

Slimme irrigatiesturing

Sensoren en modellen
voor efficiënt waterbeer

Innovatiegids
sierteelt vollegrond

Deze brochure is een uitgave van Viaverda en kwam tot stand binnen het VLAIO LA-traject 'OrnAqua: een nieuw referentiekader voor irrigatie voor efficiënter watergebruik in de openluchtsiereteelt', uitgevoerd door Viaverda, Universiteit Gent en Bodemkundige Dienst van België, en gefinancierd door het Agentschap Innoveren & Ondernemen.



Colofon

Auteurs: Paulien De Clercq (Viaverda/UGent), Isolde De Beule (Viaverda),

Aster De Vroe (Bodemkundige Dienst van België)

Eindredactie: Kathy Van Belleghem (Viaverda)

Vormgeving: Evelien Van Conkelberge (Viaverda)

Fotografie: Viaverda, tenzij anders vermeld

Druk: Graphius

Depotnummer: D/2025/16183/0001

Verantwoordelijke uitgever: Bruno Gobin (Viaverda)

Schaessestraat 18, 9070 Destelbergen, België

© Viaverda 2025 - Alle rechten voorbehouden: niets uit deze uitgave mag, geheel of gedeeltelijk, vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden zonder voorafgaand schriftelijk akkoord van de uitgever. De auteur en uitgever streven naar betrouwbaarheid van de gepubliceerde informatie waarvoor ze echter niet aansprakelijk kunnen worden gesteld.

Een digitale versie vind je op www.viaverda.be.

Volg ons ook op sociale media



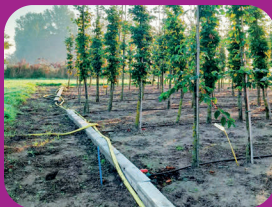
Edito

Gericht irrigeren bij droogte

Om tegemoet te komen aan de grote vraag van telers naar hulpmiddelen voor irrigatiesturing bij droogte, bundelt deze brochure een overzicht van geschikte bodem- en plant-sensoren en modellen.

Deze tools kunnen je helpen om irrigatie beter af te stemmen op de werkelijke plantbehoefte en dragen zo bij aan een efficiënter watergebruik.

Voor elk van deze hulpmiddelen worden de theoretische achtergrond, de werkwijze, het gebruik in de praktijk, de voor- en nadelen en de bijhorende kostprijs besproken.



Inhoud

1. Irrigatiemethoden & -technieken voor gerichte sturing	4
1. Irrigatiemethoden	5
2. Irrigatietechnieken	6
2. Bodemwaterstatus monitoren	11
1. Bepaling van volumetrisch vochtgehalte	12
2. Bepaling van bodemwaterpotentiaal	17
3. Interpretatie sensordata van bodemsensoren	20
3. Plantwaterstatus monitoren	22
1. Sapstroomsensoren	23
2. Stamdiametervariatiensensoren	28
3. Porometer	32
4. Drukboommetingen: stam- en/of bladwaterpotentiaal	35
5. Optische sensoren	38
6. Thermische sensoren	43
4. Irrigatiesturing via modellen	45
1. Penman-Monteith model	46
2. Bodemwaterbalansmodel	46
5. Rekentool en advies op maat	49
1. Rekentool	50
2. Advies op maat van je sierteeltbedrijf	50
Literatuurlijst en projectpartners	51

Irrigatiemethoden & -technieken voor gerichte sturing

Irrigatie kan je op verschillende manieren aansturen, afhankelijk van de beschikbare middelen, kennis en technologie. Dit kan gaan van irrigeren op gevoel tot geautomatiseerde irrigatie gebaseerd op sensormetingen en modelberekeningen. Je kan ook gebruikmaken van verschillende irrigatietechnieken. In dit hoofdstuk ontdek je de verschillende mogelijkheden, van eenvoudige tot meer uitgebreide methoden.



“Door teeltkennis te combineren met sensordata kan irrigatie efficiënter worden.”

1. Irrigatiemethoden

Irrigieren op gevoel

Heel vaak wordt op gevoel geïrrigeerd door jarenlange kennis van de teelt, het perceel en de bodemcondities. Door een profielput te graven kan je zien hoe diep het vocht in de bodem zit. Observeren van en voelen aan de bodem zijn hierbij de boodschap.

Irrigieren op een vast tijdstip

Op basis van kennis van het teeltsysteem kan je er ook voor kiezen om te irrigeren op een vast tijdstip in de dag of op (een) vaste dag(en) in de week aan een bepaalde dosering. In dit geval wordt er minder rekening gehouden met de werkelijke behoefte van het gewas.

Irrigieren op stralingssom

Bij deze methode wordt het irrigatiemoment afgestemd op de zonnestraling die de planten daadwerkelijk ontvangen. Hierbij wordt de dosering ingesteld afhankelijk van de teelt per joule zonnestraling. Deze techniek wordt voornamelijk gebruikt in grondloze teelt in de serre en op het containerveld.

Irrigatiesturing via bodem- en plantsensoren

Via metingen met bodem- en of plantsensoren wordt de waterstatus op bodem- en plantniveau in kaart gebracht. Indien de irrigatiedrempels en de behoeften van het gewas gekend zijn, kan je de irrigatie volledig afstemmen op de gewasbehoefte. Op deze manier wordt water efficiënt ingezet.



Installatie Teros 10 bodemsensor (Meter Group) in een profielput in de bodem.



Verschillende plant- en bodemsensoren geïnstalleerd op het laanbomenperceel bij Viaverda in Destelbergen.

Irrigatiesturing met modellen

Naast het monitoren met sensoren is ook het voorspellen mogelijk. Dit kan met modellen, zoals de Penman-Monteith-vergelijking of een bodem-waterbalansmodel, waarmee de gewasverdamping en de evolutie van het bodemvocht in kaart worden gebracht. Dit gebeurt op basis van weersgegevens, plant- en bodemkarakteristieken.

2. Irrigatietechnieken

Naast het tijdstip van irrigatie is ook de gekozen irrigatietechniek van belang. De keuze hangt af van meerdere factoren, zoals het type gewas, de beschikbare watervoorzieningen op het perceel, de gewenste frequentie van irrigatie, type onkruidbestrijding,... Bij teelten met een hoge plantdichtheid, zoals bosplantsoen en potchrysanten, zijn sprinklers of een haspel met kanon vaak geschikte opties. Voor gewassen met een lagere plantdichtheid, zoals laanbomen, kan je er voor kiezen om gebruik te maken van druppelslangen voor irrigatie.

Wanneer er geen vaste watervoorzieningen aanwezig zijn op het perceel, kan je creatief omspringen met irrigatie. Zo kan je bijvoorbeeld een 1.000 liter IBC-vat met een druppelslang op het perceel plaatsen om toch in de cruciale periode je teelt van water te voorzien. Hou er wel rekening mee dat de hoeveelheid water op deze manier beperkt blijft, aangezien watertransport over de weg vrij kostelijk is.

Kostenefficiëntie

Irrigatie met een haspel kent een hoge operationele kost door het hogere energieverbruik dan bij irrigatie met druppelslangen. Druppelslangen zijn eerder minder duurzaam en moeten regelmatig vervangen worden, wat leidt tot een hogere jaarlijkse investeringskost.

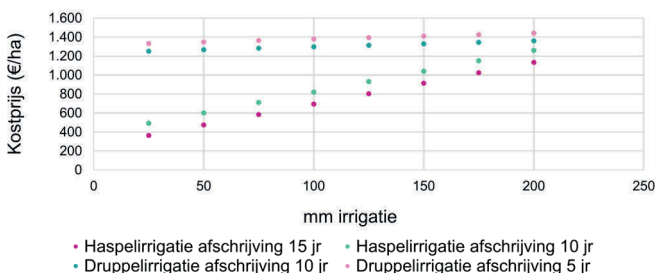
Uit onderzoek in de groenteteelt blijkt dat druppelslangen economisch interessanter worden ten opzichte van een haspel vanaf een watergift van ± 200 mm/ha. Op dit punt wegen de hoge energiekosten van de haspel zwaarder door dan de investeringskosten van de druppelslangen.

De uiteindelijke keuze wordt uiteraard beïnvloed door meerdere factoren, zoals arbeid, aantal percelen, uniformiteit van watergift, teeltduur, ziektegevoeligheid van het gewas,...

Wil je specifiek voor jouw perceel een inschatting maken van de kosten?

Dan kan je gebruikmaken van onze rekentool (zie pagina 49).

Kostenvergelijking irrigatietechnieken



Kostenvergelijking bij irrigatie met een druppelslang ten opzichte van irrigatie met een haspel in functie van de watergift. Bron: DRIP-project, Bodemkundige Dienst van België.

Dunwandige druppeltape

Dunwandige druppeltape is een dunne, platte kunststofslang met kleine openingen op regelmatige afstanden. De tape is verkrijgbaar in verschillende formaten, wanddiktes en druppelafstanden.

Gebruik

De tape wordt op de rij in het gewas geïnstalleerd. Dit is voornamelijk geschikt voor gebruik in korte rijen, omdat de slang niet drukgecompenseerd is. Bij langere rijen ontstaat een ongelijkmatige afgifte door drukverlies. De levensduur is meestal beperkt tot 1 à 2 groeiseizoenen.

Debiet

± 1-3 l/uur, afhankelijk van de druppelafstand en werkdruk.

Benodigd pompvermogen

Pomp met een gemiddeld vermogen van ± 3 kW nodig.

Arbeid

- Voorbereiding ± 8 uur per ha, verwijdering ± 2 uur per ha.
- Tijdens de irrigatie ± 0,1 uur/beurt, afhankelijk van de grootte van het perceel, voor controle op eventuele lekken, enz.

Efficiëntie

100%, water wordt rechtstreeks toegediend op de rij, ter hoogte van de wortelzone.

Richtprijs

€ 0,10 - 0,20 per lopende meter.



Ervaringen

Voordelen

- Water wordt rechtstreeks toegediend aan de wortelzone.
- Lagere pompcapaciteit t.o.v. haspelirrigatie nodig.
- Het gewas blijft droog, er is dus een lagere infectiedruk.
- Lager in aankoop prijs dan dikwandige druppelslangen.

Nadelen

- Te vervangen na 1 à 2 groeiseizoenen, wekerende kost.
- Geen drukcompensatie, ongelijkmatige afgifte in langere rijen.
- Het perceel wordt minder toegankelijk voor mechanische onkruidbestrijding.
- Systeem is niet mobiel. Bij irrigatie op meerdere percelen is aankoop en installatie meerdere malen nodig.
- Gevoelig aan vraatschade.

Dikwandige druppeltape

Een dikwandige druppelslang is een ronde geperforeerde slang, vaak gemaakt uit polyethyleen, met op regelmatige afstand kleine openingen die druppelsgewijs water afgeven aan de bodem.

Gebruik

De druppelslang wordt op de rij in het gewas geïnstalleerd. Deze slangen kunnen drukgecompenseerd zijn via kleine labyrintjes, waardoor ze op lange rijen gelijkmatig water afgeven.

Debiet

± 1-3 l/uur afhankelijk van druppelafstand en werkdruk.

Benodigd pompvermogen

Pomp met een gemiddeld vermogen van ± 3 kW nodig.

Arbeid

- Voorbereiding ± 8 uur/ha, verwijdering ± 2 uur/ha.
- Tijdens de irrigatie ± 0,1 uur/beurt, afhankelijk van de grootte van het perceel, voor controle op eventuele lekken, enz.

Efficiëntie

100%, water wordt rechtstreeks toegediend op de rij, ter hoogte van de wortelzone.

Richtprijs

€ 0,80 - 1,20 per lopende meter.



Ervaringen

Voordelen

- Water wordt rechtstreeks toegediend aan de wortelzone.
- Lagere pompcapaciteit t.o.v. haspelirrigatie nodig.
- Het gewas blijft droog, er is dus een lagere infectiedruk.
- Meer gelijkmatige afgifte t.o.v. dunwandige tape.
- Door dikkere wand minder gevoelig aan vraatschade t.o.v. van dunwandige tape.

Nadelen

- Te vervangen na enkele groeiseizoenen, wekerende kost.
- Perceel is minder toegankelijk voor mechanische onkruidbestrijding.
- Systeem is niet mobiel. Bij irrigatie op meerdere percelen is aankoop en installatie meerdere malen nodig.

Haspel met kanon

Bij irrigatie met haspel en kanon wordt een waterkanon gekoppeld aan een lange darm die op een haspel is opgerold.

Gebruik

Tijdens de irrigatie wordt het kanon langzaam teruggetrokken over het perceel terwijl het water onder hoge druk in een brede straal wordt verspreid. Dit systeem is mobiel en kan tussen verschillende percelen worden verplaatst, waardoor het flexibel inzetbaar is binnen één groeiseizoen.

Debiet

- Kleine types: $\pm 7,5 \text{ m}^3/\text{uur}$.
- Middelgrote types: $\pm 25 \text{ m}^3/\text{uur}$.
- Grote types: $\pm 50 \text{ m}^3/\text{uur}$.

Benodigd pompvermogen

- Kleine types: $\pm 3 \text{ kW}$.
- Middelgrote types: $\pm 11 \text{ kW}$.
- Grote types: $\pm 22 \text{ kW}$.

Arbeid

Arbeid nodig voor het installeren en verplaatsen van de haspel $\pm 5 \text{ à } 10 \text{ min/mm/ha}$.

Efficiëntie

$\pm 80\%$, verlies van efficiëntie door verdamping en drift.

Richtprijs

- Kleine types: € 3.000 - 5.000
- Middelgrote types: € 10.000 - 20.000
- Grote types: € 50.000 - 100.000



Ervaringen

Voordelen

- Mobiele installatie, dus verplaatsbaar tussen percelen.
- Eenmalige aankoop.
- Geschikt voor irrigatie op grote schaal bij grote oppervlaktes.
- Lange levensduur bij goed onderhoud.

Nadelen

- Regelmatige verplaatsing nodig tussen percelen, wat tijd en arbeid vraagt.
- Verlies van efficiëntie door verdamping en drift.
- Hogere energievraag t.o.v. druppelirrigatie.



Weerstation nabij het proefperceel van Viaverda.



Installatie van bodemsensoren op het veld.



Dataloggers in een laanbomenperceel bij Boomkwekerij Weymeersch te Wetteren. Sensordata is via een cloud-netwerk beschikbaar vanop afstand.



Verschillende bodem- en plantsensoren geïnstalleerd in het veld bij Viaverda, een zonnepaneel levert de nodige energie.

Samengevat

Er zijn verschillende manieren om irrigatie te sturen: op gevoel, op vaste tijdstippen, op basis van de stralingssom, met bodem- of plantsensoren of met modellen. Welke methode je kiest, hangt af van de beschikbare middelen, de teelt en je ervaring.

Irrigatie kan je ook toepassen door middel van verschillende technieken. De keuze hangt af van onder meer plantdichtheid, kostprijs, arbeid, infectiedruk in het gewas, waterbeschikbaarheid,... Om een inschatting te maken van de kostprijs van irrigatie, kan je steeds de rekentool raadplegen (zie pagina 49).

Bodemwaterstatus monitoren

Er bestaan verschillende bodemsensoren om bodemparameters te meten. Voor irrigatiesturing zijn vooral het volumetrisch vochtgehalte en de bodemwaterpotentialaal interessant. Door deze parameters continu op te volgen, kan je het verloop van het bodemvocht in de gaten houden en weet je precies wanneer je moet ingrijpen.



1. Bepaling van volumetrisch vochtgehalte

Het volumetrisch bodemvochtgehalte (%vol) geeft de hoeveelheid water weer die aanwezig is in een bepaalde hoeveelheid bodem. Sensoren die het volumetrisch vochtgehalte bepalen, maken doorgaans gebruik van één van de volgende meetprincipes:

- Frequency Domain Reflectrometry (FDR)
- Time Domain Reflectrometry (TDR)

Ruwe sensordata (in volt) worden via een kalibratiecurve, al dan niet specifiek voor de bodem, omgerekend tot het volumetrisch vochtgehalte.

Voor een representatieve meting installeer je deze sensoren best op 15 cm diepte, binnen de wortelzone, gezien deze zone het meest gevoelig is voor irrigatie.

FDR-sensoren

Frequency Domain Reflectrometry sensoren zenden elektromagnetische pulsen uit in de bodem en meten de frequentie waarmee deze signalen door de bodem en de bodemdeeltjes worden teruggekaatst. De gereflecteerde frequentie is afhankelijk van het vochtgehalte van de bodem. De waterdeeltjes zullen onder meer de elektromagnetische pulsen beïnvloeden.

TDR-sensoren

Time Domain Reflectrometry sensoren maken eveneens gebruik van elektromagnetische pulsen, maar meten in dit geval de tijd die de puls nodig heeft om zich door de bodem te verplaatsen. De snelheid waarmee de

“Met de infofiches uit deze brochure kan je de geschikte sensoren voor de irrigatie van je teelt kiezen. Je goed informeren loont.”

puls zich verplaatst in de bodem wordt onder meer beïnvloed door de bodemwaterdeeltjes en dus het vochtgehalte van de bodem.

Uitlezen sensordata

Vaak kan dit type sensoren aangesloten worden op een datalogger die de metingen draadloos naar een online platform verstuurt. De metingen worden aan de hand van een kalibratiecurve omgezet naar het volumetrisch bodemvochtgehalte (%vol). Voorbeelden van geschikte modules zijn deze aangeboden door Crodeon, Meter Group of IO-Things.

Tabel 1: Kostprijs voor module met 3 gekoppelde Teros 10 bodemsensoren (2025).

Module	Kostprijs
Crodeon	€ 1.600 + € 180 jaarlijks abonnement
Meter Group	€ 1.300 + € 70 jaarlijks abonnement
IO-Things	€ 1.200 (logger en 3 sensoren) + € 35 jaarlijks abonnement

1a

Volumetrisch vochtgehalte (%vol)

Teros 10 sensor

Teros 10 sensoren meten het volumetrisch vochtgehalte (%vol) volgens het FDR-principe.

Bedrijf

Meter Group.

Gebruik

Je installeert de sensoren horizontaal op worteldiepte (ca. -15 cm) in een onverstoord bodemprofiel. Voor een nauwkeurige meting combineer je bij voorkeur minstens 3 sensoren, op ongeveer 1,5 m afstand. Zo krijg je één gemiddelde waarde.

Nauwkeurigheid

± 3% in minerale bodems met EC < 8 dS/m.

Automatisering

Ja, indien gekoppeld met datalogger verbonden met netwerk.

Kalibratie

De leverancier levert een kalibratiecurve voor minerale bodems.

Richtprijs

€ 155 per sensor.

**Ervaringen****Voordelen**

- Continue metingen.
- Accuraat.

Nadelen

- Duurdere sensoren want ze worden meestal in module met drie gekoppelde sensoren aangekocht.
- Aankoop van een datalogger vereist.
- Kabels gevoelig voor vraatschade en mechanische bodem- en onkruidbewerkingen.

Gebruiksvriendelijkheid

Eenvoudige installatie.

Opvolging van op afstand mogelijk na koppeling aan een datalogger verbonden aan een online platform. Opletten bij bodem- en onkruidbewerkingen dat er geen kabels geraakt worden, door ze bv. te beschermen met een PVC-buis.

1b

Volumetrisch vochtgehalte (%vol)

TMS 4 Tomst gazondolk

Tomst gazondolken meten het volumetrisch vochtgehalte (%vol) volgens het TDR-principe. Naast het vochtgehalte meet de sensor ook de temperatuur op 15 cm diepte, bij het bodemoppervlak en op 10 cm boven het bodemoppervlak.

Bedrijf

Tomst.

Gebruik

Je plaatst de probe in de bodem tot op worteldiepte (ca. -15 cm). Zorg ervoor dat de probe in contact staat met een onverstoorde bodem voor een nauwkeurige meting. Het is aangeraden om minstens 3 sensoren te combineren voor een gemiddelde waarde.

NauwkeurigheidTemperatuur $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.**Automatisering**

Neen, niet mogelijk.

Kalibratie

De leverancier levert een kalibratiecurve voor verschillende bodemtypes.

Richtprijs

€ 99 - 141 per sensor.

**Ervaringen****Voordelen**

- Continue metingen.
- Lange levensduur batterij en robuust.
- Simultaan ook meting bodemtemperatuur.
- Relatief goedkope sensoren want ze hoeven niet met module verbonden te worden.

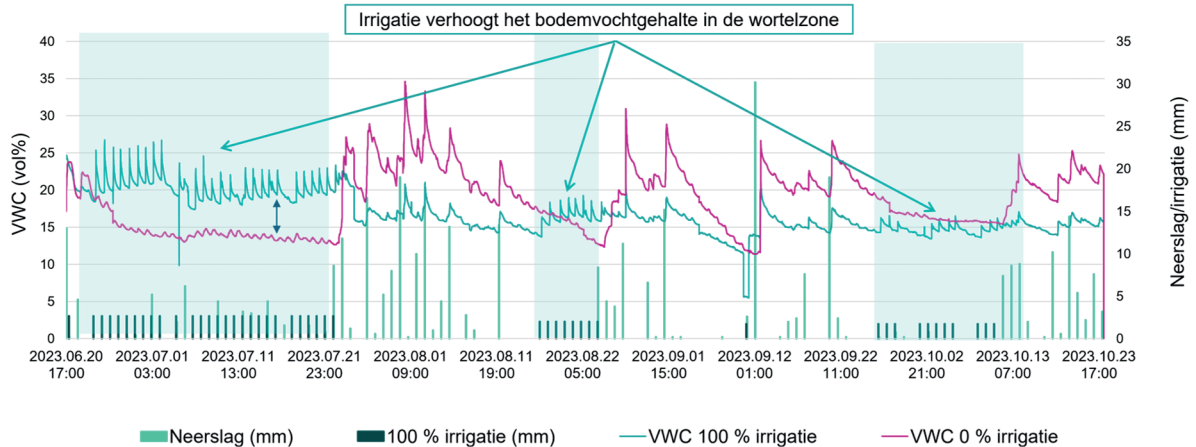
Nadelen

- Data is niet van op afstand beschikbaar, uitlezen moet handmatig in het veld.
- Minder accuraat t.o.v. Teros 10.

Gebruiksvriendelijkheid

Eenvoudige installatie. Opletten bij bodem- en onkruidbewerkingen dat er geen kabels geraakt worden, door ze bv. te beschermen met een PVC-buis.

Volumetrisch vochtgehalte bij *Carpinus*



Wijzigingen in het bodemvochtgehalte gemeten met de TMS 4 gazondolk in een zandbodem op 15 cm diepte bij irrigatie vs. geen irrigatie. Tijdens het groeiseizoen, weergegeven op de figuur, werd er gedurende drie periodes (gekleurde vlakken) geïrrigeerd. Na een irrigatiebeurt wordt het effect van de irrigatie zichtbaar en stijgt het vochtgehalte in de bodem aanzienlijk ten opzichte van de niet-geïrrigeerde bodem. In het najaar (derde gekleurde vlak) is het effect van irrigatie verdwenen. Na een regenbui volgen beide curves eenzelfde patroon. Op basis van het bodemvochtverloop en de weersvoorspellingen kan er tijdig worden ingegrepen, door te irrigeren zodra een langdurige daling zichtbaar wordt of een vooraf bepaalde drempelwaarde wordt overschreden.

1c

Volumetrisch vochtgehalte (%vol)

SMT100

De SMT100 meet het volumetrisch vochtgehalte (%vol) en de bodemtemperatuur volgens het TDR-principe.

Bedrijf

Truebner.

Gebruik

Je graaft de probe met behuizing horizontaal in nabij de wortelzone van de plant.

Zorg voor een goed contact met de bodem en vermijd luchtballen rond de sensor.

Nauwkeurigheid

± 3% in minerale bodems met gematigde EC.

Automatisering

Ja, indien gekoppeld met datalogger verbonden met netwerk.

Kalibratie

Aan de hand van bodemvochtstalen worden absolute waarden bijgestuurd.

Richtprijs

€ 80 per sensor.



©KU Leuven

Ervaringen**Voordelen**

- Rechtstreekse meting bodemvochtgehalte.
- Accuraat.
- Niet noodzakelijk om pF-curve van bodem op te stellen.
- Relatief goedkope sensoren indien niet verbonden met module.

Nadelen

- Weinig robuust.
- Vallen regelmatig uit waardoor waarden periodiek ontbreken.

Gebruiksvriendelijkheid

Eenvoudige installatie.

Opvolging van op afstand mogelijk na koppeling aan een datalogger verbonden aan een online platform. Opletten bij bodem- en onkruidbewerkingen dat er geen kabels geraakt worden, door ze bv. te beschermen met een PVC-buis.

2. Bepaling van bodemwaterpotentiaal

De bodemwaterpotentiaal is een maat voor de energie die nodig is om water uit de bodem op te nemen. Het geeft aan hoe gebonden het water in de bodem zit en hoe makkelijk of moeilijk het voor planten is om dat water op te nemen via hun wortels.

Hoe droger de bodem wordt, hoe sterker water gebonden zit, hoe moeilijker het opgenomen kan worden via de plantenwortel en hoe negatiever de bodemwaterpotentiaal wordt.

De bodemwaterpotentiaal wordt meestal uitgedrukt in negatieve drukwaarden of als een pF-waarde. De bodemwaterpotentiaal kan bepaald worden aan de hand van een tensiometer.

Tabel 2: Voorbeeldwaarden voor een zand- en kleibodem.

Parameter	Bodemwater potentiaal (MPa)	pF-waarde
Zandbodem		
Verzadigde bodem	0	0
Veldcapaciteit	-0,008	1,9
Verwelkingspunt	-1,55	4,2
Kleibodem		
Verzadigde bodem	0	0
Veldcapaciteit	-0,02	2,3
Verwelkingspunt	-1,55	4,2

Bron: Bodemkundige Dienst van België.

Het bodemvocht is over het algemeen beschikbaar tussen de veldcapaciteit (pF 2) en het verwelkingspunt (pF 4,2). Door de veldcapaciteit en het verwelkingspunt van je bodem te kennen, kan je op basis van de bodemwaterpotentiaal inschatten hoeveel vocht voor je gewas beschikbaar is.

Werkingsprincipe

Een tensiometer meet de zuigspanning in de bodem, of beter gezegd de kracht die planten moeten uitoefenen om water uit de bodem op te nemen. Het toestel bestaat uit een met water gevulde buis met onderaan een poreuze keramische kop en bovenaan een drukketer.

Bij het plaatsen van de tensiometer in de bodem ontstaat er een evenwicht tussen het water in de buis en het vocht in de bodem. Als de bodem droog is, wordt het water uit de buis door de poreuze kop naar de bodem getrokken en ontstaat er een onderdruk in de buis. Deze onderdruk geeft de zuigspanning weer die ook door de plantenwortels moet overwonnen worden.

“Door de bodemwaterpotentiaal op te volgen, kan je inschatten hoeveel water er voor je gewas beschikbaar is.”

Irrrometer tensiometer

De Irrrometer tensiometer meet de zuigspanning van de bodem, de mate waarin het vocht vastgebonden zit in de bodem.

Bedrijf

Irrrometer.

Gebruik

Je installeert de meter in de wortelzone van de plant. Plaats de sensor bij voorkeur in een vochtige bodem, na een regenbui of irrigatiebeurt. Zorg ervoor dat de keramische kop goed contact maakt met de bodem en dat er geen luchtbelletjes rond de sensor aanwezig zijn.

Nauwkeurigheid

$\pm 3\%$

Automatisering

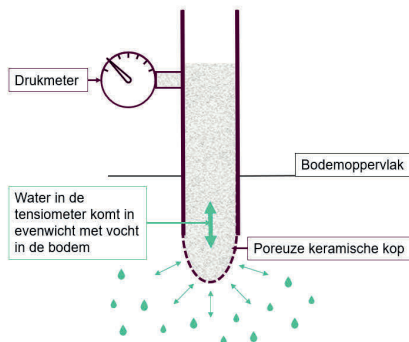
Ja, uitlezen kan manueel, via een infield datalogger of via een datalogger verbonden met een cloud-netwerk.

Kalibratie

Niet vereist bij deze sensor.

Richtprijs

€ 100 per sensor.

**Ervaringen****Voordelen**

- Rechtstreekse meting van de bodemwaterpotentiaal.
- Relatief goedkoop.

Nadelen

- Werkt niet op zeer droge grond.
- Kwetsbaar voor insluip van luchtbelletjes.

Gebruiksvriendelijkheid

Eenvoudige installatie.

Watermark 200ss

De Watermark 200ss meet de zuigspanning van de bodem.

Bedrijf

Irrrometer.

Gebruik

Je installeert de meter in de wortelzone van de plant. Plaats de sensor in een vochtige bodem, bij voorkeur na een regenbui of irrigatiebeurt. Het is belangrijk dat de kop met granulaten goed contact maakt met de bodem, zodat er geen luchtballen rond de sensor aanwezig zijn.

Nauwkeurigheid

Geen exacte waarde gekend, beïnvloed door de temperatuur.

Automatisering

Ja, uitlezen kan manueel, via een infield datalogger of via een datalogger verbonden met een cloud-netwerk.

Kalibratie

De leverancier levert kalibratiecurves voor verschillende bodemtypes.

Richtprijs

€ 50 per sensor.



©BDB

Ervaringen**Voordelen**

- Relatief goedkoop.

Nadelen

- Werkt niet op zeer droge grond.
- Na enkele jaren is de beschermende gipslaag rondom de kop met granulaten opgebruikt, vervanging om de vier jaar wordt aanbevolen.

Gebruiksvriendelijkheid

Eenvoudige installatie. Opletten bij bodem- en onkruidbewerkingen dat er geen kabels geraakt worden, door ze bv. te beschermen met een PVC-buis. Data is vanop afstand te raadplegen.

Opgelet

Op een zwaardere bodem wordt er aangeraden om gebruik te maken van de Watermark 200ss in plaats van de Irrrometer tensiometer.

3. Interpretatie sensordata van bodemsensoren

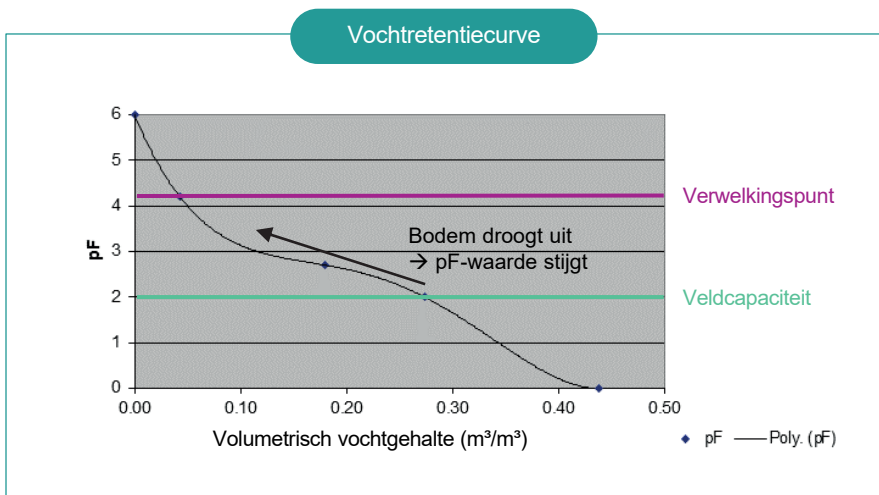
Om het volumetrisch bodemvochtgehalte te gebruiken voor irrigatiesturing, dien je deze waarde te koppelen aan de bodemvochtreterentiecure van jouw bodem en de vooraf bepaalde interventiedrempel (zie verder) voor irrigatie van het gewas. De bodemwaterpotentiaal is direct interpreteerbaar indien de interventiedrempel gekend is. Bij droogte daalt het vochtgehalte van de bodem, en neemt de pF-waarde (de zuigspanning) van de bodem toe.

Bodemvochtreterentiecure

De bodemvochtreterentiecure, ook wel pF-curve genoemd, geeft de relatie tussen het bodemvochtgehalte en de zuigspanning (of de waterpotentiaal) van een specifieke bodem weer.

Deze curve geeft aan hoeveel water er beschikbaar is voor de planten bij een variërende zuigspanning. Naarmate de bodem droger wordt, stijgt de zuigspanning: het water wordt sterker gebonden aan de bodemdeeltjes. Dit wil zeggen dat de planten meer moeite moeten doen om het water op te nemen.

De vochtreterentiecure is essentieel voor irrigatiemanagement, omdat ze aangeeft bij welk vochtgehalte water nog beschikbaar is voor de plant, het zogenaamde plantbeschikbare vocht, en bij welk punt ingrijpen noodzakelijk is. Het bodemvocht zal over het algemeen beschikbaar zijn tussen de veldcapaciteit (pF 2) en het verwelkingspunt (pF 4,2).



Vochtreterentiecure van de zandbodem (0-30 cm) bij Viaverda in Destelbergen.

Samengevat

1. Een goede irrigatiestrategie kan beginnen met het opvolgen van het bodemvochtgehalte van de bodem. Dit kan je doen via sensoren die het volumetrisch vochtgehalte (%vol) of de bodemwaterpotentiaal meten. Beide types sensoren geven een beeld van de watertoestand in de bodem.
2. Bodemvochtsensoren meten hoeveel water er in de bodem aanwezig is. Vaak worden deze geïnstalleerd in de wortelzone, op 15 cm diepte. Voor correcte metingen raden we aan om minstens drie sensoren te installeren voor één representatieve meting. Voorbeelden van sensoren zijn: Teros 10, TMS 4 en SMT100.
3. Sensoren die de zuigspanning bepalen, meten hoe 'hard' planten moeten werken om water op te nemen. Voorbeelden van sensoren zijn: Irrrometer tensiometer en Watermark 200ss.

Hoe gebruikmaken van bodemsensoren?

Sensorwaarden dienen gekoppeld te worden aan een bodemvochtretentiecurve, die de relatie toont tussen het bodemvochtgehalte en de zuigspanning van de bodem. Op basis van interventiedrempels, bv. wanneer %vol onder een drempelniveau zakt of de zuigspanning boven een grens komt, is irrigatie nodig.

Praktische tips

1. Zoek de interventiedrempelwaarden voor jouw gewastype en bodemtype op voorhand op, zodat de sensordata gemakkelijk te interpreteren is. Tijdens het OrnAqua-project werden voor enkele types teelten drempelwaarden bepaald (zie pagina 48).
2. Controleer de sensoren op regelmatige basis en let op schade aan de kabels. Schade kan je vermijden door de kabels bijvoorbeeld te beschermen in een PVC-buis. Zo gaat er geen data verloren.

Plantwaterstatus monitoren

Plantsensoren kan je gebruiken om plantparameters te meten en informatie te verzamelen over veranderingen die vaak (nog) niet met het blote oog waar te nemen zijn. Planten reageren doorgaans sneller op een verandering in het bodemvocht, dan meetbaar op bodemniveau. Parameters die je kan opvolgen zijn: sapstroomsnelheid, diametervariatie van de stam, stomatale geleidbaarheid, plantwaterpotentiaal, bladtemperatuur en de fotospectrale eigenschappen.



1. Sapstroomsensoren

Fysiologische achtergrond

De motor achter het watertransport in een plant, of beter gezegd de sapstroom (uitgedrukt in gram per uur), is de verdamping van water uit de bladeren. Dit proces wordt transpiratie genoemd.

Water in de plant vormt één ononderbroken ketting van water-moleculen. Het wordt door de wortels opgenomen uit de bodem en verplaatst zich vervolgens via de stengel of stam naar de bladeren. De verdamping in de bladeren creëert als het ware een trekkracht doorheen de plant die ervoor zorgt dat het water omhoog stroomt. De sapstroom in de plant kan gemeten worden aan de hand van sapstroomsensoren. Hieruit kan het waterverbruik van de plant bijvoorbeeld op dag-niveau berekend worden.

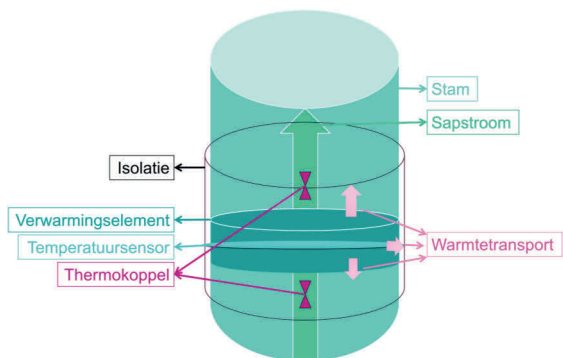


Weringsprincipe sapstroomsensor

Een sapstroomsensor omvat de volledige stengel of stam van de plant en bestaat uit een verwarmingselement, twee thermokoppels en een temperatuursensor.

Het verwarmingselement geeft warmte af aan de stengel of stam van de plant, die op haar beurt wordt meegevoerd met de sapstroom. De thermokoppels meten hoeveel van die warmte met het sap mee omhoog wordt gevoerd. Op basis daarvan kan de snelheid van de sapstroom in de plant bepaald worden in gram per uur, dit bijvoorbeeld elke 5 minuten.

Om het totale waterverbruik per dag te bepalen, worden de metingen geïntegreerd over de tijd en krijg je het waterverbruik van de plant in liter per dag.



Links: Installatie sapstroomsensor op een stam. Rechts: Opbouw van een sapstroomsensor. De warmte wordt afgegeven en vervoerd door de sapstroom. De hoeveelheid vervoerde warmte wordt gemeten door de thermokoppels.

Dynagage sapstroomsensor

Met de Dynagage sapstroomsensor kan de sapstroom, of dus het waterverbruik van de plant, bepaald worden in gram of liter per uur.

Bedrijf

Dynamax.

Gebruik

Je plaatst de sensor rondom de stengel/stam van de plant en tracht deze vervolgens zo goed mogelijk te isoleren. De sensor dient verbonden te worden met een datalogger. Er wordt aangeraden om minstens 3 sensoren te gebruiken.

Nauwkeurigheid

± 10%

Automatisering

Ja, aansluiten op een datalogger verbonden met cloud-netwerk.

Teeltgeschiktheid

Planten met een stuk rechte stengel of stam, zonder knopen. Bij voorkeur onder de bladmassa, zodat de volledige sapstroom bepaald kan worden.

Richtprijs

€ 500 - 1.500, afhankelijk van het type.



Ervaringen

Voordelen

- Realtime metingen.
- Accuraat.
- Niet destructief.

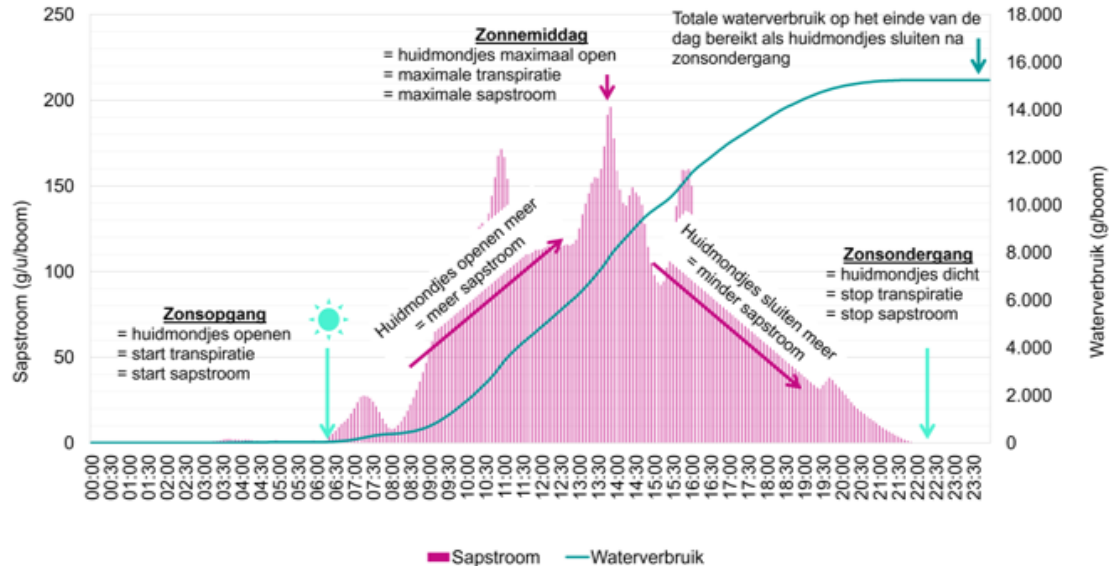
Nadelen

- Duurdere sensor.
- Gevoelig aan het klimaat.
- Kennis nodig voor de installatie.
- Tot een maximale stamdiameter van 165 mm.

Gebruiksvriendelijkheid

Kennis nodig voor de installatie en de verwerking van de data.

Dagverloop sapstroom *Carpinus*



Dagverloop sapstroom op een zonnige dag (14/05/2025) van *Carpinus* en geaccumuleerd waterverbruik.

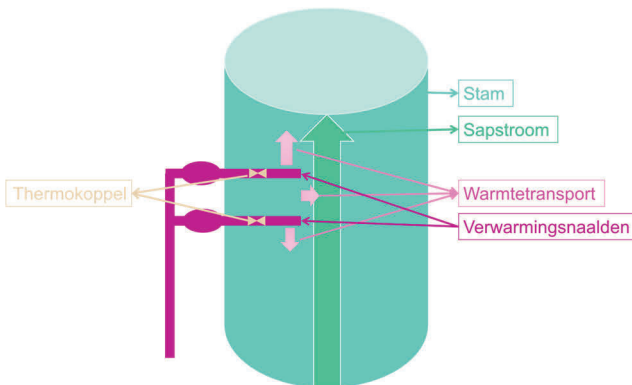
Bij een tekort aan water sluiten de huidmondjes, waardoor er minder transpiratie zal zijn en het waterverbruik lager zal liggen.

Andere types sapstroomsensoren

Bij grotere stamdiameters (> 75 mm) kan gewerkt worden met transpiratiesensoren, genaamd 'Thermal Dissipation Probes'.

Deze probes bestaan uit twee verwarmingsnaalden met elk een thermokoppel welke invasief in de stam geprikt worden op een bepaalde afstand van elkaar. De verwarmings-elementen sturen net zoals bij de sapstroomsensoren warmte uit in de stam, waarna de thermokoppels het temperatuurverschil opmeten.

Dit type sensor meet de sapstroom-snelheid in een kwartje van de stam, wat vervolgens omgerekend kan worden naar het volumetrisch sapstroomdebiet. Dit zal echter een inschatting zijn van het totale waterverbruik van de plant ten opzichte van de bepaling met stamomvattende sapstroomsensoren.



Opbouw van een transpiratiesensor 'Thermal Dissipation Probe'. De warmte wordt afgegeven via de naalden in de stam en vervoerd door de sapstroom. De hoeveelheid vervoerde warmte wordt gemeten aan de hand van thermokoppels.

Interpretatie sapstroommetingen

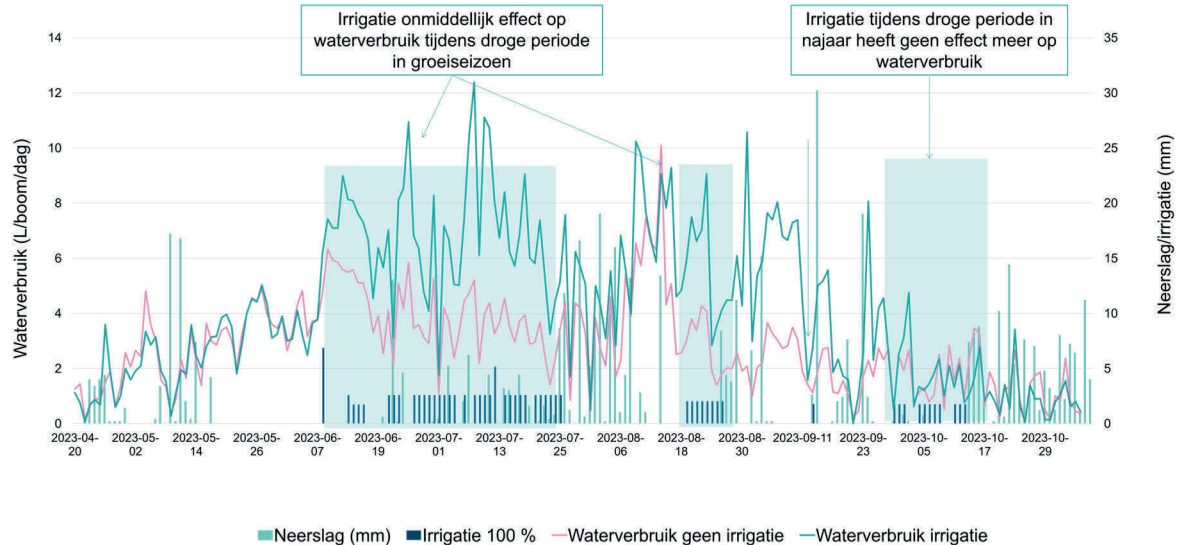
Door continu te meten hoe snel het sap door de plant stroomt, kan je over meerdere dagen zien of de plant last krijgt van droogtestress.

Onder droogtestress zien we dat de huidmondjes stelselmatig sluiten, waardoor de transpiratie en zo ook de sapstroom zullen afnemen. Het waterverbruik per dag zal dalen, wat een signaal kan zijn om te starten met irrigeren.

Let wel, de sapstroom hangt ook sterk af van het weer. Op een zonnige dag staan de huidmondjes maximaal open, maar bij bewolking sluiten deze waardoor de sapstroom zal vertragen. Op een bewolkte dag zal het waterverbruik bijgevolg lager liggen.

Daarom is het nuttig om het waterverbruik over meerdere dagen te bekijken naast het weerpatroon, zodat je beter kunt beoordelen of de plant al dan niet water nodig heeft.

Waterverbruik *Carpinus*



Verloop van het waterverbruik van een niet-geïrrigeerde en geïrrigeerde 2-jarige *Carpinus* aanplant doorheen het groeiseizoen. Vanaf de start van de druppelirrigatie ligt het waterverbruik van de geïrrigeerde bomen dubbel zo hoog ten opzichte van de niet-geïrrigeerde bomen tijdens droge periodes in de zomer. Irrigeren tijdens een droge periode in het najaar heeft geen effect meer op het waterverbruik van de bomen.

2. Stamdiametervariatiesensoren

Fysiologische achtergrond

Een plant transporteert niet alleen water van de wortels naar de bladeren, maar maakt ook gebruik van het opgeslagen water in de stengel of stam. 's Ochtens, net na zonsopgang, is de verdamping via de bladeren vaak hoger dan wat de wortels op dat moment kunnen opnemen.

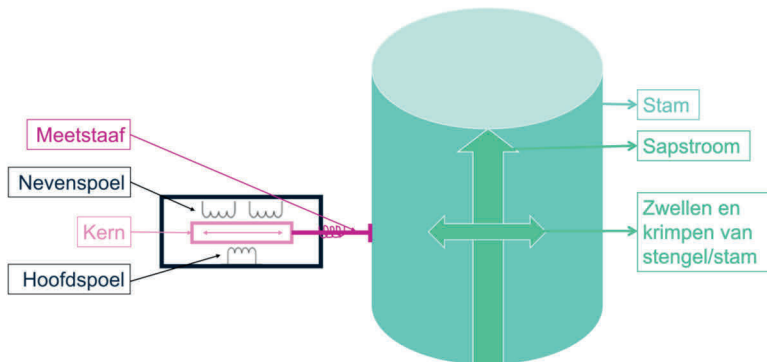
Om dit verschil te kunnen opvangen, spreekt de plant zijn interne watervoorraad in de stengel of stam aan. Daardoor krimpt de stengel/stam lichtjes. Na de zonnemiddag, als de huidmondjes stilletjes aan terug beginnen sluiten, daalt de verdamping, maar blijven de wortels nog volop water opnemen. De plant gebruikt dat water om zijn reserves terug aan te vullen, waardoor de stengel/stam opnieuw uitzet.

Tijdens deze heropvulling bouwt de plant turgordruk op in zijn cellen, wat zorgt voor een uitrekking van de cellen. De stengel/stam groeit.

Werkingsprincipe sensor

Met een puntendrometer kunnen zeer kleine veranderingen in de dikte van de stengel of stam van een plant gemeten worden.

Een dun ijzeren staafje wordt met een veer tegen de stengel of stam van de plant gedrukt. Als de stam dikker wordt, duwt deze het staafje een stukje naar binnen in de sensor. Daardoor verandert het elektrisch signaal (in millivolt) van de sensor. Aan de hand van een voorafgaande kalibratie kan dit elektrische signaal omgezet worden naar de diktegroei (mm) van de plant.



Schematische weergave opbouw en werking puntendrometer.

Solartron Metrology LVDT

Deze sensor wordt gebruikt om de dagelijkse variatie in stamdiameter (mm) van de plant te monitoren.

Bedrijf

Solartron Metrology (Dimed).

Type: displacement transducer, DC mini series.

Gebruik

Je installeert de sensor in een houder tegen de stengel of stam van de plant. Voor een betrouwbaar resultaat plaats je bij voorkeur minstens 3 sensoren.

Nauwkeurigheid

$\pm 0,25\%$

Automatisering

Ja, aansluiten op een datalogger verbonden met cloud-netwerk.

Kalibratie

Sensor dient op voorhand gekalibreerd te worden in een speciale houder.

Teeltgeschiktheid

Planten met een stuk rechte stengel of stam, zonder knopen.

Richtprijs

€ 300 - 500 per sensor.



Ervaringen

Voordelen

- Realtime metingen.
- Accuraat.
- Niet destructief.

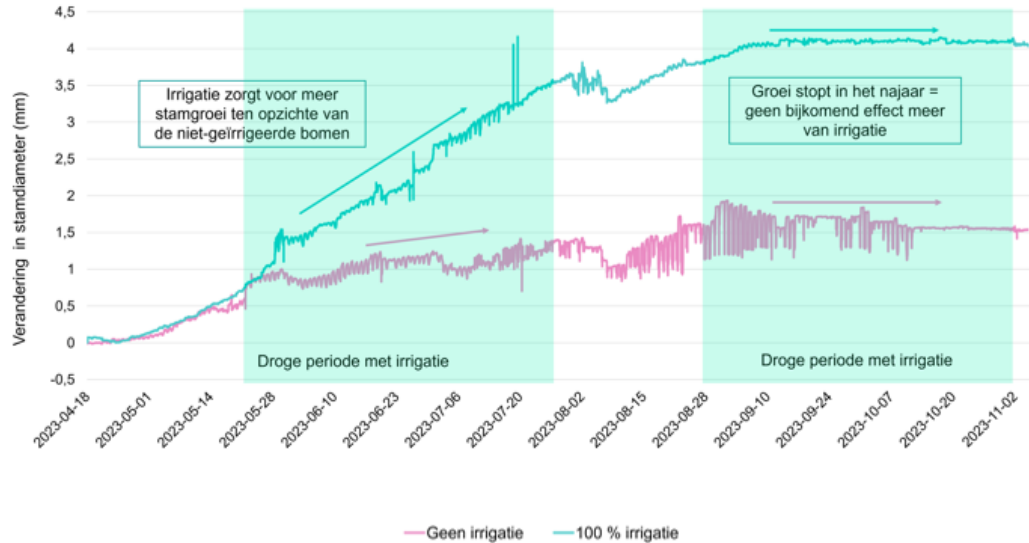
Nadelen

- Duurdere sensor.
- Kalibratie nodig.
- Kennis is nodig voor verwerking van de data.

Gebruiksvriendelijkheid

Kennis nodig voor de installatie en de verwerking van de data.

Stamdiametergroei *Carpinus*



Effect van irrigatie op de groeivariatie van de stamdiameter van 2-jarige *Carpinus*. Wanneer de bomen water kregen tijdens de droge periodes in juni en augustus nam de stamdiameter van deze bomen sterker toe ten opzichte van de bomen die geen water kregen. Dit verschil in groei verdween tijdens de droge periode in het najaar. De groei was op dit moment van het seizoen al gestopt, ondanks het nog groeizame weer.

Interpretatie metingen variatie stamdiameter

Wanneer een plant droogtestress ervaart door een verlaagde opname van water uit de bodem, dan zullen interne reserves in de stengel/stam dagelijks aangesproken worden, maar na de middag amper nog heropgevuld worden.

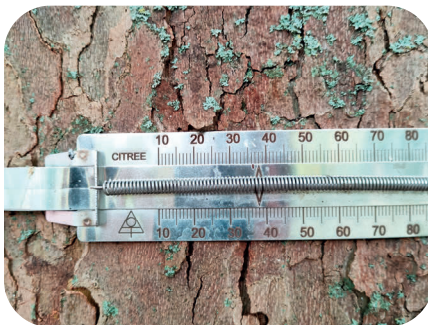
Hierdoor zal de stengel/stam over de dagen heen beginnen krimpen, dit duidt op een tekort aan water. Door te irrigeren zal er voldoende opname uit de bodem plaatsvinden, waardoor de reserves extra aangevuld worden en de stam groeit.

Ander type dendrometer

Naast de puntendrometer bestaat ook de banddendrometer, geschikt voor planten en bomen met een grotere stamdiameter.

De banddendrometer wordt rondom de stengel/stam geïnstalleerd en meet op deze manier het continu zwellen en krimpen van de stengel/stam in termen van de omtrek in plaats van de diameter.

“Met sensoren kan je
monitoren hoeveel water
de plant echt verbruikt.
Zo kan je zuiniger
met water omspringen,
een must in droge periodes.”



Links: Close-up banddendrometer. Rechts: De banddendrometer wordt rond de volledige stam van de boom angebracht. Bron: UGent.

3. Porometer

Fysiologische achtergrond

De mate van transpiratie wordt sterk beïnvloed door de openingsgraad van de huidmondjes in het blad. Deze huidmondjes kunnen, afhankelijk van verscheidene factoren zoals licht, planthormonen en droogtestress, meer of minder openstaan. Bij droogtestress sluiten de huidmondjes zich, en daalt bijgevolg de transpiratie. De openingsgraad van de huidmondjes kan nauwkeurig gemeten worden met een porometer.

Weringsprincipe

De mate waarin de huidmondjes van het blad open staan bepaalt de stomatale geleidbaarheid. Hoe hoger deze waarde, hoe beter de huidmondjes het water als het ware naar buiten geleiden. Een porometer wordt gebruikt om deze parameter te bepalen. De sensor bestaat uit een kleine meetkamer die op een transpirerend blad wordt geplaatst.

De sensor meet de stomatale geleidbaarheid door de snelheid te bepalen waarmee de relatieve luchtvochtigheid (RV) stijgt in de meetkamer op het blad. De bekomen snelheid wordt vervolgens vergeleken met de stijging van de RV bij verschillende gekende openingen van de kalibratieplaat.

Kalibratie

Voor deze meting is een nauwkeurige kalibratie vereist in dezelfde klimaatcondities waarin de planten zich bevinden. Dit wordt gedaan met een kalibratieplaatje, waarin zes types openingen met gekende diameter en weerstand zijn aangebracht. Achter het plaatje wordt een vochtig filterpapier aangebracht als simulatie van een transpirerend blad.

Bij elk type opening wordt bepaald hoelang het duurt tot de RV in de meetkamer tot een bepaald niveau stijgt. Bij kalibratie mag de omgevings temperatuur niet meer dan 5°C verschillen met de temperatuur bij de metingen.



Kalibratie van de porometer met behulp van het kalibratieplaatje.

AP4 - Porometer

De AP4 - Porometer meet de stomatale geleidbaarheid (mm/s of mmol/s.m^2) of de stomatale weerstand (s/cm), met andere woorden hoe makkelijk of moeilijk water kan verdampen via de huidmondjes. Dit is gelinkt aan hoe ver de huidmondjes openstaan.

Bedrijf

Delta-T Services.

Gebruik

De bladclip van de sensor wordt in het midden van het jongste volgroeide blad geplaatst. De duur van de meting hangt af van de openingsgraad van de huidmondjes. Er wordt aangeraden om minstens 5 metingen/plot uit te voeren.

Nauwkeurigheid

$\pm 10\text{-}15\%$

Automatisering

Nee, niet mogelijk.

Teeltgeschiktheid

Geschikt voor alle teelten met voldoende grote bladeren (min. 20 mm doorsnede).

Richtprijs

€ 7.000 - 10.000 per sensor.

**Ervaringen****Voordelen**

- Detectie stress op plantniveau.
- Niet destructief.

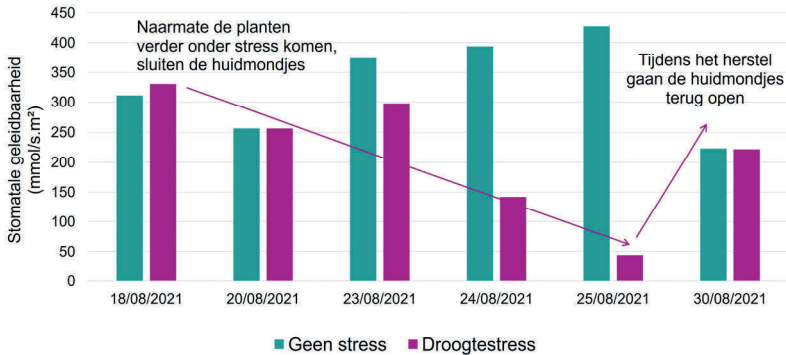
Nadelen

- Duurdere sensoren.
- Heel gevoelig aan klimaatparameters.
- Geen mogelijkheid tot automatisering.
- Tijdrovende meting.

Gebruiksvriendelijkheid

Kennis nodig over de werking van het toestel.

Stomatale geleidbaarheid *Hydrangea*



Effect van droogte op de stomatale geleidbaarheid bij *Hydrangea*. Na enkele dagen zonder irrigatie, vertonen de planten droogtestress en sluiten de huidmondjes zo goed als volledig (lage stomatale geleidbaarheid) ten opzichte van de geïrrigeerde controleplanten. Na watergift herstellen de gestresseerde planten zich en gaan de huidmondjes opnieuw open.

Interpretatie porometermetingen

Wanneer een plant droogtestress ervaart, zal hij zijn huidmondjes sluiten om zo weinig mogelijk water te verliezen. Dit wordt met de porometer gemeten als een lage stomatale geleidbaarheid.

Hoe dichter de huidmondjes zijn, hoe langer het duurt voor de RV in de kleine meetkamer tot een bepaald niveau stijgt en hoe langer de meting duurt. Tijdens de herstelperiode openen de huidmondjes zich weer snel, zodat de plant verder kan transpireren. De stomatale geleidbaarheid stijgt opnieuw.

“De plant reageert sneller op een periode van droogte dan visueel zichtbaar op plant- en bodemniveau. Plantmetingen kunnen helpen om sneller op droogte te anticiperen.”

4. Drukbommelingen: stam- en/of bladwaterpotentiaal

Fysiologische achtergrond

Water beweegt zich door de plant via het 'Soil-Plant-Atmosphere Continuum' (SPAC): een ononderbroken keten van watertransport vanuit de bodem, door de plant, naar de atmosfeer.

Dit gebeurt doordat water steeds beweegt van plekken met een meer positieve waterpotentiaal (minder zuigspanning) naar plekken met een meer negatieve waterpotentiaal (meer zuigspanning). De waterpotentiaal geeft aan hoe sterk er aan het water in de plant wordt 'getrokken'.

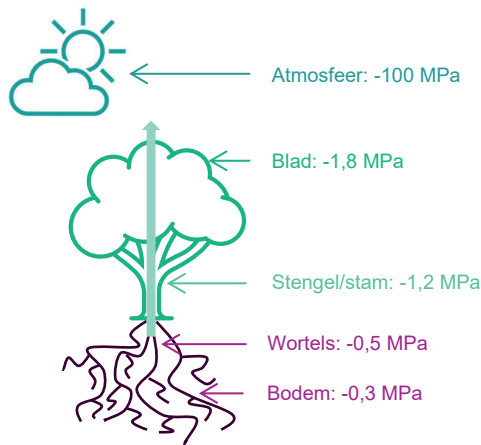
Hoe negatiever deze waarde, hoe sterker de plant moet trekken om het water op te nemen uit de bodem

en hoe meer stress ze ervaart. Je kan het zien als een maat voor hoe 'dorstig' de plant is.

Werkingsprincipe sensor

Een afgesneden blad wordt in een drukkamer geplaatst, waarbij de bladstengel uit de kamer naar buiten komt en het snijvlak zichtbaar is. Binnenin de kamer wordt de druk langzaam verhoogd, onder invloed van stikstofgas, terwijl je het snijvlak observeert met een vergrootglas. Het water wordt door de vaten uit het blad geduwd.

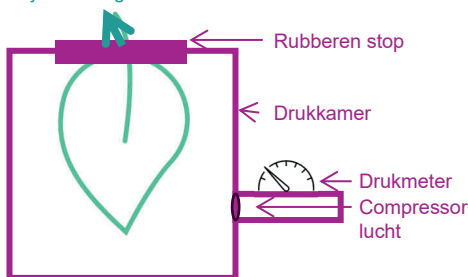
De druk die je afleest wanneer je een eerste druppel waarneemt op op het snijvlak is een maat voor de waterpotentiaal van het blad.



Voorstelling van het SPAC met de waterpotentiaal in bodem, wortels, plant en atmosfeer. Water beweegt van een hoge naar een lage, meer negatieve waterpotentiaal. Wanneer de bodem uitdroogt, daalt de waterpotentiaal. Om toch water te kunnen opnemen, moet de plant zijn eigen waterpotentiaal verlagen.

Naast de bladwaterpotentialaai kan ook de stamwaterpotentialaai bepaald worden. Hiervoor moet een blad ongeveer 1,5 uur voor de meting worden afgeschermd van zonlicht, bijvoorbeeld door het in te pakken in

Sap uit blad
'geperst' richting
snijvlak stengel



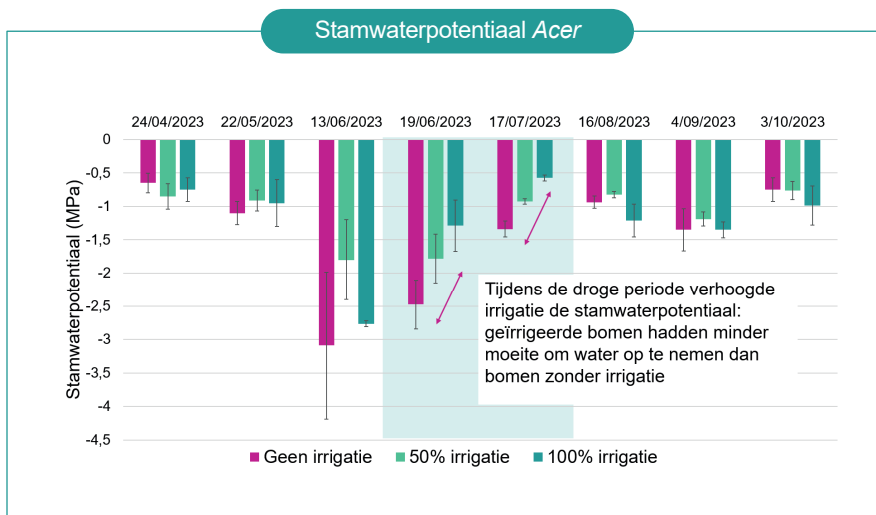
Schematische voorstelling opbouw drukkombom.

een aluminiumzakje, zodat de transpiratie volledig stopt en de bladwaterpotentialaai in evenwicht komt met de stamwaterpotentialaai. Vervolgens verloopt de meting volgens hetzelfde principe.

Tijdstip metingen

Afhankelijk van het meettijdstip kan de bodemwaterpotentialaai of de stengel- en/of bladwaterpotentialaai bepaald worden.

- Voor zonsopgang: voor zonsopgang is er nog geen sapstroom: plantwaterpotentialaai ~ bodemwaterpotentialaai.
- Op de zonnemiddag: op de zonnemiddag is de transpiratie maximaal = maximale waterpotentialaai van de stengel en/of blad.



Tijdens de droge periode in juni 2023 verhoogde irrigatie de stamwaterpotentialaai van de jonge Acer-boompjes (1 + 0). Zonder irrigatie daalde deze tot -2,5 MPa, wat wijst op droogtestress.

Drukboom

De drukboom wordt gebruikt om de stam- of bladwaterpotentiaal van de plant te bepalen.

Bedrijf

PMS instrument Company.

Gebruik

Wanneer er een waterdruppel zichtbaar wordt aan het snijoppervlak, draai je de gastoevoer dicht en kan je de waterpotentiaal aflezen.

Nauwkeurigheid

$\pm 0,5$ bar.

Automatisering

Neen, niet mogelijk.

Teeltgeschiktheid

Alle gewassen met bladsteel.

Richtprijs

€ 8.000 - 10.000 per sensor.



Ervaringen

Voordelen

- Eenvoudig principe.
- Makkelijke interpretatie.

Nadelen

- Destructieve meting.
- Duurdere sensor.
- Geen mogelijkheid tot automatisering.
- Tijdrovende metingen.
- Externe gasfles nodig.
- Meetresultaat is variabel, afhankelijk van de gebruiker. Metingen worden bij voorkeur door dezelfde persoon uitgevoerd.

Gebruiksvriendelijkheid

Eenvoudige meettechniek.

5. Optische sensoren

Fysiologische achtergrond

In een blad zitten er verschillende pigmentmoleculen, waaronder chlorofyl, carotenoïden en anthocyanen.

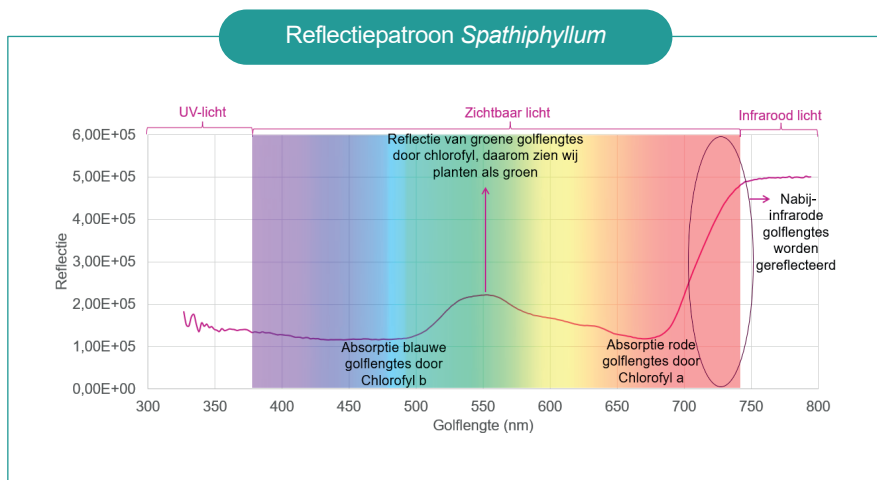
Wanneer zonlicht op het blad valt, wordt een deel van dit zonlicht geabsorbeerd door deze pigmentmoleculen. Elk type pigmentmolecule absorbeert licht met een specifieke golflengte.

Chlorofyl, het voornaamste pigment dat instaat voor de fotosynthese, absorbeert hoofdzakelijk het blauwe en het rode licht. Binnen dit golflengte-bereik wordt dus weinig reflectie waargenomen.

In tegenstelling hiermee, wordt het groene licht en het nabij infrarood licht (nabij - IR) nauwelijks door de plant geabsorbeerd. In het groene en nabij-IR-golflengte bereik, is dus een hoge reflectie waarneembaar. Reflectie van het groene licht zorgt er ook voor dat we een plant als groen ervaren. Een gezond blad kent dus een vast reflectiepatroon.

Werkingsprincipe sensor

Een optische sensor meet de reflectie van licht op verschillende golflengtes. Door het reflectiepatroon van het blad te bestuderen, kan men stress detecteren. Wijzigingen in het reflectiepatroon duiden op stress, verminderde fotosynthese en eventuele structuurschade. Er dient een eenvoudige kalibratie te gebeuren alvorens de sensor te gebruiken.



Reflectiepatroon bepaald op bladniveau bij *Spathiphyllum* (lepelplant), chlorofyl a en b absorberen de blauwe en rode golflengtes, terwijl het de groene en nabij-infrarode golflengtes reflecteert. Door de reflectie van de groene golflengtes ervaren wij planten als groen.

Vaak worden verschillende reflectie-indices opgesteld die twee of meerdere golflengtes of spectrale banden gelinkt aan een bepaald pigment combineren in een vergelijking, zodat de verschuiving in pigmentsamenstelling makkelijker bekeken kan worden.

Zo bestaat er bijvoorbeeld de NDVI 'Normalized Difference Vegetation Index' die reflecties in het rode en nabij-infrarode gebied van het spectrum combineert. Het is een maat voor de gezondheid of groenheid van de vegetatie.

Types optische sensoren

Optische sensoren kunnen op verschillende niveaus ten opzichte van het gewas gebruikt worden.

Reflectie gemeten op bladniveau

Dit type sensoren bestaat uit een bladclip die op het blad geclip

wordt. De sensor meet heel plaatselijk de reflectie van bepaalde golflengtes. Denk zeker na over de plaatsing van de bladclip op het blad. Deze plaats is best op een representatieve plaats op het blad, bijvoorbeeld in het midden tussen de hoofdnerf en de rand.

Reflectie gemeten

op gewas- of perceelsniveau

Door de sensoren met de hand boven het gewas, op een tractor, op een drone of op een satelliet te gebruiken, wordt de reflectie op een hoger niveau of zelfs van het volledige gewas/veld bepaald. Dit zal je meer inzicht geven over verschillen binnen een perceel.

Let wel: hoe hoger de sensor boven het gewas hangt, hoe minder goed details en/of verschillen waarneembaar zullen zijn.



PolyPen RP410 (Photon Systems Instruments).



MPM-100 (Opti-Sciences).

Dualex Scientific

De Dualex Scientific is een optische pigmentsensor die voornamelijk gebruikt wordt voor het detecteren van tekorten aan nutriënten en/of droogtestress op bladniveau. Gelijkaardige sensoren zijn de MPM-100 en de PolyPen RP410.

Bedrijf

Metos by Pessl Instruments.

Gebruik

Je plaatst de bladclip op het jongste volgroeide blad, tussen de hoofdnerf en de bladrand.

Voor betrouwbare metingen raden we aan om minstens 5 verspreide metingen per plot uit te voeren.

Nauwkeurigheid

± 5%

Automatisering

Neen, niet mogelijk.

Teeltgeschiktheid

Minimale bladgrootte (min 20 mm²) nodig voor plaatsing van de bladclip.

Kostprijs

€ 3.000 - 5.000 per sensor.



Ervaringen

Voordelen

- Draagbaar.
- Snelle meting.
- Niet destructief.
- Gemakkelijk te analyseren.

Nadelen

- Geen onderscheid tussen type stress (droogte en/of nutriëntentekort).
- Bekomen resultaten zijn relatieve waarden, referentiewaarde voor een gezond gewas nodig.

Gebruiksvriendelijkheid

Snelle meting na plaatsing bladclip op blad, eenvoudige interpretatie van reflectie-indices.

Opgelet

Om relatieve sensorwaarden om te zetten naar absolute chlorofylgehaltenes, is een kalibratie noodzakelijk. De toestellen geven een indicatie van de gewastoeestand, waarmee onderlinge verschillen binnen één gewas goed te volgen zijn. Vergelijkingen tussen gewassoorten zijn niet betrouwbaar, omdat de metingen beïnvloed worden door soortspecifieke bladkenmerken.

Apogee spectroradiometer

Deze sensor meet de gewasreflectie per golflengte in het bereik 340-820 nm.

Bedrijf

Apogee.

Gebruik

Je kan de sensor tijdens de meting met de hand boven het gewas houden.

Nauwkeurigheid

$\pm 0,5$ nm.

Automatisering

Neen, niet mogelijk.

Teeltgeschiktheid

Lage teelten: sensor dient boven het gewas gehouden te worden.

Kostprijs

€ 3.000 - 5.000 per sensor.



Ervaringen

Voordelen

- Draagbaar en mobiel systeem.
- Niet destructief.

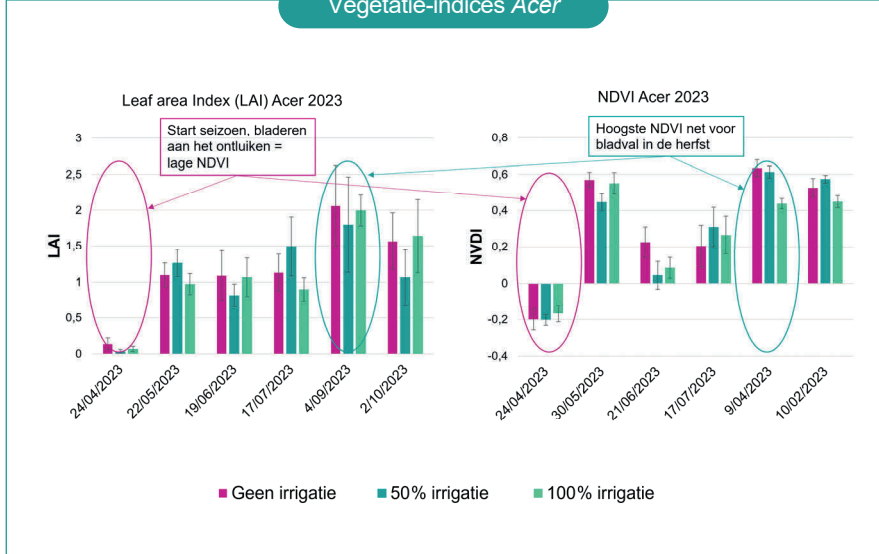
Nadelen

- Geen onderscheid tussen type stress (droogte en/of nutriëntentekort).
- Geen mogelijkheid tot automatisering.

Gebruiksvriendelijkheid

Meer complexe meting.

Vegetatie-indices Acer



Bepaling Leaf Area Index (LAI), een maat voor de hoeveelheid bladmassa ten opzichte van het geprojecteerde bodemoppervlak, en de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) van Acer bij drie verschillende irrigatieregimes in 2023. De NDVI vertoont eenzelfde verloop als de LAI: naarmate de bladmassa toeneemt, stijgt ook de NDVI. Vroeg in het seizoen, wanneer de bladeren nog uitlopen en de LAI laag is, blijft de NDVI eveneens laag. Tegen het einde van het groeiseizoen, vlak voor de herfst, bereikt de bladmassa haar maximum en wordt ook de hoogste NDVI-waarde gemeten.

Interpretatie data

Vegetatie-indices worden niet alleen door het irrigatieregime beïnvloed, maar variëren ook onder invloed van andere factoren, zoals bodemtype, nutriëntengehalte, schaduw, temperatuur, ziekte- en plaagdruk,... Het is daarom steeds belangrijk om voorzichtig te zijn bij de interpretatie.

Zoals in bovenstaand voorbeeld te zien is, kan het bijvoorbeeld voorkomen dat niet-geïrrigeerde bomen al vroeg in het seizoen een groter bladoppervlak ontwikkelen en een hogere NDVI vertonen dan

geïrrigeerde bomen. Het is dus steeds belangrijk om sensordata over een volledig seizoen te bekijken.

“Een volledig beeld krijg je pas door sensordata te bekijken over het gehele groeiseizoen en rekening te houden met de weersomstandigheden tijdens het uitvoeren van de metingen.”

6. Thermische sensoren

Fysiologische achtergrond

Wanneer de huidmondjes openstaan en de plant water transpireert, wordt er energie onttrokken aan de plant om het water te verdampen. Hierdoor zal de bladtemperatuur dalen. Bij droogte sluit de plant zijn huidmondjes en daalt de transpiratie waardoor de bladtemperatuur terug stijgt.

Weringsprincipe thermische sensoren

De bladtemperatuur of de gewas-temperatuur kan gemeten worden aan de hand van thermische sensoren. Deze sensoren meten de temperatuur op basis van de infrarood straling die wordt uitgezonden door de plant.

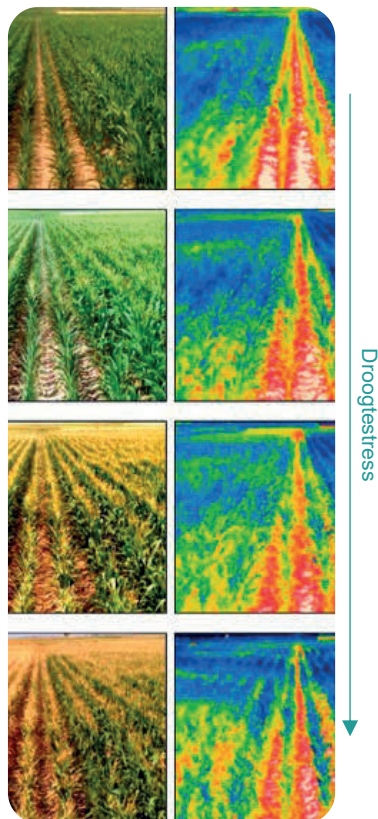
Gebruik

Een thermale camera kan je met de hand boven het gewas bedienen of kan bevestigd worden aan een tractor of drone. Thermale beelden kunnen ook met satellieten gemaakt worden.

Interpretatie

Als de luchttemperatuur lager is dan de temperatuur in het blad, ondervindt de plant droogtestress.

Naast irrigatiesturing kunnen thermale camera's ook ingezet worden om de gewasopbrengst en de aanwezigheid van ziekten en plagen in te schatten.



Thermische beelden van een graangewas met stress doorheen de tijd. Een gezond gewas zonder stress heeft een lagere gewas-temperatuur dan hetzelfde gewas na langdurige blootstelling aan stress.

Ook binnen een perceel kunnen verschillen in bladtemperatuur optreden. Op het veld kunnen deze beelden onder meer waterstress detecteren. Planten met voldoende water vertonen een lagere bladtemperatuur dan planten die onder droogtestress staan.

Bron: Taghvaeian *et al.* (2013).

Samengevat

Waar bodemsensoren inzicht geven in de waterstatus van de bodem, geven plantsensoren inzicht in de waterstatus van de plant zelf. Mogelijke parameters voor irrigatiesturing zijn: sapstroomsnelheid, stamdiameterverandering, plantwaterpotentiaal, fotospectrale eigenschappen en de bladtemperatuur.

Waarom gebruikmaken van plantsensoren?

- Ze meten hoe de plant reageert op droogte.
- Stress wordt vroegtijdig gesignaleerd, voordat er visuele schade zichtbaar is.
- Irrigatie wordt afgestemd op de werkelijke plantbehoefte.

Type sensor	Wat meet het?	Wat zegt dit over de irrigatiebehoefte?
Sapstroomsensor	Dagelijks waterverbruik	Lager debiet → verminderde wateropname, mogelijk watertekort
Stamdiameter-variatiesensor	Schommelingen in stamdiameter	Dagelijkse krimp > dagelijkse groei → mogelijk watertekort
Drukbom	Zuigkracht nodig voor wateropname	Sterk negatieve waterpotentiaal → watertekort
Porometer	Openingsgraad van de huidmondjes	Lage openingsgraad → verminderde verdamping, mogelijk watertekort
Optische sensor	Reflectie of pigmentverhouding in het blad	Wijzigingen in reflectiepatroon kunnen wijzen op een mogelijk watertekort
Thermische sensor	Blad- of gewastemperatuur	Als de $T_{\text{blad}} > T_{\text{lucht}}$ → verminderde verdamping, mogelijk watertekort

Praktische tips

1. Let op de trends in de tijd, bijvoorbeeld een afnemende stengeldiameter over meerdere dagen.
2. Combineer met bodemsensoren om verbanden te kunnen leggen.
3. Hou rekening met de weersomstandigheden, deze kunnen de metingen beïnvloeden.

Irrigatiesturing via modellen

Steeds vaker worden modellen gebruikt om irrigatie te plannen en aan te sturen. Deze modellen voorspellen onder andere de waterbehoefte van je gewas en de evolutie van het bodemvochtgehalte. Ze worden gevoed met weersgegevens en kunnen worden bijgestuurd op basis van bodemanalyses of metingen om de nauwkeurigheid te verhogen. Een modelbenadering laat je toe om irrigatie op het juiste moment en in de juiste dosis toe te dienen, afgestemd op de noden van je gewas en de omgeving.



“Heb je er al aan gedacht om je irrigatie te sturen op basis van weersgegevens en sensormetingen?”

1. Penman-Monteith model

Weringsprincipe

Het FAO56 Penman-Monteith model is een algemeen bekend rekenmodel om in te schatten hoeveel water een gewas verdampt. De referentie-gewasverdamping (ET_0) is de hoeveelheid water die een denkbeeldige, goed doorwortelde grasmat zonder waterstress verdampt.

Het model maakt gebruik van weersgegevens, zoals de gemiddelde temperatuur, de luchtvochtigheid, de windsnelheid en de zoninstraling om de theoretische verdamping van deze grasmat te bepalen. De ET_0 wordt gebruikt als basis voor heel wat andere irrigatiemodellen, zoals het bodemwaterbalansmodel (zie verder).

Toepassing

De referentiegewasverdamping kan gebruikt worden om de werkelijke gewasverdamping van een bepaald gewas te bepalen, zoals potchrysant of lindebomen.

Hiervoor is een gewasspecifieke factor K_c nodig, die naast het type gewas afhankelijk is van het groeistadium en de gewasdichtheid. Hoe groter en dichter het gewas staat, hoe hoger de K_c factor zal zijn:

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

ET_c = werkelijke verdamping van het specifieke gewas

K_c = gewascoëfficiënt

ET_0 = referentiegewasverdamping

Aan de hand van deze berekeningen kan je gericht irrigeren op basis van de gewasbehoefte.

Voor veel planten en gewassen is de gewascoëfficiënt gekend, met uitzondering van sierteeltgewassen. Tijdens het OrnAqua-project werd de gewascoëfficiënt van onder meer potchrysant, esdoorn, linde, haagbeuk en zomersnijbloemen bepaald.

Beperkingen

Voor een correcte interpretatie is een correcte gewascoëfficiënt nodig. Dit model houdt geen rekening met het beschikbaar bodemvocht en is gevoelig voor de kwaliteit van de weersdata.

2. Bodemwaterbalansmodel

Met een bodemwaterbalansmodel worden vraag en aanbod van water in het bodemwatersysteem in kaart gebracht. Door deze factoren samen te brengen, kan voorspeld worden wanneer het economisch rendabel is om het gewas te irrigeren.

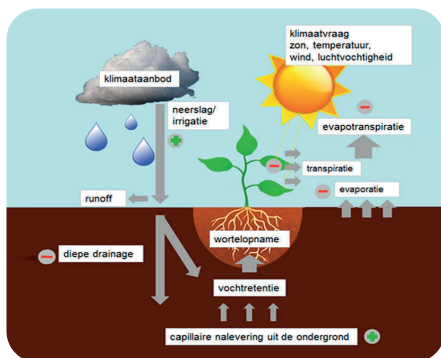
Er bestaan verschillende modellen, maar ze gaan allemaal uit van dezelfde principes. Ze vereisen bepaalde inputs en maken een inschatting hoeveel een gewas verdampt, bijvoorbeeld via het Penman-Monteith model.

De input van water in het systeem komt grotendeels door de neerslag die op het perceel valt. Maar niet al deze neerslag zal opgenomen worden door de wortels, een deel kan boven op het perceel afstromen (run-off) en een

deel zal in de bodem dringen en de grondwatertafel voeden. Afhankelijk van de diepte van de grondwatertafel kan deze via capillaire opstijging ook nog water beschikbaar stellen aan de gewassen. Bepalend hiervoor zal de worteldiepte van het gewas zijn, deze zal toenemen tijdens het seizoen.

Water zal het bodemwatersysteem verlaten via transpiratie van de plant en evaporatie vanuit de bodem. Zoals eerder vermeld, is deze evapotranspiratie gewasspecifiek en bepaald door een K_c factor. Tijdens het groeiseizoen zal deze K_c factor variëren naargelang het groeistadium van de plant.

Deze data wordt samengebracht in het bodemwaterbalansmodel. Voor een correcte interpretatie is bijkomende informatie over de bodemkarakteristieken nodig. De bulkdensiteit en de vochtretentiecapaciteit van de bodem zullen bepalen hoe makkelijk de plant water uit de bodem kan opnemen.



Inputs en outputs van het bodemwatersysteem zoals beschreven in de tekst. Bron: Bodemkundige Dienst van België.

Om tot slot het moment van irrigatie te bepalen, is het nodig om interventie-drempels op te stellen. Van zodra het vochtgehalte in de bodem lager is dan het vochtgehalte vastgelegd in de interventiedrempel, is het voor de landbouwer economisch rendabel om te irrigeren.

Deze drempels zijn bepaald door onderzoek en zijn gewasspecifiek. Ze kunnen ook variëren tijdens het seizoen. Het gewas heeft niet op elk moment dezelfde nood aan water om optimaal te kunnen groeien. In het begin van het seizoen, wanneer de bladeren ontluiken, zal de nood lager zijn dan later in het seizoen, wanneer het bladerdek volledig ontwikkeld is.

Ter controle van het bodemwaterbalansmodel kunnen nog bijkomende metingen worden uitgevoerd. Dit kan door bodemstalen van het landbouwperceel te nemen en het bodemvochtgehalte te analyseren. Er kan ook gewerkt worden met bodemvochtsensoren die het vochtgehalte in de bodem meten. Deze gemeten waarden van bodemstalen en/of bodemsensoren kunnen gebruikt worden om het model te kalibreren.

Op deze manier kan op gerichte tijdstippen irrigatie worden uitgevoerd op een landbouwperceel. Het effect van irrigatie wordt ook in het bodemwaterbalansmodel opgenomen.

Interventiedrempels

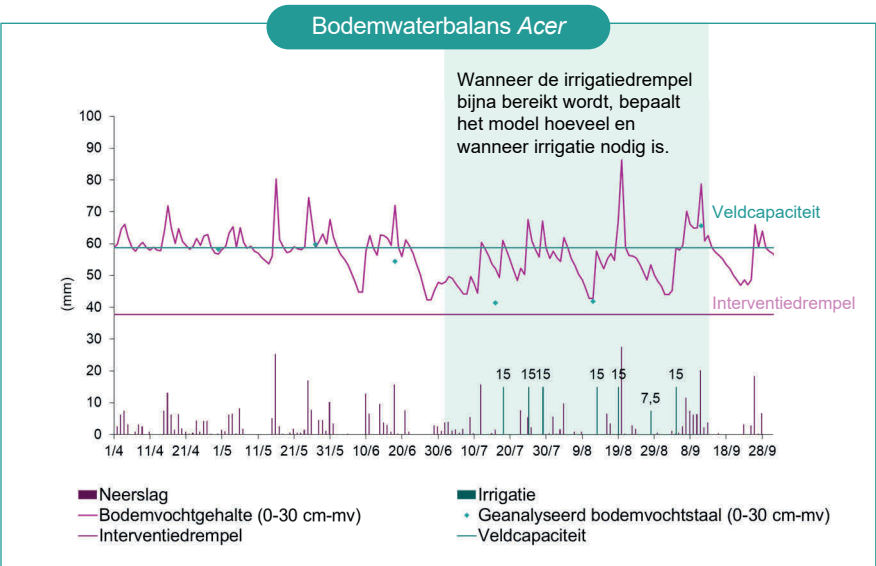
In het OrnAqua-project werd door middel van onderzoek een inschatting gemaakt van de interventiedrempels van de onderzochte gewassen. Voor laanbomen (*Carpinus*) en bosplantsoen (*Acer*) konden interventiedrempels bepaald worden.

Tabel 3: Interventiedrempels per gewas.

Gewas	Interventiedrempel
Laanbomen	pF 2,7 of 50 kPa
Hoge dichtheid bosplantsoen	pF 2,8 of 63 kPa
Potchrysanten	pF > 2,7 of 50 kPa
Zomersnijbloemen	pF < 2,7 of 50 kPa

Voor potchrysanten op open veld en snijbloemen werden voorlopige interventiedrempels opgesteld, maar deze moeten met behulp van bijkomend onderzoek nog bevestigd worden. De bekomen interventiedrempels worden weergegeven in tabel 3.

Verschiede bedrijven en proefstations bieden irrigatieadvies aan landbouwers aan. Afhankelijk van welk platform gekozen wordt, zal het bodemwaterbalansmodel ondersteund worden met bodemstalen, bodemsensoren en/of satellietbeelden. Voor meer informatie, contacteer Viaverda of de Bodemkundige Dienst van België.



Bodemwaterbalans van een perceel met bosplantsoen (*Acer*) op Viaverda in 2024. Het model schat op basis van weers- en perceelsgegevens het vochtgehalte in de 0-30 cm laag en geeft irrigatieadvies bij benadering van de irrigatiedrempel. Bron: Bodemkundige Dienst van België.

Rekentool en advies op maat

Om siertelers te ondersteunen bij het voorspellen van de investeringskosten bij irrigatie in vollegrond werd een praktische rekentool ontwikkeld. Dankzij de kennis en ervaring die we hebben opgedaan in het project, kunnen we je bijstaan met onafhankelijk irrigatieadvies voor duurzaam watergebruik.



1. Rekentool

Door onderzoek binnen het OrnAqua-project weten we wanneer en hoeveel irrigatie nodig is in verschillende teelten en welke technieken helpen om droogte beter te doorstaan. Tijdens het project ontwikkelden we ook een rekentool waarmee je als sierteler zelf de investeringskosten voor irrigatie kan voorspellen en evalueren. Nadien kan je beslissen of je irrigatie bij je teelt zal toepassen.

De tool bestaat uit 2 luiken:

Kosteninschätzung

In het luik 'kosteninschatting' berekent de tool de potentiële vaste en variabele kosten voor irrigatie van jouw teelt. Hiervoor gebruikt de tool gemiddelde aankooprijzen en in te geven teeltgegevens. Zo krijg je een globaal beeld van de kosten en kan je een inschatting maken of een irrigatiesysteem haalbaar is voor jouw situatie.

“Bekijk zeker onze irrigatie-rekentool wanneer je overweegt een irrigatiesysteem aan te leggen.”

Case studies

Tijdens het project werden voor verschillende scenario's de potentiële economische voordelen van irrigatie bepaald, gebaseerd op resultaten uit de verschillende proeven tijdens het onderzoek.

2. Advies op maat van je sierteeltbedrijf

Ben je na het lezen van deze brochure geïnteresseerd in het toepassen van irrigatie, maar heb je nog vragen? Neem contact op met Viaverda of de Bodemkundige Dienst van België om meer informatie en advies te krijgen.

[illegible]

Links: Met de rekentool 'Irrigatiekosten sierteelt vollegrond', te vinden op de website www.viaverda.be, kan je als sierteler zelf bij jouw type teelt de investeringskosten voor irrigatie voorspellen en evalueren. Rechts: Voorstelling van de projectresultaten tijdens een proefveldbezoek.

Literatuurlijst

delta-t.co.uk, september 2025

handheld.psi.cz, september 2025

opti-sciences.com, september 2025

Taghvaeian, S., Chávez, J.L., Altenhofen, J., Trout, T.J. (2013). Remote sensing for evaluating crop water stress at field scale using infrared thermography: Potential and limitations. Hydrology Days, 73-83.

www.appogee.nl, september 2025

www.bdb.be/nl/onderzoek-en-studies/projecten/drip-project-bodemsensoren, september 2025

www.bdb.be/nl/staalname-en-analyse/aanbod/pf-analyse, augustus 2025

www.dynamax.com, september 2025

www.irrometer.com, augustus 2025

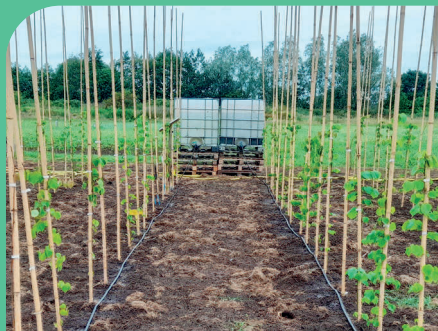
www.metergroup.com, augustus 2025

www.pmsinstrument.com, september 2025

www.solartronmetrology.com, september 2025

www.tomst.com, augustus 2025

www.truebner.de, september 2025



Projectpartners

Viaverda

Schaessestraat 18
9070 Destelbergen, België
info@viaverda.be
www.viaverda.be

UGent, Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen Vakgroep Plant en Gewas

Coupure links 653
9000 Gent, België
info@ugent.be
www.ugent.be

Bodemkundige Dienst van België

W. de Croylaan 48
3001 Heverlee, België
info@bdb.be
www.bdb.be

