

BEWÄSSERUNGSSTEUERUNG MIT FEUCHTESENSORIK

IN 6 BIS 8 SCHRITTEN 
WASSERGABEN KONTROLLIEREN
STEUERN UND
BEWERTEN

- 2000 - 2003: Ausbildung zum Gärtner
Fachrichtung: Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau
(Drensteinfurt, bei Münster, Westf.)
- 2003 - 2007: Geselle in verschiedenen Gala-Baubetrieben & Abitur (Münster, Westf.)
- 2007 - 2011: Bachelor Studium: Gartenbau (Beuth Hochschule für Technik, Berlin)
- 2011 - 2013: Master Studium: Urbanes Pflanzen- und Freiraum Management (Beuth Hochschule für Technik, Berlin)
- 2014 - 2015: Düngemittelberatung in Berlin, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern (COMPO expert)
- 2015 bis heute: Baum-Sachverständigenwesen (*ARBOR revital*) mit fachlichen Schwerpunkten: Revitalisierung von Gehölzbeständen & Bewässerungsmanagement mit Sensortechnik
- Seit WS 2022/23: Lehrauftrag an der Berliner Hochschule für Technik im Studiengang Landschaftsarchitektur im Modul Objektanalysen

- 1 Kategorisierung von Baumstandorten zur Bildung von Gruppen mit vergleichbaren Gehölzen
- 2 Exemplarische Instrumentierung von Gehölzen einer jeden Kategorie
- 3 Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategie zur Instrumentierung
- 4 Wiederkehrende Bewertung der Bodenfeuchte
- 5 Ableitung von Bewässerungsempfehlungen über die Gießsaison (i.d.R. wöchentlich)
- 6 Evaluierung der Gehölzvitalität und ggf. Wurzelentwicklung zur Überprüfung und ggf. Anpassung der Bewässerungsstrategie in der Veg.-Pause für die folgende Gießsaison

- 1 Kategorisierung von Baumstandorten zur Bildung von Gruppen mit vergleichbaren Gehölzen
- 2 Exemplarische Instrumentierung von Gehölzen einer jeden Kategorie
- 3 Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategie zur Instrumentierung
- 4 Wiederkehrende Bewertung der Bodenfeuchte
- 5 Ableitung von Bewässerungsempfehlungen über die Gießsaison (i.d.R. wöchentlich)
- 6 Evaluierung der Gehölzvitalität und ggf. Wurzelentwicklung zur Überprüfung und ggf. Anpassung der Bewässerungsstrategie in der Veg.-Pause für die folgende Gießsaison
- 7 ...
- 8 KI...

- 1 Kategorisierung von Baumstandorten zur Bildung von Gruppen mit vergleichbaren Gehölzen
- 2 Instrumentierung einer repräsentativen Anzahl von Gehölzen einer jeden Kategorie
- 3 Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategie zur Instrumentierung
- 4 Wiederkehrende Bewertung der Bodenfeuchte
- 5 Ableitung von Bewässerungsempfehlungen über die Gießsaison (i.d.R. wöchentlich)
- 6 Evaluierung der Gehölzvitalität und ggf. Wurzelentwicklung zur Überprüfung und ggf. Anpassung der Bewässerungsstrategie in der Veg.-Pause für die folgende Gießsaison

1 Kategorisierung von Gehölzen zur Bildung von Gruppen mit vergleichbaren Gehölzen

Analyse des Baumbestandes:

- Welche Bäume können gegossen werden?
Bauseitige Hürden, Grenzen der gärtnerischen Kapazitäten (Parkanlagen, Stadtwälder)
- Welche Bäume sollen gegossen werden?
Wasserbedürftigkeit (Vitalität), Fokus (Innenstadt oder Außenlage)
- Wo sind gleiche Rahmenbedingungen gegeben?
Gärtnerisch-baumpflegerischer Sachverstand (lokal und ggf. extern unterstützt)
- Wie groß muss die Kategorie sein, damit sich der Technikeinsatz rechnet?
Baumnutzen vs. Monitoringkosten, Lokale Kosten-Nutzen Rechnung, Break even point
- Wo besteht die höchste Priorität?
Erstellung einer Rangfolge innerhalb der zuvor gebildeten Kategorien (lokal)

Baum der **nicht** gegossen werden kann





Baum der gegossen werden kann, aber nicht gossen werden muss



- 1 Kategorisierung von Baumstandorten zur Bildung von Gruppen mit vergleichbaren Gehölzen
- 2 **Exemplarische Instrumentierung von Gehölzen einer jeden Kategorie**
- 3 Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategie zur Instrumentierung
- 4 Wiederkehrende Bewertung der Bodenfeuchte
- 5 Ableitung von Bewässerungsempfehlungen über die Gießsaison (i.d.R. wöchentlich)
- 6 Evaluierung der Gehölzvitalität und ggf. Wurzelentwicklung zur Überprüfung und ggf. Anpassung der Bewässerungsstrategie in der Veg.-Pause für die folgende Gießsaison

2 Exemplarische Instrumentierung von Gehölzen einer jeden Kategorie

Ausgehend von z.B. 20 Kategorien/Gruppen mit jeweils 10 bis 300 Gehölzen

- Welche Sensoren werden eingesetzt?
Bodenwasserspannung oder volumetrischer Wassergehalt (mit oder ohne Kenntnisse der nWSK / des TW Anteils), Preis, Nutzungsdauer, Hersteller, Händler, Dienstleister
- An welcher Stelle werden diese installiert?
Wurzelballen, Pflanzgrube in Baumnähe (Auswurzelungszone), anstehender Boden, zwischen Gehölzen (im Grünstreifen, Reifephase), Baumschubstrat oder ungestörter (Natur)Boden
- Wie hoch ist die nötige Wiederholung (n), meint an parallelen Sensoren in identischer Einbausituation bzw. an Messstellen in der Kategorie?
Messgenauigkeit der Technik, Heterogenität innerhalb der Kategorie wegen a) Standort/Boden, b) Gehölzzusammensetzung (Art/Sorte, Alter, Größe/pot. Wasserbedarf), c) Interaktion (verschiedene Firmen / Mitarbeitende die gießen)
- Wer baut die Sensoren ein?
Lokales know how gegeben, lokale Mitarbeiterverfügbarkeit, Dienstleister, Wer macht die Auswertung?



- **Wasserspannung/Saugspannung/Matrixpotenzial (Boden)**
 - pF-Wert, negativer Druck in Hektopascal (hPa), Kilopascal (kPa) oder Centibar (cbar)
- **Wassergehalt**
 - Vol.-% oder in l/m^3

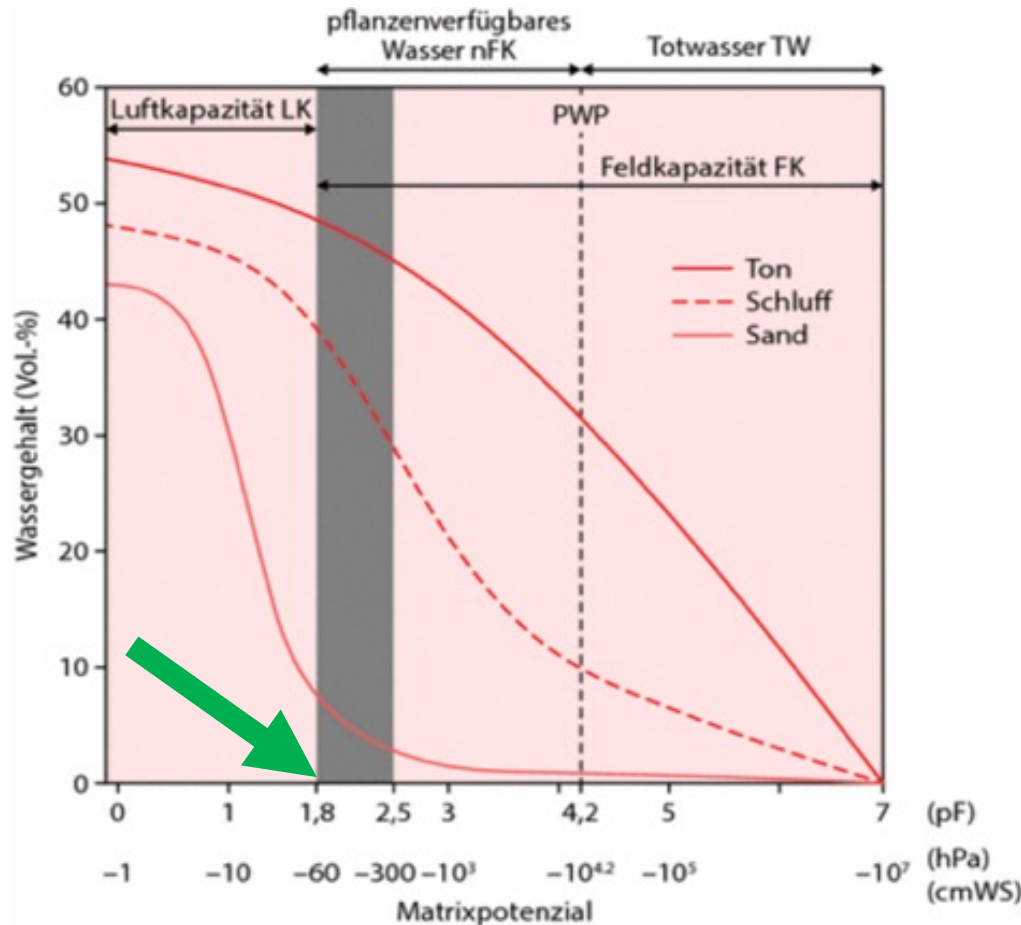


Watermark – Sensor: Messung der Wasserspannung
(0 bis 252 kPa/cbar, pF-Wert: 0 bis 3,4)



SMT50 – Sensor: Messung des volumetrischen
Wassergehaltes (0 bis 50 Vol.-%)

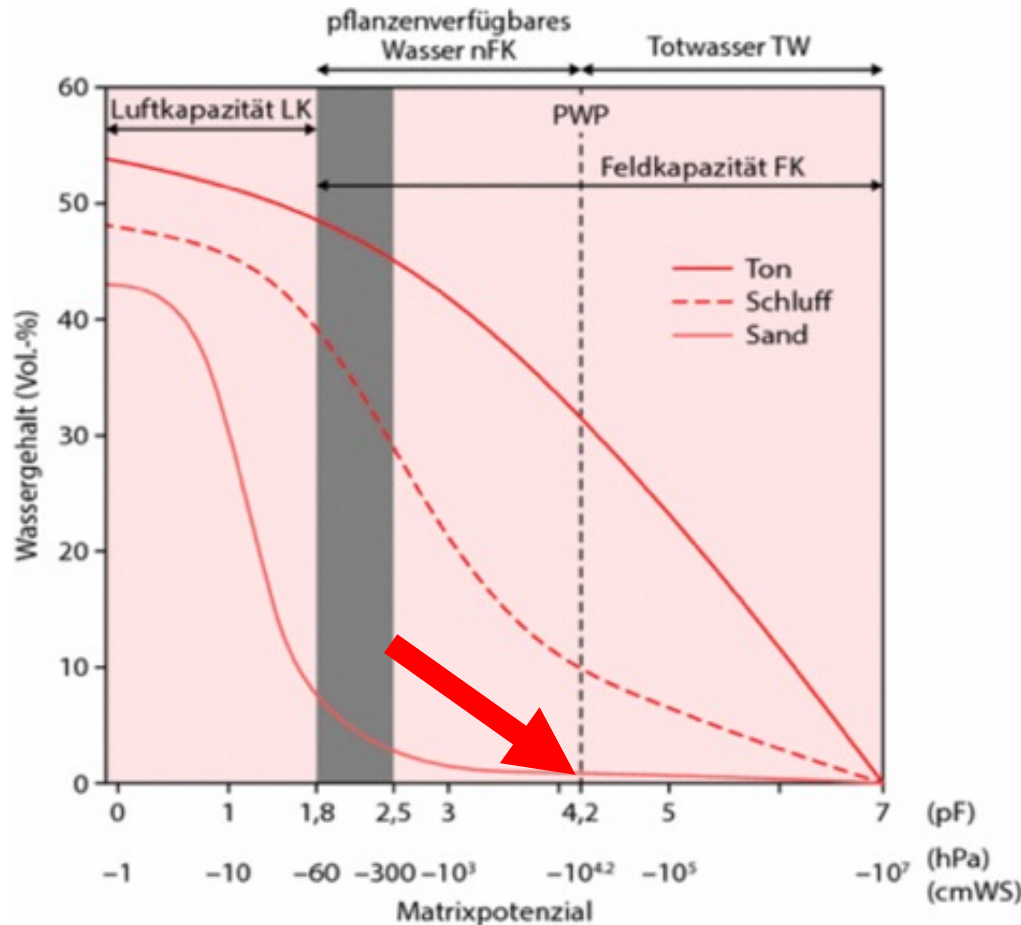




3 pF-Kurven eines Sand-, Schluff- und Tonbodens.
Quelle: SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2018

Bei 100 % nutzbarer Feldkapazität (nFK) bzw. einer Wasserspannung von pF-Wert: 1,8 / -60 hPa/-6 kPa bzw. cbar hat ein:

- Vorwiegend sandiger (leichter) Boden, (SI2) eine nutzbare Wasserspeicherkapazität: 18 vol.-% bzw. 180 l/m³ bei einem Totwassergehalt von 7 vol.-% bzw. 70 l/m³
Summe: 25 vol.-% bzw. 250 l
- Durch seinen Ton- und Schluffanteil dominierter (schwerer) Boden (Tu3) eine nutzbare Wasserspeicherkapazität: 13 vol.-% bzw. 130 l/m³ bei einem Totwassergehalt von 25 vol.-% bzw. 250 l/m³
Summe: 38 (13+25=38) vol.-% bzw. 250 l



3 pF-Kurven eines Sand-, Schluff- und Tonbodens.
Quelle: SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2018

Bei 0 % nutzbarer Feldkapazität (nFK) bzw. einer Wasserspannung von pF-Wert: 4,2 / -15.885 hPa/- 1.585 kPa bzw. cbar hat ein:

- Vorwiegend sandiger (leichter) Boden, (Sl2) eine nutzbare Wasserspeicherkapazität: 0 vol.-% bzw. 0,0 l/m³ bei einem Totwassergehalt von 7 vol.-% bzw. 70 l/m³ Summe: 7 vol.-% bzw. 70 l
- Durch seinen Ton- und Schluffanteil dominierter (schwerer) Boden (Tu3) eine nutzbare Wasserspeicherkapazität: 0 vol.-% bzw. 0,0 l/m³ bei einem Totwassergehalt von 25 vol.-% bzw. 250 l/m³
Restfeuchte: 25 vol.-% bzw. 250 l/m³

Vorteile

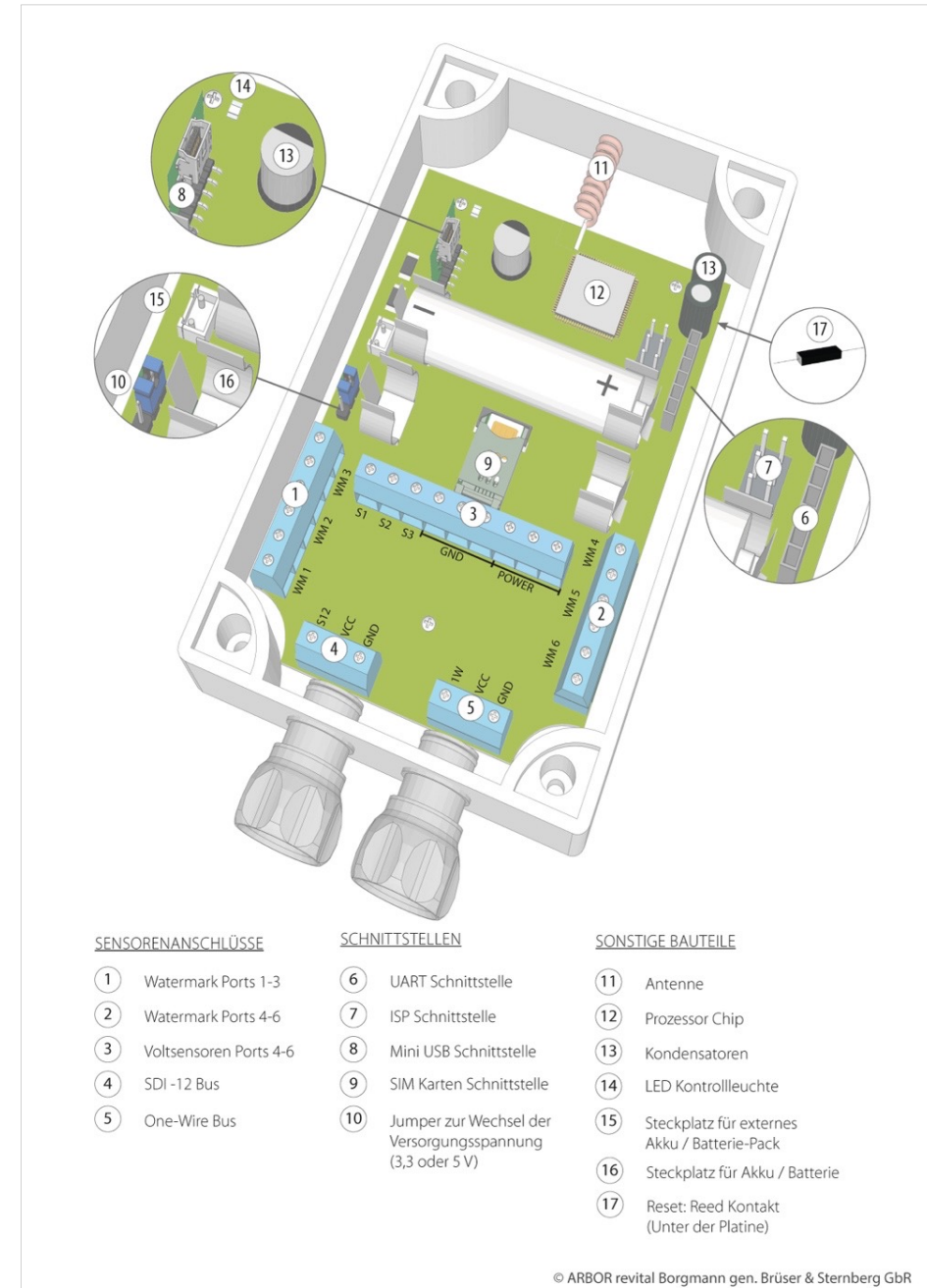
- Gute Übertragbarkeit der Ergebnisse von Messungen in unterschiedlichen Boden- und Substratmilieus
- Gute Bewertung des Versorgungszustandes der Pflanze möglich
- Relativ günstiger Preis mit ca. 60,00 € pro Sensor
 - gute Wiederholung möglich

Nachteile

- Keine direkte Aussage zur volumetrischen Wasserbevorratung
- Messbereich reicht nicht bis zum Permanenten Welkepunkt (pF-Wert: 4,2; 1.585 kPa), Messbereich Watermark: 0 bis 252 kPa bzw. bis pF-Wert: 3,4
- Messungenauigkeiten an beiden äußeren Enden der Messamplitude (KREKEL et.al. 2024)
- Begrenzte Lebensdauer der Technik in technogenen Baumsubstraten auf 3 - 5 Jahre

Datenerfassungs- / Funkeinheit

- Niederfrequente
 - LoRaWAN Telemetrie
(Long Range Wide Area Network)
 - NB-IoT Telemetrie
(Narrow Band Internet of Things)
- mehrfache Datenübertragung am Tag
- 6 Sensoranschlüsse für Watermark- und/oder Bodentemperatur-Sensoren
- 6 Sensoranschlüsse für z.B. SMT100
- **Kombination von Sensoren möglich**
- Downlink-Fernwartung möglich
- Weitere Einsatzmöglichkeiten
(Niederschlag- & Temperaturmessung)





2 Exemplarische Instrumentierung von Gehölzen einer jeden Kategorie

Ausgehend von z.B. 20 Kategorien/Gruppen mit jeweils 10 bis 300 Gehölzen

- Welche Sensoren werden eingesetzt? Welche Übertragungsform wird gewählt?
Bodenwasserspannung oder volumetrischer Wassergehalt (mit oder ohne Kenntnisse der nWSK / des TW Anteils), Preis, Nutzungsdauer, Hersteller, Händler, Dienstleister. Funk mit LoraWan oder NB IoT
- An welcher Stelle werden diese installiert?
Wurzelballen, Pflanzgrube in Baumnähe (Auswurzelungszone), anstehender Boden, zwischen Gehölzen (im Grünstreifen, Reifephase), Baumschutt oder ungestörter (Natur)Boden
- Wie hoch ist die nötige Wiederholung (n), meint an parallelen Sensoren in identischer Einbausituation bzw. an Messstellen in der Kategorie?
Messgenauigkeit der Technik, Heterogenität innerhalb der Kategorie wegen a) Standort/Boden, b) Gehölzzusammensetzung (Art/Sorte, Alter, Größe/pot. Wasserbedarf), c) Interaktion (verschiedene Firmen / Mitarbeiter die gießen)
- Wer baut die Sensoren ein?
Lokales know how gegeben, lokale Mitarbeiterverfügbarkeit, Dienstleister, Wer macht die Auswertung?

Versuchsdesign:

Projektpartner

StadtRaum Trier (C. Thesen, T. Kimmig)

ARBOR revital Borgmann gen. Brüser & Sternberg GbR (A. Borgmann gen. Brüser, A. Riehl)

Standort: Petrisberg, Sickingenstraße, Trier

Baumart und -anzahl: 52 Späthsche Erlen, *Alnus x späthii*, Alleebaum, 4 x v., StU: 18-20cm

Pflanzzeitpunkt: November bis Dezember 2018

Instrumentierung: **5** Gehölze bzw. **Messstellen** mit jeweils 4 Sensoren, 25.04.2019

Datenerhebung: manuell, wöchentlich zum Wochenstart, von März/April bis Oktober/November

Zeitraum: 2019 bis vorerst 2021

Versuchsfrage:

Lässt sich die Bewässerung durch den Einsatz von Feuchtigkeitssensoren effizienter gestalten/steuern als durch gängige starre Formen wie beispielsweise 100l / Baum im 14 Tage Intervall?



Sickingenstraße am „Petrisberg“, Trier. Aufnahme: 25.04.2019



Parkplatz, Nähe S-Bahn Storkowerstraße, Aufnahme: 21.11.2021

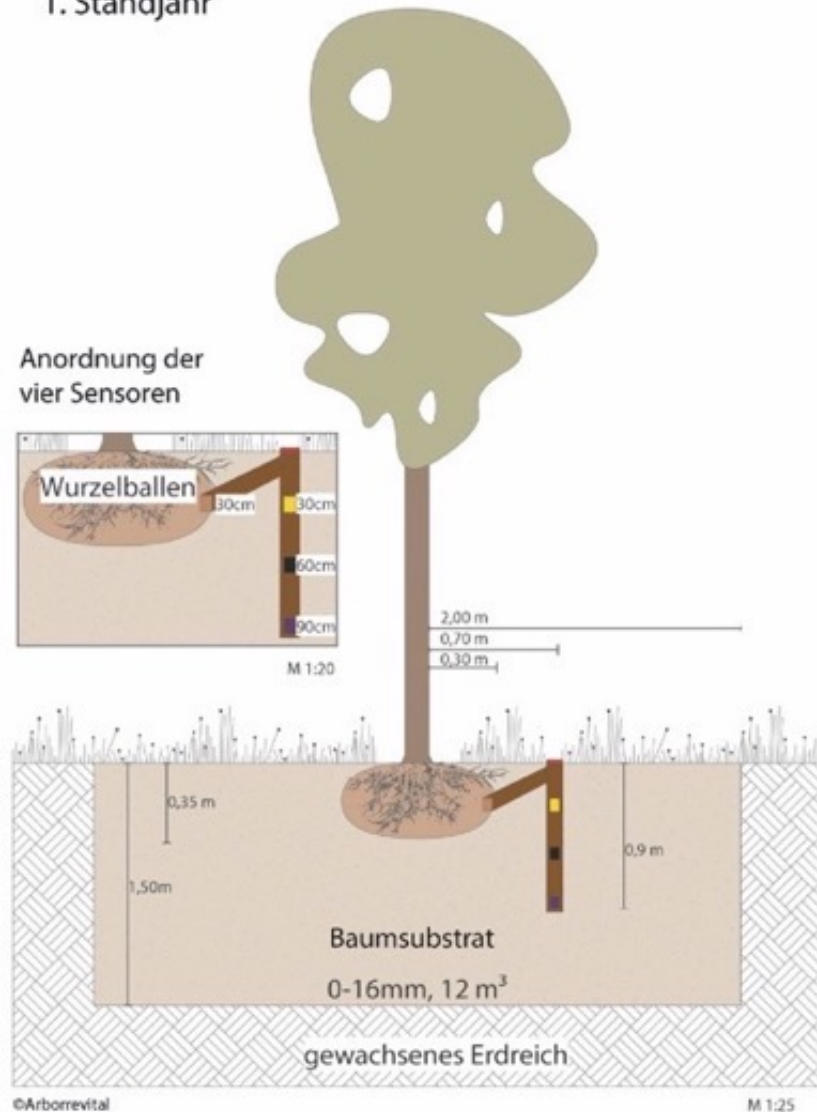
- Späthsche Erle oder Purpur-Erle, *Alnus x späthii*
- Gezüchtet in der Späthschen Baumschule in Berlin
- Hybrid aus der Japanischen Erle (*Alnus japonica*) und der Kaukasischen Erle (*Alnus subcordata*)
- Gilt seit jeher als sehr robust und genügsam, wird neuerdings als sog. „Klimabaum“ gehandelt



Sickingenstraße, Instrumentierung der Sensoren nach der Pflanzung durch zwei Arbeitskräfte. Aufnahme: 25.04.2019



Trier// Sickingerweg- Schnitt der Sensoriktechnik 1. Standjahr



Sensorart

Watermark (Fa. Pessl Instruments), Messung der Bodenwasserspannung von 0 bis 252 kPa

Einbau der Sensoren

- Ausstattung am 25.04.19
- 5 von 52 Bäumen wurden instrumentiert
- 4 Sensoren pro Baum, insgesamt 20 Sensoren

Anordnung in der Pflanzgrube

- 1 Sensor direkt im Wurzelballen in der Tiefe -30 cm
- 3 Sensoren in der Auswurzelungszone, 70 cm Abstand vom Stamm, Tiefen: -30, -60 und -90 cm



Einbau der 20 Sensoren in den Wurzelballen ($n=5$) und den Substratkörper ($n=15$) mit leichtem Gerät innerhalb eines Arbeitstages möglich. Aufnahme: 25.04.2019

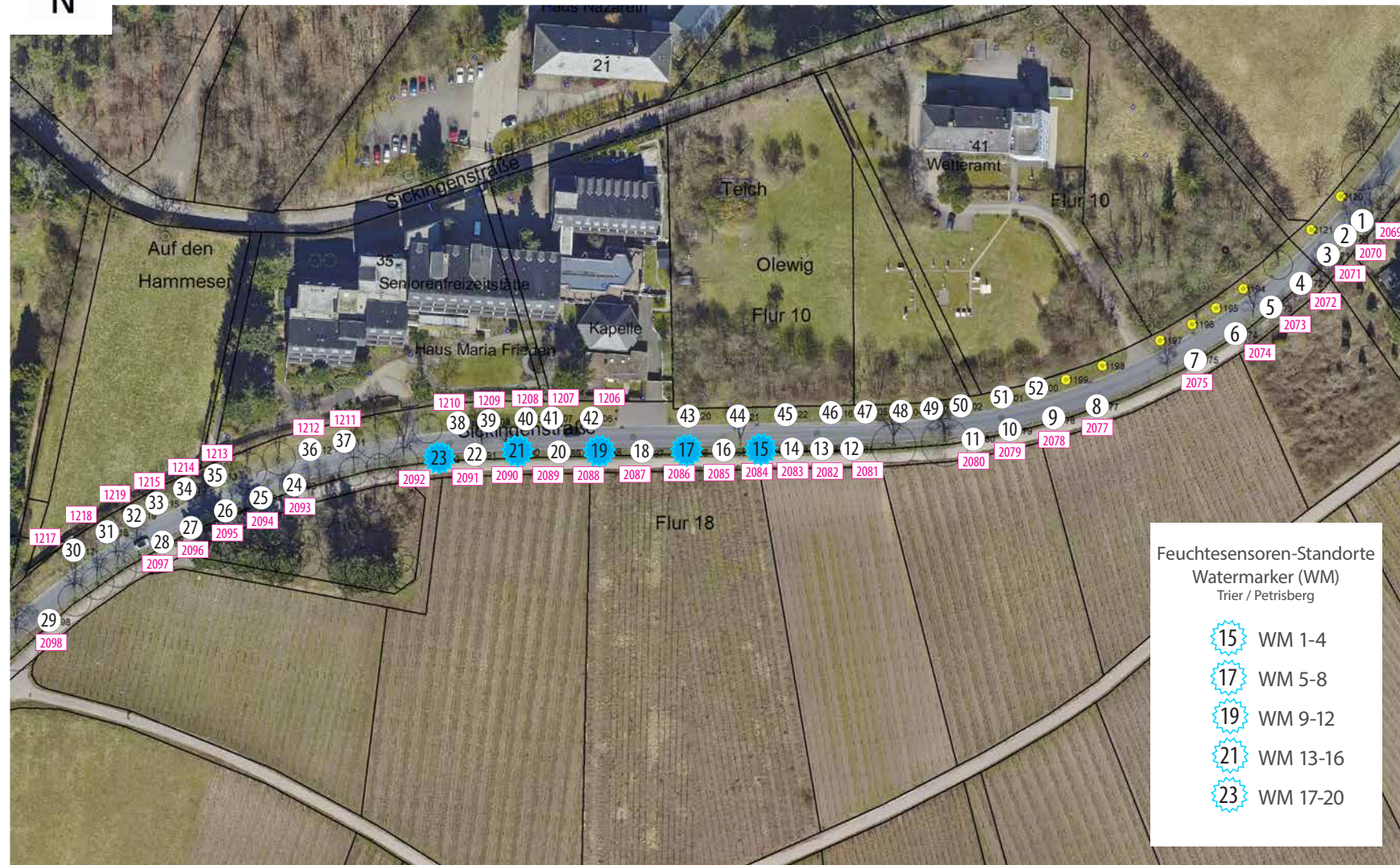


Instrumentierung | Verteilung der Messstellen



Übersichtsplan: Petrisberg, 54292 Trier

Übersichtsplan 25.04.2019



(Fotos: Katastralauszug Stadt Trier; 25.04.2019)

© ARBOR revital Borgmann gen. Brüser & Sternberg GbR





Sickingenstraße, 2. Standjahr mit Wildblumen Einsaat. Aufnahme: 24.06.2020

- Ermittelte Wasserspannung stellt Entscheidungskriterium für die Bewässerung der Alleeebäumen im 1. Standjahr dar
- Einsparpotenzial: Verglichen mit starren Formen der Wasserversorgung konnte in diesem Beispiel mit einer Gesamtmenge von **1.150 Liter**/Baum der Aufwand um
 - **23 % (ggü.: 15 x 100 l/Baum)**
 - **77 % (ggü.: 25 x 200 l/Baum)**reduziert werden.

- 1 Kategorisierung von Baumstandorten zur Bildung von Gruppen mit vergleichbaren Gehölzen
- 2 Exemplarische Instrumentierung von Gehölzen einer jeden Kategorie
- 3 **Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategie zur Instrumentierung**
- 4 Wiederkehrende Bewertung der Bodenfeuchte
- 5 Ableitung von Bewässerungsempfehlungen über die Gießsaison (i.d.R. wöchentlich)
- 6 Evaluierung der Gehölzvitalität und ggf. Wurzelentwicklung zur Überprüfung und ggf. Anpassung der Bewässerungsstrategie in der Veg.-Pause für die folgende Gießsaison

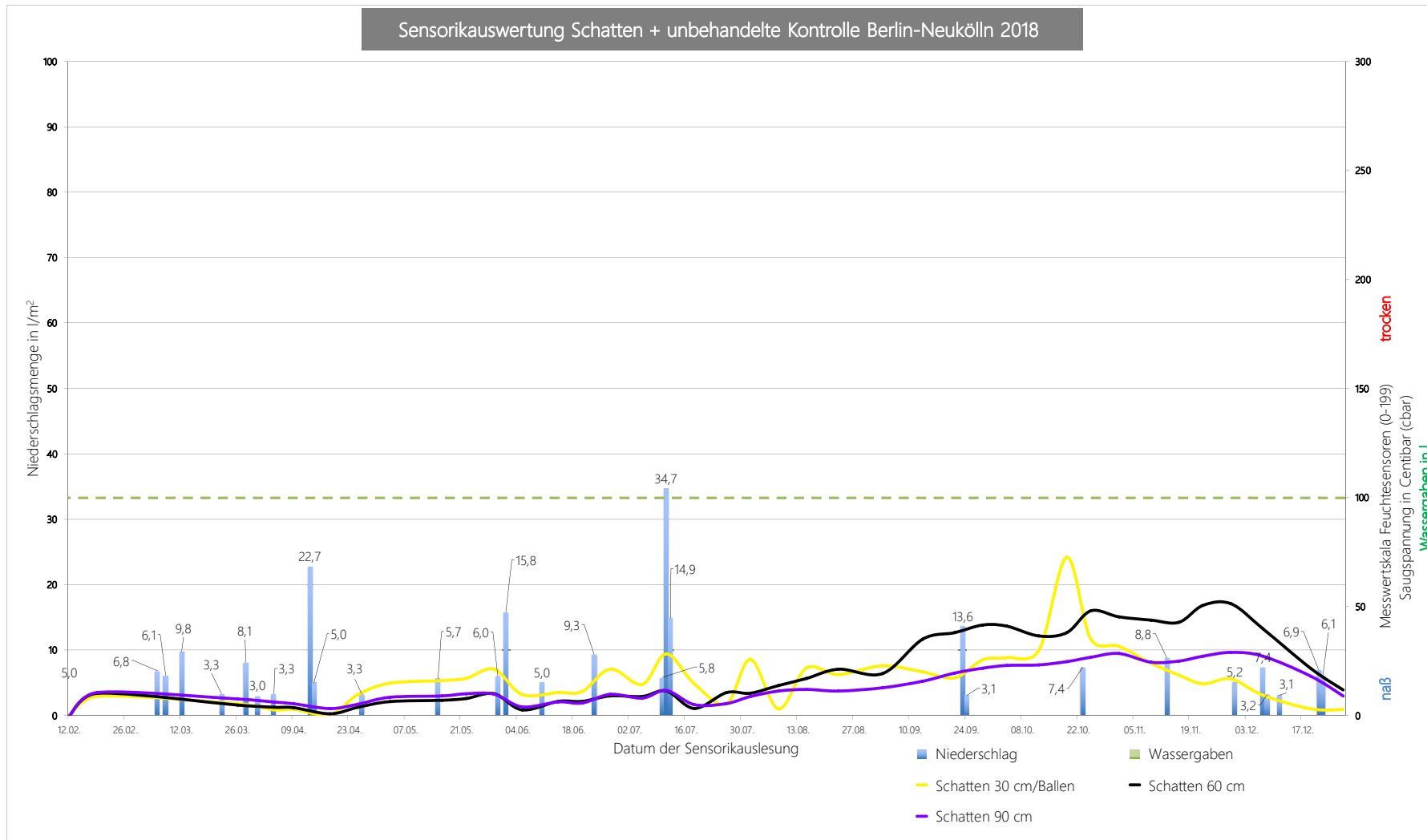
3.1 Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategien zur Instrumentierung

fördern und fordern ----- *ausreichend versorgen und positiv stressen*

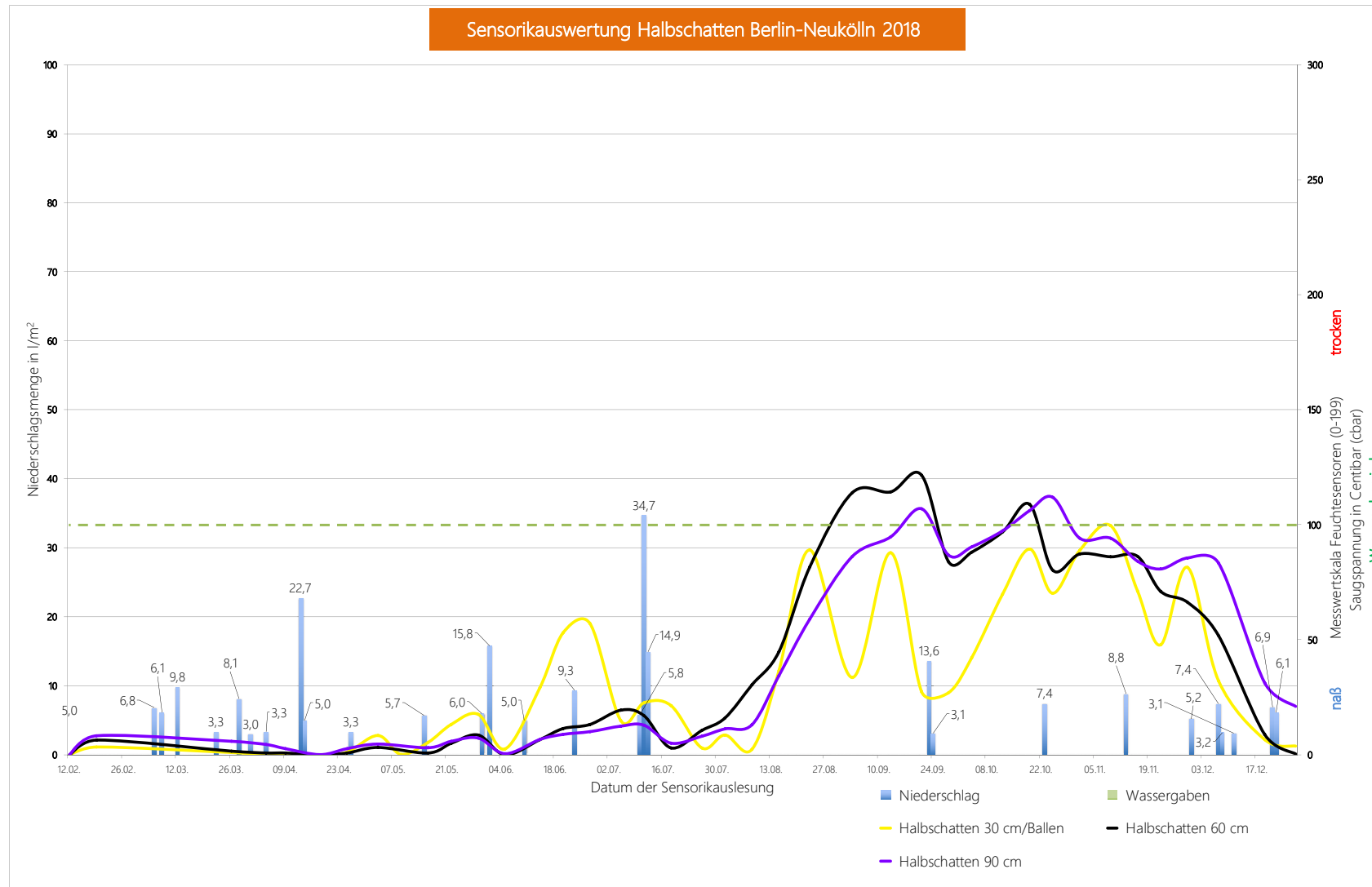
- Wo liegen Grenzwerte der Bodenfeuchtigkeit? Bei welcher Bodenwasserspannung sollte eine gute, mäßige und bereits kritische Wasserversorgung gegeben sein?
 - Bei niedriger Wasserspannung (WS) ist Wasseraufnahme einfacher als bei hoher Wasserspannung. WS zu hoch (pF- 4,2) → kein pflanzverfügbares Wasser vorhanden: Permanente Welkepunkt (PWP) erreicht
- Welche Grenzbereiche und ggf. Schwellenwerte für das Auslösen der Bewässerung sind notwendig für die Steuerung?

Empirische Herleitung der Grenzbereiche durch Beobachtungen/Monitoring
(Vorversuche im Jahr 2018) der Bodenfeuchte für **Baumsubstrate**:

- Berlin-Neukölln, Gemischte Alleebaumpflanzung (200 Gehölze, 4 x v. StU 18-20 cm),
positive Ergebnisse bis Grenzwert: **100 kPa** / pF-Wert: **3,0** in den Expositionen:
Sonne (n=5), Halbschatten (n=5) und Schatten (n=5)
- Buchsbaumpflanzung (1.200 Stück, *Buxus sempervirens*, 125-150 cm),
teilweise negative Ergebnisse mit Grenzwert: 252 kPa / pF-Wert: 3,4

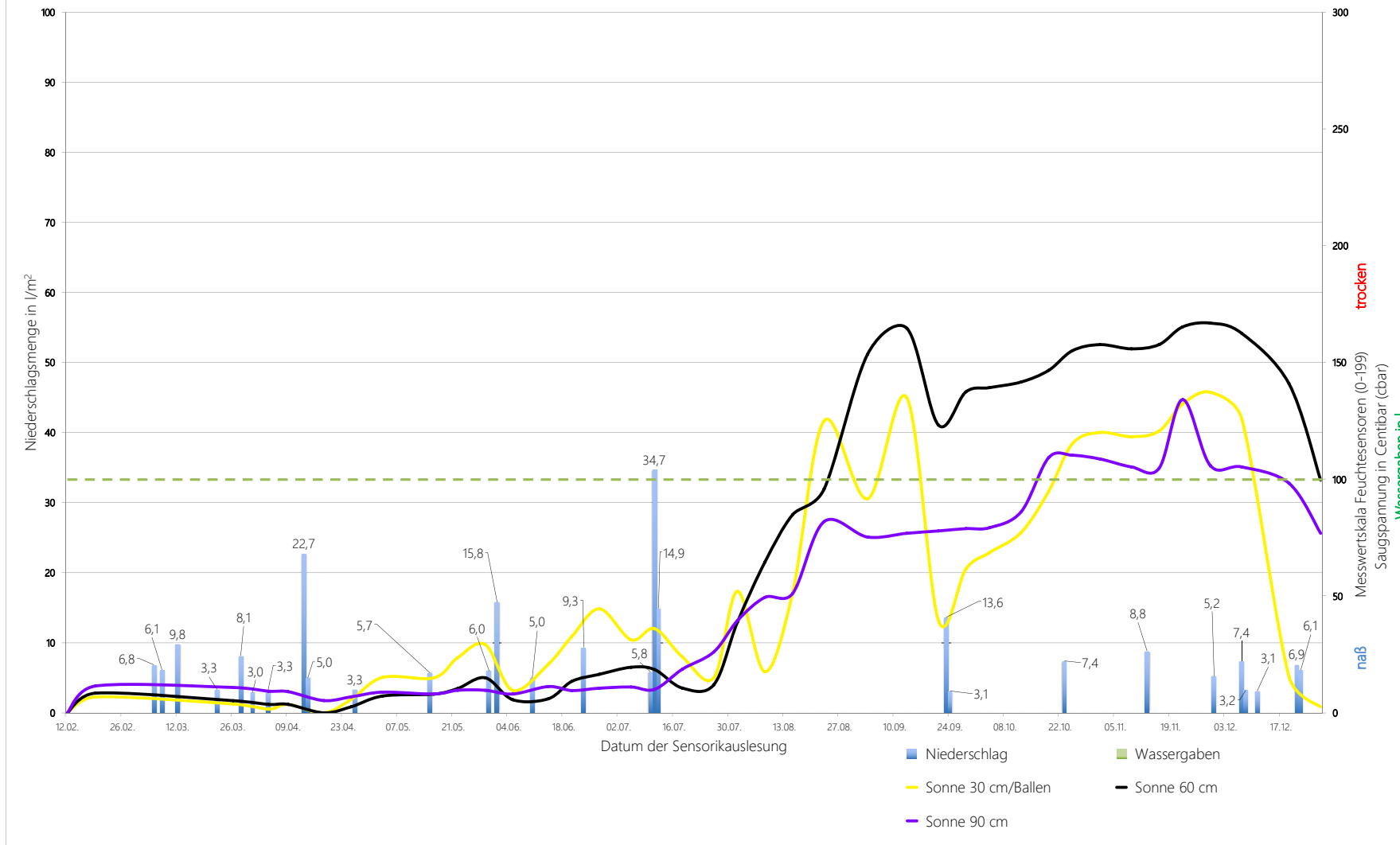


Berlin-Neukölln, gemischte Alleebaumpflanzung (200 Gehölze, 4 x v. StU 18-20 cm),
positive Ergebnisse bis Grenzwert: **100 kPa** / pF-Wert: **3,0** in den Expositionen:
 Sonne (n=5), Halbschatten (n=5) und Schatten (n=5)

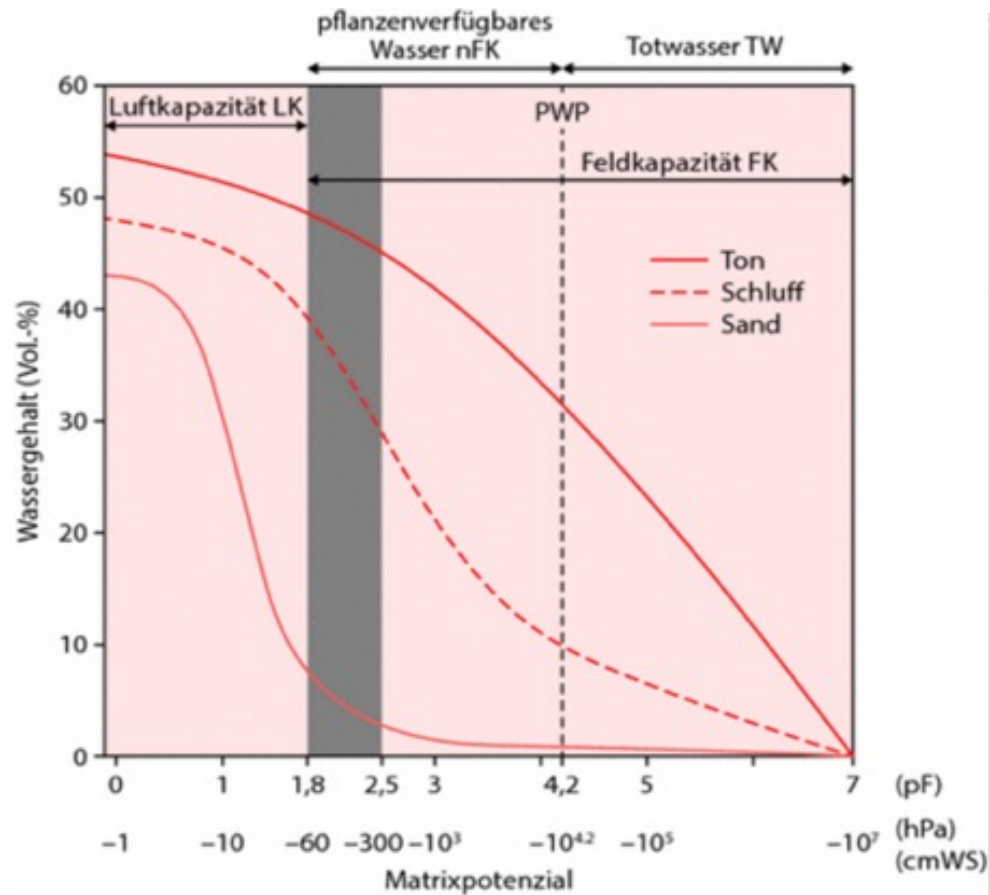


Berlin-Neukölln, gemischte Alleebaumpflanzung (200 Gehölze, 4 x v. StU 18-20 cm),
positive Ergebnisse bis Grenzwert: 100 kPa / pF-Wert: **3,0** in den Expositionen:
 Sonne (n=5), Halbschatten (n=5) und Schatten (n=5)

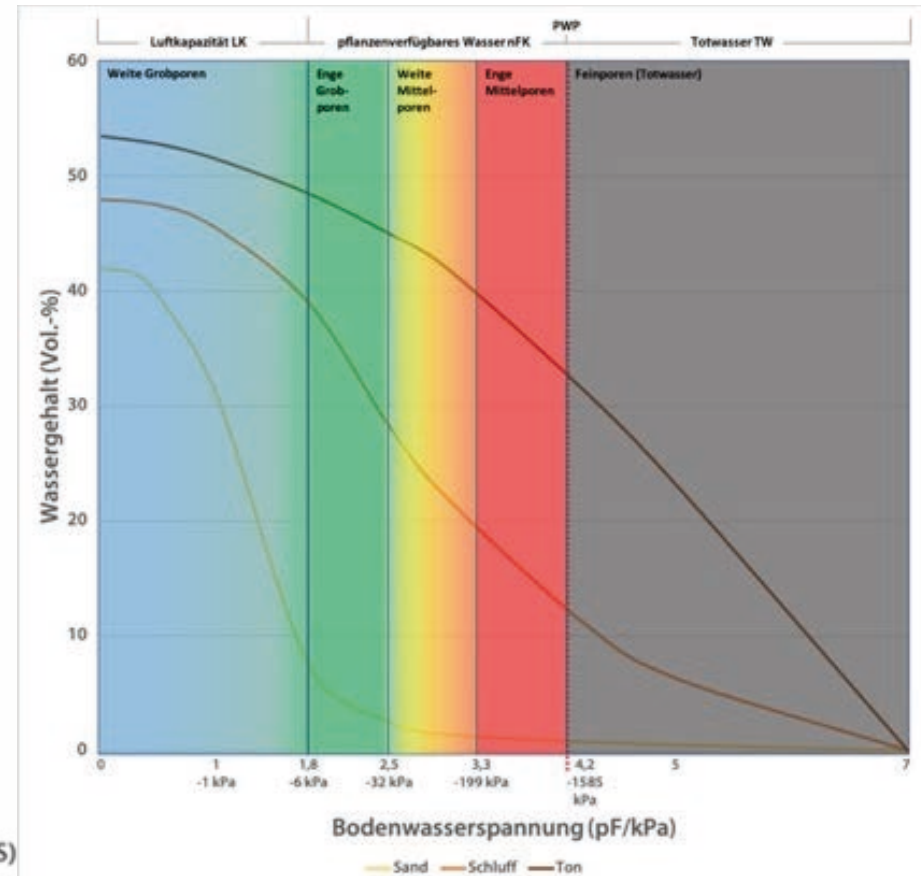
Sensorikauswertung Sonne + unbehandelte Kontrolle Berlin-Neukölln 2018



Berlin-Neukölln, gemischte Alleebaumpflanzung (200 Gehölze, 4 x v. StU 18-20 cm),
positive Ergebnisse bis Grenzwert: **100 kPa** / pF-Wert: **3,0** in den Expositionen:
 Sonne (n=5), Halbschatten (n=5) und Schatten (n=5)



3 pF-Kurven eines Sand-, Schluff- und Tonbodens.
Quelle: SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2018.



SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2018,
verändert in BORGMANN GEN. BRÜSER & RIEHL 2020 (Pro Baum 3/2020)

Theoretische Herleitung für natürliche Böden:

WELTECKE K. (2020): Bäume richtig wässern mit Blick auf zunehmende Trockenheitsperioden, in DUJESIFKEN, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2020, Haymarket Media GmbH & CO KG, Braunschweig, 195–212.

Tabelle 2: Nach Bodenart aufgeschlüsselte Wasserspeicherkapazitäten und -gehalte

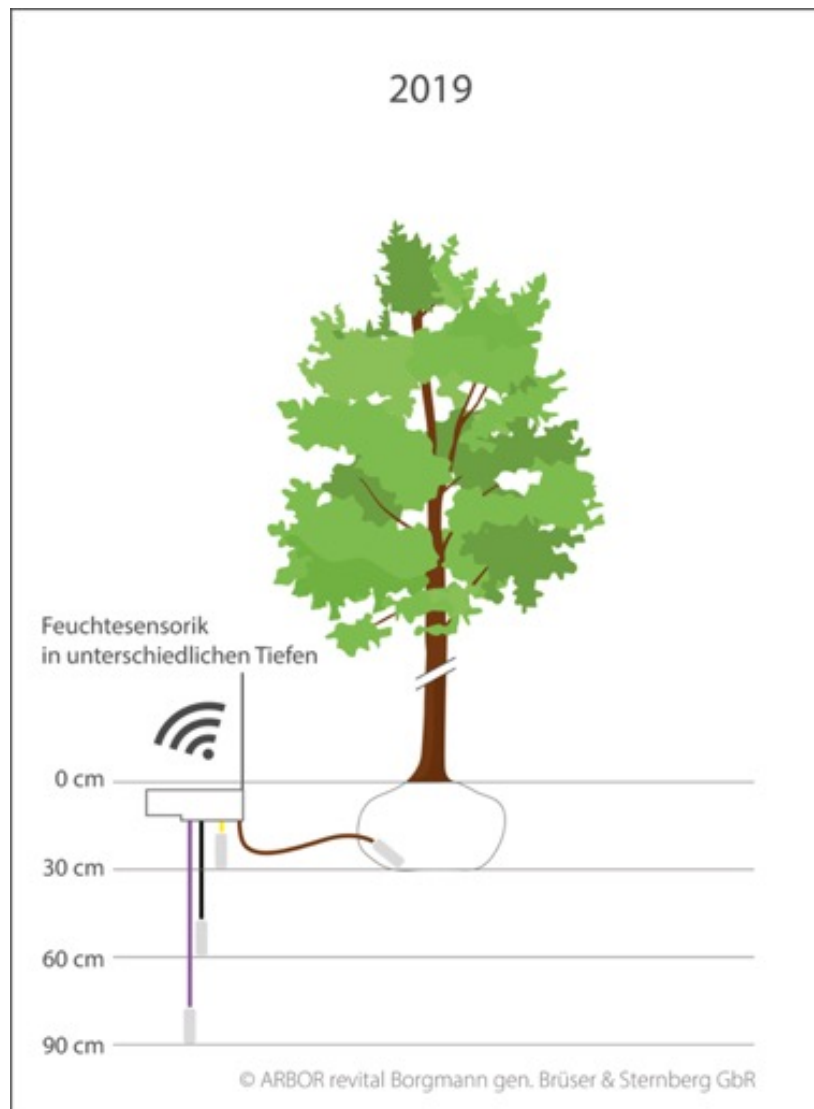
Bodenart						Wassergehalt [Vol % bzw. mm/dm]			
		nWSK [Vol% bzw. mm/ dm]	Totwas- ser [Vol% bzw. mm/ dm]	maximale Wasserspei- cherkapazität [Vol% bzw. mm/dm]	Totwasser plus 40 % der nWSK [Vol% bzw. mm/dm]	pF 2,5	pF 2,8	pF 3,5	pF 3,8
Sande	Ss	16	4	20	10,4	12	10	6	5
	Sl2	18	7	25	14,2	17	14	9	8
	Sl3	18	9	27	16,2	20	17	12	11
	Sl4	18	12	30	19,2	23	20	15	14
	Slu	21	12	33	20,4	26	22	16	14
	St2	16	6	22	12,4	14	12	8	7
	St3	15	15	30	21	24	22	18	17
	Su2	18	5	23	12,2	13	10	6	5
	Su3	21	8	29	16,4	20	17	11	9
	Su4	23	9	32	18,2	23	19	12	11
Lehme	Ls2	16	18	34	24,4	25	23	19	18
	Ls3	16	17	33	23,4	24	21	18	17
	Ls4	16	16	32	22,4	23	20	17	17
	Lt2	14	22	36	27,6	31	28	24	23
	Lt3	12	27	39	31,8	34	32	28	27
	Lts	14	23	37	28,6	31	29	24	23
	Lu	17	19	36	25,8	29	25	20	19
Schluffe	Uu	26	12	38	22,4	32	29	19	16
	Uls	22	13	35	21,8	30	27	18	15
	Us	25	10	35	20	29	26	16	14
	Ut2	26	11	37	21,4	31	28	18	15
	Ut3	25	12	37	22	32	29	19	16
	Ut4	21	16	37	24,4	33	31	22	19
Tone	Tt	13	30	43	35,2	39	37	34	32
	Tl	13	28	41	33,2	37	36	33	31
	Tu2	12	30	42	34,8	39	38	34	33
	Tu3	13	25	38	30,2	35	34	31	29
	Tu4	17	20	37	26,8	33	31	27	25
	Ts2	13	26	39	31,2	37	35	31	29
	Ts3	13	24	37	29,2	34	33	29	27
	Ts4	14	18	32	23,6	30	29	25	23

Nach Bodenart aufgeschlüsselte nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK), Totwasser, maximale Wasserspeicherkapazität, Totwasser plus 40 % der nWSK bei mittlerer Lagerungsdichte (Werte aus Arbeitskreis Standortkartierung 2016); Wassergehalt in Vol % für vier verschiedene pF-Stufen (dekadischer Logarithmus der Wasserspannung in hPa) (Werte aus Ad-hoc-AG Boden 2005); grau hinterlegt sind die Felder, bei denen der Wassergehalt den rechnerisch ermittelten Summenwert von Totwasser und 40 % der nWSK annähernd erreicht oder unterschritten hat. Erreicht der Boden im effektiven Wurzelraum die jeweilige Wasserspannung, sollte gewässert werden.

3.2 Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategie zur Instrumentierung

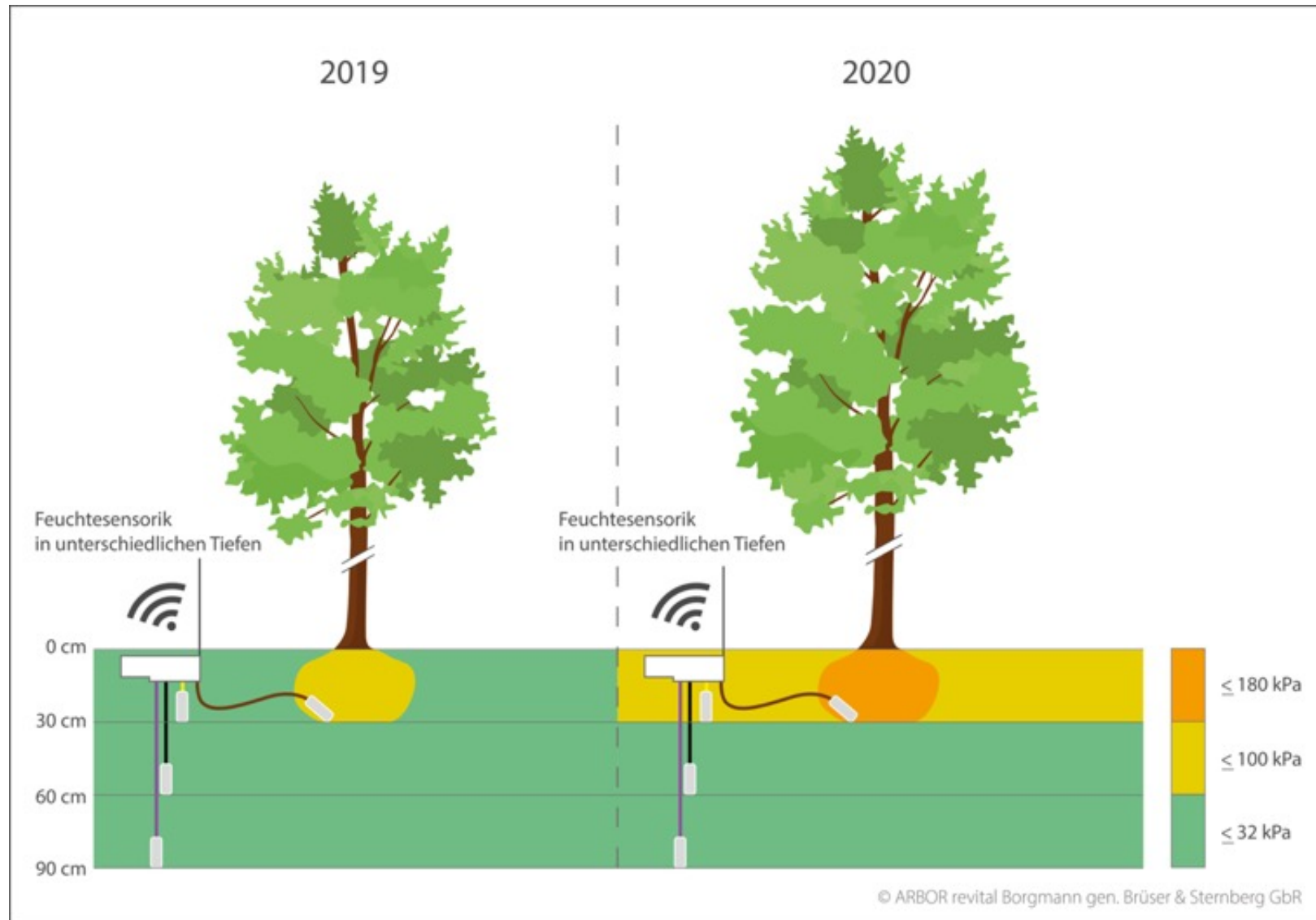
fördern und fordern ----- *ausreichend versorgen und positiv stressen*

- Welche Räume/Bereiche sind schon **effektiv durchwurzelt** und müssen ausreichend mit Wasser versorgt werden?
 - a) der Wurzelballen zur Pflanzung
 - b) bereits obere Bodenschichten während der Etablierung
 - c) der gesamte durchwurzeltbare Raum bei Gehölzen mit längeren Standzeiten
 - d) lediglich der „alte Wurzelraum“ im Sanierungsfall
- Welche Räume sollen möglichst bald durchwurzelt werden (**potenzieller Wurzelraum**) und sollten entsprechend besser mit Wasser versorgt werden als schon durchwurzelte Räume (effektiver Wurzelraum)?
 - a) Die Pflanzgrube und
 - b) im weiteren der anstehende Boden während der Etablierung
 - c) kein neuer Raum bei unveränderten Rahmenbedingungen
 - d) der neu geschaffene Raum im Falle der Erweiterung/Standortsanierung

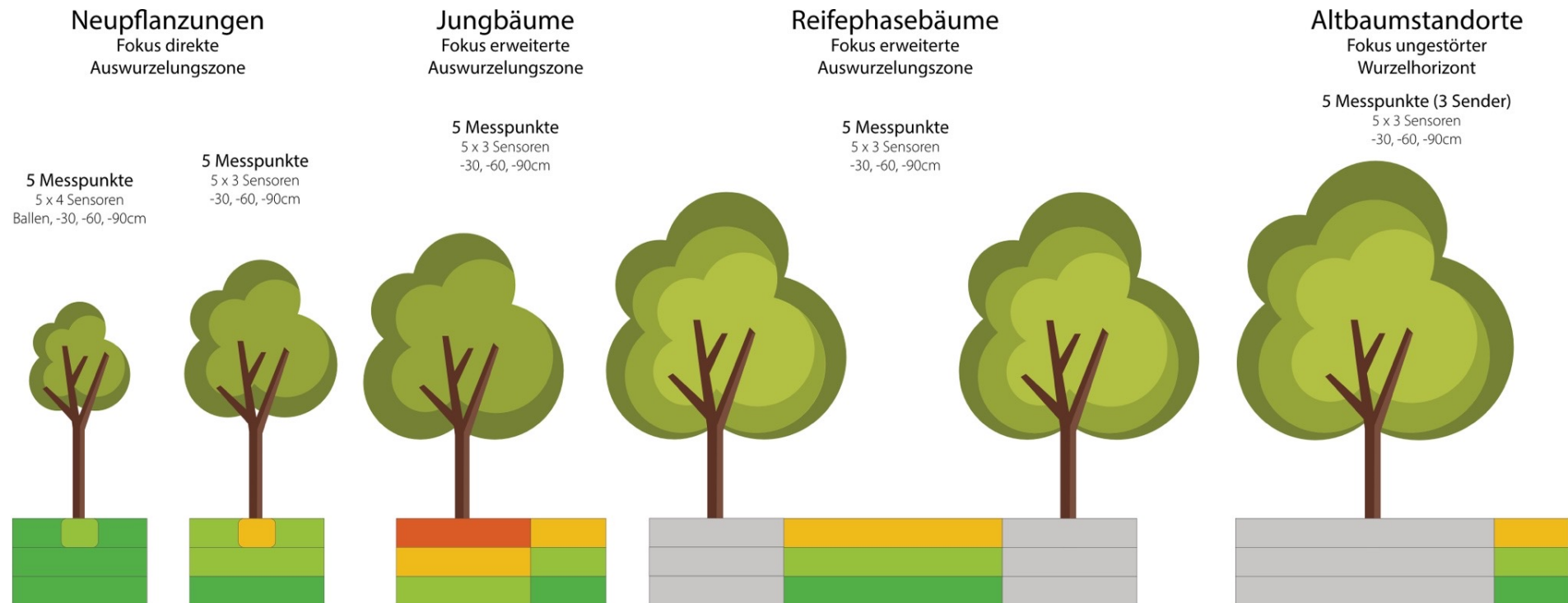


BORGSMANN GEN. BRÜSER & RIEHL 2020 (Pro Baum 3/2020)

Effektiver und potenzieller Wurzelraum im 1. und 2. Standjahr



BORGMANN GEN. BRÜSER & RIEHL 2020 (Pro Baum 3/2020)



Erstmalig 2023 auf den Deutschen Baumpflegetagen in Augsburg gezeigt (Ausstellung)



Bildnachweis: Stadt Hamm/Schwartländer

- 1 Kategorisierung von Baumstandorten zur Bildung von Gruppen mit vergleichbaren Gehölzen
- 2 Exemplarische Instrumentierung von Gehölzen einer jeden Kategorie
- 3 Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategie zur Instrumentierung
- 4 **Wiederkehrende Bewertung der Bodenfeuchte**
- 5 Ableitung von Bewässerungsempfehlungen über die Gießsaison (i.d.R. wöchentlich)
- 6 Evaluierung der Gehölzvitalität und ggf. Wurzelentwicklung zur Überprüfung und ggf. Anpassung der Bewässerungsstrategie in der Veg.-Pause für die folgende Gießsaison

4 Wiederkehrende Bewertung der Bodenfeuchte

nicht mehr als nötig ----- so oft wie nötig

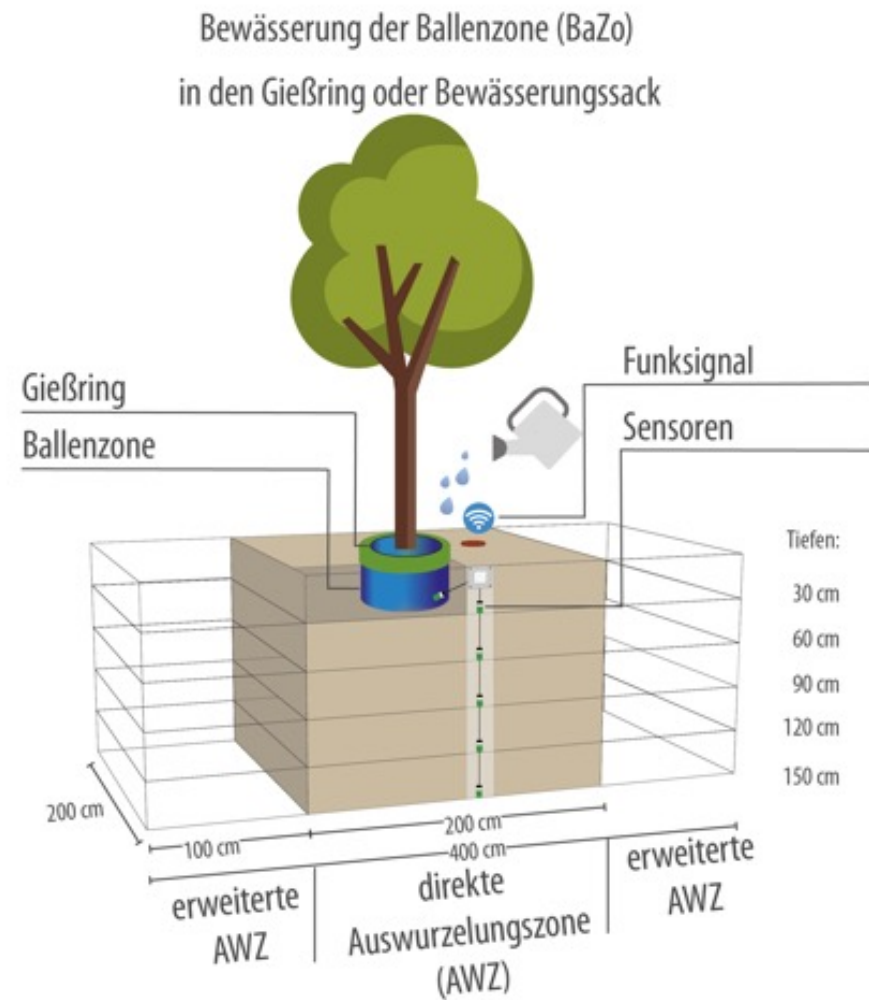
- Wie oft schaut man auf die Daten?
- ➔ Zum Wochenstart in erweiterter Vegetationszeit von März bis November/Dezember

Sichtung **der Boden-** und **Wetterdaten**

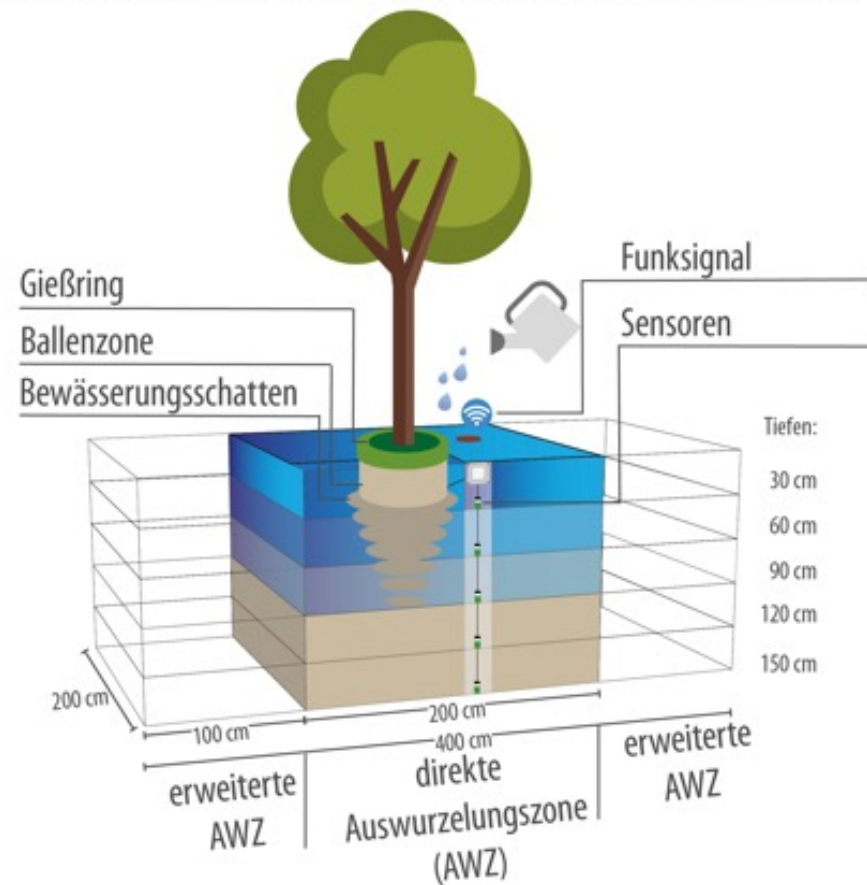
wird von ARBOR revital erfass				FN 1																				FN 2				FN 3				FN 4				FN 5				Mittelwerte											
Abreisetag	Bew.-gang	Wasser-menge	Nieders.	30 cm				60 cm				90 cm				30 cm				60 cm				90 cm				30 cm				60 cm				90 cm				30 cm				60 cm				90 cm			
				WM-01	WM-02	WM-03	WM-04	WM-05	WM-06	WM-07	WM-08	WM-09	WM-10	WM-11	WM-12	WM-13	WM-14	WM-15	WM-16	WM-17	WM-18	WM-19	WM-20	automatische Berechnung																											
21.07.	Wassergabe 100/Baum	28		10	13	4	127	4	0	0	74	7	0	0	77	6	0	0	140	11	0	12	43	8	3	3	92																								
22.07.				0	12	4	97	7	0	0	62	8	0	0	79,8(U)	7	0	0	15	11	0	0	34	6	3	1	52																								
23.07.				0	13	4	33	1	0	0	27	7	1	0	82,2(U)	7	0	0	7	11	0	0	21	5	3	1	22																								
24.07.				0	13	4	35	1	0	0	34	6	4	0	83,6(U)	7	0	0	20	11	0	0	33	5	4	1	30																								
25.07.				2	11	4	41	2	0	0	43	7	0	0	87(U)	9	0	0	31	8	0	0	40	5	2	1	39																								
26.07.				6	13	4	47	8	0	0	50	9	0	0	91,6(U)	11	1	0	45	11	0	0	44	9	3	1	46																								
27.07.			12,2	10	12	8	13	11	0	0	56	11	1	0	94,2(U)	10	5	0	56	5	0	0	49	9	3	2	43																								
28.07.			3,7	6	6	4	11	5	0	0	62	10	0	0	87,9(U)	10	3	3	33	3	0	0	54	7	2	1	40																								
29.07.				1	4	1	6	8	0	0	69	11	0	0	89,3(U)	11	3	0	13	1	0	0	58	6	1	0	36																								
30.07.				3	3	0	15	0	0	0	75	11	1	0	70(U)	16	3	0	24	2	0	0	62	6	1	0	44																								
31.07.				1	0	0	15	0	3	0	82	11	0	0	75,2(U)	10	0	0	38	3	0	0	66	5	1	0	50																								
01.08.				0	9	1	21	0	5	0	90	11	7	0	81,4(U)	13	0	0	53	5	0	0	72	6	4	0	59																								
02.08.				3	0	1	28	6	0	3	96	12	0	0	87,9(U)	6	0	0	62	8	0	5	79	7	0	2	66																								
03.08.			9,4	9	0	2	34	9	0	4	102	12	0	0	93,1(U)	17	0	0	67	14	16	0	86	12	3	1	72																								
04.08.				11	1	2	41	11	0	0	106	12	0	0	97(U)	12	0	0	74	10	31	0	94	11	6	0	79																								
05.08.				11	2	3	44	12	0	0	106	12	0	0	101,1(U)	13	0	0	78	11	19	0	97	12	4	1	81																								
06.08.				12	3	3	49	12	0	0	107	12	0	0	104,2(U)	15	0	0	83	11	10	0	101	12	3	1	85																								
07.08.				12	4	4	52	13	1	0	109	12	0	0	106,6(U)	13	0	0	89	11	11	0	104	12	3	1	88																								
08.08.				13	5	5	55	14	2	0	111	12	0	0	109,1(U)	15	0	0	96	11	18	0	107	13	5	1	92																								
09.08.				13	18	5	58	15	4	0	113	13	0	1	111,6(U)	17	2	0	104	13	8	0	109	14	6	1	96																								
10.08.				14	26	6	61	15	5	0	114	13	0	1	113(U)	15	3	0	112	12	11	1	110	14	9	2	99																								
11.08.				14	12	7	63	15	9	0	113	13	2	2	113,9(U)	15	5	0	120	13	27	2	110	14	11	2	101																								
12.08.				15	15	7	66	16	8	0	112	13	2	2	114,7(U)	12	6	0	126	12	25	2	109	14	11	2	103																								
13.08.				15	10	7	69	16	9	0	110	12	1	7	115,3(U)	14	8	3	131	12	23	3	108	14	10	4	105																								
14.08.				15	10	10	73	16	10	0	98	13	7	0	116,4(U)	13	9	1	134	12	23	5	107	14	12	3	103																								
15.08.			7,8	16	10	10	77	13	8	0	88	12	0	1	116,6(U)	16	10	2	135	12	16	4	107	14	9	3	102																								
16.08.				16	14	14	81	3	0	0	92	12	0	2	105,9(U)	13	10	6	135	9	14	6	102	11	8	5	102																								
17.08.				17	7	10	85	2	0	0	95	12	3	2	100,8(U)	22	10	7	134	11	11	5	99	13	6	5	103																								
18.08.				17	9	10	90	12	1	0	100	13	0	2	103,1(U)	12	10	3	137	11	11	5	101	13	6	4	107																								
19.08.				5	5	7	93	4	1	1	104	12	0	6	106,4(U)	9	4	2	70	6	12	5	102	7	5	4	92																								
20.08.	Wassergabe 100/Baum	28		2	6	7	95	1	1	4	105	12	0	3	109,2(U)	22	1	0	7	0	10	6	102	7	4	4	77																								
21.08.				10	1	7	93	2	0	4	106,7(U)	11	0	2	112,1(U)	1	3	5	22	1	10	6	105	5	3	5	73																								
22.08.			10,8	14	6	7	6	10	1	6	108(U)	12	7	0	113,7(U)	18	3	1	34	3	10	6	37	11	5	4	25																								
23.08.				16	7	7	11	13	0	0	109,6(U)	12	0	0	113,2(U)	7	4	4	44	4	10	6	1	10	4	3	19																								
24.08.				18	10	7	25	15	3	0	112,6(U)	13	0	1	113,5(U)	16	5	8	55	6	11	7	12	13	6	5	31																								

Wurden alle instrumentierten Bäume gleichmäßig mit Wasserversorgt?

- 1 Kategorisierung von Baumstandorten zur Bildung von Gruppen mit vergleichbaren Gehölzen
- 2 Exemplarische Instrumentierung von Gehölzen einer jeden Kategorie
- 3 Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategie zur Instrumentierung
- 4 Wiederkehrende Bewertung der Bodenfeuchte
- 5 **Ableitung von Bewässerungsempfehlungen über die Gießsaison (i.d.R. wöchentlich)**
- 6 Evaluierung der Gehölzvitalität und ggf. Wurzelentwicklung zur Überprüfung und ggf. Anpassung der Bewässerungsstrategie in der Veg.-Pause für die folgende Gießsaison



Bewässerung der direkten Auswurzelungszone (AWZ) |
Keine Bewässerung der Ballenzone (BaZo), Gießring oder Bewässerungssack



Guten Tag,

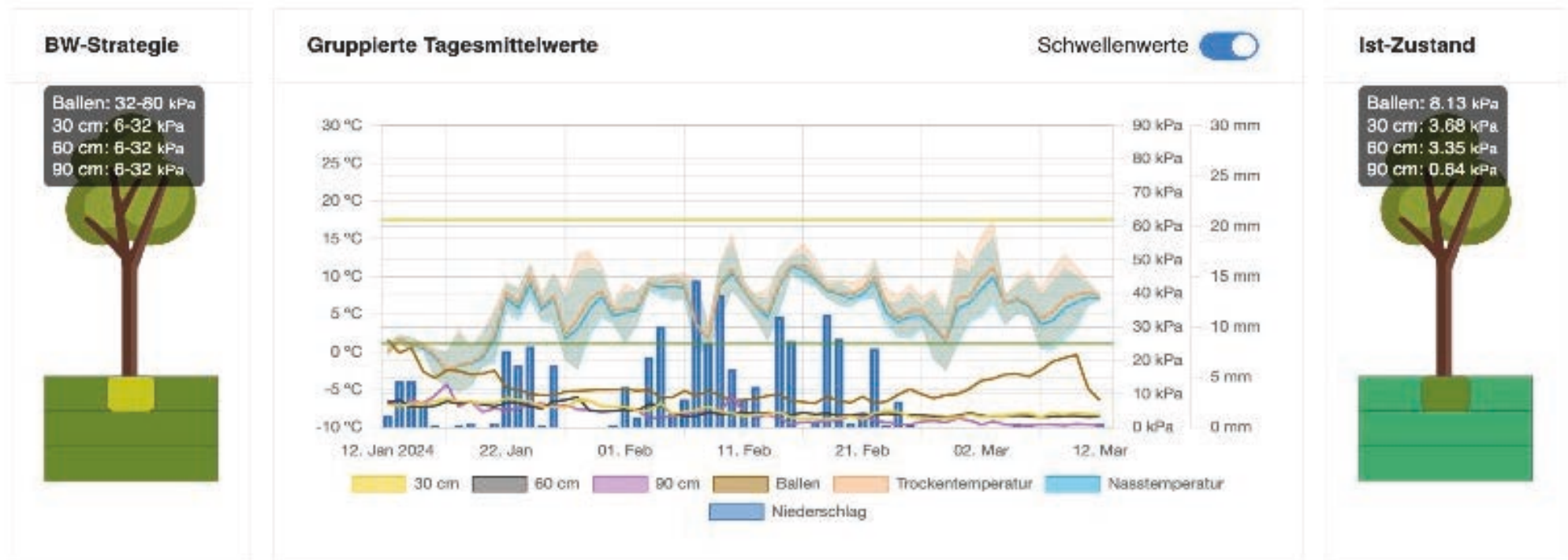
anbei senden wir Ihnen die aktuelle(n) graphische(n) Auswertung(en).

Zur Kompensation der aktuellen Abtrocknung bitte zeitnahe Wassergabe von 50, 100/150/l auf in die Ballenzone bzw. innerhalb des Gießrings oder in den/die Bewässerungssack(e), als auch in die sog. direkte Auswurzelungszone außerhalb des Gießrings bis zu einem Baumabstand von 1,0m mit 50/100/150/200 l.

Ihr Team Wasser von ARBOR revital

ARBOR monitor

- Anwendung zur Verwaltung und Darstellung von Senderstandorten
- Web-Plattform zur systemunabhängigen Arbeitsweise
- Darstellungsoberfläche der Sensorik in Grafiken, Festlegung von eigenen Grenz- und Schwellenwerten
- Erfassung von Wassergaben, Plausibilitätsprüfung, Open Data



- 1 Kategorisierung von Baumstandorten zur Bildung von Gruppen mit vergleichbaren Gehölzen
- 2 Exemplarische Instrumentierung von Gehölzen einer jeden Kategorie
- 3 Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategie zur Instrumentierung
- 4 Wiederkehrende Bewertung der Bodenfeuchte
- 5 Ableitung von Bewässerungsempfehlungen über die Gießsaison (i.d.R. wöchentlich)
- 6 **Evaluierung der Gehölzvitalität und ggf. Wurzelentwicklung zur Überprüfung und ggf. Anpassung der Bewässerungsstrategie in der Veg.- Pause für die folgende Gießsaison**

Evaluierung der Wurzelentwicklung zur Überprüfung und Anpassung der Bewässerungsstrategie (nach dem 2. Standjahr, März 2021)



Evaluierung der Wurzelentwicklung zur Überprüfung und Anpassung der Bewässerungsstrategie (nach dem 2. Standjahr, März 2021)



- Jährliche exemplarische Bewertungen (i.d.R. n=5) der pflanzlichen Entwicklung während der Etablierung von Jungbäumen in den ersten 3 (4) bis 4 (5) Standjahren
- Aktionszeit Vorort bzw. pro Begebenheit/Kategorie etwa 1,0 Stunden
- 1 Person mit leichten Handwerkzeug

Hintergrund → Niederschwelliger Übertrag in bestehende gärtnerische Strukturen

Einteilung der **alten** und **neuen** Gehölzarten/-sorten in die zwei Gruppen

- a) „Etablierungs- bzw. Auswurzelungsfreudige“ Baumarten/ -sorten
- b) Baumarten und -sorten mit schwacher Auswurzelung bzw. relativ langwieriger Etablierung, mit also in 4 (5) statt 3 (4) Jahren

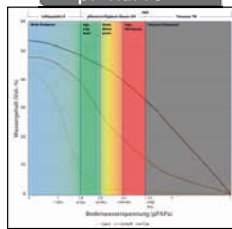
Sensorengestütztes Bewässerungsmanagement

Wassergaben kontrollieren, steuern und bewerten

Einleitung

Die Bewässerung von Jungbäumen wird immer wichtiger. Wassergaben im 14-tägigen Rhythmus sind oft nicht bedarfsorientiert → dynamisches Wassermanagement. Dazu werden fünf exemplarische Gehölze ausgewählt und mit Bodenfeuchtigkeitssensoren im Ballen und in -30, -60 und -90 cm Tiefe ausgestattet.

pF-Kurve



Grundlagen

Bodenwassererhalt | Bodenwasserspannung

- Wasser wird in Bodenporen gespeichert, je kleiner die Poren, umso mehr Kraft benötigt die Pflanze, um dieses Wasser nutzen zu können
- Der Bereich von 6 bis 1.585 kPa ist pflanzenverfügbares Wasser (nutzbare Wasserspeicherkapazität)
- Alles > 1.585 kPa Wasserspannung ist nicht nutzbar und wird als Totwasser bezeichnet

Ziel

Durch langfristige Bodenfeuchtemessungen sollen Gießgänge bedarfsorientiert gesteuert werden. Die Überprüfung der Auswurzelung ermöglicht eine Anpassung der Bewässerungsstrategie an die Bedürfnisse der Pflanze und begünstigt eine rasche Tiefenerschließung.

Ergebnis

Eine gute Wasserversorgung liegt bei einer Wasserspannung von 6 bis 32 kPa vor. Als mäßig ist diese zwischen 33 kPa und 80 kPa einzustufen. Bei >80 kPa tendieren die meist sand- & kiesdominierten Oberböden und Baumsubstrate zu einer kritischen Unterversorgung. Bei einer Wasserspannung < 6 kPa sind bereits alle Luftporen mit Wasser gefüllt. Daraus ergibt sich eine Gefahr von Staunässe.

Exemplarische Bewässerungsstrategien (BWS I-III)



Bewässerungsstrategie I

Im ersten Jahr soll der Wurzelballen kontrolliert bis auf 32 kPa abtrocknen, der umliegende Boden soll ebenso auf 32 kPa gehalten werden, damit die Wurzeln aus dem Wurzelballen heraus wurzeln.

Eine Kontrolle erfolgt zwischen dem 1. & 2. Standjahr durch Aufgrabungen. Gießwassergabe: 50 – 100 l

Bewässerungsstrategie II

In den darauf folgenden Jahren wird die BWS angepasst. Ein Austrocknen des Wurzelballens wird bis 80 kPa zugelassen, beim umliegenden Bereich bis 32 kPa. Erneute optische Kontrolle mit Fokus auf Tiefenerschließung zwischen dem 2. & 3. Standjahr. Gießwassergabe: 100 – 150 l

Bewässerungsstrategie III

Bei guter Tiefenerschließung soll der Ballen völlig und Bodenschichten bis -60 cm, bis 80 kPa abtrocknen. Zwischen 60 - 90 cm Tiefe soll mit 32 kPa eine gute Wasserversorgung gehalten werden. Gießwassergabe in größeren Intervallen: 200 - 300 l um den Boden vollständig zu durchfeuchten

Alexander Borgmann genannt Brüser & Christoph Sternberg

Baum | Wasser | Vital

www.arbor-revital.de

- 1 Kategorisierung von Baumstandorten zur Bildung von Gruppen mit vergleichbaren Gehölzen
- 2 Exemplarische Instrumentierung von Gehölzen einer jeden Kategorie
- 3 Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategie zur Instrumentierung
- 4 Wiederkehrende Bewertung der Bodenfeuchte
- 5 Ableitung von Bewässerungsempfehlungen über die Gießsaison (i.d.R. wöchentlich)
- 6 Evaluierung der Gehölzvitalität und ggf. Wurzelentwicklung zur Überprüfung und ggf. Anpassung der Bewässerungsstrategie (BWS) in der Veg.- Pause für die folgende Gießsaison
- 7 **Einbindung von Messtechnik für Pflanzendaten zur differenziertere Anpassung der BWS an den tatsächlichen physiologischen Bedarf**
- 8 Datenauswertung mit künstlicher Intelligenz, digitale Zwillinge, Modellierung des Wasserhaushaltes (Baum & Boden) ohne Technikeinsatz



- Alleebaumversuch der Lehranstalt für Gartenbau und Arboristik (LVGA) und weiterer Projektpartner
- Ca. 200 Alleebäume
- 24 verschiedene Arten und Sorten
- 4 verschiedene Bauweisen (von 12 m² Baumsubstrat bis direkt in den gewachsenen Boden)
- Instrumentierung mit Boden- und Pflanzensensoren
- Bodensensoren:
 - 20 Bäume mit Watermarksensoren (Bodenwasserspannung)
 - Ausstattung der gleichen 20 Gehölze mit SMT-50 Sensoren (volumetrischer Wassergehalt + Bodenphysik)
 - ...

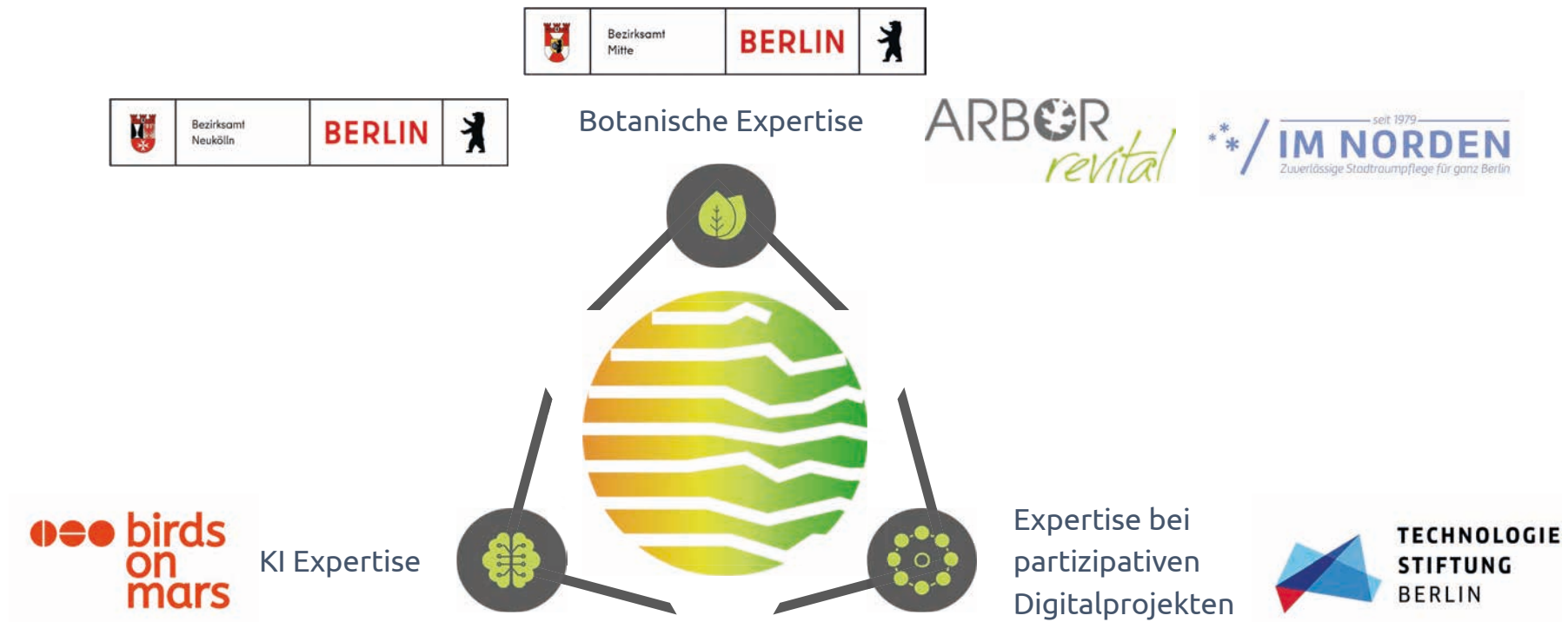
Pflanzensensoren

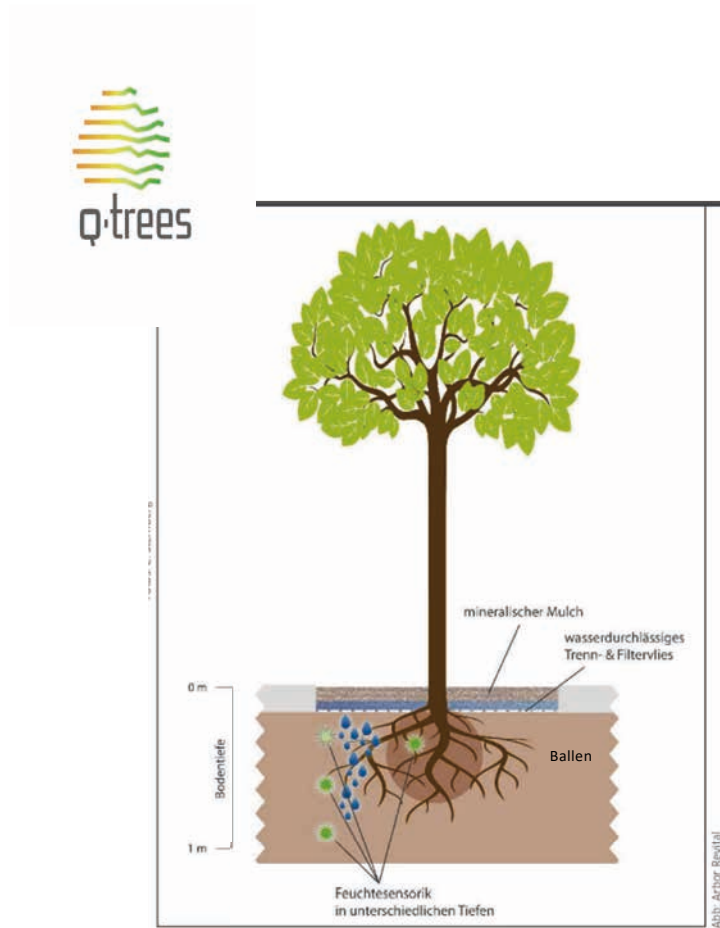
- Messung des Saftstroms im Kambium bzw. Xylem
- Ergebnis: **Relativer Wert → eigene Referenz nötig, d.h.: kein Literaturabgleich möglich**
- Müncheberg 2023-25, 1. Vorversuch mit 8 Sensoren an 2 *Tilia cordata*, jeweils 4 Stück an gleichrangigen Ästen des selben Baumes
- 1. Versuchsfrage: Streuung der Werte untereinander zur Überprüfung der Aussagekraft von Einzelwerten
- 2. Versuchsfrage: Praxistauglichkeit u. a. Wartungsaufwand

- 1 Kategorisierung von Baumstandorten zur Bildung von Gruppen mit vergleichbaren Gehölzen
- 2 Exemplarische Instrumentierung von Gehölzen einer jeden Kategorie
- 3 Festlegen einer bedarfsorientierten Bewässerungsstrategie zur Instrumentierung
- 4 Wiederkehrende Bewertung der Bodenfeuchte
- 5 Ableitung von Bewässerungsempfehlungen über die Gießsaison (i.d.R. wöchentlich)
- 6 Evaluierung der Gehölzvitalität und ggf. Wurzelentwicklung zur Überprüfung und ggf. Anpassung der Bewässerungsstrategie in der Veg.- Pause für die folgende Gießsaison
- 7 Einbindung von Messtechnik für Pflanzendaten zur differenziertere Anpassung der BWS an den tatsächlichen physiologischen Bedarf
- 8 **Datenauswertung mit künstlicher Intelligenz, digitale Zwillinge, Modellierung des Wasserhaushaltes (Baum & Boden) ohne Technikeinsatz**

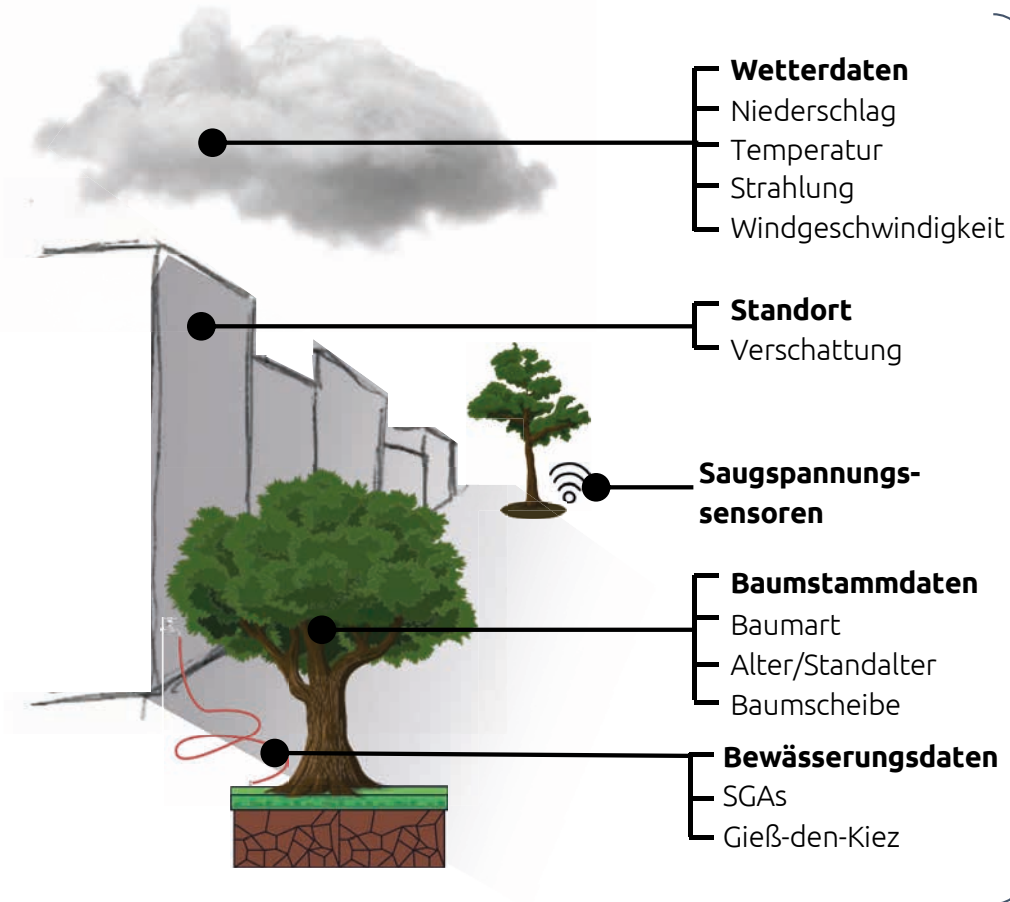


Interdisziplinarität ist der Schlüssel



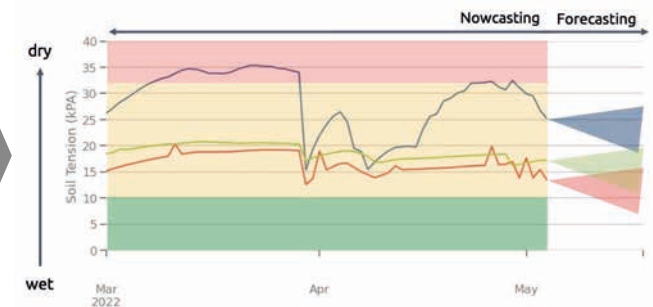


- Ca. 120 Messpunkte in Mitte
- Ca. 60 Messpunkte in Neukölln
- Messung in drei Tiefen (30,60,90 cm) mit teilw. NB-IoT
- Datenübertragung
- "Je höher die Spannung, desto trockener der Boden" (Strohalm-Prinzip)



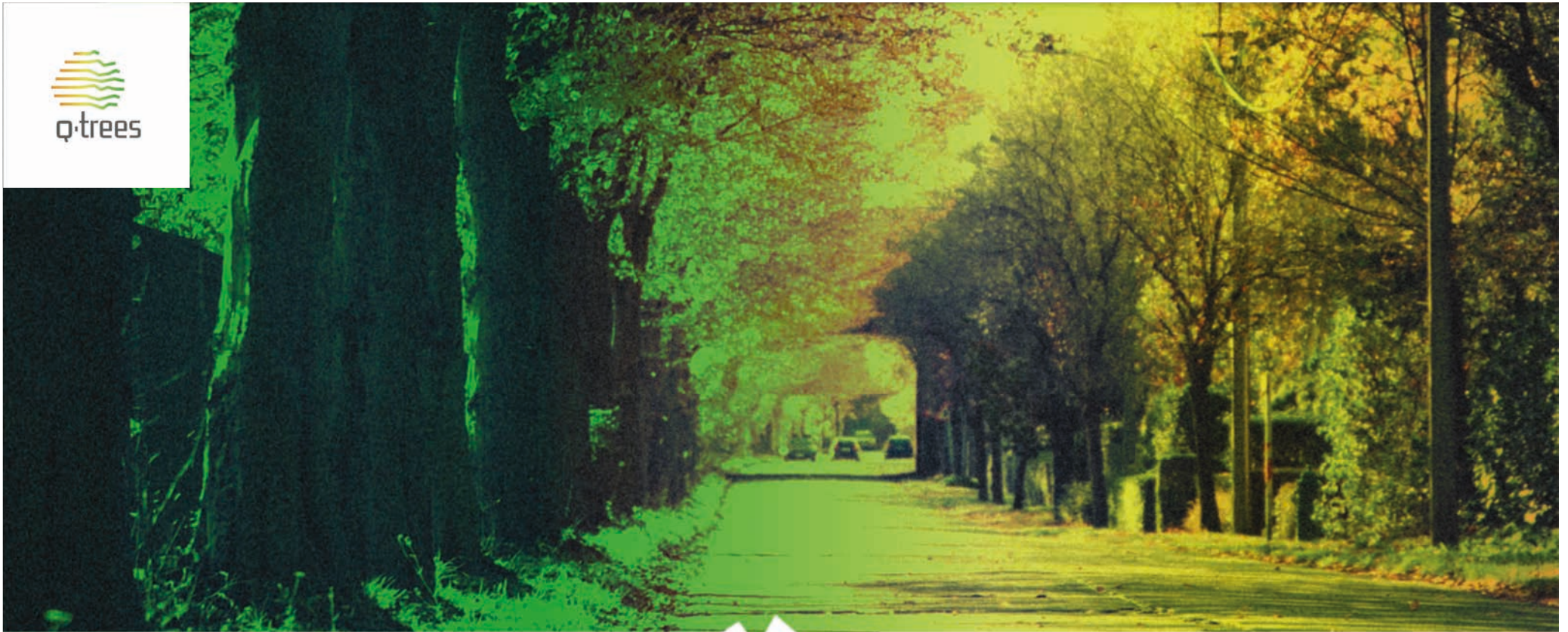
Machine Learning

1. "Nowcast" (jetzt)
2. Vorhersage (2Wochen)





- Förderprojekt offiziell seit Ende September 2023 abgeschlossen
- Anschlussförderung in gleicher Förderrichtlinie nicht möglich
- u.a. Gespräche mit Gieß-Dienstleister und anderen Städten
- API und Dashboard bereits nutzbar, allerdings (noch) **eingeschränkter Prognosekraft**



Julia Zimmermann
Projektleitung

julia.zimmermann@ts.berlin.de



Myrian Rigal
Senior Product Manager

myrian.rigal@ts.berlin.de



- Dynamische sensorgestützte Systeme ermöglichen eine bedarfsgerechte Bewässerung in trockenen Jahren und ein großes Einsparpotenzial in feuchten Jahren
- Kontrolle von Einzelbäumen mit Sensortechnik ist (im Normalfall) ökonomisch nicht zurechtfertigen
- Eine Stichprobe von mindestens 5 Gehölzen bzw. Messstellen pro Standortbegebenheit ermöglicht praktikable und ausreichend sichere sensorgestützte Bewertung des Bodenwasserhaushaltes
- Zur Steuerung von Wassergaben bleibt eine Plausibilitätsprüfung notwendig!
- Gute Erfahrungen mit sog. Watermark Sensoren seit 2013; Stärken und Schwächen sind bekannt!
- In Abhängigkeit zum Anwendungsfall v.a. der Dauer ist die Kombination verschiedener Technik möglich und in Anwendung (z.B. Beispiel Bremerhaven 9 / 2024)

Ohne individuelle pF-Kurve lassen sich Grenzwerte der Bodenwasserspannung für natürliche Böden ableiten; jedoch für Baumsubstrate ließen sich diese bislang nur durch entsprechende Feldbeobachtungen abschätzen

Durch bodenphysikalische Analysen von Böden/Baumsubstraten hinsichtlich ihrer nutzbaren Wasserspeicherkapazität (nWSK) würde zukünftig:

- Die Wahl der Sensoren frei gestaltbar (auch volumetrische Sensoren), da sich über die spezifische pF-Kurve die unbekannte Messgröße ableiten lässt
- Untersuchungen zur sog. Abtrocknungsmethode zur Ermittlung der nWSK v.a. für technogen Substrate, Veröffentlichung vorgesehen für 2025/26
- ➔ **„Methode 2.0“** mit bodenphysikalischer Analyse der nWSK + langlebige Sensoren:
 - Messgenauer
 - Unabhängiger
 - Nachhaltiger
 - Günstiger im Unterhalt
 - Jedoch teurer in der Anschaffung

Vielen Dank



Weiterhin eine tolle
Veranstaltung!