:		Orange
Messergebnisse						
Gefäß Nr.	Auffüllung Nr.	Tage bis Auffüllung	Auffüllung in Liter	Wassertransport		Wassertransport I pro Tag pro m ² \bar{x} Gesamt
				\bar{x} l pro Tag pro 0,4 m ²	1,0 m ²	
Lysimeter 01	01	4,13	4,1	0,99	2,48	4,16
	02	3,93	4,0	1,02	2,54	
	03	3,94	4,0	1,02	2,54	
	04	2,85	4,0	1,40	3,51	
	05	1,51	4,0	2,65	6,62	
	06	1,68	3,9	2,32	5,80	
	07	1,83	3,8	2,08	5,19	
	08	1,26	4,0	3,17	7,94	
	09	3,74	3,9	1,04	2,61	
	10	4,31	4,0	0,93	2,32	
Lysimeter 02	01	1,19	4,5	3,78	9,45	5,01
	02	7,69	20,6	2,68	6,70	
	03	6,9	4,3	0,62	1,56	
	04	2,37	4,5	1,90	4,75	
	05	1,76	4,3	2,44	6,11	
	06	2,66	4,6	1,73	4,32	
	07	5,1	4,5	0,88	2,21	
Lysimeter 03	01	1,92	4,4	2,29	5,73	5,30
	02	4,10	4,2	1,02	2,56	
	03	2,85	3,9	1,37	3,42	
	04	2,96	4,1	1,39	3,46	
	05	2,13	3,8	1,78	4,46	
	06	1,83	3,9	2,13	5,33	
	07	1,17	4,0	3,42	8,55	
	08	1,12	4,0	3,57	8,93	
	09	1,63	4,1	2,52	6,29	
	10	1,17	4,0	3,42	8,55	
	11	1,89	3,8	2,01	5,03	
	12	2,64	4,1	1,55	3,88	
	13	3,66	4,0	1,09	2,73	
\bar{x} aus Lysimeter 01 bis 03:						4,82

Grafische Messergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 48
- Wasserbilanzdiagramm der Lysimetergefäße 01 bis 03 in Abbildung 49 bis Abbildung 51

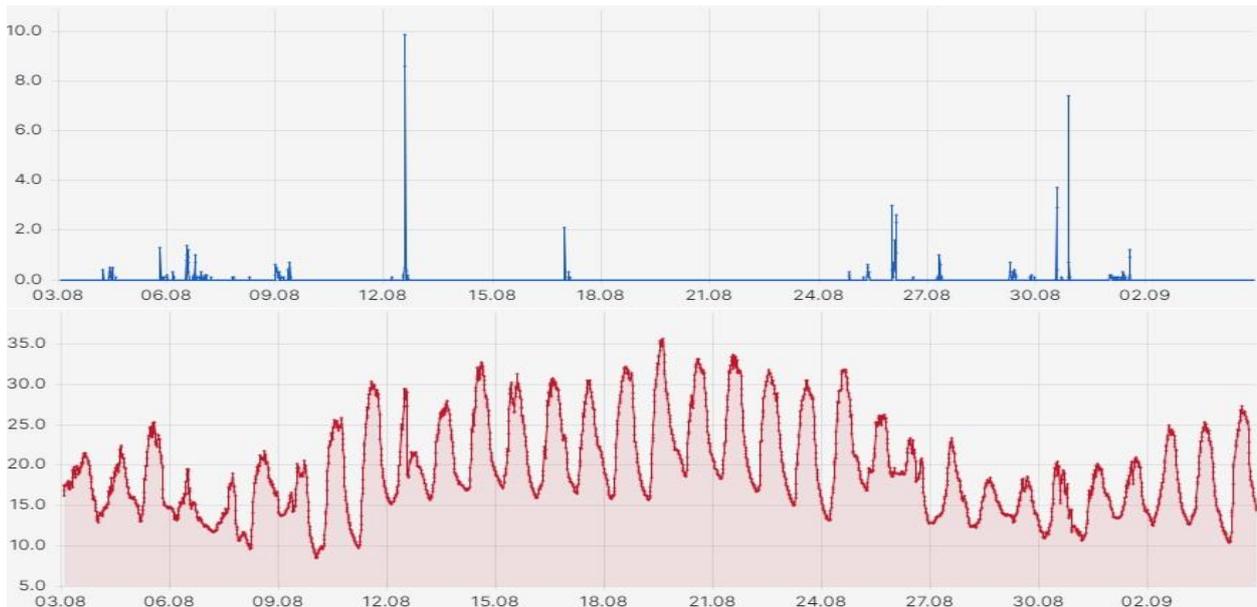


Abbildung 48 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm

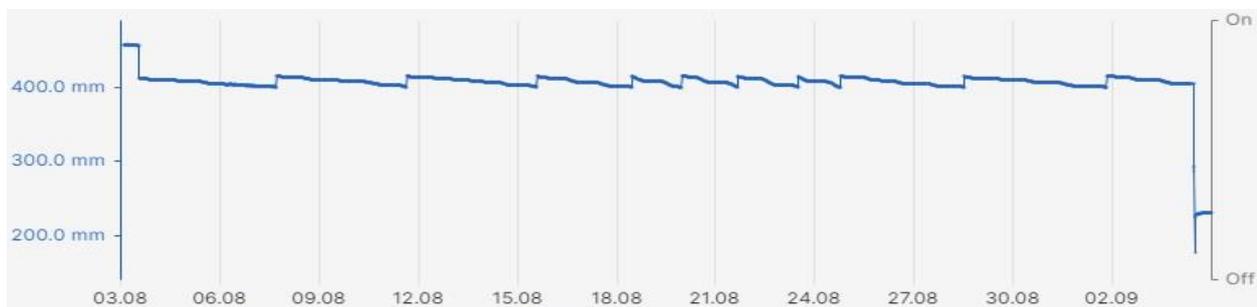


Abbildung 49 Lysimeter 01: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm

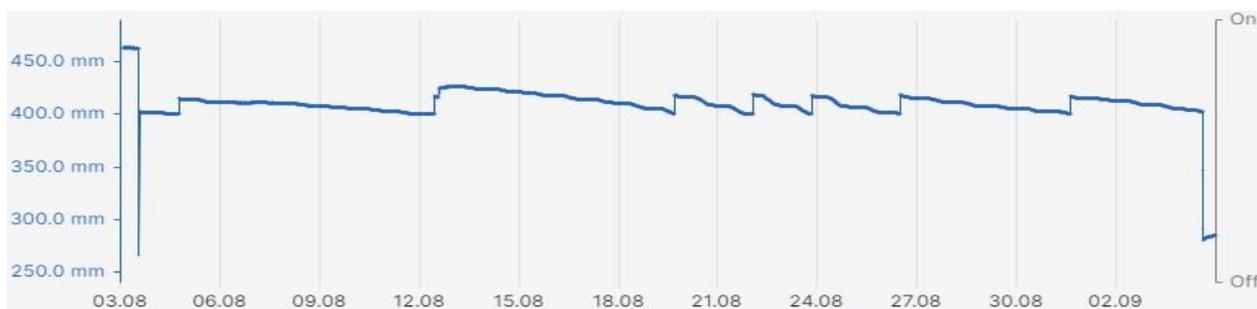


Abbildung 50 Lysimeter 02: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm

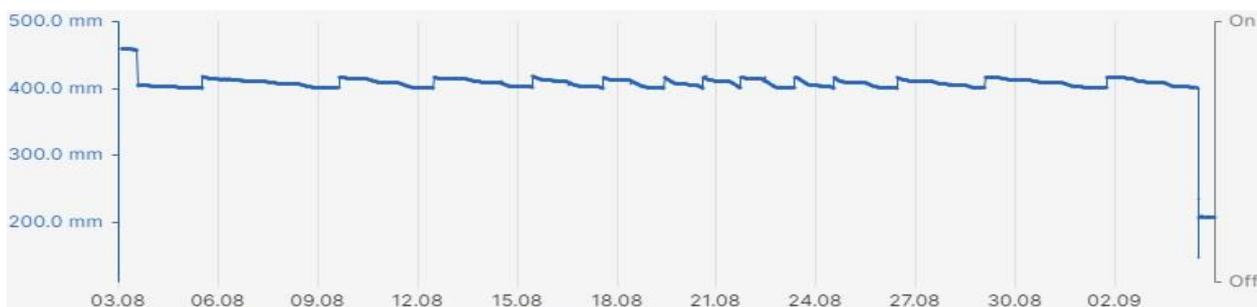


Abbildung 51 Lysimeter 03: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm

4.2.2 Wasserbilanz: kapillare Steighöhe 50 cm

Datenübersicht: siehe Tabelle 10 Seite 54. In Lysimetergefäß 04 fanden im Messzeitraum vom 03.08.2023 bis 04.09.2023 insgesamt sechs Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 4,22 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 03, in einem Zeitraum von 2,19 Tagen (20.08.2023 bis 22.08.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 0,73 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 01, in einem Zeitraum von 11,28 Tagen (03.08.2023 bis 14.08.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 53 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 52 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung sehr heiße Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 35 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Dem gegenüber bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung mäßig warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 23 °C in Verbindung mit insgesamt 43,6 mm Niederschlag ab, wovon ca. 3,1 mm durch die Stammöffnung in das Substrat eingetragen wurden.

In Lysimetergefäß 05 fanden im Messzeitraum vom 03.08.2023 bis 04.09.2023 insgesamt sieben Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 8,06 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 04, in einem Zeitraum von 1,24 Tagen (21.08.2023 bis 22.08.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 0,82 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 01, in einem Zeitraum von 12,81 Tagen (03.08.2023 bis 16.08.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 54 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 52 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung heiße Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 33 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Dem gegenüber bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 26 °C in Verbindung mit insgesamt 45,8 mm Niederschlag ab, wovon ca. 3,3 mm durch die Stammöffnung in das Substrat eingetragen wurden.

In Lysimetergefäß 06 fanden im Messzeitraum vom 03.08.2023 bis 04.09.2023 insgesamt acht Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 6,45 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 05, in einem Zeitraum von 1,28 Tagen (22.08.2023 bis 23.08.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 0,62 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 01, in einem Zeitraum von 11,29 Tagen (05.08.2023 bis 16.08.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 55 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 52 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung heiße Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 31 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Dem gegenüber bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 26 °C in Verbindung mit insgesamt 43,0 mm Niederschlag ab, wovon ca. 3,1 mm durch die Stammöffnung, mit einem Durchmesser von 30 cm bzw. eine Fläche von 0,071 m im Verhältnis zu 1 m², in das Substrat eingetragen wurden.

Tabelle 9 Zusammenfassung der Wasserbilanz der Lysimetergefäße 04 bis 06 bei kapillarer Steighöhe 50 cm

Lysimeter 04	Höchste Transportleistung mit 4,22 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 35 °C
		 kein Regen
Lysimeter 04	Geringste Transportleistung mit 0,73 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 23 °C
		 43,6 mm
Lysimeter 05	Höchste Transportleistung mit 8,06 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 33 °C
		 kein Regen
Lysimeter 05	Geringste Transportleistung mit 0,82 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 26 °C
		 45,8 mm
Lysimeter 06	Höchste Transportleistung mit 6,45 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 31 °C
		 kein Regen
Lysimeter 06	Geringste Transportleistung mit 0,62 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 26 °C
		 43,0 mm

Tabelle 10 Datenanalyse der Wasserbilanz bei kapillarer Steighöhe von 50 cm

Wasserbilanz Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 50 cm						
Datum:		03.08.2023 - 04.09.2023				
Höhe Wasserpegel:		30 cm		Höchstwert:		grün
Kapillare Steighöhe		50 cm		Tiefstwert:		orange
Messergebnisse						
Gefäß Nr.	Auffüllung Nr.	Tage bis Auffüllung	Auffüllung in Liter	Wassertransport		Wassertransport I pro Tag pro m ² Gesamt
				\bar{x} I pro Tag pro 0,4 m ²	1,0 m ²	
Lysimeter 04	01	11,28	3,3	0,29	0,73	2,30
	02	5,6	3,2	0,57	1,43	
	03	2,19	3,7	1,69	4,22	
	04	2,81	3,7	1,32	3,29	
	05	4,78	3,5	0,73	1,83	
	06	4,1	3,7	0,90	2,26	
Lysimeter 05	01	12,81	4,2	0,33	0,82	4,10
	02	2,24	4,1	1,83	4,58	
	03	2,79	4,0	1,43	3,58	
	04	1,24	4,0	3,23	8,06	
	05	1,83	4,2	2,30	5,74	
	06	2,83	4,0	1,41	3,53	
	07	4,24	4,1	0,97	2,42	
Lysimeter 06	01	11,29	2,8	0,25	0,62	3,62
	02	1,95	4,0	2,05	5,13	
	03	11,3	3,7	1,86	4,65	
	04	1,85	3,6	1,95	4,86	
	05	1,28	3,3	2,58	6,45	
	06	2,16	3,2	1,48	3,70	
	07	3,88	2,8	0,72	1,80	
	08	3,88	2,7	0,70	1,74	
\bar{x} aus Lysimeter 04 bis 06:						3,34

Grafische Messergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 52
- Wasserbilanzdiagramm der Lysimetergefäße 01 bis 03 in Abbildung 53 bis Abbildung 55

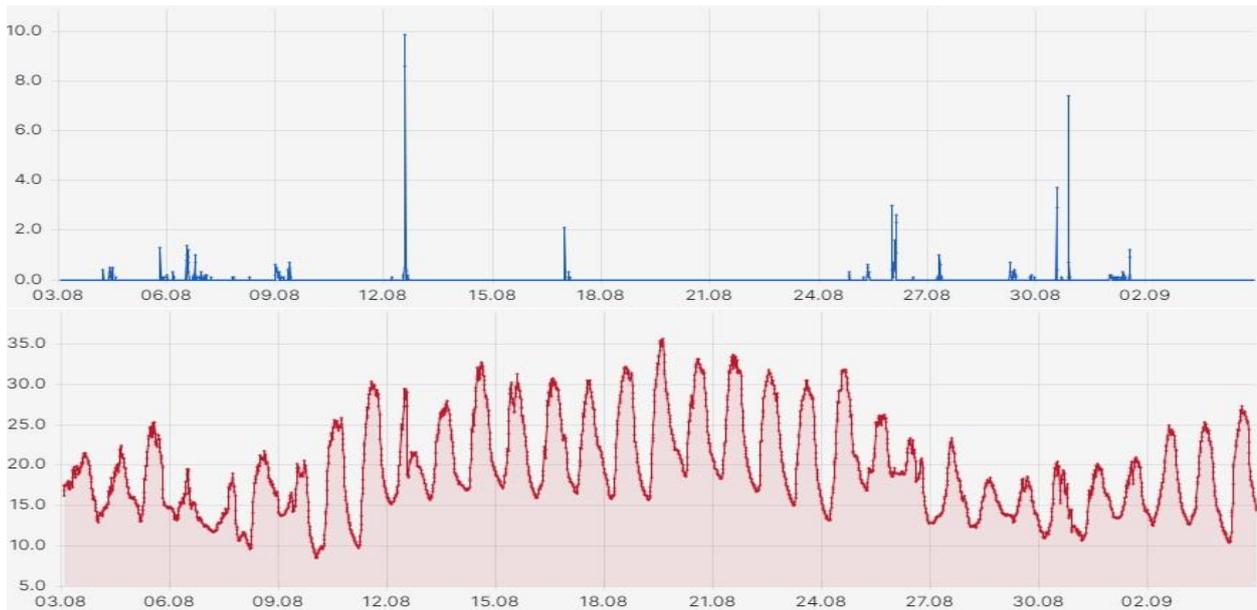


Abbildung 52 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm

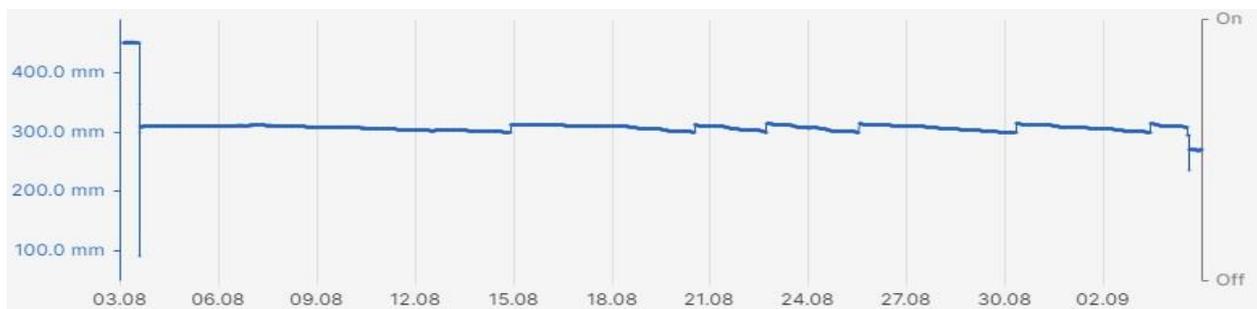


Abbildung 53 Lysimeter 04: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm



Abbildung 54 Lysimeter 05: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm

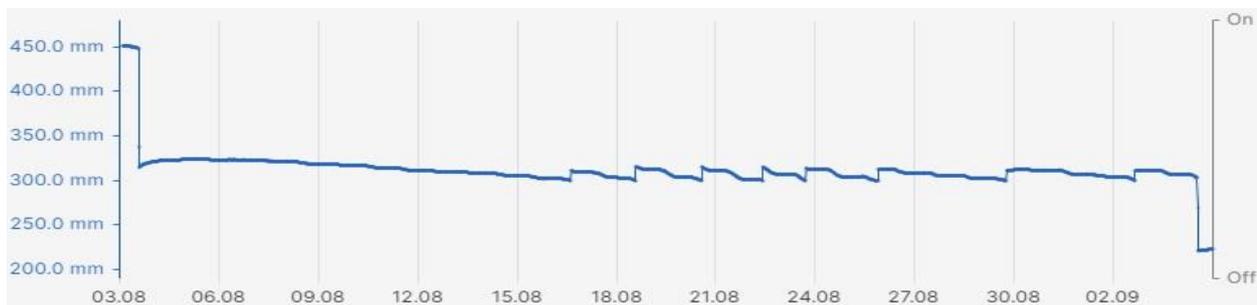


Abbildung 55 Lysimeter 06: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm

4.2.3 Wasserbilanz: kapillare Steighöhe 60 cm

Datenübersicht: siehe Tabelle 12 Seite 58. In Lysimetergefäß 01 fanden im Messzeitraum vom 04.09.2023 bis 04.10.2023 insgesamt vier Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 1,85 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 03, in einem Zeitraum von 5,80 Tagen (23.09.2023 bis 29.09.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 0,85 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 01, in einem Zeitraum von 13,01 Tagen (04.09.2023 bis 17.09.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 57 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 56 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung mäßig warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 23 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Dem gegenüber bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung sehr warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 28 °C in Verbindung mit insgesamt 2,6 mm Niederschlag ab, wovon ca. 0,2 mm durch die Stammöffnung in das Substrat eingetragen wurden.

In Lysimetergefäß 02 fanden im Messzeitraum vom 04.09.2023 bis 04.10.2023 insgesamt drei Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 2,66 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 02, in einem Zeitraum von 4,99 Tagen (25.09.2023 bis 30.09.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 0,70 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 01, in einem Zeitraum von 19,31 Tagen (06.09.2023 bis 25.09.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 58 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 56 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 25 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Ähnliche Temperaturen bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung bei ebenfalls warmen Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 25 °C in Verbindung mit insgesamt 14,9 mm Niederschlag ab, wovon ca. 1,1 mm durch die Stammöffnung in das Substrat eingetragen wurden.

In Lysimetergefäß 03 fanden im Messzeitraum vom 04.09.2023 bis 04.10.2023 insgesamt elf Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 9,18 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 04, in einem Zeitraum von 1,28 Tagen (10.09.2023 bis 11.09.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 2,80 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 08, in einem Zeitraum von 4,10 Tagen (21.09.2023 bis 25.09.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 59 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 56 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung heiße Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 31 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Dem gegenüber bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung mäßige warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 21 °C in Verbindung mit insgesamt 8,1 mm Niederschlag ab, wovon ca. 0,6 mm durch die Stammöffnung, mit einem Durchmesser von 30 cm bzw. eine Fläche von 0,071 m im Verhältnis zu 1 m², in das Substrat eingetragen wurden.

Tabelle 11 Zusammenfassung der Wasserbilanz der Lysimetergefäße 01 bis 03 bei kapillarer Steighöhe 60 cm

Lysimeter 01	Höchste Transportleistung mit 1,85 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 23 °C
		 kein Regen
Lysimeter 01	Geringste Transportleistung mit 0,85 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 28 °C
		 2,6 mm
Lysimeter 02	Höchste Transportleistung mit 2,66 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 25 °C
		 kein Regen
Lysimeter 02	Geringste Transportleistung mit 0,7 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 25 °C
		 14,9 mm
Lysimeter 03	Höchste Transportleistung mit 9,18 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 31 °C
		 kein Regen
Lysimeter 03	Geringste Transportleistung mit 2,80 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 21 °C
		 8,1 mm

Tabelle 12 Datenanalyse der Wasserbilanz bei kapillarer Steighöhe von 60 cm

Wasserbilanz Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 60 cm						
Datum:		04.09.2023 - 04.10.2023				
Höhe Wasserpegel:		20 cm		Höchstwert:		grün
Kapillare Steighöhe		60 cm		Tiefstwert:		orange
Messergebnisse						
Gefäß Nr.	Auffüllung Nr.	Tage bis Auffüllung	Auffüllung in Liter	Wassertransport \bar{x} l pro Tag pro		Wassertransport l pro Tag pro m ² \bar{x} Gesamt
				0,4 m ²	1,0 m ²	
Lysimeter 01	01	13,01	4,4	0,34	0,85	1,52
	02	6,33	4,4	0,70	1,74	
	03	5,80	4,3	0,74	1,85	
	04	6,79	4,5	0,66	1,66	
Lysimeter 02	01	19,31	5,4	0,28	0,70	1,99
	02	4,99	5,3	1,06	2,66	
	03	4,90	5,1	1,04	2,60	
Lysimeter 03	01	1,88	3,9	2,07	5,19	4,41
	02	1,99	4,0	2,01	5,03	
	03	1,95	3,9	2,00	5,00	
	04	1,28	4,7	3,67	9,18	
	05	3,68	4,5	1,22	3,06	
	06	2,22	4,5	2,03	5,07	
	07	3,85	4,5	1,17	2,92	
	08	4,10	4,6	1,12	2,80	
	09	3,18	4,4	1,38	3,46	
	10	3,54	4,7	1,33	3,32	
	11	3,19	4,5	1,41	3,53	
\bar{x} aus Lysimeter 01 bis 03:						2,64

Grafische Messergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 56
- Wasserbilanzdiagramm der Lysimetergefäße 01 bis 03 in Abbildung 57 bis Abbildung 59

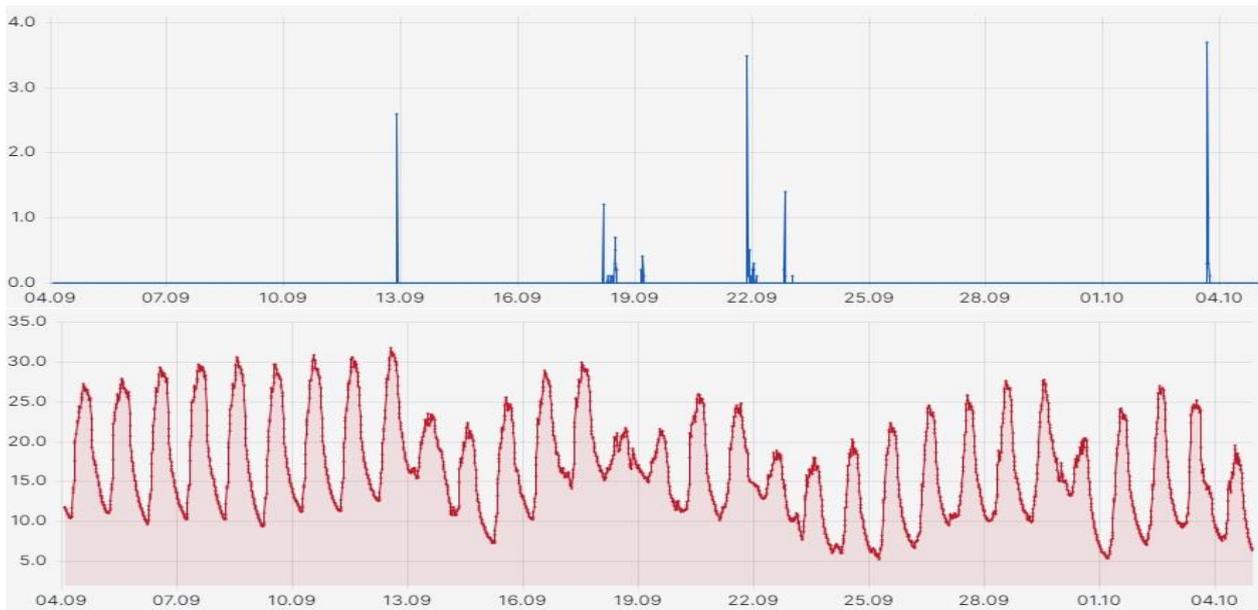


Abbildung 56 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm



Abbildung 57 Lysimeter 01: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm

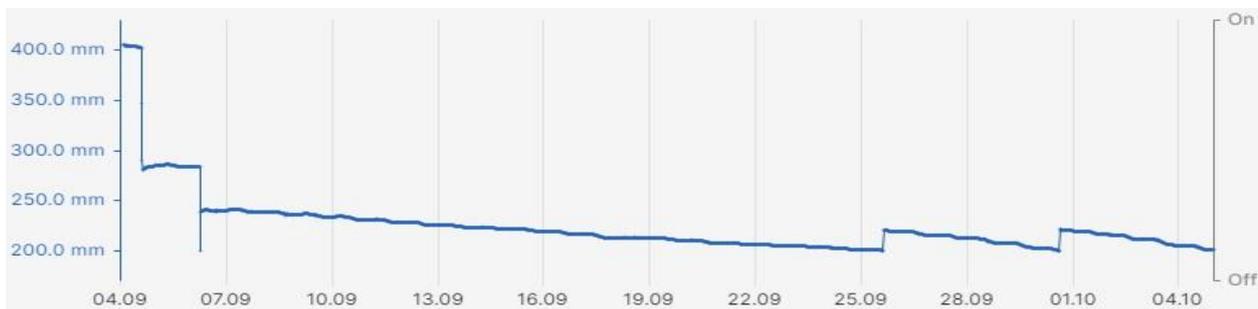


Abbildung 58 Lysimeter 02: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm

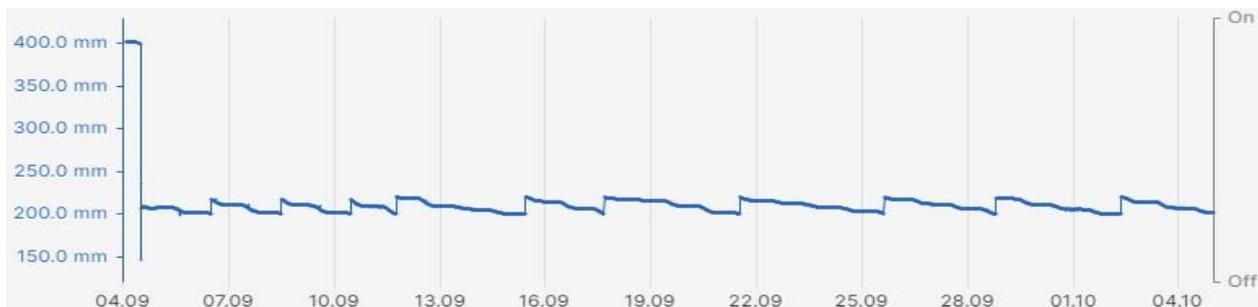


Abbildung 59 Lysimeter 03: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm

4.2.4 Wasserbilanz: kapillare Steighöhe 70 cm

Datenübersicht: siehe Tabelle 14 Seite 62. In Lysimetergefäß 01 fanden im Messzeitraum vom 04.09.2023 bis 04.10.2023 insgesamt acht Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 5,29 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 02, in einem Zeitraum von 2,08 Tagen (09.09.2023 bis 11.09.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 2,24 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 01, in einem Zeitraum von 3,35 Tagen (06.09.2023 bis 09.09.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 61 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 60 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung heiße Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 31 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Ähnliche Temperaturen bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung bei ebenfalls heißen Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 30 °C ab, wo ebenfalls keine Niederschläge erfasst wurden.

In Lysimetergefäß 05 fanden im Messzeitraum vom 04.09.2023 bis 04.10.2023 insgesamt elf Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 13,05 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 07, in einem Zeitraum von 2,25 Tagen (24.09.2023 bis 26.09.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 2,93 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 06, in einem Zeitraum von 3,75 Tagen (20.09.2023 bis 24.09.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 62 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 60 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung mäßig warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 22 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Dem Gegenüber bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung mäßig warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 21 °C in Verbindung mit insgesamt 8,1 mm Niederschlag ab, wovon ca. 0,6 mm durch die Stammöffnung in das Substrat eingetragen wurden.

In Lysimetergefäß 06 fanden im Messzeitraum vom 04.09.2023 bis 04.10.2023 insgesamt zehn Auffüllvorgänge statt. Die höchste Transportleistung lieferte 3,73 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 07, in einem Zeitraum von 2,21 Tagen (29.09.2023 bis 01.10.2023). Die geringste Transportleistung lieferte 1,36 Liter pro Quadratmeter am Tag bei Auffüllung 01, in einem Zeitraum von 6,44 Tagen (06.09.2023 bis 12.09.2023). Aus dem Messdiagramm in Abbildung 63 ist im Vergleich mit den Wetteraufzeichnungen in Abbildung 60 festzustellen, dass im Zeitraum der höchsten Transportleistung warme Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 24 °C und keine Niederschläge erfasst wurden. Dem Gegenüber bilden die Wetteraufzeichnungen im Zeitraum der geringsten Transportleistung heiße Außentemperaturen mit Höchstwerten von gemittelt 30 °C ab in Verbindung mit insgesamt 2,6 mm Niederschlag ab, wovon ca. 0,2 mm durch die Stammöffnung, mit einem Durchmesser von 30 cm bzw. eine Fläche von 0,071 m im Verhältnis zu 1 m², in das Substrat eingetragen wurden.

Tabelle 13 Zusammenfassung der Wasserbilanz der Lysimetergefäße 04 bis 06 bei kapillarer Steighöhe 70 cm

Lysimeter 04	Höchste Transportleistung mit 5,29 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 31 °C
		 kein Regen
Lysimeter 04	Geringste Transportleistung mit 2,24 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 30 °C
		 kein Regen
Lysimeter 05	Höchste Transportleistung mit 13,05 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 22 °C
		 kein Regen
Lysimeter 05	Geringste Transportleistung mit 2,93 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 21 °C
		 8,1 mm
Lysimeter 06	Höchste Transportleistung mit 3,73 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 24 °C
		 kein Regen
Lysimeter 06	Geringste Transportleistung mit 1,36 l/m ² am Tag bei	 \bar{x} 30 °C
		 2,6 mm

Tabelle 14 Datenanalyse der Wasserbilanz bei kapillarer Steighöhe von 70 cm

Wasserbilanz Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 70 cm						
Datum:		04.09.2023 - 04.10.2023				
Höhe Wasserpegel:		10 cm		Höchstwert:		grün
Kapillare Steighöhe		70 cm		Tiefstwert:		orange
Messergebnisse						
Gefäß Nr.	Auffüllung Nr.	Tage bis Auffüllung	Auffüllung in Liter	Wassertransport		Wassertransport pro Tag pro m ² Gesamt
				\bar{x} l pro Tag pro 0,4 m ²	1,0 m ²	
Lysimeter 04	01	3,35	3,0	0,90	2,24	3,38
	02	2,08	4,4	2,12	5,29	
	03	3,82	4,4	1,15	2,88	
	04	3,35	4,6	1,37	3,43	
	05	3,72	4,8	1,29	3,23	
	06	4,85	4,7	0,97	2,42	
	07	3,03	4,7	1,55	3,88	
	08	3,06	4,5	1,47	3,68	
Lysimeter 05	01	2,36	4,3	1,82	4,56	6,20
	02	3,00	4,0	1,33	3,33	
	03	3,86	4,7	1,22	3,04	
	04	2,95	4,9	1,66	4,15	
	05	3,16	4,9	1,55	3,88	
	06	3,75	4,4	1,17	2,93	
	07	2,25	4,8	5,22	13,05	
	08	2,79	4,7	2,72	6,81	
	09	2,14	4,8	3,46	8,64	
	10	2,03	12,5	3,40	8,50	
	11	2,92	4,8	3,73	9,33	
Lysimeter 06	01	6,44	3,5	0,54	1,36	2,60
	02	3,69	3,3	0,89	2,24	
	03	3,10	3,3	1,06	2,66	
	04	3,06	3,3	1,08	2,70	
	05	3,83	3,3	0,86	2,15	
	06	2,97	3,3	1,11	2,78	
	07	2,21	3,3	1,49	3,73	
	08	2,81	3,3	1,17	2,94	
	09	3,03	3,3	1,09	2,72	
	10	3,03	3,3	1,09	2,72	
\bar{x} aus Lysimeter 04 bis 06:						4,06

Grafische Messerergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 60
- Wasserbilanzdiagramm der Lysimetergefäße 01 bis 03 in Abbildung 61 bis Abbildung 63

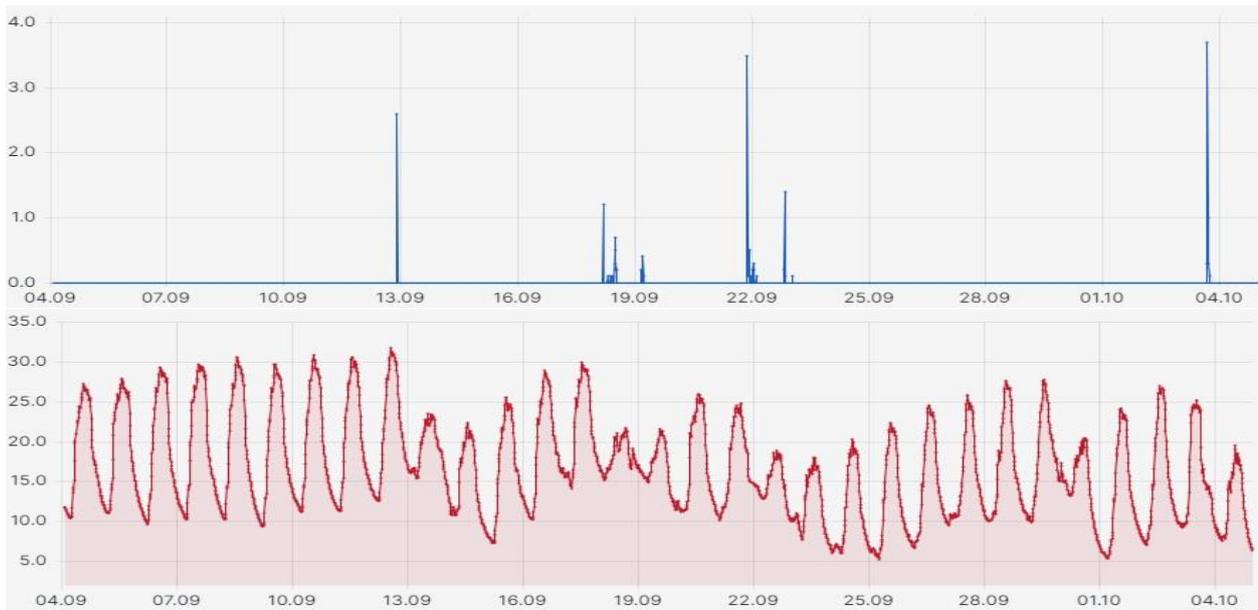


Abbildung 60 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm

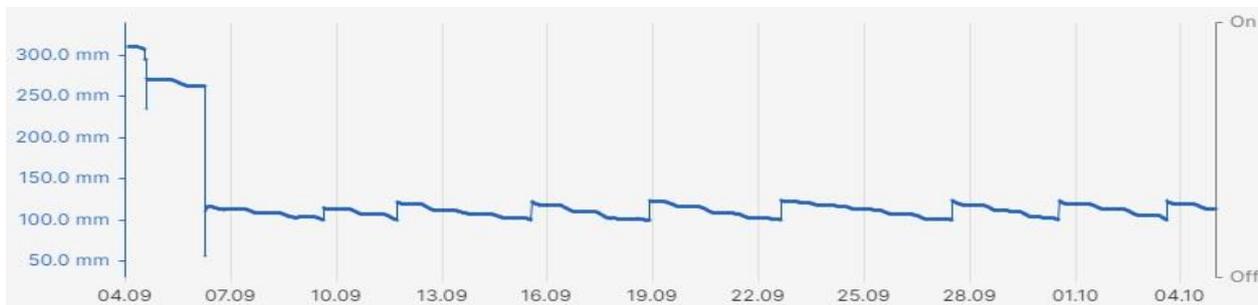


Abbildung 61 Lysimeter 04: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm

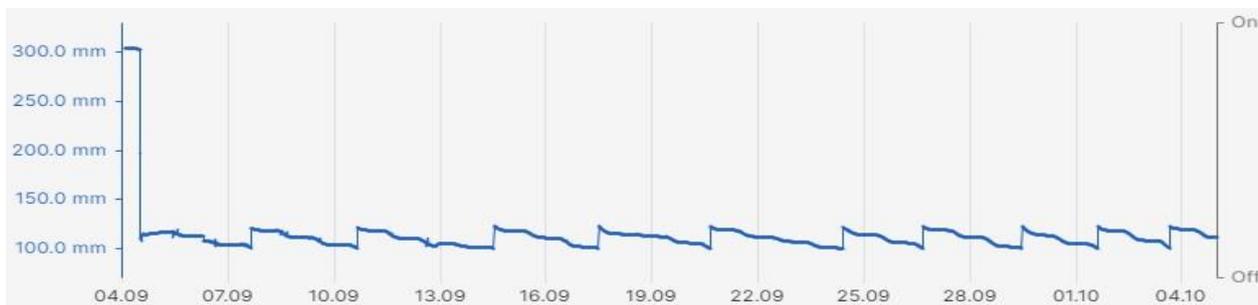


Abbildung 62 Lysimeter 05: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm



Abbildung 63 Lysimeter 06: Ergebnisse der Wasserbilanz im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch Pegelmessung eines im Wasserspeicher befindlichen Drucksensors in mm

4.2.5 Wasserbilanz: Zwischenfazit

Die größten Wasserumsätze und damit die höchsten Transportleistungen fanden stets in Zeiträumen ohne Niederschläge und bei überwiegend heißen Außentemperaturen statt. Dem gegenüber fanden die geringsten Wasserumsätze und damit geringsten Transportleistungen bei überwiegend mäßig warmen bis warmen Außentemperaturen statt und bis auf zwei Ausnahmen stets in Verbindung mit Niederschlagsereignissen.

Die insgesamt höchste Transportleistung wurden bei der geringsten kapillaren Steighöhe von 40 cm ($4,82 \text{ l/m}^2$ und Tag) erreicht, während die zweithöchste Transportleistung bei der größten kapillaren Steighöhe von 70 cm ($4,06 \text{ l/m}^2$ und Tag) erreicht wurde. Bei den dazwischenliegenden kapillaren Steighöhen von 50 cm und 60 cm wies die Wasserbilanz eine um gemittelt $1,45 \text{ l/m}^2$ geringere Transportleistung am Tag auf. Dass die Ergebnisse durch eventuelle Besonderheiten zu begründen sind, die sich durch den Einbau des Versuchs in die einzelnen Lysimetergefäße einstellten, ist insofern unwahrscheinlich, da die jeweiligen Höchst- und Tiefstwerte in unterschiedlichen Messreihen zu verzeichnen sind. Während die höchste Transportleistung in den Lysimetergefäßen 01 bis 03 gemessen wurden, wurde die zweithöchste Transportleistung in den Lysimetergefäßen 04 bis 06 ermittelt.

Von allen Einzelmessungen erfolgte die insgesamt höchste Transportleistung bei der größten kapillaren Steighöhe von 70 cm, bei mäßig warmen Außentemperaturen in Höhe von $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Hier ist ein außerordentlich hoher Wasserumsatz von im Mittel $13,05 \text{ l/m}^2$ am Tag festzustellen. Zunächst vermutete Fehler oder Auffälligkeiten bei der Datenerfassung, die zu einem verfälschten Ergebnis führen, konnten nicht festgestellt werden.

Da bei der höchsten kapillaren Steighöhe sowohl die höchste Einzeltransportleistung als auch die zweithöchste Gesamttransportleistung ermittelt wurde, ist davon auszugehen, dass weniger das Dochtmaterial sondern vielmehr der tatsächliche Wasserverbrauch der limitierende Faktor war. Da die Substratoberfläche weitestgehend abgedeckt war, wurde der Wasserverbrauch über das Substrat durch Evaporation reduziert. Darüber hinaus handelte es sich bei den gepflanzten *Sophora japonica* mit der Pflanzqualität Heister Sol 3xv mB 200 – 250 cm um keine großen Pflanzen und damit auch um einen grundsätzlich niedrigeren Wasserbedarf. Es ist anzunehmen, dass durch den Einsatz größerer bzw. verbrauchsintensiverer Vegetation und einen höheren Wasserverlust über das Substrat durch bessere Evaporationsverhältnissen eine höhere Transportleistung über die kapillarwirksamen Dochte festgestellt werden kann. Wenn die Transportfähigkeit des Dochtmaterials der limitierende Faktor in dem Versuchsaufbau ist ferner davon auszugehen, dass die ermittelte Wasserbilanz mit zunehmender kapillarer Steighöhe signifikant abnimmt. Da dies in dem hier vorliegenden Ergebnis nicht abbildet, wird die zuvor formulierte Annahme erhärtet.

4.3 Auswertung der Tension

Während die Untersuchung des volumetrischen Wassergehalts im Boden ermittelt, welche Wasserbevorratung im Substrat vorhanden ist, beschreibt die Tension die erforderliche Saugspannung von Pflanzenwurzeln, um Wasser aus dem Substrat aufnehmen zu können. Anhand der Messergebnisse zur Tension bzw. Saugspannung können Aussagen dazu getroffen werden, wieviel von dem im Boden befindlichen Wasser der Pflanze tatsächlich zur Verfügung steht. Dabei steigt die Saugspannung mit zunehmender Austrocknung des Substrats an, da das Wasser immer stärker in den Poren gebunden wird und damit weniger pflanzenverfügbar wird. Nach Scheffer & Schachtschnabel 2018 stellt sich ab einer Bodenwasserspannung von -1.585 kPa der Permanente Welkepunkt für nahezu alle Landpflanzen der mitteleuropäischen Breiten ein. Die für Pflanzen nutzbare Feldkapazität von noch im Boden befindlichem Wasser beträgt dann 0 %. Dem gegenüber wird die größtmögliche Wasserverfügbarkeit, also eine nutzbare Feldkapazität von 100 %, bei einer Bodenwasserspannung von -6 kPa erreicht. (Borgmann gen. Brüser, A.; Riehl, A 2020)

Die Datenauswertung der Tensiometer ist insgesamt als Interpretation zu verstehen, da sich im Versuchsverlauf zweierlei Störungsfälle herausstellten.

- Störungsfall 1: die Datenmenge der Sensoren FRT 02 Tension der Einbautiefe 40 cm aufgrund einer sehr hohen Ausfall- bzw. Störungsrate stark reduziert. Letztendlich lieferte nur einer der Sensoren über den Versuchszeitraum verlässlich Daten
- Störungsfall 2: Bei der Datenauswertung stellt sich heraus, dass es offenbar zu Störungen bei der Kalibrierung der Tensiometer kam. Diese scheint zu einer Nullpunktverschiebung bei der Datenerfassung geführt zu haben, weswegen Messwerte weit im negativen Druckbereich erfasst wurden, die in der Realität nicht vorgelegen haben können. Die teils sehr hohen Negativdrücke könnten nur entstehen, wenn eine Wassersäule auf die Tensiometer einwirken würde. Dies kann im Versuchsverlauf jedoch ausgeschlossen werden.

Schlussfolgerung zur weiteren Darstellung der Auswertung:

Die Belastbarkeit der durch die Tensiometer gelieferten Daten stellt sich als inhomogen heraus. Einige Tensiometer lieferten über den gesamten Versuchszeitraum plausible Daten, während dies bei anderen wiederum nur unregelmäßig der Fall war. So setzte teils die Datenaufzeichnung erst nach längeren Phasen (Tage bis Wochen) nicht plausibler Daten ein, lieferte über einige Tage belastbare Daten, bis wieder eine offensichtliche Störung eintrat. Aufgrund dieser Datensituation ist keine belastbare Interpretation der Tensiometer möglich. Da einige Tensiometer jedoch verlässlich plausible Daten lieferten, werden die validierten Ergebnisse hier dennoch dargestellt, um einen Eindruck über die Entwicklung des pflanzenverfügbaren Wassers zu ermöglichen.

4.3.1 Tension: Etablierungsphase

FRT 01, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 30 cm (Ballen- und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 15 Seite 67. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand direkt am Pflanzballen platziert.

FRT 02, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 30 cm (Ballen- und Dochtnah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 15 Seite 67. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe nahe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand nah am Pflanzballen platziert.

Grafische Messerergebnisse im Zeitraum der Etablierungsphase:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 64
- Messdiagramme der Saugspannung FRT 01 und 02 der Lysimetergefäße 01 bis 03 der
 - FRT 01 (20 cm Tiefe Messung) in Abbildung 65 bis Abbildung 67
 - FRT 02 (40 cm Tiefe Messung) in Abbildung 68 bis Abbildung 70

Tabelle 15 Datenanalyse der FRT 01 und 02 Tensiometer bei kapillarer Steighöhe von 30 cm

FRT Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 30 cm				
Datum:	03.06.2023 - 03.08.2023			
Höhe Wasserpegel:	50 cm			
Kapillare Steighöhe	30 cm			
Sensorbezeichnung:	FRT	01	Tension	20 cm [kPa]
	FRT	02	Bodenfeuchte	40 cm [kPa]
				Messeinheit
				Einbautiefe von OK
				Typ der erfassten Eigenschaft
				Nummerierung
				Full Range Tension (Bezeichnung)
Messergebnisse [kPa Saugspannung]				
	FRT 01		FRT 02	
Einbautiefe:	20 cm		40 cm	
Messungsbeginn:	84 kPa	301,5 kPa	Lysimeter 01	
	1154 kPa	-43 kPa	-- 02	
	-27 kPa	N/A kPa	-- 03	
	836 kPa	966 kPa	-- 04	
	669 kPa	-47 kPa	-- 05	
	-294 kPa	-5 kPa	-- 06	
Mittelwert:	404 kPa	235 kPa		
Messungsende:	23 kPa	-28 kPa	Lysimeter 01	
	-27 kPa	-72 kPa	-- 02	
	-34 kPa	N/A kPa	-- 03	
	-77 kPa	914 kPa	-- 04	
	-68 kPa	-91 kPa	-- 05	
	-327 kPa	17 kPa	-- 06	
Mittelwert:	-85 kPa	148 kPa		
Höchstwert:	1522 kPa	701 kPa	Lysimeter 01	
	1303 kPa	1193 kPa	-- 02	
	1232 kPa	N/A kPa	-- 03	
	927 kPa	1001 kPa	-- 04	
	986 kPa	66 kPa	-- 05	
	828 kPa	151 kPa	-- 06	
Mittelwert:	1133 kPa	622 kPa		
Tiefstwert:	-4 kPa	-57 kPa	Lysimeter 01	
	-27 kPa	-72 kPa	-- 02	
	-83 kPa	N/A kPa	-- 03	
	-79 kPa	14 kPa	-- 04	
	-83 kPa	-91 kPa	-- 05	
	-294 kPa	-273 kPa	-- 06	
Mittelwert:	-95 kPa	-96 kPa		

Niederschlag und Temperatur in der Etablierungsphase:

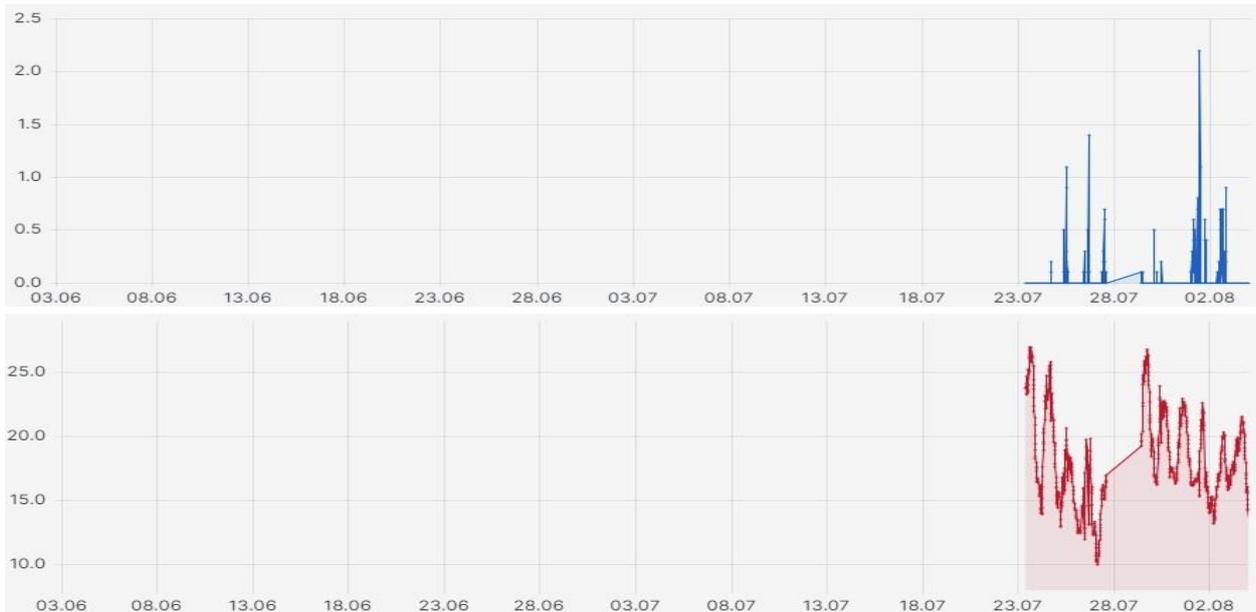


Abbildung 64 **Wetterstation**: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) in der Etablierungsphase

Messdiagramme des Bodenwassergehalts im Zeitraum Etablierungsphase der Lysimetergefäße 01 bis 06 in Abbildung 65 bis Abbildung 70.

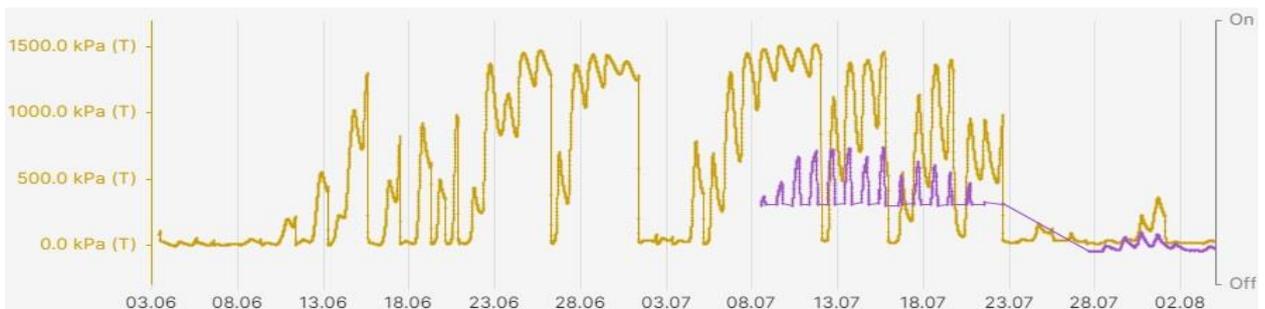


Abbildung 65 Lysimeter 01: Messergebnisse der Saugspannung in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

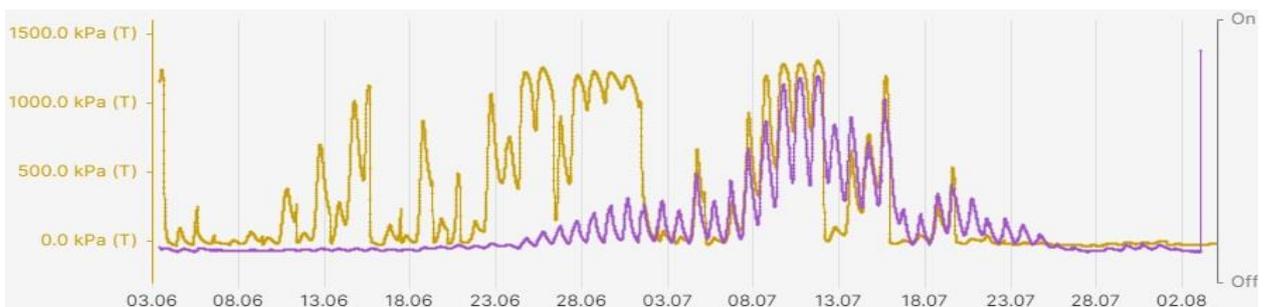


Abbildung 66 Lysimeter 02: Messergebnisse der Saugspannung in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"



Abbildung 67 Lysimeter 03: Messergebnisse der Saugspannung in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

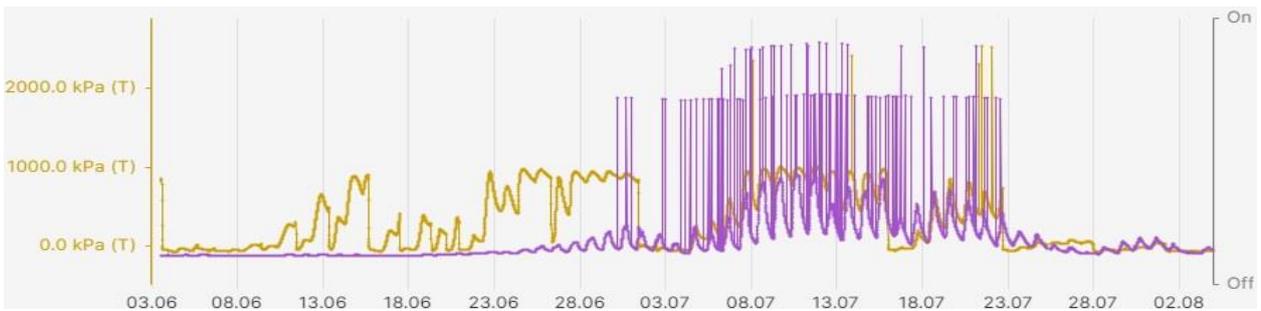


Abbildung 68 Lysimeter 04: Messergebnisse der Saugspannung in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

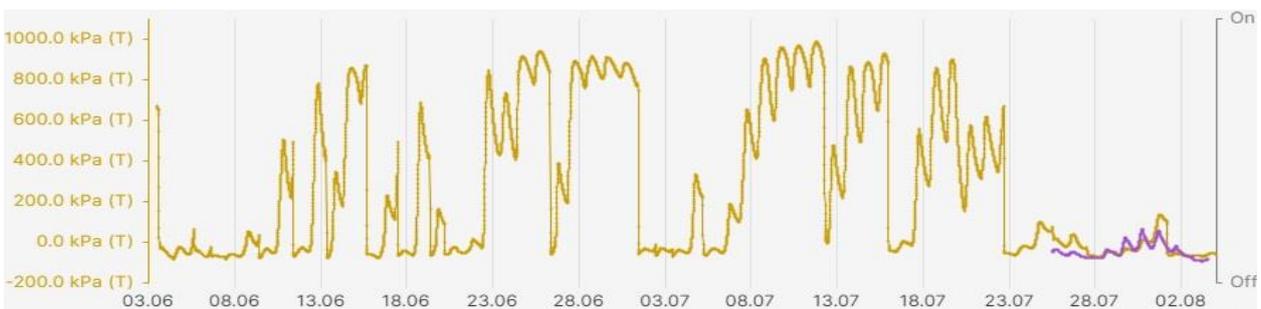


Abbildung 69 Lysimeter 05: Messergebnisse der Saugspannung in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"



Abbildung 70 Lysimeter 06: Messergebnisse der Saugspannung in der Etablierungsphase durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

4.3.2 Tension: kapillare Steighöhe 40 cm

FRT 01, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 40 cm (Ballen- und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 16 Seite 71. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand direkt am Pflanzballen platziert.

FRT 02, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 40 cm (Ballen- und Dochnah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 16 Seite 71. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe nahe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand nah am Pflanzballen platziert. Hier lieferte lediglich das Tensiometer in Lysimetergefäß 01 Daten.

Grafische Messerergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 71
- Messdiagramme der Saugspannung FRT 01 und 02 der Lysimetergefäße 01 bis 03 der
 - FRT 01 (20 cm Tiefe Messung) in Abbildung 72 bis Abbildung 74
 - FRT 02 (40 cm Tiefe Messung) in Abbildung 72 bis Abbildung 74

Tabelle 16 Datenanalyse der FRT 01 und 02 Tensiometer bei kapillarer Steighöhe von 40 cm

FRT Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 40 cm					
Datum:	03.08.2023 - 04.09.2023				
Höhe Wasserpegel:	40 cm				
Kapillare Steighöhe	40 cm				
Sensorbezeichnung:	FRT 01	Tension	20 cm	[kPa]	
	FRT 02	Bodenfeuchte	40 cm	[kPa]	
				Messeinheit	
				Einbautiefe von OK	
				Typ der erfassten Eigenschaft	
				Nummerierung	
	Full Range Tension (Bezeichnung)				
Messergebnisse [kPa Saugspannung]					
	FRT 01		FRT 02		
Einbautiefe:	20 cm		40 cm		
Messungsbeginn:	23,3 kPa		-28,8 kPa		Lysimeter 01
	-27,2 kPa		N/A kPa		“- 02
	-35,9 kPa		N/A kPa		“- 03
Mittelwert:	-13,3 kPa		N/A kPa		
Messungsende:	51,8 kPa		-48 kPa		Lysimeter 01
	1,5 kPa		N/A kPa		“- 02
	14,2 kPa		N/A kPa		“- 03
Mittelwert:	22,5 kPa		N/A kPa		
Höchstwert:	908,2 kPa		100,2 kPa		Lysimeter 01
	819,0 kPa		N/A kPa		“- 02
	1.177,4 kPa		N/A kPa		“- 03
Mittelwert:	968,2 kPa		N/A kPa		
Tiefstwert:	13,7 kPa		-62,6 kPa		Lysimeter 01
	23,3 kPa		N/A kPa		“- 02
	-35,9 kPa		N/A kPa		“- 03
Mittelwert:	0,37 kPa		N/A kPa		

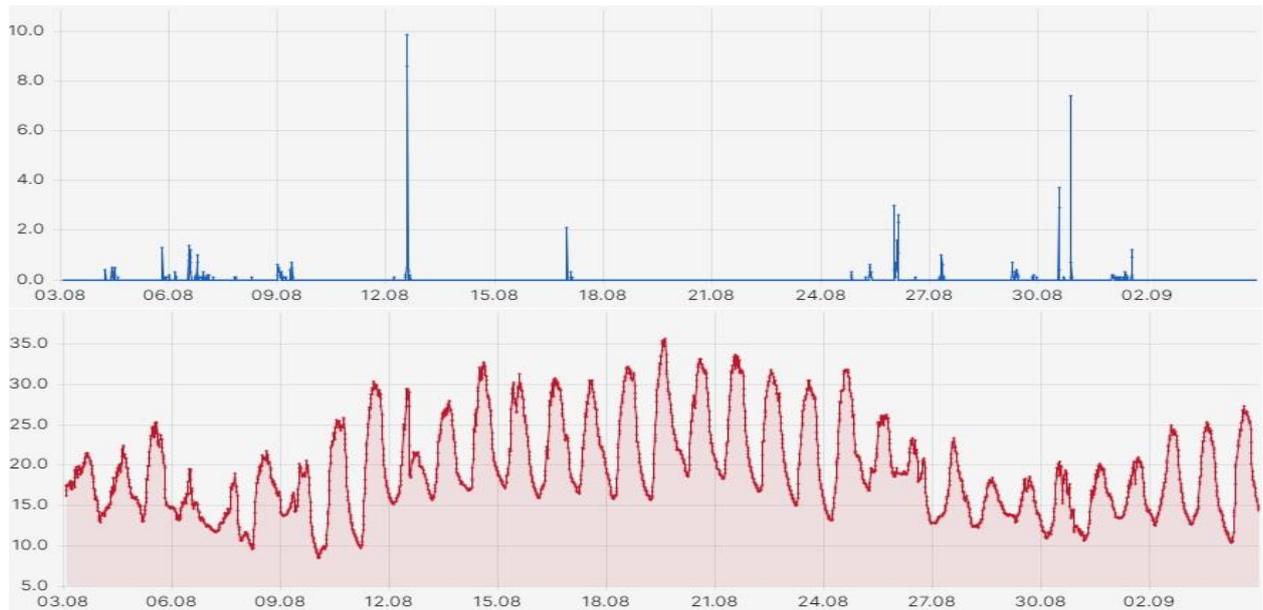


Abbildung 71 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm

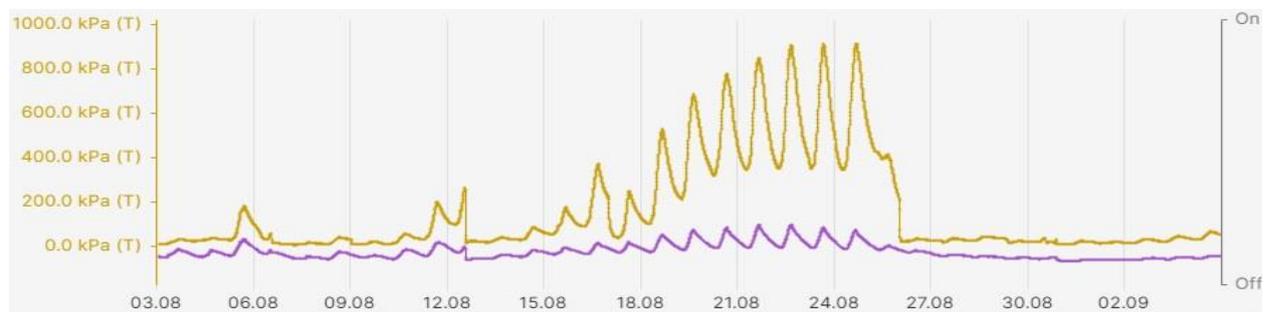


Abbildung 72 Lysimeter 01: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

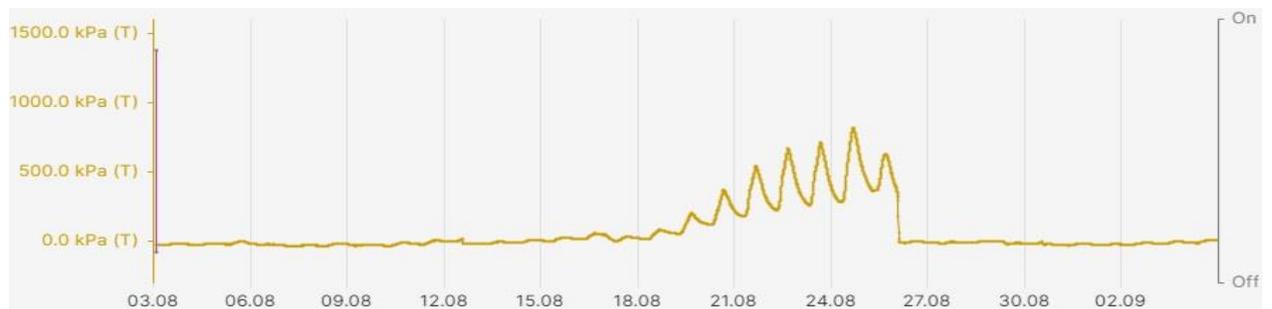


Abbildung 73 Lysimeter 02: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

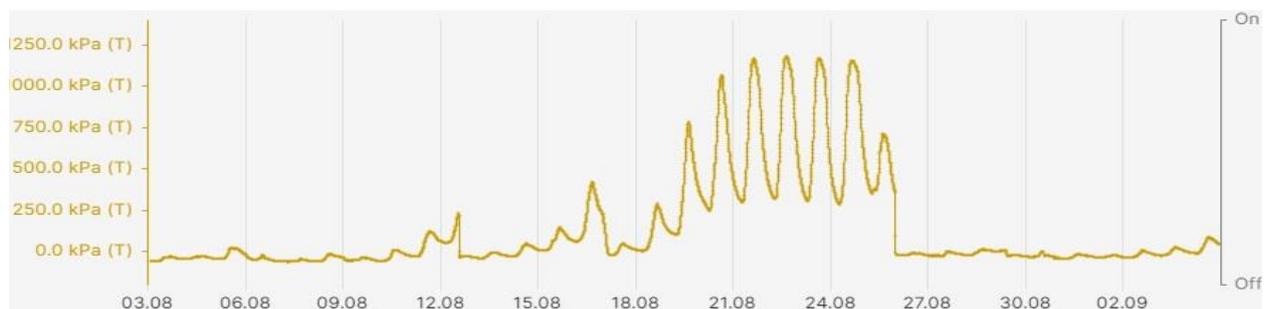


Abbildung 74 Lysimeter 03: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 40 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

4.3.3 Tension: kapillare Steighöhe 50 cm

FRT 01, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 50 cm (Ballen- und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 17 Seite 74. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand direkt am Pflanzballen

FRT 02, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 50 cm (Ballen- und Dochnah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 17 Seite 74. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe nahe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand nah am Pflanzballen platziert.

Grafische Messerergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 75
- Messdiagramme der Saugspannung FRT 01 und 02 der Lysimetergefäße 04 bis 06 der
 - FRT 01 (20 cm Tiefe Messung) in Abbildung 76 bis Abbildung 78
 - FRT 02 (40 cm Tiefe Messung) in Abbildung 76 bis Abbildung 78

Tabelle 17 Datenanalyse der FRT 01 und 02 Tensiometer bei kapillarer Steighöhe von 50 cm

FRT Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 50 cm				
Datum:	03.08.2023 - 04.09.2023			
Höhe Wasserpegel:	30 cm			
Kapillare Steighöhe	50 cm			
Sensorbezeichnung:	FRT	01	Tension	20 cm [kPa]
	FRT	02	Bodenfeuchte	40 cm [kPa]
				Messeinheit Einbautiefe von OK Typ der erfassten Eigenschaft Nummerierung Full Range Tension (Bezeichnung)
Messergebnisse [kPa Saugspannung]				
	FRT 01		FRT 02	
Einbautiefe:	20 cm		40 cm	
Messungsbeginn:	-76,6 kPa		914,1 kPa	Lysimeter 04
	67,6 kPa		90,6 kPa	“- 05
	-327,2 kPa		17,2 kPa	“- 06
Mittelwert:	-112,1 kPa		340,6 kPa	
Messungsende:	19,5 kPa		737,5 kPa	Lysimeter 04
	-51,7 kPa		N/A kPa	“- 05
	-298,6 kPa		96,8 kPa	“- 06
Mittelwert:	-110,3 kPa		417,2 kPa	
Höchstwert:	927,3 kPa		914,1 kPa	Lysimeter 04
	887,3 kPa		N/A kPa	“- 05
	555,4 kPa		627,3 kPa	“- 06
Mittelwert:	790,0 kPa		770,7 kPa	
Tiefstwert:	86,3 kPa		258,1 kPa	Lysimeter 04
	-76 kPa		N/A kPa	“- 05
	-327,2 kPa		-29,7 kPa	“- 06
Mittelwert:	-105,6 kPa		114,2 kPa	

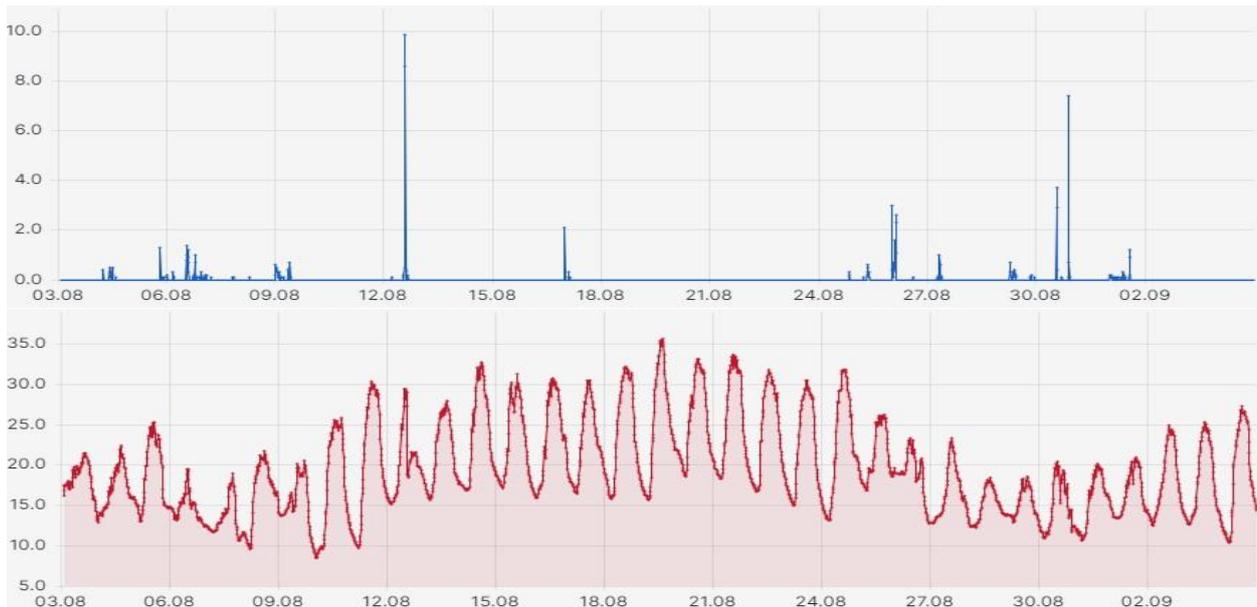


Abbildung 75 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm

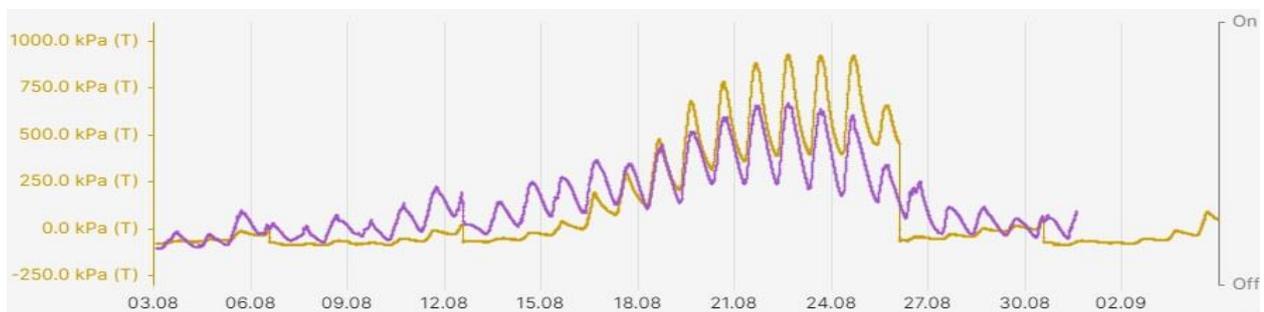


Abbildung 76 Lysimeter 04: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

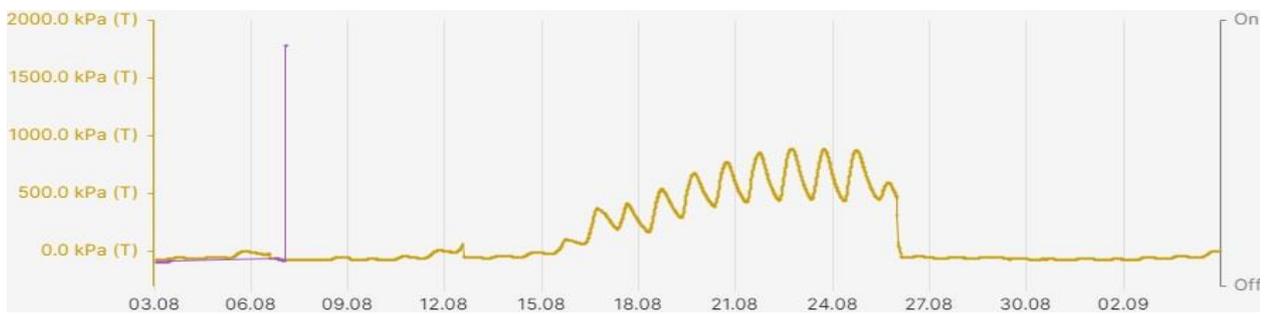


Abbildung 77 Lysimeter 05: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

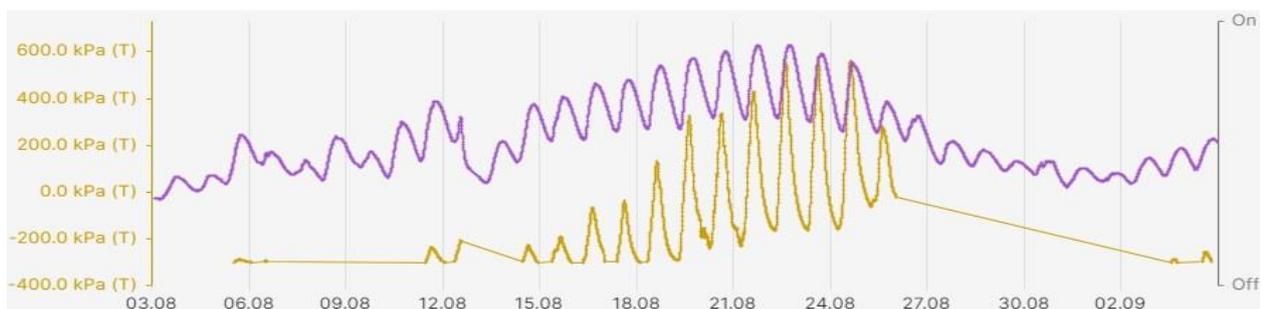


Abbildung 78 Lysimeter 06: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 50 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

4.3.4 Tension: kapillare Steighöhe 60 cm

FRT 01, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 60 cm (Ballen- und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 18 Seite 77. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand direkt am Pflanzballen platziert.

FRT 02, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 60 cm (Ballen- und Dochnah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 18 Seite 77. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe nahe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand nah am Pflanzballen platziert. Hier lieferte lediglich das Tensiometer in Lysimetergefäß 01 Daten

Grafische Messerergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 79
- Messdiagramme der Saugspannung FRT 01 und 02 der Lysimetergefäße 01 bis 03 der
 - FRT 01 (20 cm Tiefe Messung) in Abbildung 80 bis Abbildung 82
 - FRT 02 (40 cm Tiefe Messung) in Abbildung 80 bis Abbildung 82

Tabelle 18 Datenanalyse der FRT 01 und 02 Tensiometer bei kapillarer Steighöhe von 60 cm

FRT Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 60 cm					
Datum:	04.09.2023 - 04.10.2023				
Höhe Wasserpegel:	20 cm				
Kapillare Steighöhe	60 cm				
Sensorbezeichnung:	FRT	01	Tension	20 cm [kPa]	
	FRT	02	Bodenfeuchte	40 cm [kPa]	
				Messeinheit	
				Einbautiefe von OK	
				Typ der erfassten Eigenschaft	
				Nummerierung	
				Full Range Tension (Bezeichnung)	
Messergebnisse [kPa Saugspannung]					
	FRT 01		FRT 02		
Einbautiefe:	20 cm		40 cm		
Messungsbeginn:	51,8 kPa		-48,0 kPa		Lysimeter 01
	1,5 kPa		N/A kPa		“- 02
	14,2 kPa		N/A kPa		“- 03
Mittelwert:	22,5 kPa		kPa		
Messungsende:	14,5 kPa		46,3 kPa		Lysimeter 01
	9,5 kPa		N/A kPa		“- 02
	-38,4 kPa		N/A kPa		“- 03
Mittelwert:	-4,8 kPa		kPa		
Höchstwert:	512,2 kPa		93,7 kPa		Lysimeter 01
	428,4 kPa		N/A kPa		“- 02
	1.065,3 kPa		N/A kPa		“- 03
Mittelwert:	668,6 kPa		kPa		
Tiefstwert:	35,7 kPa		-48,0 kPa		Lysimeter 01
	-30,2 kPa		N/A kPa		“- 02
	-38,4 kPa		N/A kPa		“- 03
Mittelwert:	-11,0 kPa		kPa		



Abbildung 79 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm

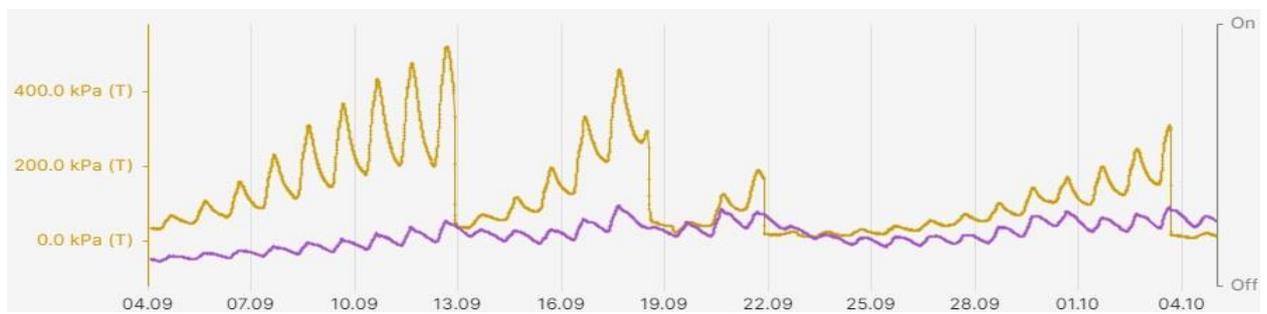


Abbildung 80 Lysimeter 01: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

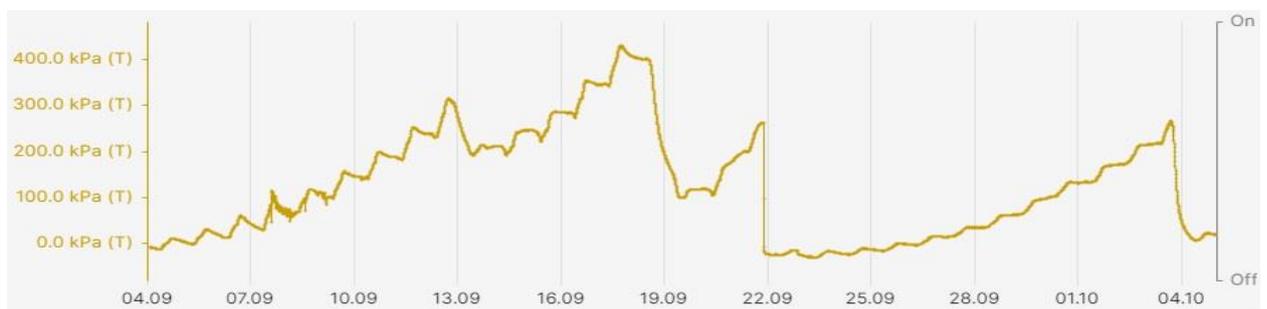


Abbildung 81 Lysimeter 02: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"



Abbildung 82 Lysimeter 03: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 60 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

4.3.5 Tension: kapillare Steighöhe 70 cm

FRT 01, Einbautiefe 20 cm, Steighöhe 70 cm (Ballen- und Oberflächennah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 19 Seite 80. Die Sensoren sind mit 20 cm Einbautiefe oberflächennah und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand direkt am Pflanzballen platziert.

FRT 02, Einbautiefe 40 cm, Steighöhe 70 cm (Ballen- und Dochnah)

Datenübersicht: siehe Tabelle 19 Seite 80. Die Sensoren sind mit 40 cm Einbautiefe nahe der Dochoberfläche und mit einem Abstand von 75 cm zur Außenwand nah am Pflanzballen platziert. Hier lieferte lediglich das Tensiometer in Lysimetergefäß 06 Daten.

Grafische Messerergebnisse im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm:

- Niederschlag und der Temperatur in Abbildung 75
- Messdiagramme der Saugspannung FRT 01 und 02 der Lysimetergefäße 04 bis 06 der
 - FRT 01 (20 cm Tiefe Messung) in Abbildung 76 bis Abbildung 78
 - FRT 02 (40 cm Tiefe Messung) in Abbildung 76 bis Abbildung 78

Tabelle 19 Datenanalyse der FRT 01 und 02 Tensiometer bei kapillarer Steighöhe von 70 cm

FRT Datenanalyse bei kapillarer Steighöhe 70 cm				
Datum:	04.09.2023 - 04.10.2023			
Höhe Wasserpegel:	10 cm			
Kapillare Steighöhe	70 cm			
Sensorbezeichnung:	FRT	01	Tension	20 cm [kPa]
	FRT	02	Bodenfeuchte	40 cm [kPa]
				Messeinheit
				Einbautiefe von OK
				Typ der erfassten Eigenschaft
				Nummerierung
				Full Range Tension (Bezeichnung)
Messergebnisse [kPa Saugspannung]				
	FRT 01		FRT 02	
Einbautiefe:	20 cm		40 cm	
Messungsbeginn:	19,5 kPa		N/A kPa Lysimeter 04	
	-51,7 kPa		N/A kPa -" 05	
	-298,6 kPa		96,8 kPa -" 06	
Mittelwert:	-110,3 kPa		kPa	
Messungsende:	-76,7 kPa		N/A kPa Lysimeter 04	
	-84,5 kPa		N/A kPa -" 05	
	-293,6 kPa		-6,9 kPa -" 06	
Mittelwert:	-151,6 kPa		kPa	
Höchstwert:	811,7 kPa		N/A kPa Lysimeter 04	
	824,3 kPa		N/A kPa -" 05	
	657,0 kPa		591,0 kPa -" 06	
Mittelwert:	764,3 kPa		kPa	
Tiefstwert:	-79,3 kPa		N/A kPa Lysimeter 04	
	-84,5 kPa		N/A kPa -" 05	
	-357,7 kPa		-42,8 kPa -" 06	
Mittelwert:	-173,8 kPa		kPa	



Abbildung 83 Wetterstation: Messergebnisse des Niederschlags in [mm] (oben) und der Temperatur in [degC] (unten) im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm

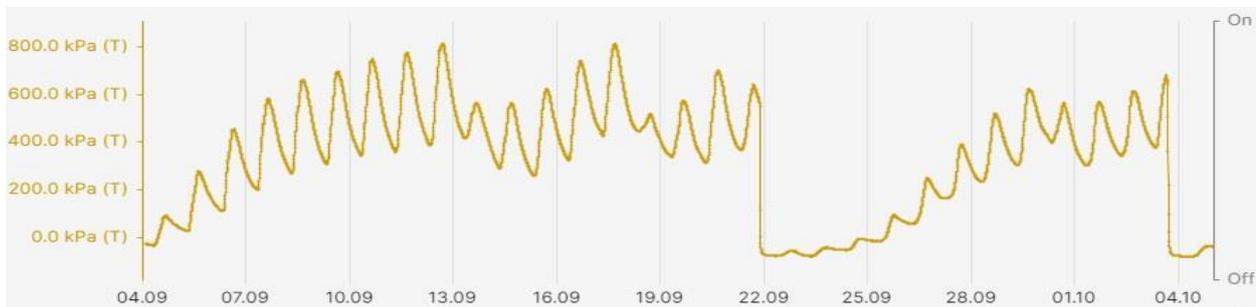


Abbildung 84 Lysimeter 04: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

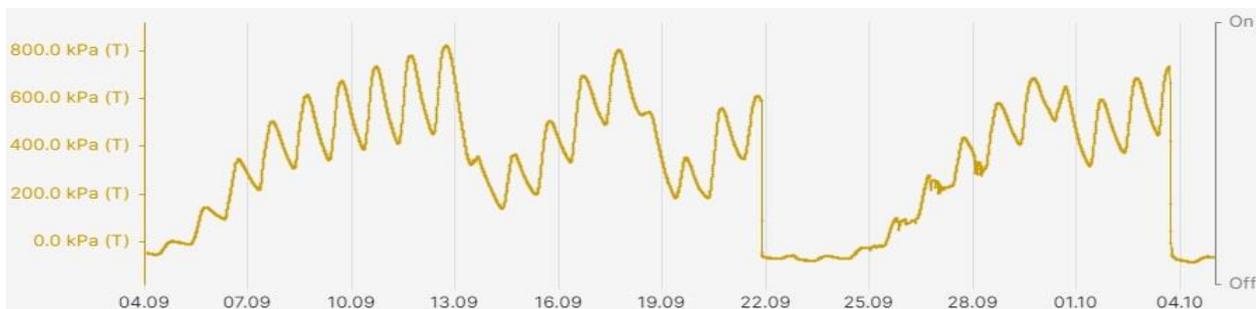


Abbildung 85 Lysimeter 05: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

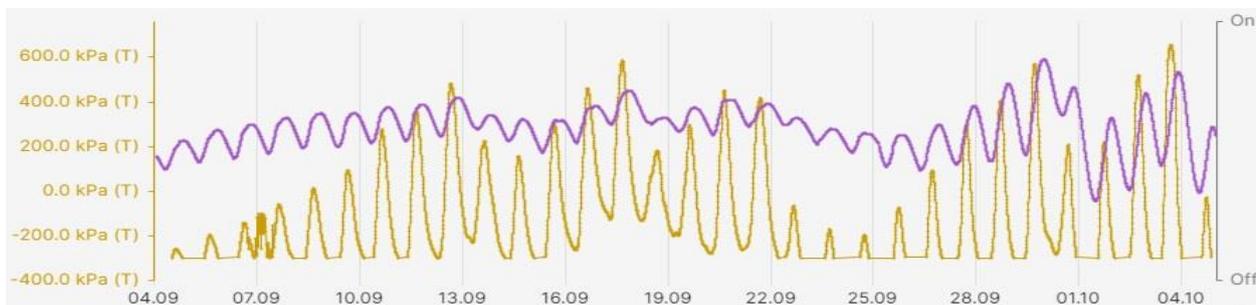


Abbildung 86 Lysimeter 06: Ergebnisse der Saugspannung im Zeitraum der kapillaren Steighöhe von 70 cm durch die Sensoren: Beige = "FRT 01 Tension 20cm [kPa]" Lila = "FRT 02 Tension 40cm [kPa]"

5 Literatur

- Borgmann gen Brüser, A.; Riehl, A. (2020): Bewertung der Wasserverfügbarkeit an Baumstandorten mittels Sensortechnik. In: Pro Baum 3/2020, Seite 16-21.
- Farooq, M.; Wahid, A.; Kobayashi, N.; Fujita, D.; Basra, S.M.A. (2009): Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In: Agronomy for Sustainable Development. Band 29, Nr. 1, ISSN 1773-0155, S. 185–212.
- Deutscher Wetterdienst (2018): Die Bedeutung von "sehr heiß" und "orkanartigem Sturm".
Onlineressource:
https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2018/8/16.html#:~:text=So%20finden%20die%20Begriffe%20%22warm, Temperaturwerte%20%C3%BCber%2035%20Grad%20 verwendet. [Zugriff 06.02.2024]
- Scheffer, F.; Schachtschnabel, P. (2018): Lehrbuch der Bodenkunde. 17. Auflage.
- VulkaTec Riebensahm GmbH (2023): Vulkatree 0-32). Datenblatt. Onlineressource:
https://www.vulkatec.de/media/pdf/fe/53/0e/Baum_Vulkatree-0-32.pdf [Zugriff 15.11.2023]

6 Ausblick

Der Einsatz kapillarwirksamer Materialien wie Mineralwolle ist geeignet, um während anhaltender Trockenperioden eine für Pflanzen lebenserhaltende Grundfeuchtigkeit aufrecht zu erhalten. Dies ist auch dann noch der Fall, wenn aus bautechnischen Gründen oder aufgrund schwankender Pegel im Wasserspeicher größere Steighöhen überwunden werden müssen.

Die Messwerte der hier untersuchten kapillaren Steighöhen von bis zu 70 cm führen zu dem Ergebnis, dass auch bei darüberhinausgehenden Steighöhen voraussichtlich gute Ergebnisse erzielt werden können. Dies ist speziell in urbanen Siedlungsbereichen von Relevanz, da hier zahlreiche bautechnische und infrastrukturelle Anforderungen nur in Ausnahmefällen oberflächennahe Speichersysteme zulassen. Gerade dort wird jedoch eine vitale und gut entwickelte grüne Infrastruktur dringend gebraucht. Aus diesem Grund sollten weitere Untersuchungen angestrebt werden, um Erkenntnisse zur steighöhenabhängigen Transportleistung zu gewinnen.

Weil davon auszugehen ist, dass mittelfristig eine Durchwurzelung der kapillarwirksamen Materialien stattfinden wird, ist eine längerfristig angelegte Untersuchung zur Wirkfolgenabschätzung unabdingbar. Dabei ist zu eruieren, wie langlebig die Materialien im eingebauten Zustand sind und wie sich der Wurzeleinwuchs auf die kapillare Leistungsfähigkeit auswirkt. Neben der im Rahmen dieses Berichtes untersuchten Mineralwolle sollten auch andere Stoffe hinsichtlich ihrer kapillaren Leistungsfähigkeit und Langlebigkeit begutachtet werden, um hier bestmögliche Lösungen zu finden.

Der Wasserbedarf sollte über unterirdische Speichervolumen gedeckt werden, die möglichst mit Regenwasser befüllt werden, um bei beginnender Trockenheit sukzessive verbraucht zu werden. Da durch diese Form der Befüllung eine Sedimentation mit im Wasser enthaltenden Schwebstoffen zu erwarten ist, sind technische Lösungen erforderlich, die zu einem möglichst geringen Schwebstoffeintrag führen. Dabei könnte es neben Filtertechnik ein Ansatz sein, mithilfe von durchlassregulierenden Wasserleitsystemen nicht jedes Kleinregenereignis dem Speichervolumen zugeführt wird, sondern nur Wassermengen von mittleren und starken Niederschlagsereignissen. Dies wäre auch zugunsten des präventiven Hochwasserschutzes, da die Speichervolumen auf diese Weise ihr Speichervolumen durch zahlreiche Kleinstniederschläge schon erschöpft hätten, wenn zu stärkerem Niederschlag kommt.

Aus praktischer Perspektive gilt es neben den bautechnischen Anforderungen auch die ökonomischen Aspekte zu eruieren. Dabei spielen neben den reinen Baukosten als Initialinvestition die langfristigen Unterhaltungskosten eine entscheidende Rolle, um später kein Umsetzungsdefizit in der Praxis zu erfahren. Damit stünde Städten und Kommunen ein wirksames Instrument zur Verfügung, um den Negativfolgen des Klimawandels zu begegnen.

Bildnachweis: © Dr. Claus Prinz und Nikolai Kendzia, LWG Veitshöchheim

IMPRESSUM

Herausgeber

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), An der Steige 15, 97209 Veitshöchheim,
Telefon +49 931 9801-0, www.lwg.bayern.de

Redaktion und Gestaltung

Institut für Stadtgrün- und Landschaftsbau (ISL), isl@lwg.bayern.de

© LWG Veitshöchheim, Nachdruck und Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.