

# Zouttolerante aardappel binnen Regionaal bod Proeftuin Zoet Water

Verslag van het volgen van aardappelrassen onder verschillende  
zoutregimes gedurende 2 groeiseizoenen



**Juni 2017**

**Auteurs:**

Guus Heselmans (Meijer); Perry de Louw (Deltares); Corstiaan Kempenaar (Meijer); Edvard Ahlrichs (Deltares); Inez Terpstra (Meijer); Joost Delsman (Deltares); Sheila Ball (Deltares); Cheryl van Kempen (Deltares); Esther van Baaren (Deltares); Jean-Pierre van Wesemael (Saeftinghe Zilt)

# Voorwoord

Aardappelveredelaar en handelshuis C. Meijer BV heeft aanpassingsvermogen van haar nieuwe rassen aan stresseigenschappen zoals droogte- en zouttolerantie hoog op de agenda staan van het veredelingsprogramma.

Ondanks het feit dat zouttolerantie op diverse beproevingslocaties zeker een rol speelt bij de selectie van nieuwe rassen, zet C. Meijer zich actiever in om meer kennis te vergaren over de rol van de genetische vererving m.b.t. dit probleem.

Vanaf 2007 staat dit onderwerp hoog op de agenda en zijn diverse projecten in binnen- en buitenland afgerond. In 2015 is met partner Deltares met de opgedane ervaring een nieuw project opgestart dat tot nog meer duidelijkheid moet leiden in de relatie zouttolerantie en aardappelgenetica. Deltares volgt de vocht- en zoutdynamiek in de wortelzone.

Dit project is mede mogelijk gemaakt met subsidie van het Deltafonds en de Provincie Zeeland.

## Inhoudsopgave

1	Inleiding .....	4
1.1	Probleemstelling.....	4
1.2	Eerdere veldproeven zouttolerante aardappel.....	4
1.3	Doelstelling en onderzoeksvragen .....	5
2	Veldproef groeiseizoen 2015.....	7
2.1	Inleiding .....	7
2.2	Keuze van genetisch materiaal 2015.....	7
2.3	Monitoring water en zout groeiseizoen 2015 .....	7
2.4	Beschrijving veldbezoeken en waarnemingen m.b.t. ras onderzoek 2015.....	10
2.5	Resultaten monitoring hydrologie 2015 .....	11
2.5.1	Neerslag, verdamping grondwaterstand en bodemvochtgehalte .....	11
2.5.2	Zoutgehalte van het bodemvocht en de bodem.....	13
2.5.3	Conclusies en aanbevelingen monitoring hydrologie 2015 .....	15
2.6	Resultaten veldproef aardappelrassen groeiseizoen 2015 .....	16
2.7	Resultaten veldproef populaties groeiseizoen 2015.....	17
3	Veldproef groeiseizoen 2016.....	19
3.1	Keuze van genetisch materiaal 2016.....	19
3.2	Monitoring water en zout groeiseizoen 2016 .....	19
3.2.1	Opzet meetnet bodemvocht .....	20
3.2.2	Bepaling bodemtextuur en hydraulische eigenschappen bodem.....	22
3.2.3	Modelleren van de zout- en vochtdynamiek in wortelzone .....	22
3.3	Beschrijving veldbezoeken en waarnemingen m.b.t. ras onderzoek.....	22
3.4	Resultaten monitoring hydrologie 2016 .....	22
3.4.1	Bodemtextuur, pF-curve en doorlatendheid .....	22
3.4.2	Monitoring bodemvochtgehalte .....	24
3.4.3	Monitoring zoutgehalte bodemvocht .....	26
3.4.4	Zoutgehalte in de bodem .....	30
3.4.5	Neerslag, verdamping en grondwaterstand.....	33
3.4.6	Conclusies monitoring hydrologie 2016.....	34
3.5	Resultaten modellering zout- en vochtdynamiek wortelzone .....	35
3.6	Resultaten veldproef aardappelrassen groeiseizoen 2016 .....	36
3.7	Resultaten veldproef populaties groeiseizoen 2016.....	39
4	Discussie: Interactie zout en groei van aardappelen .....	42
4.1	Resultaten uit de veldproeven .....	42
4.2	Linken van genetica met zout.....	43
4.3	Zoutgehalte - opbrengst relatie per aardappelras .....	44
5	Voorkeursgebieden Zeeland zout tolerante aardappel .....	47
5.1	Inleiding .....	47
5.2	Methodiek .....	48
5.3	Resultaten.....	51
6	Conclusies en aanbevelingen .....	53
7	References.....	54
8	Bijlagen .....	56
8.1	Methode voor bepaling van bodemtextuur .....	56

8.2	Methode voor bepaling van volumetrisch bodemvochtgehalte.....	57
8.3	Methode voor bepaling van het zoutgehalte van het bodemvocht en bodem.....	58
8.4	Kalibratie bodemvochtsensoren .....	61
8.5	Bepaling verzadigde doorlatendheid .....	64
8.6	Bepaling pf-curves en onverzadigde doorlatendheid .....	65
8.7	Bepaling Van Genuchten parameters .....	67
8.8	Modellering bodemvocht water en zout met Hydrus.....	68
8.9	Resultaat: Neerslag en grondwater.....	82
8.10	Resultaat: Textuuranalyses bodemonsters.....	83
8.11	Resultaat: pF-curves van MP 10 en 14 .....	84
8.12	Resultaat: Unsaturated conductivity interpretation of MP 2, 10 en 14.....	85
8.13	Resultaat: Zout gehalte op verschillende dieptes .....	88
8.14	Resultaat: Vergelijking zoutgehalte Rhizons met automatische sensoren .....	92
8.15	Scatterplots tussen zoutgehalte en aardappel oogst voor verschillende rassen.....	96

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

Zoet water is tamelijk schaars in Zeeland en de kans is groot dat het alleen maar schaarser wordt naarmate de klimaatverandering doorzet. De provincie Zeeland is het project gestart Proeftuin Zoet Water waarin wordt onderzocht hoe de zoetwatersituatie valt te optimaliseren, zodat we beter gesteld zijn tegen de zwaardere omstandigheden van de toekomst. Dat vraagt om een actieve houding en het treffen van maatregelen. Maatregelen kunnen grofweg in twee hoofdcategorieën worden onderscheiden, nl. die bijdragen aan:

- (i) vergroting zoetwaterbeschikbaarheid
- (ii) vermindering zoetwatervraag

Er zijn veel projecten, die focussen op de vergroten van de zoetwaterbeschikbaarheid. Dit project mikt op het beperken van de landbouwwatervraag door de zouttolerantie van aardappelen te verhogen. Indien aardappelen onder meer zilte omstandigheden geteeld kunnen worden, beperkt dat de eisen aan de oppervlaktewaterkwaliteit qua chlorideconcentratie. In principe kan daardoor de doorspoeling van het regionale watersysteem beperkt worden en dus de regionale watervraag.

Dit project is op zoek naar zouttolerante aardappelen. Verschillende aardappelrassen zijn in het veld aan verschillende zoutregimes blootgesteld gedurende twee verschillende groeiseizoenen (2015-2016). De ontwikkeling van de aardappel onder de verschillende zoutregimes is gevolgd en de uiteindelijke productie werd per ras in beeld gebracht. De veldproeven zijn uitgevoerd op het landbouwbedrijf Saeftinge Zilt.

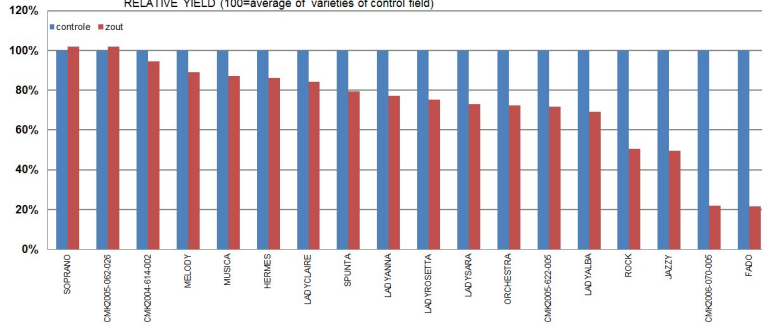
## 1.2 Eerdere veldproeven zouttolerante aardappel

De eerste drie jaren van beproeving op een locatie in Zierikzee met zilt grondwater (2009-2011) heeft de volgende kennis opgeleverd (Tussenrapportage “Onderzoek door selectie naar zouttolerante aardappelen”, Projectnummer: 09020135/16):

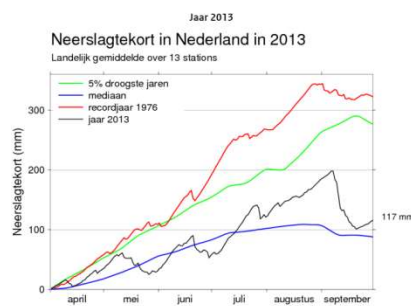
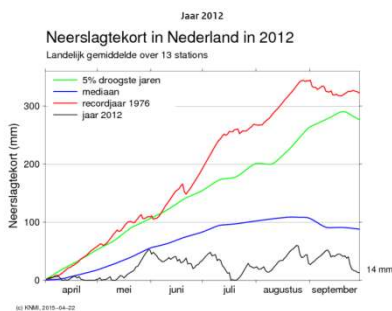
1. Er zijn duidelijke rasverschillen waar te nemen; voor een statistische betrouwbaar oordeel zijn meer resultaten vereist.
2. De keuze om zouttolerantie op basis van zout grondwater te meten is zeer gevaarlijk in een klimaat als Nederland vanwege mogelijkheid op zoetwateroverschot.
3. Op kwelgronden blijkt zoetwateroverschot (beproeving 2009) door structuurproblemen tot een hogere opbrengstderving te leiden dan bij een zoetwater tekort (beproeving 2010 en 2011).
4. Het is volstrekt onduidelijk wat er in de wortelzone van de aardappel gebeurt in de periode dat zout water schade veroorzaakt aan het gewas (2010 en 2011).

In 2012 is besloten de proef voort te zetten op een beproevingslocatie waar het zoutgehalte in het water én in de grond te sturen is, zowel in natte als in droge perioden. De hiervoor gekozen locatie is landbouwbedrijf Saeftinge Zilt te Nieuw Namen waar Jean-Pierre van Wesemael naast regulier akkerbouw ook zilte groenten verbouwt. Het beste beproevingsjaar was 2012, in dit jaar werd dankzij een natte zomer het gestrooide zout goed opgenomen in de bodem en hadden de planten zoutstress. Het jaar dat volgde 2013 had een beduidend droger groeiseizoen en in 2014 heeft er geen zoutbeproeving plaatsgevonden bij landbouwbedrijf Saeftinge Zilt.

Salt tolerance 2012- salt stress from salt in rootzone EC=2 control, EC=7 in salt (30-60 cm below surface)  
RELATIVE YIELD (100=average of varieties of control field)



**Weergave 1: Effect van zoutgehalte (EC7) op opbrengstderving in 2012, met rechts een foto van het gevoelige ras Fado (inzet) tijdens de groei.**



**Weergave 2: Verschil in neerslag door in de jaren 2012-2014**

De twee jaren van beproeving (2012-2013) hebben opgeleverd:

1. Er zijn wederom duidelijke rassenverschillen waar te nemen; voor een statistische betrouwbaar oordeel zijn meer resultaten vereist.
2. Het zoutgehalte blijkt via het meten van de EC in de wortelzone goed te controleren te zijn. Het is echter een zeer eenzijdige meting. Stuurbaarheid van de stressfactor zout is een cruciaal uitgangspunt.
3. De beproeving op de wijze zoals in Nieuw Namen geeft sterke aanwijzingen dat deze methode door de jaren heen goede veldresultaten kan opleveren, mits 2. wordt verbeterd.

### 1.3 Doelstelling en onderzoeksvragen

De conclusies uit de voorgaande proeven hebben geleid tot een aanpak die centraal is voor dit project: meten en sturen van zoutgehalte in de wortelzone. Deltares neemt de monitoring van vocht- en zoutgehalte als ook de bijsturing van het zoutgehalte in de wortelzone voor zijn rekening. C. Meijer BV test de verschillende aardappelrassen op zijn tolerantie van zout. Daarbij wordt nieuw genetisch materiaal ingebracht dat zich in de afgelopen jaren heeft onderscheiden in het empirisch onderzoek. Daarnaast zal gericht worden gezocht naar de genen die coderen voor de zouttolerantie. Saefting Zilt voert de veldbewerkingen op de proefpercelen voor zijn rekening waaronder ook het toedienen van de zoutkorrels voor het verkrijgen van het gewenste zoutregimes.

Het hoofddoel van dit project is het vinden van zouttolerante aardappelrassen, getest op een gangbaar agrarisch perceel onder de heersende klimaat- en veldcondities. De verschillende zoutregimes worden kunstmatig gerealiseerd door het toedienen van zoutkorrels. Vocht- en zoutcondities in de wortelzone worden daarbij nauwlettend gevolgd op basis waarvan het zoutmanagement kan worden aangepast. Binnen het project kunnen de volgende onderzoeksvragen worden geformuleerd.

- Kan het gewenste zoutregime voor het testen van de zouttolerantie onder veldcondities worden gerealiseerd door het toedienen van zoutkorrels?
- Wat is de zout- en vochtdynamiek in de wortelzone en door welke factoren wordt dit beïnvloed? Vergeleken met vorige proeven, dient er een nauwkeuriger beeld te worden verkregen van de zoutconcentraties waaraan aardappels daadwerkelijk worden blootgesteld.
- Wat is de invloed van het zout in de wortelzone (in bodemvocht) op de ontwikkeling en groei van verschillende aardappelrassen?
- Welke aardappelrassen zijn goede kandidaten voor de ontwikkeling van een zouttolerante aardappelras?
- Kan er genetische variatie gevonden en verklaard worden bij een beter gestuurde zoutdynamiek?

*De rasverschillen die we tot nu toe hebben gevonden, zijn slechts gedeeltelijk reproduceerbaar gebleken in alle beproevingsjaren. Om de genetische factoren naar boven te krijgen is een betrouwbaardere beproeving nodig. In dit geval betekent betrouwbaar weten welke zoutconcentratie wanneer bij de wortelzone van de planten komt om de zoutstress te veroorzaken.*

- Kunnen verantwoordelijke genen voor zouttolerantie worden opgespoord met behulp van DNA-technieken?

*Indien we een onderzoekspopulatie inzetten die voortkomt uit een kruising tussen een zoutgevoelig en zouttolerant ras, maakt z.g. uitsplitsing in ongevoelige nakomelingen naast gevoelige nakomelingen om genen te traceren. De zoektocht wordt complexer naarmate er meer genen betrokken zijn bij zouttolerantie.*

- Kan er op basis van de resultaten van het FRESHM-project (air-borne zoet-zout kartering heel Zeeland) en watersysteemkennis een kaart met kansrijke gebieden voor zouttolerante aardappelen in Zeeland worden opgesteld?

## 2 Veldproef groeiseizoen 2015

### 2.1 Inleiding

Een selectie van aardappelrassen is gedurende het groeiseizoen 2015 aan twee zoutregimes blootgesteld: (1) een zoet-referentiedeel en (2) een deel waar het zoutgehalte kunstmatig is verhoogd. De zoutgehalten en het bodemvocht is voor beide deelpercelen in detail gemeten door deze wekelijks handmatig te meten en automatisch ieder uur met sensoren.

### 2.2 Keuze van genetisch materiaal 2015

Met de kennis uit de eerdere projecten is in projectjaar 2015 een rassenset gekozen waarin tolerantieverschillen te verwachten zijn. Daarnaast zijn er populaties gekozen om genetische uitsplitsing inzichtelijk te maken.

Voor de rassenbeproeving zijn de volgende (kandidaat)rassen gekozen:

BINTJE, CMK2004-614-002, CMK2005-062-026, CMK2006-070-005, CMK2008-035-009, CMK2008-071-009, CMK2008-622-009, CMK2009-031-003, CMK2009-109-011, CMK2009-630-001, CUPIDO, FADO, LADYANNA, LADYCLAIRE, LADYFELICIA, LADYOLYMPIA, MARISPIPER, MELODY, MI2007-011-035, MUSICA, ORCHESTRA, ROCK, SOPRANO, SPUNTA,

Voor het genetisch onderzoek is gewerkt met de volgende populaties:

KRUISING	aantal
CMK1992-808-002 x CMK1997-804-008	37
DESIREE x CMK2006-070-005	49
SHEPODY x CMK2003-707-003	100

### 2.3 Monitoring water en zout groeiseizoen 2015

#### *Zout management 2015*

Het proefperceel is verdeeld in zout en een zoet (referentie) deel. Het zoete deel dient als referentieperceel en voor dit deelperceel wordt geen extra zout toegevoegd. Voor het zoute perceel wordt gestreefd naar een zoutgehalte van het bodemvocht in de wortelzone van ongeveer een EC van 5 mS/cm. Om dit zoutgehalte te bereiken, is vijf keer gestrooid met zoutkorrels waarvan de eerste keer (de helft van het totaal) vóór het poten van de aardappels (zie Weergave 3). Deze korrels zijn verwerkt in de ruggen. Ná de vorming van de ruggen en poten van de aardappels, is nog 4 keer een geringere hoeveelheid zoutkorrels toegediend die dus deels op de ruggen maar vooral in de voren tussen de ruggen zijn beland. Daarnaast is 5 keer met brak water geïrrigeerd met een EC van 7.8 mS/cm. De hoeveelheid zout is zo afgestemd dat gedurende het hele groeiseizoen zout via het oplossen door neerslag en irrigatiewater de wortelzone bereikt.

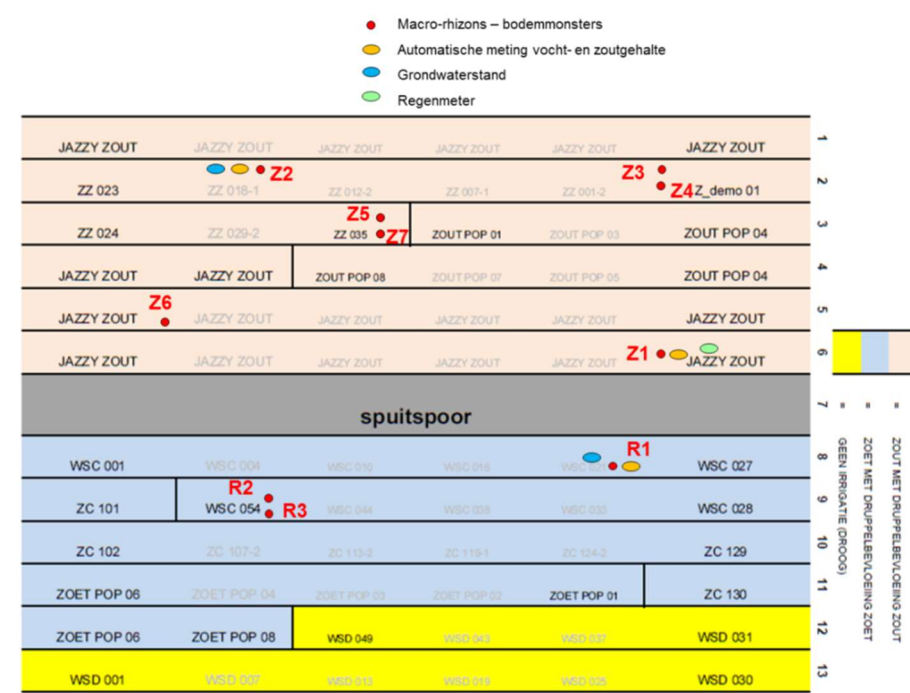
**Weergave 3: De hoeveelheid zout dat via zoutkorrels en irrigatie met brak water (EC= 7.8 mS/cm) op het perceel is toegediend.**

Zout-toediening			Irrigatie	Irrigatie		zout
	kg		mm	m³	type	kg
15-Apr	3000	11-Jun	15	21.6	zoet	0
20-May	1200	20-Jun	15	21.6	zoet	0
10-Jun	600	05-Jul	15	21.6	brak	102
05-Jul	600	15-Jul	15	21.6	brak	102
25-Jul	600	20-Jul	10	14.4	brak	68
		30-Jul	15	21.6	brak	102
TOTAAL	6000	05-Aug	15	21.6	brak	102
		TOTAAL	100	144		474

## Opzet monitoring water en zout 2015

Er is een verschil in detail in monitoring tussen groeiseizoen 2015 en 2016. De monitoring van 2015 heeft geleid tot aanpassing en uitbreiding van de monitoring voor het jaar 2016. In dit rapport wordt daarom meer aandacht besteed aan het groeiseizoen 2016. Opzet monitoring en resultaten voor groeiseizoen 2015 zullen daarom beknopt worden besproken.

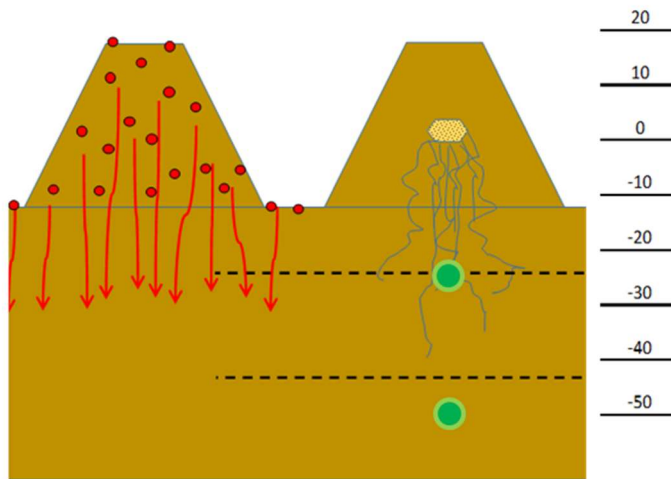
De nadruk van het monitoren ligt op het regelmatig meten van het zout- en vochtgehalte in de wortelzone. Echter, omdat er meerdere factoren zijn die de variatie van het zout- en vochtgehalte bepalen, zoals neerslag, verdamping, mate van irrigatie en het zoutgehalte van het irrigatiewater, drainage en capillaire opstijging vanuit het grondwater, is het nodig inzicht te krijgen in de temporele variatie van deze sturende parameters. De proef voorziet daarom in een combinatie van incidentele en continue metingen van deze factoren om de temporele variatie beter in beeld te krijgen. In Weergave 4 staat de opzet van het meetnet weergegeven.



Weergave 4: Opzet meetnet groeiseizoen 2015.



Weergave 5: Geïnstalleerde Macro-Rhizons voor het bemonsteren van bodemvocht.



Weergave 6: Met groen is aangegeven de positie van de Macro-Rhizons en bodemvochtsensoren op 25 cm en 50 cm diepte (onder de aardappel). De rode stippen geven de zoutkorrels weer die gedurende infiltratie van regenwater oplossen en waarbij het zout zich in opgeloste vorm naar beneden verplaatst.

### *Zoutgehalte bodemvocht*

Het zoutgehalte van het bodemvocht in de wortelzone wordt op twee verschillende dieptes in de tijd gevolgd, 25 en 50 cm-mv. Als referentieniveau (0 cm) is gekozen de onderkant van de gepote aardappel in de rug (zie Weergave 6) 25 cm diepte betekent dus 25 cm onder de aardappel en komt ongeveer overeen met een diepte van 15 cm onder voren (tussen de ruggen).

Dit wordt gedaan op drie manieren:

1. Voor een groot aantal locaties werd het bodemvocht bemonsterd (macro-rhizons) waarvan het zoutgehalte (EC) in het veld wordt gemeten. Het bodemvocht wordt ook in het lab geanalyseerd op andere relevante stoffen.
2. Voor een aantal locaties en enkele dieptes werden bodemmonsters genomen waarvan het totale zoutgehalte van de bodem (vaste stof + opgelost in bodemvocht) in het laboratorium wordt bepaald door middel van de saturated paste methode.
3. Op drie representatieve locaties werd het zoutgehalte van het bodemvocht continu (= ieder uur) gemeten met behulp van sensoren (op 2 dieptes) en opgeslagen middels een datalogger. De sensor meet naast zoutgehalte ook bodemvocht en bodemtemperatuur.

Tevens is het bodemvocht gedurende het groeiseizoen bepaald van bodemmonsters gestoken op verschillende dieptes. Zie bijlage 8.3 voor uitgebreidere informatie over de verschillende meet methodes.

### *Neerslag / verdamping, grondwaterstand, Irrigatie*

Neerslag werd continu gemeten op het bedrijf. Gegevens over potentiële verdamping worden onttrokken van het dichtstbijzijnde KNMI-station. Op twee locaties werd de grondwaterstand continu gemeten in een peilbuis. Irrigatiehoeveelheden en zoutgehalte van het irrigatiewater worden bijgehouden.

Het perceel werd gedurende het groeiseizoen bijna iedere week bezocht en werd het bodemvocht bemonsterd en geanalyseerd op zoutgehalte. Ook werden tijdens de bezoeken de dataloggers uitgelezen.

## 2.4 Beschrijving veldbezoeken en waarnemingen m.b.t. ras onderzoek 2015

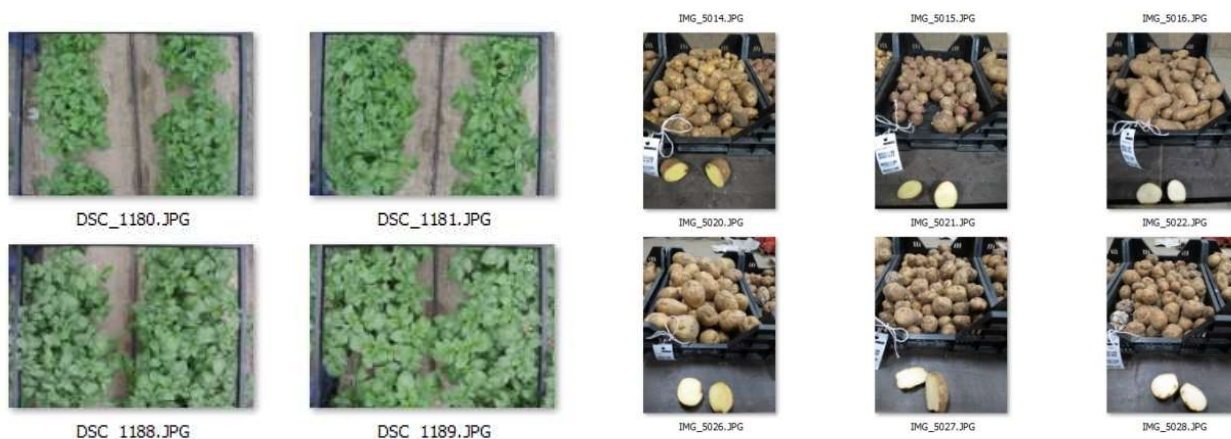
Om de verschillen in gedrag van de aardappelrassen waar te nemen worden op diverse onderdelen waarnemingen verricht, tijdens en na het groeiseizoen. Dit gebeurt door medewerkers van Meijer op een gestandaardiseerde wijze. In Weergave 7 zijn deze eigenschappen weergegeven.

Eigenschap	Verklaring
LO1	loofontwikkeling mei/juni (1 traag - 5 zeer snel)
LO2	loofontwikkeling juni (1 traag - 5 zeer snel)
LO3	loofontwikkeling juli (1 traag - 5 zeer snel)
RT	rijptijd (3 zeer laat - 9 zeer vroeg)
OPB	Relatieve opbrengst (100=gemiddelde standaarden voor het gehele veld), er is géén rijptijdsklasse-correctie toegepast
LNG	lengte in cm van knol met diameter 50/60
50/+	% sortering <u>vo</u> en 50mm
40/70	% sortering tussen 40 en 70 mm
SIZE-INDEX	gemiddelde diameter knol (mm)
VORM	vorm L(ang); O(vaal); R(ond)
REG	regelmaat knol (4 slecht - 8 goed)
SK	schilkleur L(icht), G(eel), R(ood), RST(russet), P(aars)
VK	vleeskleur (3 helderwit - 9 donkergeel)
OOG	oogdiepte (3 zeer diep - 8 zeer vlak)
PTY	algemene indruk knollen (4 slecht - 8 goed)
WB	<u>was</u> baarheid (4 slecht - 8 goed)
DW	gevoeligheid doorwas (4 slecht - 8 goed)
SCH	gevoeligheid schurft (4 slecht - 8 goed)
OWG10	onderwatergewicht (g) bij bovenwatergewicht van 5.050 kg.

**Weergave 7: Eigenschappen waarop de waarnemingen zijn verricht met in de rechtse kolom de uitleg.**

De werkzaamheden om deze waarnemingen mogelijk te maken zijn te verdelen in 3 stadia:

1. Planten: bij het planten worden de velden aangelegd. Dit gebeurt met een machine en is bepalend voor het verdere resultaat. Voorafgaand aan het planten wordt een proefveldontwerp gemaakt. Dit wordt besproken met de proefveldhouder en Deltares. Aan de hand van het proefveldontwerp wordt bepaald waar de zoutmeetpunten komen te liggen.
2. De gewaswaarnemingen. De gewaswaarnemingen zijn van belang om de reactie van de plant op de omstandigheden vast te stellen. In dit geval is dat het verschil in reactie tussen planten van hetzelfde ras welke ofwel in de controle behandeling staan (geen zout) dan wel in de behandeling waar het zoutgehalte is aangebracht om stress te veroorzaken. De meting gebeurt op verschillende momenten en kan zowel visueel als met foto's plaatsvinden.
3. De oogst. Bij het einde van de proef worden alle individuele veldjes geoogst in een zak. De zakken krijgen labels met een gebarcodeerde identiteit waardoor de waarnemingen aan de knollen eenvoudig in het systeem ingevoerd kunnen worden.



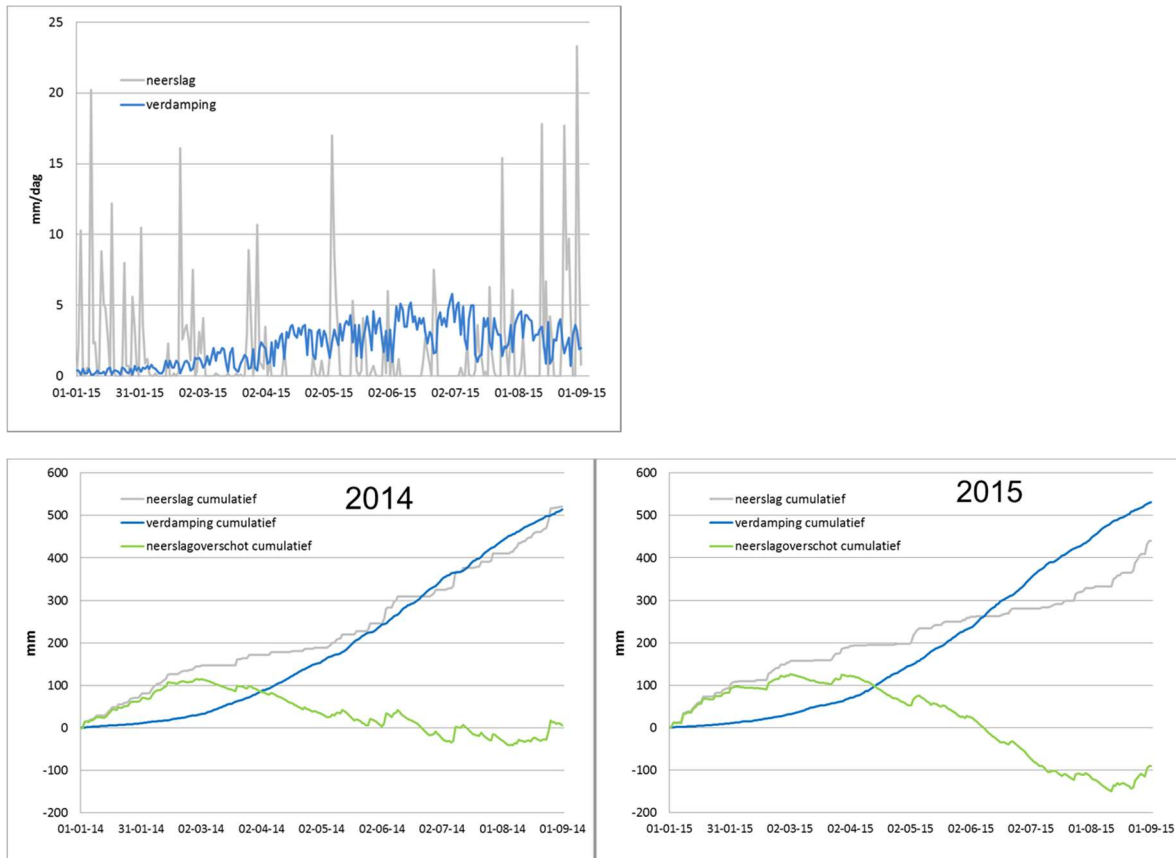
**Weergave 8: Links; verschil in plantontwikkeling bij 4 plotjes naast elkaar in zelfde behandeling; rechts; verschil in opbrengst, knolvorm en presentatie bij 6 plotjes naast elkaar in zelfde behandeling.**

## 2.5 Resultaten monitoring hydrologie 2015

In deze paragraaf worden summier de resultaten van de monitoring campagne hydrologie besproken.

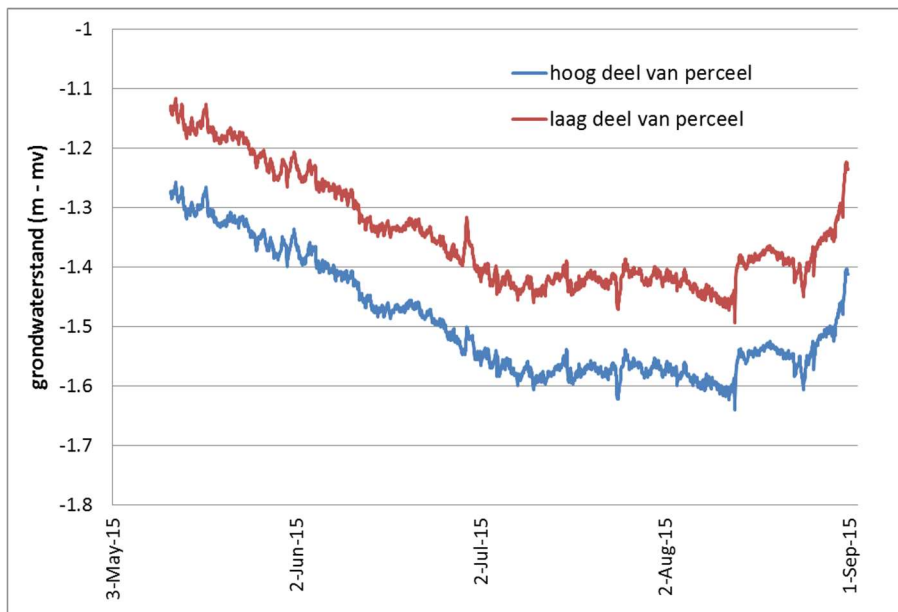
### 2.5.1 Neerslag, verdamping grondwaterstand en bodemvochtgehalte

Wat betreft de meteorologie is het belangrijk op te merken dat 2015 een uitzonderlijk droog groeiseizoen kende. Vergeleken met 2014 viel er in de eerste 8 maanden van 2015 ongeveer 80 mm minder neerslag (440 mm in 2015 versus 520 mm in 2014). Dit neerslagtekort manifesteerde zich vooral vanaf april, gedurende het gehele groeiseizoen (zie onderstaande Weergave 9).



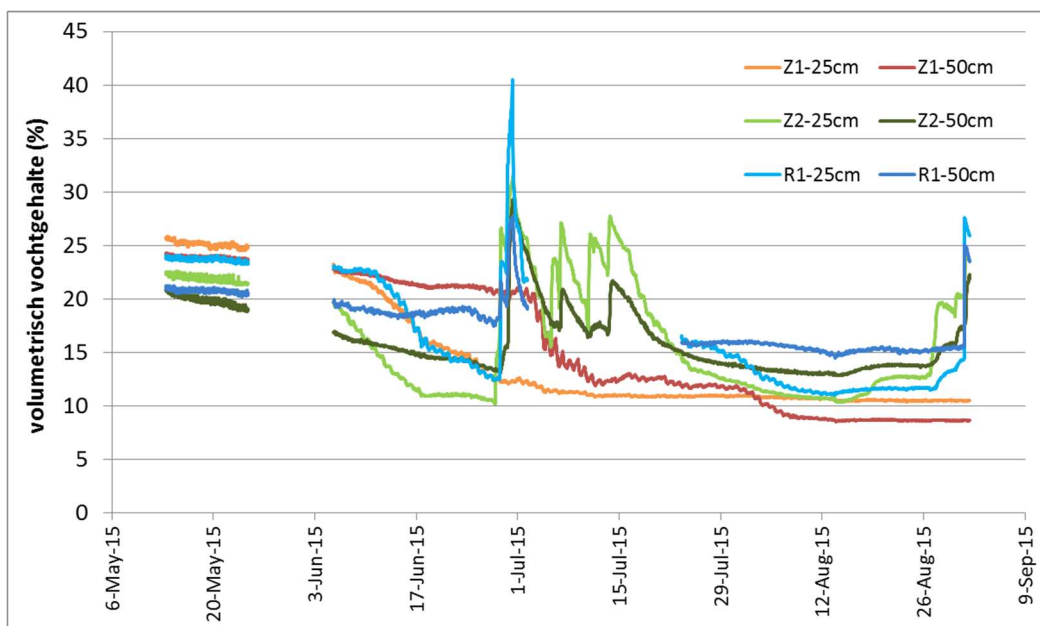
Weergave 9: Neerslag- en verdampinggegevens voor het jaar 2014 en 2015.

In Weergave 10 staat de grondwaterstand weergegeven voor het lagen en hoge deel van het perceel. Het hoger gelegen deel heeft een iets diepere grondwaterstand (15 cm) maar het verloop gedurende het seizoen is voor beide percelen gelijk. Duidelijk is de constant dalende grondwaterstand te zien vanaf april tot 10 juli waar de grondwaterstand ongeveer 30-35 cm is gedaald als gevolg het uitblijven van neerslag en de toegenomen verdamping. Gedurende de zomermaanden stabiliseert de grondwaterstand op ongeveer 143 cm-mv (laag deel) en 158 cm-mv (hoog deel) als gevolg van de toegenomen neerslag. Vanaf 13 augustus gaat de grondwaterstand weer significant stijgen als gevolg van een aantal flinke regenbuien.



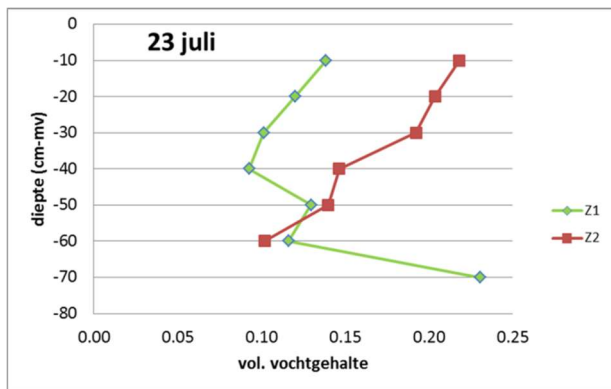
Weergave 10: Grondwaterstandsverloop voor het hoge en lage deel van het proefperceel

Ook het bodemvochtverloop laat een behoorlijke daling zien gedurende het groeiseizoen met een aantal pieken in juli door enkele flinke buien en ook de toename eind augustus is goed te zien. Aan het begin van het groeiseizoen was het bodemvocht tussen de 0.20 en 0.25 en aan het eind van het groeiseizoen 0.08 en 0.15.



Weergave 11: Verloop van het bodemvocht voor 25 en 50 cm diepte voor de 3 locaties R1, Z1 en Z2.

Op 23 juli zijn op verschillende bodemonsters gestoken en is het vochtgehalte met de diepte bepaald voor locatie Z1 en Z2. Meetpunt Z2 laat een dalende trend met de diepte zien voor de bovenste 60 cm. Deze dalende trend is voor Z1 alleen voor de bovenste 40 cm zien. Op 70 cm diepte neemt het vochtgehalte sterk als gevolg van verandering van bodemsamenstelling van zandig naar kleiig.



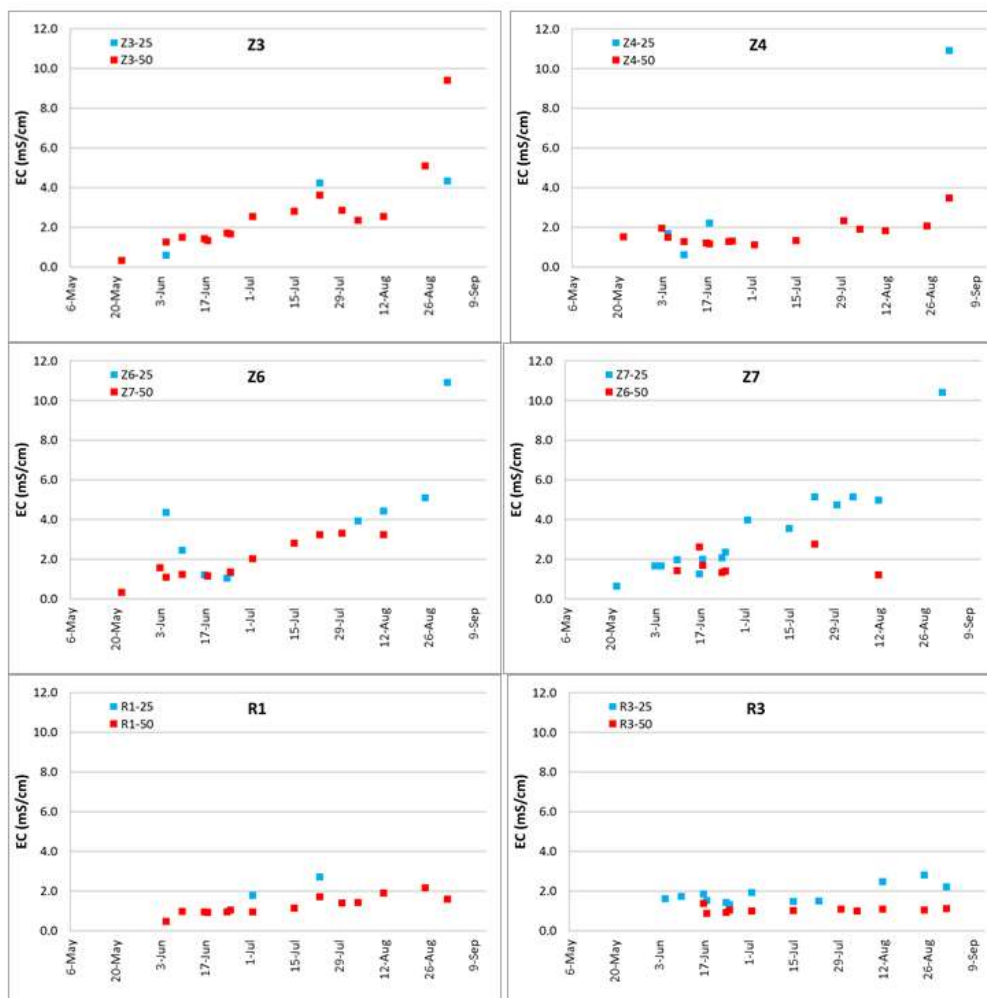
Weergave 12: Verloop van het bodemvocht met diepte voor Z1 en Z2 op 23 juli.

## 2.5.2 Zoutgehalte van het bodemvocht en de bodem

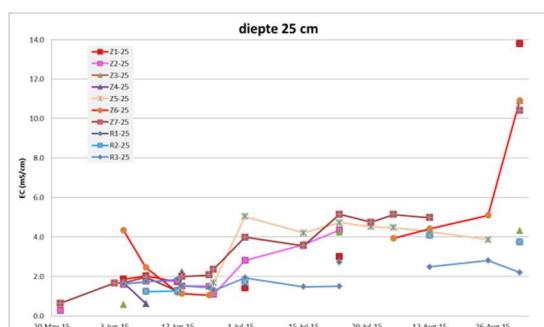
In Weergave 113 staan voor 4 meetpunten in het zoute deel en voor 2 meetpunten in het referentieperceel het gemeten zoutgehalte van het bodemvocht op 25 cm en 50 cm diepte. De Rhizons op 50 cm diepte geven meer en vaker water waardoor voor deze diepte meer gegevens bekend zijn. De meetpunten in het referentiedeel laten een vrij constant verloop zien van een zoutgehalte tussen de 1 en 2 mS/cm. Aan het eind van zomerperiode neemt het zoutgehalte licht toe als gevolg van indamping. De meeste meetpunten in het zoute deel laten een significante stijging in zoutgehalte zien vanaf ongeveer 1 juli. Dat is de periode dat er enkele flinke regenbuien zijn gevallen waardoor het zout in de ruggen kan oplossen en via infiltratie de Rhizons op 25 en 50 cm diepte kan bereiken. In de laatste week van augustus is een enorme toename van het zoutgehalte te zien tot EC-waarden van rond de 10 mS/cm, op zowel 25 als 50 cm-mv. Dit wordt veroorzaakt door een relatieve natte augustusmaand met de laatste 2 weken van augustus nog enkele flinke regenbuien. Hierdoor lost het achtergebleven zout in de ruggen op en verplaatst zich naar beneden.

Het zoutgehalte op 25 en 50 cm-mv blijft in het begin van het groeiseizoen achter bij het gewenste zoutgehalte van ongeveer een EC van 5 mS/cm. Echter, de aardappelplanten laat al wel een degradatie zien als gevolg van het zout. Het verloop van zoutgehalte direct in de omgeving van de aardappel, dus op 0 tot 20 cm diepte (onder de aardappel) is niet bekend, niet gemeten. Het is zeer waarschijnlijk dat het zoutgehalte op deze diepte, daar waar de wortels zich in het begin van het groeiseizoen vormen, hoger was dan op 25 cm diepte gemeten. Immers, de helft van de zoutkorrels zijn in zijn geheel in de rug verwerkt waar ze kunnen oplossen in het al aanwezige bodemvocht zonder dat er sprake is van verdere verticale stroming naar beneden, gedreven door regenbuien. De metingen gedurende het groeiseizoen 2016 tonen aan dat voornamelijk in het begin van het groeiseizoen het zoutgehalte rond de aardappel in de rug veel hoger is dan 25 cm onder de aardappel. Tijdens het groeiseizoen 2015 is dus niet op de goede diepte gemeten om het zoutgehalte dat verantwoordelijk is voor de eerste fase van de ontwikkeling van de aardappel goed te kunnen volgen. Dit verklaart de discrepantie tussen het gemeten vochtgehalte en het achterblijven van de groei van de aardappelen in het zoute perceel.

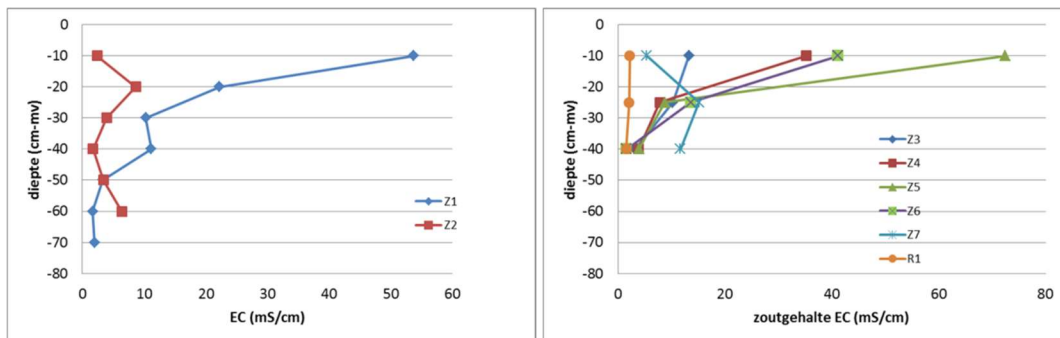
Dit wordt ondersteund door de metingen van het totale zoutgehalte in de bodem m.b.v. de aangepaste Saturated Paste methode (zie Weergave 15) Dit laat zien dat in de rug op 10 cm diepte nog veel zout in vaste vorm aanwezig is en dat dit zoutgehalte met de diepte sterk afneemt. Op 23 juni is dus nog veel zout niet opgelost en veel zout is aanwezig in de directe omgeving van de aardappel. Waarschijnlijk is het zoutgehalte van het bodemvocht op 10 cm dus wel veel hoger dan op 25 cm diepte.



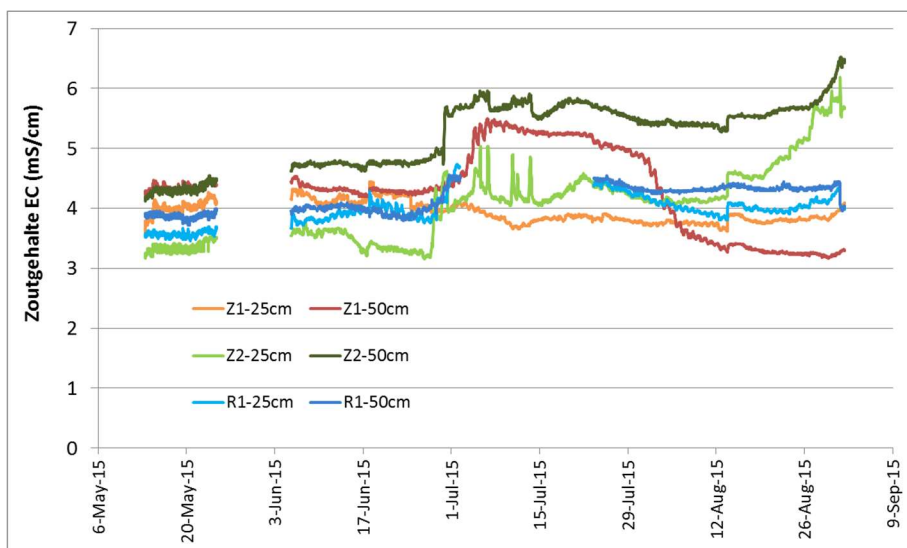
Weergave 13: Het verloop van het zoutgehalte van het bodemvocht op 25 cm en 50 cm diepte (onder de aardappel) gemeten in het bemonsterde bodemvocht via de Macro Rhizons.



Weergave 14: Het verloop van het zoutgehalte van het bodemvocht op 25 cm-mv voor alle meetpunten



Weergave 15: Het verloop van het totale zoutgehalte (vast en opgelost zout) met de diepte voor verschillende meetpunten op 23 juni 2015, gemeten m.b.v. de aangepaste Saturated Paste methode.



Weergave 16: Het verloop van het zoutgehalte van het bodemvocht gemeten met bodemvochtsensoren.

Weergave 16 laat de continue metingen van het zoutgehalte in de wortelzone zien. Deze waarden dienen niet absoluut te worden geïnterpreteerd want ze zijn niet gekalibreerd. Voor Z2 is een duidelijk zouter profiel dan op het referentieperceel (R1) gemeten. Z1 vertoont een relatief constant en vergelijkbaar zoutgehalte als het referentieperceel. Ook de Macro Rhizons geven voor Z1 een relatief zoet bodemprofiel.

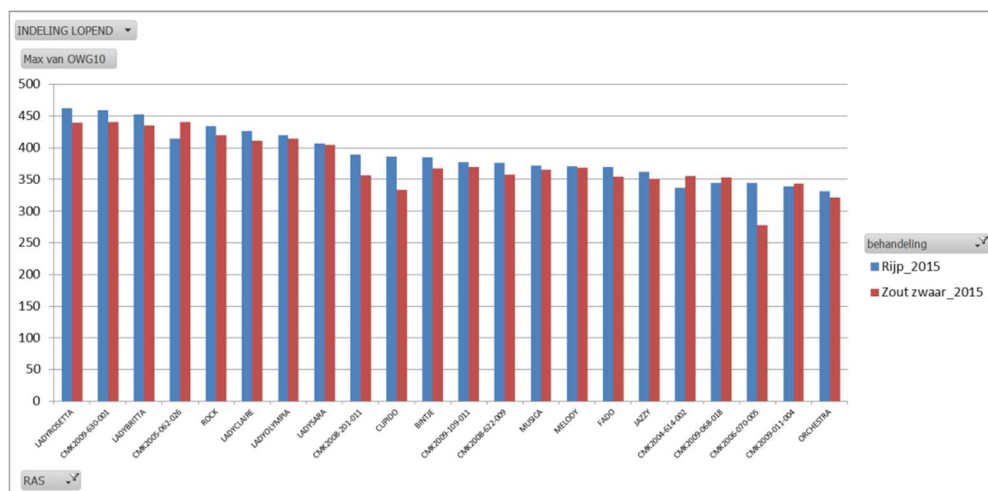
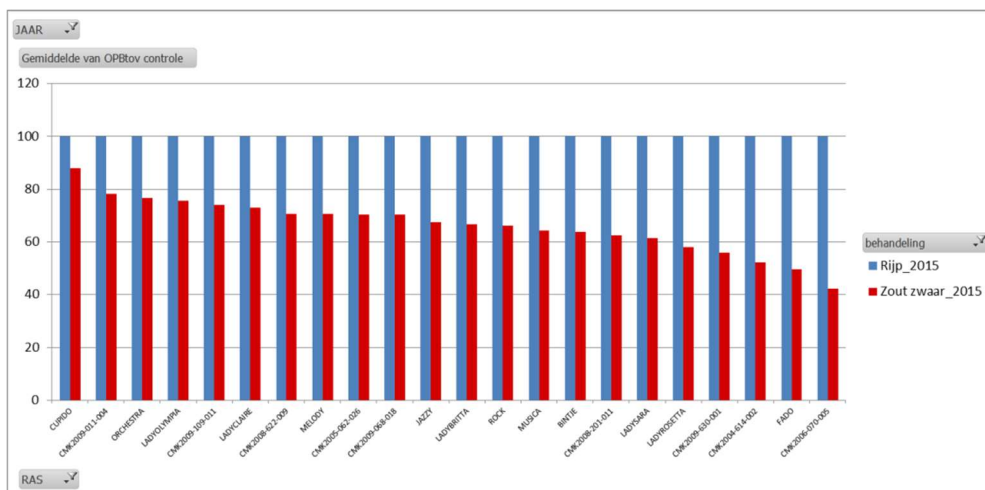
### 2.5.3 Conclusies en aanbevelingen monitoring hydrologie 2015

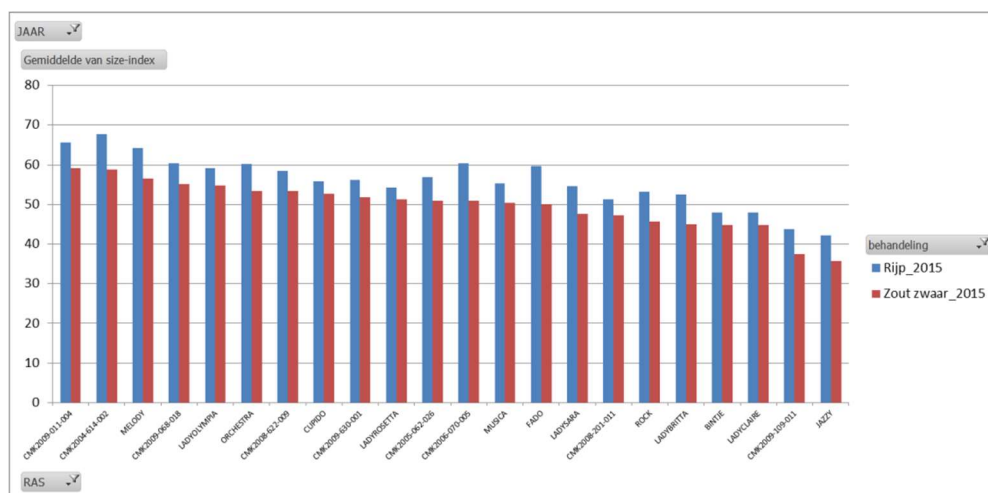
- De zoutmetingen op 25 en 50 cm diepte (onder de aardappel) laten voor het zoute perceel een duidelijker zouter profiel zien dan het referentieperceel waar geen zout is toegediend.
- Echter, de toename van het zoutgehalte neemt pas significant toe als het natter wordt, ongeveer vanaf 1 juli. Er valt meer neerslag waardoor het aanwezige zout in de ruggen oplost en via verticale stroming naar beneden verplaatst. De metingen van het totale zoutgehalte en zoutgehalte in het bodemvocht laten zien dat er veel zout aanwezig is in vaste vorm.
- Zeer vermoedelijk is het zoutgehalte direct onder aardappel (0-15 cm) in de rug veel zouter dan gemeten op 25 cm onder de aardappel onder rug. Het aanwezige zout in vaste vorm in de rug direct deels op in het aanwezige bodemvocht maar verplaatst zich niet naar beneden omdat het te droog is en er geen verticale stroming plaatsvindt.
- Zeer waarschijnlijk heeft de aardappel op het zoute perceel al direct na poten te maken met zoutere condities en wordt daardoor belemmerd in zijn ontwikkeling.

- De vergelijking van de ontwikkeling en uiteindelijke opbrengst van de aardappelen tussen het zoute en referentieperceel kan daarom goed worden gemaakt. Er is een duidelijk verschil in zoutgehalte tussen beide percelen.
- Metingen op 25 cm onder de aardappel zijn dus niet representatief voor het zoutgehalte waar de aardappel aan wordt blootgesteld. De meetopzet voor het groeiseizoen 2016 zal op basis van deze bevindingen worden aangepast.
- Door het uitblijven van het gewenste zoutgehalte op 25 cm diepte, is er extra zout toegediend in de vorm van zoutkorrels en irrigatie van brak water. Hierdoor is uiteindelijk te veel zout in het bodemprofiel terecht gekomen. Dit zout raakt aan het eind van het groeiseizoen opgelost door de neerslag waardoor de zoutgehalten stijgen tot 10-12 mS/cm, ver boven het gewenste zoutgehalte. Voor het groeiseizoen 2016 zal minder zout worden toegediend waarbij er wordt uitgegaan dat het een natter, meer gemiddeld groeiseizoen zal zijn dan 2015. Bij uitblijven van neerslag zal dan extra met zoetwater geïrrigeerd worden.

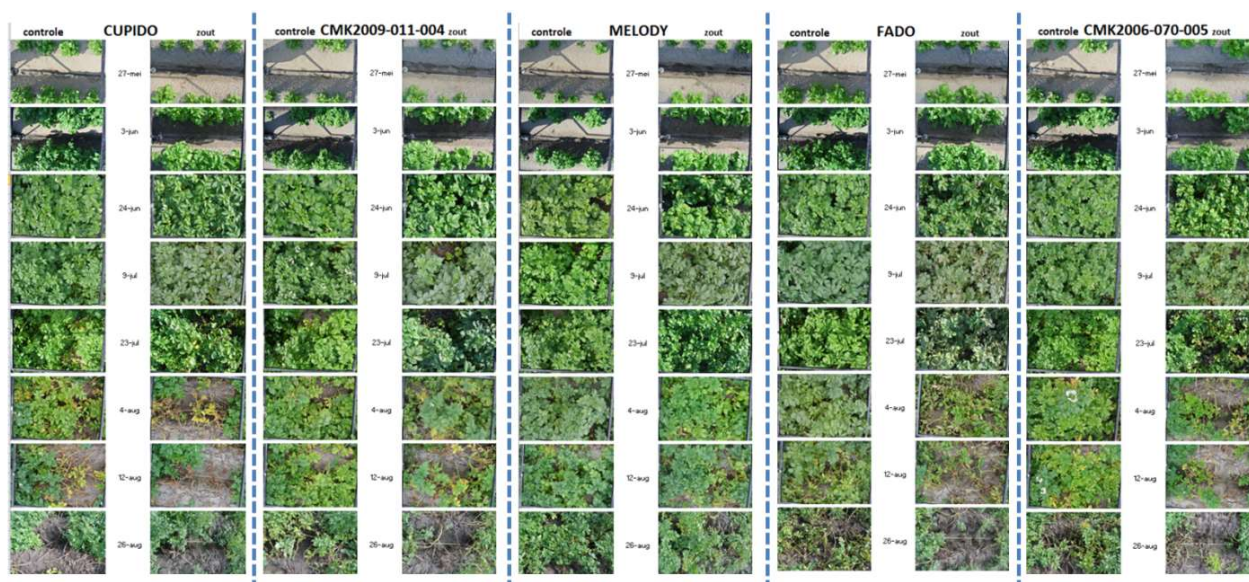
## 2.6 Resultaten veldproef aardappelrassen groeiseizoen 2015

De gedetailleerde resultaten van 2015 zijn opvraagbaar bij Meijer. Een samenvatting van de belangrijkste resultaten is te zien in onderstaande weergave.





**Weergave 17: Resultaten van belangrijke eigenschappen voor de rassenproef in 2015 onder zoute (rode staven) t.o.v. controle (blauwe staven).. Opbrengstverlies, onderwater gewicht en maatsortering**



**Weergave 18: Gewasontwikkeling van enkele rassen met weinig opbrengstverlies en enkele met een sterke opbrengstreductie met links de gewasfoto's van de controle en rechts de gewasfoto's van de zoute behandeling.**

In deze proef kwam duidelijk naar voren dat de rassen die in eerdere beproevingsjaren zoutgevoelig bleken, ook nu de meeste opbrengstderving vertonen. Wel was in 2015 gesignaleerd in de loofwaarnemings momenten dat het zout pas laat in het seizoen haar werk deed. De oorzaak lag in het feit dat het gestrooide zout niet goed opgelost raakte door de droge omstandigheden in de voorzomer van 2015. Vroege rassen als Cupido, Orchestra en Lady Claire zijn min of meer ontsnapt aan de zoutstress zoals ook blijkt uit de grafiek in weergave. In de discussie wordt besproken welke maatregelen nodig waren om dit in 2016 te voorkomen.

## 2.7 Resultaten veldproef populaties groeiseizoen 2015

Begin 2015 zijn populaties gezocht welke uitsplitsing op zouttolerantie kunnen geven. Hiervoor is zaad uitgezaaid van de kruisingen (200 zaden per kruising), hiervan kan per genotype slechts 1 plant op het veld verspeend worden. Dit betekent dat de proef op controle en op het zout gedeelte niet dezelfde genotypen bevat en er op individu-niveau geen vergelijking kan plaatsvinden.

De populaties zullen een goede indicatie geven welke genetica uitsplitsing geeft en kan worden ingezet in de beproeving van 2016. Dat is in dit geval wél met genetisch dezelfde planten in zowel de zoet als de zoute behandeling.

In onderstaande weergaven zijn de resultaten weergegeven.

ZDNR	kruising	MOEDER	VADER	Resultaat in zoute behandeling
Z2014-049	DESIREE x CMK2003-707-003	+	+	sterke populatie, weinig uitsplitsing
Z2014-050	FADO x DESIREE	-	+	Uitsplitsing tussen zwak en sterk
Z2014-053	FADO x CMK2006-070-005	-	-	veel zwakke planten, enkele minder zwak
Z2014-066	CMK2004-614-002 x DESIREE	+	+	sterke populatie, weinig uitsplitsing
Z2014-073	CMK2004-614-002 x CMK2006-070-005	+	-	Uitsplitsing tussen zwak en sterk
Z2014-555	CMK1996-810-005 x CMK2003-707-003	onbekend	+	kleine planten, vrij zwak
Z2014-645	CMK1997-804-008 x CMK1992-808-002	onbekend	onbekend	kleine planten, beperkt uitsplitsing

**Weergave 19: Gewasontwikkeling van enkele rassen met weinig opbrengstverlies en enkele met een sterke opbrengstreductie met links de gewasfoto's van de controle en rechts de gewasfoto's van de zoute behandeling.**



**Weergave 20: Links: Populatie Z2014-049 in de controle, midden: Populatie Z2014-049 in de zoute behandeling en rechts populatie Z2014-073 in de zoute behandeling**

Met de resultaten van deze populaties zijn de populaties uitgezocht voor beproeving 2016.

### 3 Veldproef groeiseizoen 2016

#### 3.1 Keuze van genetisch materiaal 2016

Voor de rassenbeproeving zijn de volgende (kandidaat)rassen gekozen:

CMK2008-071-009, CUPIDO, MARISPIPER, SPUNTA, MELODY, CMK2008-622-009, CMK2009-109-011, CMK2009-031-003, ROCK, SOPRANO, LADYCLAIRE, MUSICA, ORCHESTRA, LADYTERRA, CMK2004-614-002, BINTJE, LADYOLYMPIA, LADYANNA, LADYFELICIA, FADO, CMK2009-630-001, MI2007-011-035, CMK2006-070-005, CMK2008-035-009

Voor het genetisch onderzoek is gewerkt met de volgende populaties:

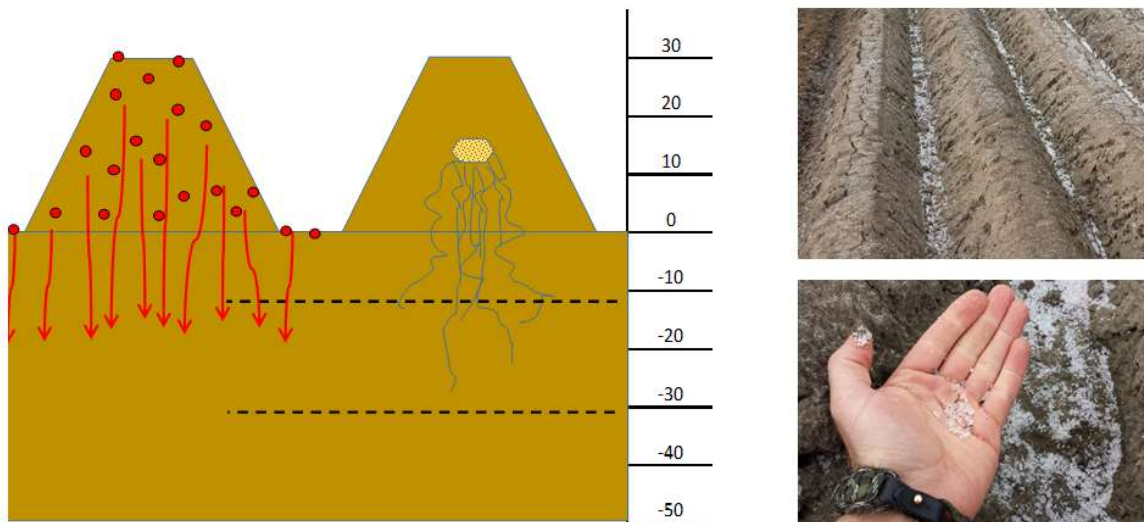
Populatie	KRUISING	Totaal
CMK2015-001	DESIREE x CMK2006-070-005	49
CMK2015-006	SHEPODY x CMK2003-707-003	100
CMK2015-709	CMK1992-808-002 x CMK1997-804-008	37
FADO	OPVULLING	6

Te zien is dat de populaties anders zijn dan de populaties gekozen in 2015. De genetische bronnen zijn echter veelal hetzelfde wat ons de mogelijkheid bood populaties te kiezen welke we in knolvorm voldoende aanwezig hadden om van het zelfde genotype knollen in de controle als in de zoute behandeling te planten, zodat analyses voor genetica en DNA merkers veel gericht en betrouwbaarder worden.

#### 3.2 Monitoring water en zout groeiseizoen 2016

Het proefperceel is verdeeld in drie delen met verschillende zoutregimes. Deze worden aangeduid met EC1, EC5 en EC7. EC1 is het referentieperceel waar geen extra zout wordt toegediend. Voor EC5 en EC7 wordt een zoutgehalte in de wortelzone nagestreefd met een EC van respectievelijk 5 en 7 mS/cm. Om dit zoutgehalte te bereiken, is drie keer gestrooid met zoutkorrels waarvan de eerste en tweede keer vóór het planten van de aardappelen. Deze korrels zijn verwerkt in de ruggen. Ná de vorming van de ruggen en poten van de aardappelen, is nog een keer met zoutkorrels gestrooid die dus deels op de ruggen maar vooral in de voren tussen de ruggen zijn beland. De hoeveelheid zout is zo afgestemd dat gedurende het hele groeiseizoen zout via het oplossen door neerslag en irrigatiewater de wortelzone bereikt.

2016	Oppervlak (m2)	16 maart	2 april	9 april	Totaal (kg)	kg/m2
EC 5	486	300	200	100	600	1,23
EC 7	810	800	300	200	1300	1,60



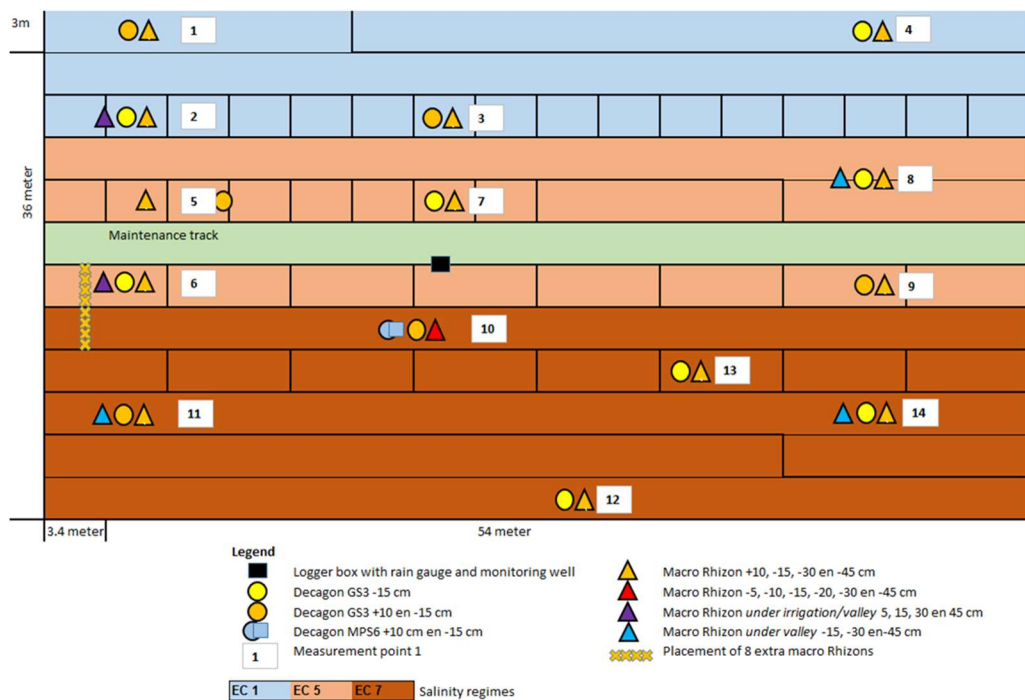
Weergave 21: De hoeveelheid zout toegediend voor de twee velden (boven). Zoutkorrels zijn verwerkt in de aardappelruggen (linksonder) en zoutkorrels op en tussen de ruggen (rechtsonder)

### 3.2.1 Opzet meetnet bodemvocht

Het bodemvochtgehalte en het zoutgehalte van de bodem is gemeten op 14 locaties op het proefveld waarvan 4 meetpunten in EC1, 5 meetpunten in EC5 en 5 meetpunten in EC7 (zie Weergave 22). Daarnaast is tevens de neerslag en de grondwaterstand op het perceel gemeten. De volgende methodes zijn gehanteerd:

- Volumetrisch bodemvochtgehalte ( $\theta$ )
  - Bodemvochtsensors van Decagon (frequentie ieder uur)
  - Lab bepaling van bodemmonsters (incidenteel)
- Zoutgehalte van het bodemvocht ( $EC_{por}$ )
  - Bodemvochtsensors van Decagon (frequentie ieder uur)
  - Macro Rhizons (wekelijks)
  - Lab bepaling (saturated paste methode) van bodemmonsters (incidenteel)
- Totale hoeveelheid vast en opgelost zout in bodem ( $EC_{tot}$ )
  - Lab bepaling (saturated paste methode) van bodemmonsters (incidenteel)
- Grondwaterstand (Gws)
  - Druksensoren (frequentie ieder uur)
- Neerslag (N)
  - Tipping Bucket (frequentie ieder uur)

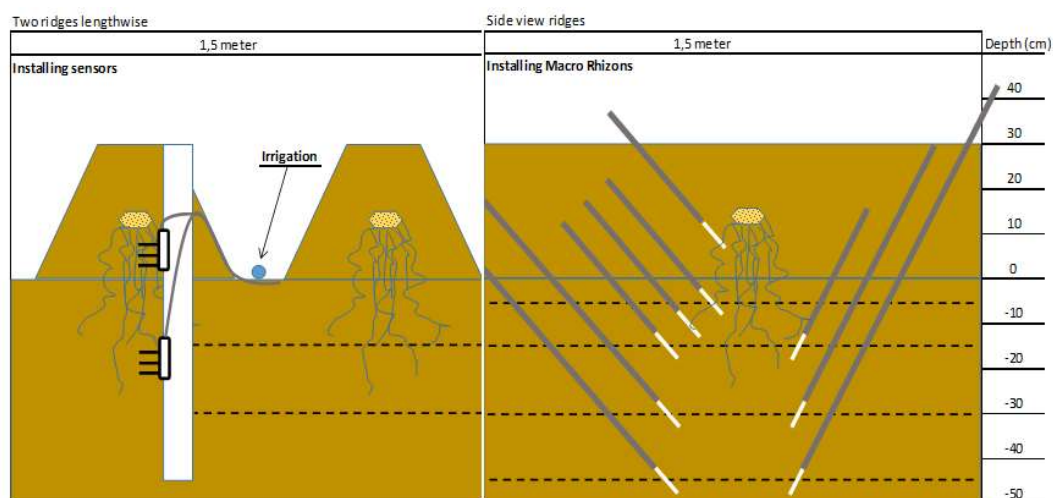
Een beschrijving van de methoden en technische specificaties is gegeven in Bijlage 8.1 tm 8.4



## Weergave 22: De opzet van het bodemvochtmeetnet

De Decagon sensors en de Macro Rhizons zijn op verschillende dieptes geïnstalleerd (zie op een wijze zoals geschetst in Weergave 23. In totaal zijn 20 bodemvochtsensoren geïnstalleerd en 79 Macro Rhizons. De bodemvochtsensoren en Macro Rhizons zijn verdeeld over de 14 meetpunten zoals weergegeven in Weergave 22, additioneel zijn 8 Macro Rhizons geïnstalleerd in 8 naast elkaar liggende ruggen.

De bodemvochtsensoren meten zowel het bodemvocht, zoutgehalte van het bodemvocht en de bodemtemperatuur. De hoogfrequente data van de bodemvochtsensoren als ook van de regenmeter en grondwaterstand werd opgeslagen in een Cambell-datalogger en via het telefoonnetwerk verzonden naar Deltares. De bodemvochtsensoren zijn in het laboratorium gekalibreerd waarvan de methode staat beschreven in Bijlage 8.4. De Macro Rhizons werden wekelijks onder druk gezet met een injectiespuit met volume 50 ml, waarna ze vollieden met bodemvocht en de week erna werd van het verzamelde bodemmonster de EC gemeten met een EC-meter.



## Weergave 23: Schematische weergave van de geplaatste bodemvochtsensoren van Decagon en de Macro Rhizons.

### 3.2.2 Bepaling bodemtextuur en hydraulische eigenschappen bodem

Voor de start van de proef zijn 12 bodemmonsters genomen van de bovenste 10 cm waarvan in het lab de korrelgrootte verdeling is bepaald, gebruikmakend van de droge zeefmethode. Voor elk monster is de fractie lutum ( $< 2 \mu\text{m}$ ), silt ( $2\text{-}63 \mu\text{m}$ ) en zand ( $63\text{-}2000$ ) en op basis van de methode van Locher en De Bakker (1991) geclassificeerd.

Op 3 locaties (meetpunt 2, 10 en 14) zijn bodemmonsters genomen voor de bepaling van de pF-curve. Dit is gedaan op 2 verschillende dieptes (1) top van de rug (+25 tot +30cm) en (2) onder de rug (0 tot -5 cm). De bodemmonsters zijn in-situ genomen in een stalen kopecky ring met een diameter van 8 cm, hoogte 4 cm en volume van  $200 \text{ cm}^3$ . De pF-curve, ook wel waterretentiecurve genoemd, geeft het verband weer tussen de zuigspanning en het vochtgehalte van een de bodem. Uit een pF-curve kan worden gehaald hoeveel bodemvocht voor een plant beschikbaar is. De pF-curve is tevens nodig voor het simuleren van de bodemvochtdynamiek met een model. De pF-curves zijn bepaald met de Hyprop (zie Bijlage 8.6 voor beschrijving methode).

Het is even wel mogelijk om met de Hyprop de onverzadigde doorlatendheid  $k(\theta)$  te bepalen bij verschillende vochtgehaltes. Dit is voor dezelfde bodemmonsters gedaan als waar de pF-curve voor is bepaald (zie Bijlage 8.6).

De verzadigde doorlatendheid  $k(s)$  van de bodem is bepaald met een KSAT meetapparatuur en de methode is beschreven in Bijlage 8.5. Op de zelfde locaties en dieptes als waarvoor de pF-curves zijn bepaald, zijn bodemmonsters genomen voor de KSAT-meting, aangevuld met bodemmonsters van diepte -25 cm.

### 3.2.3 Modelleren van de zout- en vochtdynamiek in wortelzone

Het onverzadigde zone model HYDRUS (Simunek e.a., 1999) is gebruikt voor het modelleren van de zout- en vochtdynamiek in de wortelzone van de aardappelplant. Het doel van de modellering is meer inzicht te krijgen in de onverzadigde zone processen die de dynamiek van het zout en vocht bepalen. Getracht wordt om voor het groeiseizoen 2016 de gemeten bodemvochtgehaltes en zoutconcentraties te reproduceren waarna er enkele scenario's worden doorgekend. In bijlage 8.68 staat een uitgebreide beschrijving van het model HYDRUS, de opbouw van de modellen en van de gesimuleerde scenario's.

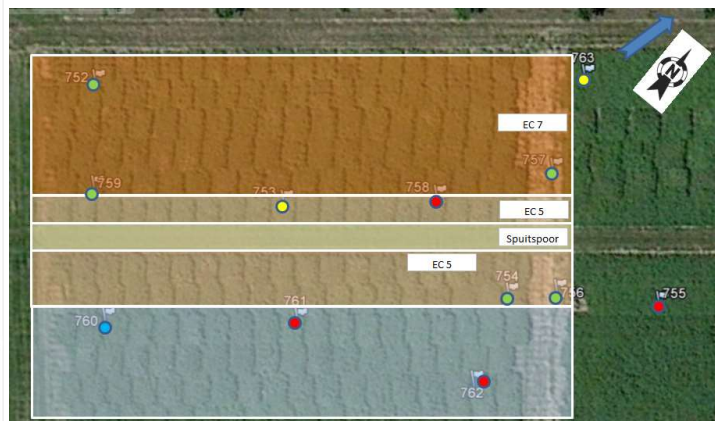
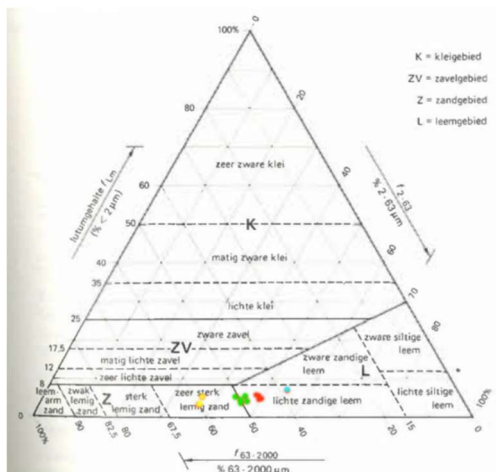
## 3.3 Beschrijving veldbezoeken en waarnemingen m.b.t. ras onderzoek

De waarnemingen in 2016 zijn op dezelfde wijze uitgevoerd als in 2015, de verrichte waarnemingen staan beschreven in paragraaf 0.

## 3.4 Resultaten monitoring hydrologie 2016

### 3.4.1 Bodemtextuur, pF-curve en doorlatendheid

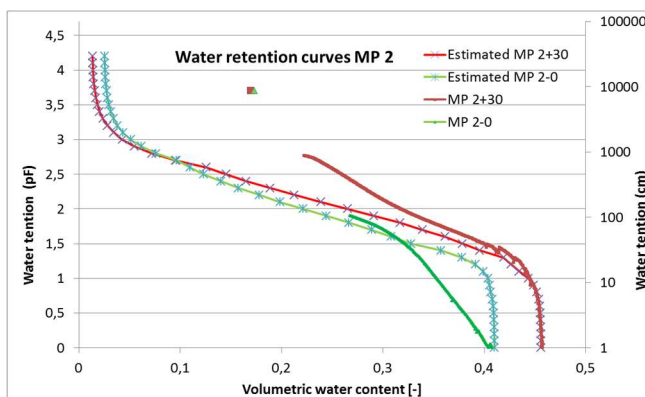
De resultaten van de korrelgrootte analyses van de 12 bodemmonsters staan weergegeven in Bijlage 8.10. Het weergegeven van de resultaten in onderstaande textuurdriehoek laat zien dat de bovengrond een textuur heeft die past bij een lemig zand tot zandige leem (zie Weergave 24). Er lijkt geen ruimtelijk patroon zichtbaar. De uitgebreide korrelgrootteanalyse staat weergegeven in Bijlage 8.10



Weergave 24: De bodemonsters weergegeven in de textuurdriehoek (links) en ruimtelijk op het meetperceel (rechts).

In Weergave 25 staan de pF-curves van MP2 weergegeven. In bijlage 8.11 staan de pF-curves van MP 10 en 14. De data punten net onder pF = 4 (zuigspanning van 8800 cm) geven het zogenaamde 'cavitation' punt aan waar lucht de tensiometer in het bodemonmonster binnentreedt. De MP 30+ meetpunten (bovenkant van ruggen) laten een pF-curve zien waarbij het vochtgehalte heel snel afneemt met toenemende zuigspanning, het vocht verdwijnt gemakkelijk uit de poriën door stroming of verdamping. De MP 0 meetpunten (net onder de ruggen) houden het bodemvocht veel sterker vast tot bijna aan veldcapaciteit. Een eigenschap die aan lemige bodems kan worden toegekend.

Uit de gemeten pF-curves zijn de Van Genuchten parameters geschat. Deze staan weergegeven in Weergave 26. De berekende pF-curves op basis van deze Van Genuchten parameters staan tevens weergegeven in Weergave 26. Bij de schatting van de Van Genuchten parameters zijn het gemeten verzadigd vochtgehalte ( $\theta_s$ ) en het residuaal vochtgehalte ( $\theta_r$ ) toegepast en zijn  $\alpha$  en  $n$  geschat.



Weergave 25: De gemeten pF-curves van MP 2 op diepte +30cm en 0 cm (getrokken lijn). De lijnen met kruisjes geven de berekende pF-curves obv de Van Genuchten parameters.

Parameter	Notation	MP 2	MP2	MP 10	MP 10	MP 14	MP 14
Diepte (cm)		+30	0	+30	0	+30	0
Qr	$\theta_r$	0.013	0.023	0.066	0.045	0.063	0.032
Qs	$\theta_s$	0.456	0.43	0.474	0.383	0.506	0.243
Alpha	$\alpha$	0.016	0.014	0.015	0.012	0.02	0.01
N	$n$	2.467	2.47	2.905	2.851	2.401	2.827

Weergave 26: De geschatte Van Genuchten parameters van 3 verschillende meetpunten (MP2, 10 en 14) op 2 verschillende dieptes (+30 cm en 0 cm).

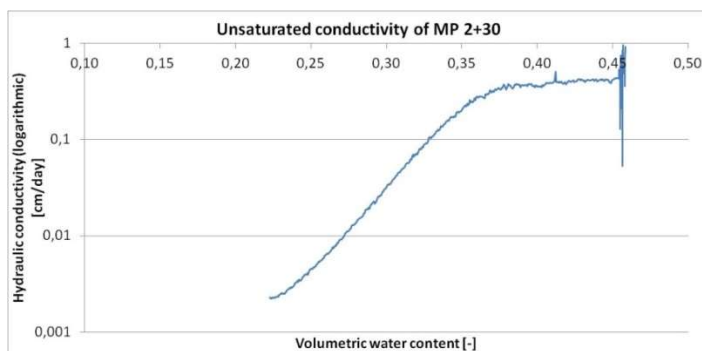
In Weergave 27 staat de verzadigde doorlatendheid weergegeven voor 3 meetpunten en 3 verschillende dieptes. Over het algemeen laten de ruggen een zeer hoge doorlatendheid zien van

enkele meters per dag. Dit wordt veroorzaakt door de losse pakking van het bodemmateriaal door de vorming van de ruggen. Onder de ruggen is de doorlatendheid een stuk lager in de orde van 1 tot 6 cm/dag.

Diepte	Meetpunt		
	MP 2	MP 10	MP 14
30 cm	27	442	598
0 cm	340	280	1,3
-25cm	5,3	6,5	1,4

**Weergave 27: De verzadigde doorlatendheid  $k(\text{sat})$  in cm/dag van 3 verschillende meetpunten (MP2, 10 en 14) op 3 verschillende dieptes (+30 cm, 0 cm en -25 cm).**

De onverzadigde doorlatendheid is sterk afhankelijk van het vochtgehalte, neemt af bij afnemend vochtgehalte en is het hoogst bij verzadiging ( $= k(\text{sat})$ ). Voor meetpunt 2 is dit te zien in Weergave 28.

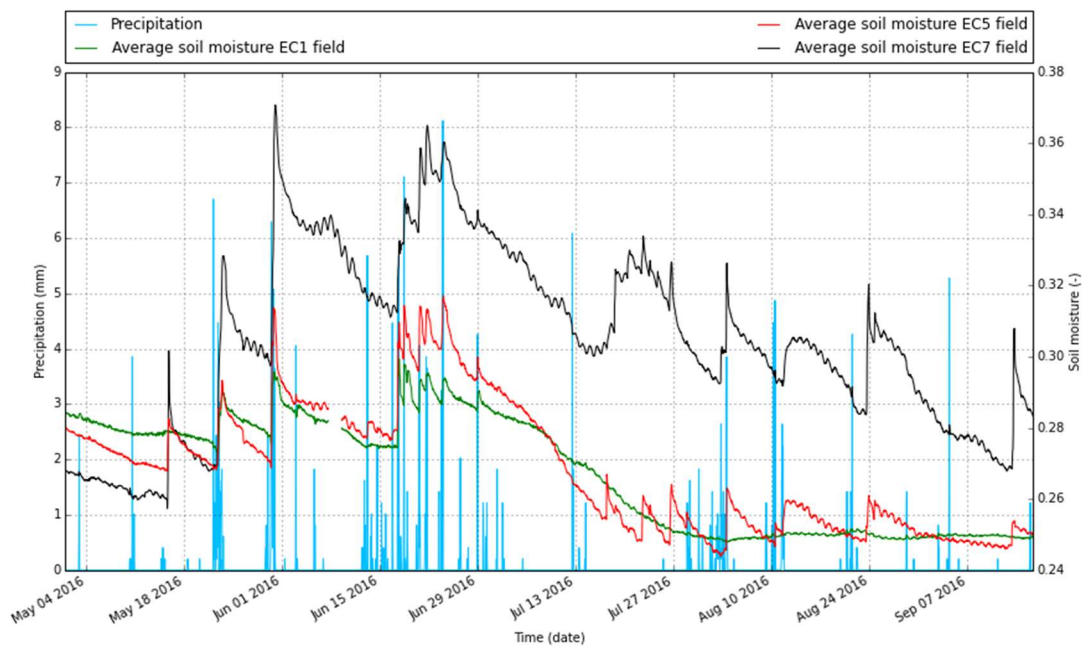


**Weergave 28: De gemeten  $k(\text{unsat})$  – vochtgehalte relatie voor MP 2 (+30 cm)**

### 3.4.2 Monitoring bodemvochtgehalte

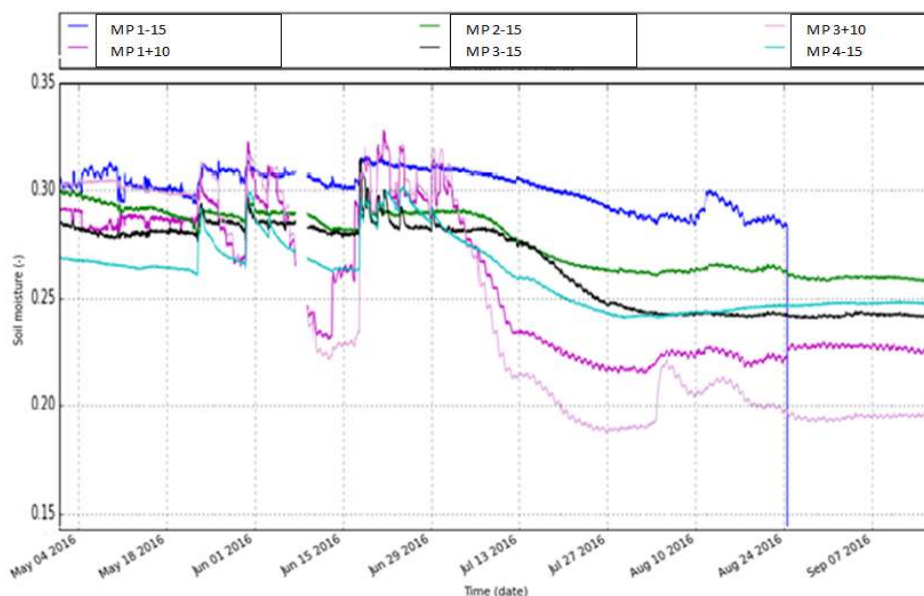
Voor de periode 1 mei 2017 t/m 15 september 2017 is het bodemvochtgehalte voor de 14 meetpunten op verschillende op uur-basis geregistreerd. De ruwe meetgegevens zijn met behulp van de kalibratieparameters omgezet naar volumetrisch vochtgehalte (zie Bijlage 8.24).

In Weergave 29 staan de gemiddelden vochtgehaltes per deelperceel. Opvallend is dat het EC7-deel veel natter is dan EC1 en EC5. Dit deel ligt lager en ook in het veld is duidelijk zichtbaar dat dit deel van het perceel natter is. Verder valt op dat het vochtgehalte op het EC1-deel vanaf juli nauwelijks een reactie op neerslagbuien laat zien terwijl dit voor de andere 2 delen wel zichtbaar is.



**Weergave 29: Het gemiddelde vochtgehalte van deelperceel EC1, EC5 en EC7. Voor de bepaling van het gemiddelde vochtgehalte zijn de volgende meetpunten buiten beschouwing gelaten i.v.m. extreme waarden: voor EC5 de meetpunten MP5 (+10) en MP9 (+10) en voor EC7 het meetpunt**

Voor deelperceel EC1 is het vochtgehalte begin mei rond de 0.27-0.30 en daalt significant vanaf juli naar een waarde tussen 0.20 en 0.26. In deze drogere periode met lagere vochtgehalten is er nauwelijks reactie op individuele regenuien te zien. Er is een dagelijks trend zichtbaar die aantoont dat verdamping invloed heeft. De paarse lijnen geven het vochtgehalte in de rugen weer en deze vertonen de grootste dynamiek: snelle reactie tijdens de natte perioden en een snelle uitdroging door verdamping vanaf juli. Ondanks deze uitdroging daalt het vochtgehalte nooit onder 0.18.

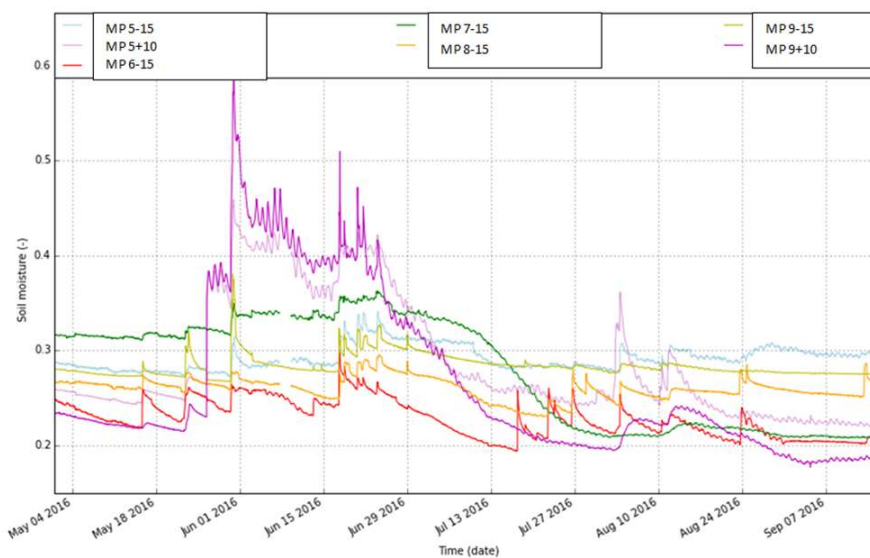


**Weergave 30: Het gemeten volumetrisch vochtgehalte voor de verschillende meetpunten van deelperceel EC1**

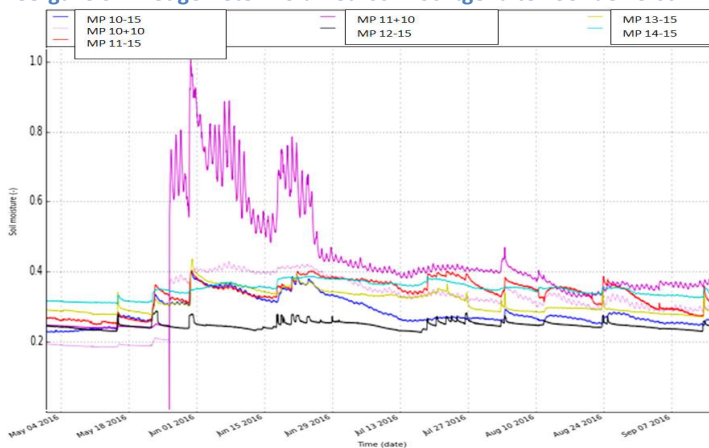
Het vochtgehalte aan het begin van het groeiseizoen voor deelperceel EC5 ligt tussen de 0.23 en 0.31. Tijdens de natte periode in juni stijgt vooral het vochtgehalte in de rugen (paarse lijnen) zeer sterk waarna het vochtgehalte ook weer zeer sterk daalt in de droge periode erna. Dit is zeer vergelijkbaar met de meetpunten in de rugen voor perceel EC1. Het vochtgehalte op -15 cm laat ook

een reactie zien op de buien maar zeer beperkt. De variaties van vochtgehalte voor deze diepte blijven gedurende het hele groeiseizoen klein. Aan het eind van het groeiseizoen (halverwege september) is het vochtgehalte nog steeds 0.18 en 0.30.

Zoals eerder opgemerkt, liggen de we vochtgehaltenes voor deelperceel EC7 hoger dan voor de andere 2 deelpercelen. Aan het begin van het groeiseizoen ligt het vochtgehalte tussen 0.20 en 0.32 en opmerkelijke genoeg wordt aan het einde van het groeiseizoen een hoger vochtgehalte aangetroffen, namelijk tussen 0.22 en 0.38. Waarschijnlijk speelt irrigatie tussen de ruggen een belangrijk rol waarbij het water naar de laagste delen van het perceel stroomt. Ook hier laat een meetpunt in de rug een zeer sterke stijging van het vochtgehalte tijdens neerslag en daling tijdens de drogere periode zien.



Weergave 31: Het gemeten volumetrisch vochtgehalte voor de verschillende meetpunten van deelperceel EC5



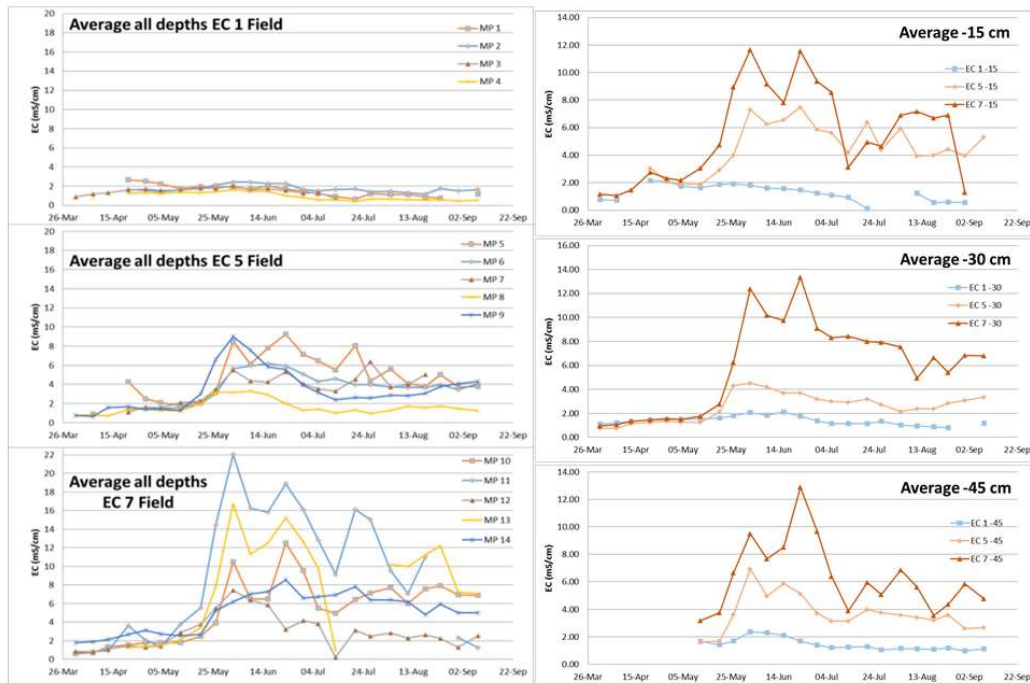
Weergave 32: Het gemeten volumetrisch vochtgehalte voor de verschillende meetpunten van deelperceel EC7

### 3.4.3 Monitoring zoutgehalte bodemvocht

Het zoutgehalte is gedurende het groeiseizoen gemonitord door wekelijkse handmatige bemonstering van de Macro-Rhizons en de automatische metingen op uur-basis van de bodemvochtsensoren. Eerst worden de resultaten van de Macro-Rhizons besproken.

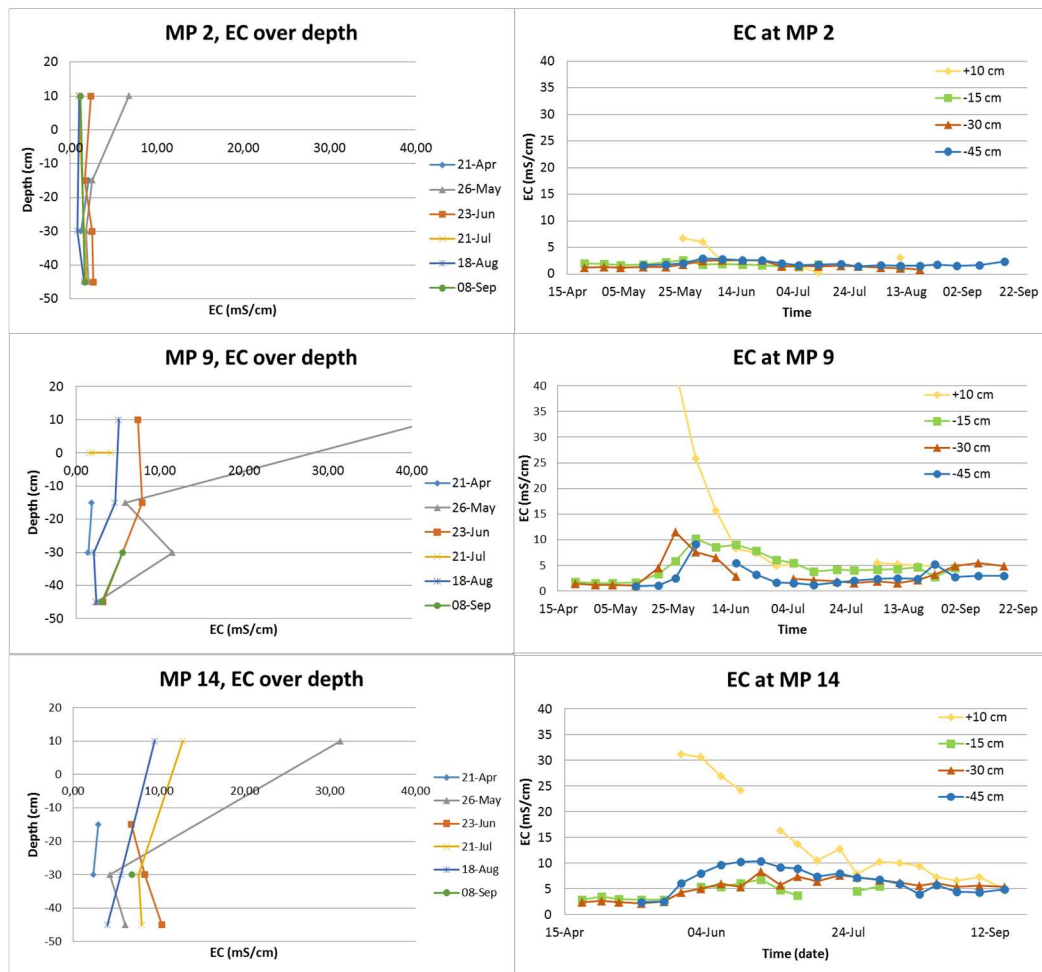
De meeste Rhizons leverde voldoende vocht voor een EC-meting (in 80% van de gevallen) tot aan het einde van het groeiseizoen. In Weergave 33 staan de gemeten zoutgehaltenes weergegeven, per meetpunt gemiddeld over de verschillende dieptes en per diepte gemiddeld per EC-veld. Duidelijk is

de constante en lage EC voor het EC1-perceel met een gemiddelde van 1.5 mS/cm. Voor de deelpercelen EC5 en EC7 begint het zoutgehalte pas op te lopen na een paar flinke regenbuien waardoor het opgeloste zout in de ruggen kon oplossen. Dit gebeurde rond 20 mei. Het gemiddelde zoutgehalte vanaf deze datum tot het eind van het groeiseizoen was 4.0 mS/cm voor het EC5-veld en 7.5 mS/cm voor het EC7-veld. Tussen de meetpunten is echter een grote variatie zichtbaar zeer hoge waarden van bijv. gemiddeld 14 mS/cm voor MP11 en 3.5 mS/cm voor MP12 in hetzelfde EC7-veld.



**Weergave 33: Het gemeten zoutgehalte (in EC) in de tijd, gemiddeld over de dieptes per meetpunten.**

Voor 3 meetpunten in de verschillende EC-velden is het zoutgehalte voor verschillende dieptes weergegeven (Weergave 34). De gegevens laten duidelijk zijn dat het zoutgehalte in de ruggen (+10 cm) extreem hoog is in het begin van het groeiseizoen en dan relatief snel afnemen in de tijd. Voor MP9 neemt het zoutgehalte af met de diepte terwijl voor MP14 op 45 cm diepte het hoogste zoutgehalte wordt gemeten. Mogelijk vindt hier preferente stroming op waardoor het zoute water lokaal dieper kan komen. De metingen van de andere meetpunten staan weergegeven in bijlage 8.13.



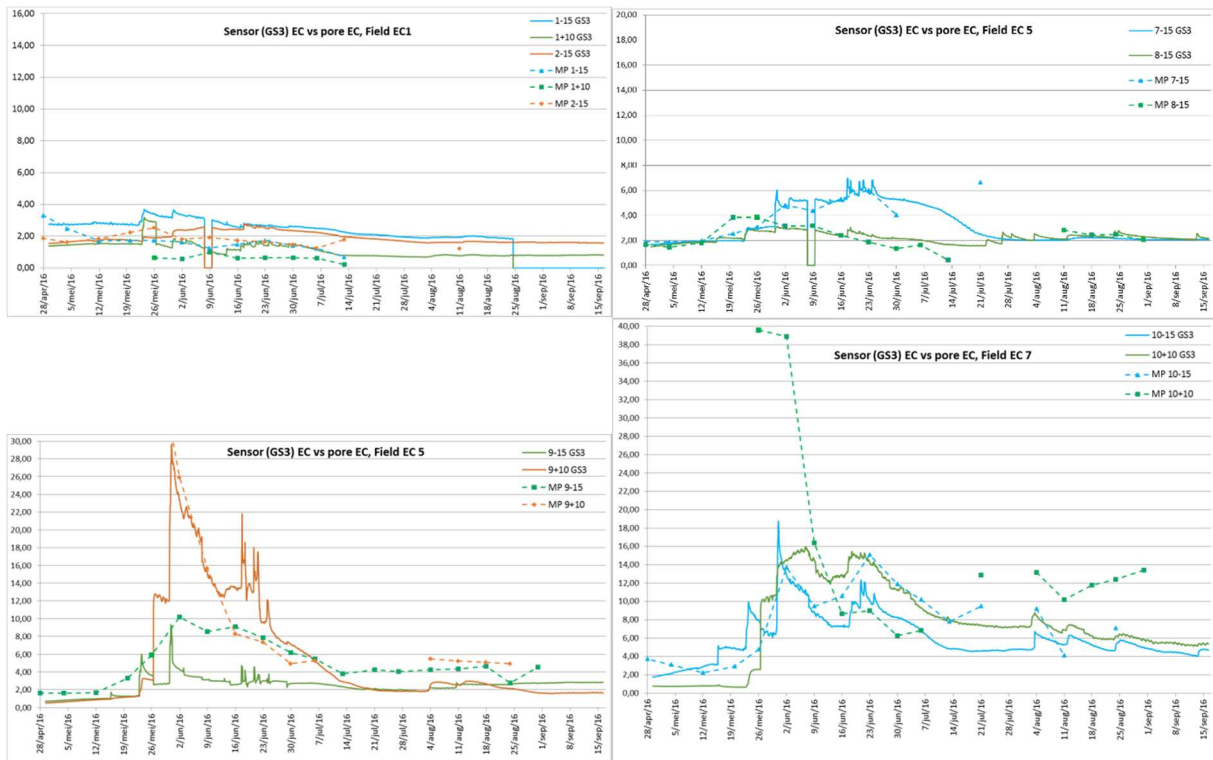
**Weergave 34: Het gemeten zoutgehalte (in EC) in de tijd, voor drie meetpunten MP2 in EC1-veld, MP9 in EC5-veld en MP14 in EC7-veld.**

Naast bodemvocht registreerden de bodemvochtsensoren ook het zoutgehalte. De handmetingen met de Marco Rhizons zijn vergeleken met de automatische metingen met de sensors. De wekelijkse metingen van het bemonsterde bodemvocht in de Macro Rhizons zijn directe metingen en geven het werkelijke zoutgehalte van het bodemvocht aan, de sensormetingen zijn indirecte metingen. In Weergave 34 staat een voorbeeld van deze vergelijking, in bijlage 8.14 staan ze voor alle sensoren weergegeven. De automatische sensormetingen lijken de trend van de handmetingen (Marco Rhizons) redelijk goed te volgen maar de absolute waarden kunnen behoorlijk afwijken. Ook vertonen de automatische sensormetingen een grotere dynamiek dan de handmetingen.

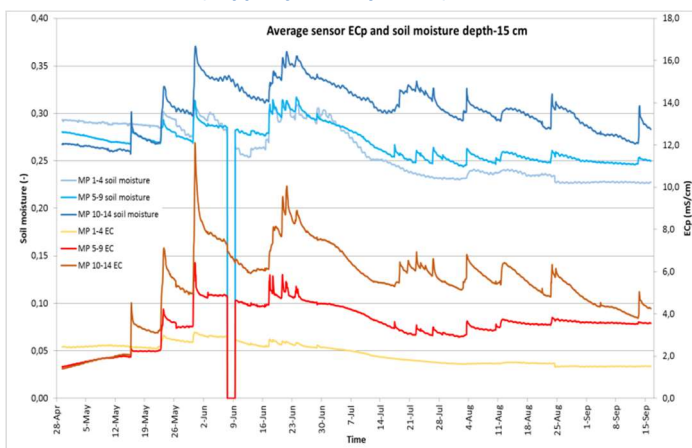
In Weergave 35 staan de automatische metingen van het vochtgehalte en zoutgehalte van het bodemvocht weergegeven, gemiddeld voor het EC5- en EC7-veld. In bijlage 8.14 staan de individuele metingen weergegeven van alle sensoren. Zoals al eerder opgemerkt heeft het EC7 een gemiddeld natter bodemprofiel, en ook het gemeten zoutgehalte is significant hoger. Echter wat opvalt, is dat het zoutgehalte zeer sterk en vergelijkbaar fluctueert als het vochtgehalte. Het zoutgehalte neemt af wanneer de bodem droger wordt. Dit is tegen de verwachting in en niet te verklaren door natuurlijke processen. Het droger worden van de bodem komt door stroming van bodemvocht naar beneden of door verdamping. Verwacht mag worden dat het achterblijvende bodemvocht gelijk blijft of dat het zoutgehalte zelfs iets toeneemt door indamping. Afname van het zoutgehalte kan alleen maar door uitspoeling of verdunning dus tijdens natte perioden.

Uit het bovenstaande blijkt dat de bodemvochtsensoren niet voldoende goed in staat waren om voldoende nauwkeurig het zoutgehalte in het bodemvocht te meten. Het vochtgehalte beïnvloedt mogelijk teveel de meting van het zoutgehalte. Beide, hoger vochtgehalte en hoger zoutgehalte,

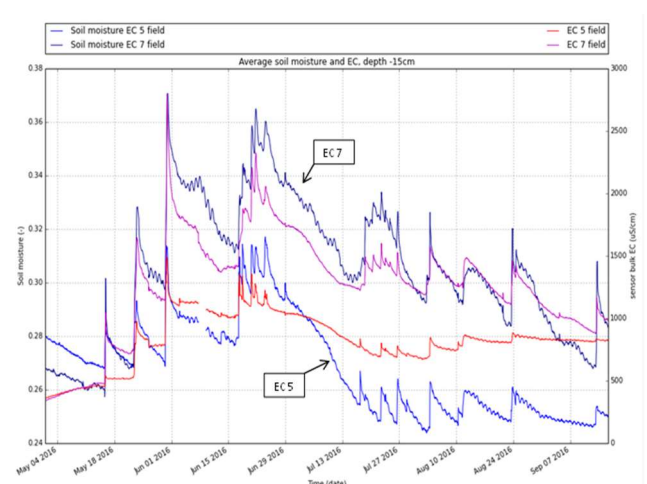
leiden tot een grotere geleidbaarheid van de bodem en het scheiden van deze twee grootheden gebeurt mogelijk niet voldoende goed. Voor de analyse van het verloop van het zoutgehalte van het bodemvocht, zal dan ook vooral gebruik worden gemaakt van de directe Macro Rhizon metingen. Dit wil overigens niet zeggen dat de Decagon-meters niet goed functioneerden. Het is namelijk algemeen bekend dat de zoutmetingen door automatische bodemvochtsensoren sterk kunnen worden beïnvloed door bodemvochtvariaties.



**Weergave 35: Het gemeten zoutgehalte voor MP1, 2, 3, 7, 8, 9 en 10 met bodemvochtsensoren (doorgetrokken lijn) en Macro Rhizons (stippellijn met symbool)**



**Weergave 36: Het gemeten vochtgehalte en zoutgehalte gemiddeld per EC-veld, gemeten met bodemvochtsensoren.. De rode en paarse lijn geven het zoutgehalte weer en de blauwe lijnen het vochtgehalte.**



### 3.4.4 Zoutgehalte in de bodem

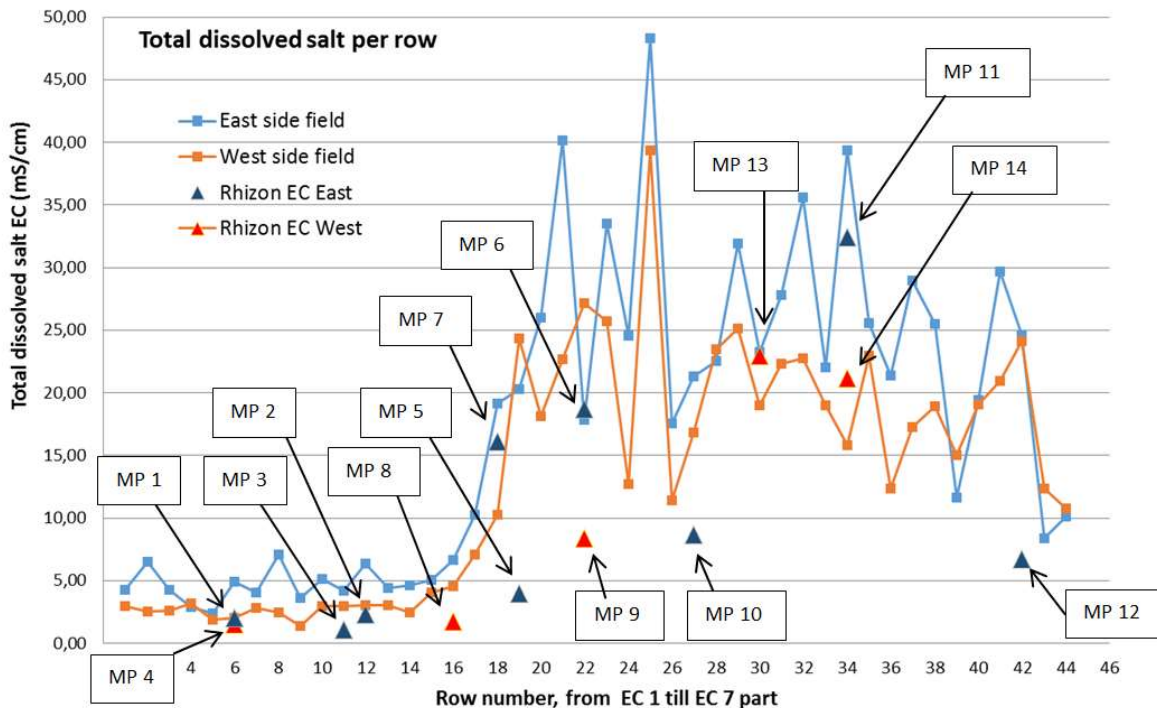
#### Per rug

Op verschillende momenten gedurende het groeiseizoen is het zoutgehalte in de bodem (totale hoeveelheid vast en opgelost zout,  $EC_{tot}$ ) bepaald met de Saturated Paste methode. De hoeveelheid aanwezige zout is omgerekend alsof het zout helemaal opgelost zou zijn in het bodemvocht en wordt uitgedrukt in EC (mS/cm). Hiervoor wordt een volumetrisch vochtgehalte van 0.26 toegepast. Dit is het gemiddelde vochtgehalte dat op 16 juni is gemeten voor alle ruggen. Let op, met  $EC_{tot}$  bedoelen we dus steeds zowel vast zout als opgelost zout terwijl  $EC_{por}$  de zoutconcentratie van het bodemvocht is.

Op 16 juni is het zoutgehalte bepaald voor elke rug, aan zowel de oost- als de westzijde. Dit is gedaan om de ruimtelijke variatie van het toegediende zout in beeld te brengen en te controleren of de zouttoediening is verlopen zoals gewenst. Weergave 37 laat de resultaten zien. Er is een sterke variatie in zoutgehalte voor het zoute deel zichtbaar. De ene rug kan 2 keer zo zout zijn als de naastliggende rug. Ondanks deze sterke variatie op korte afstand, lijkt de variatie binnen een rug mee te vallen. Namelijk, de metingen aan de oostzijde vertonen min of meer dezelfde pieken en dalen als aan de westzijde. De oostzijde is iets zouter dan de westzijde. Opmerkelijk is het feit dat voor een deel van het EC5-veld geen of nauwelijks zout is gestrooid. Tot rug 16 is het zoet terwijl het EC5-veld loopt van rug 13 tot 24. Het EC7-deel (rij 25 tot 44) lijkt niet zouter te zijn het zoute deel van het EC5-deel.

De variatie in zoutgehalte tussen de ruggen heeft waarschijnlijk te maken met de manier van zouttoediening of herverdeling van de bodem na zouttoediening. Een fout bij toediening van het zout is onwaarschijnlijk omdat toediening op basis van dezelfde 4 ruggen gebeurt, op een egale wijze wat ook visueel te controleren is. De meest voor de hand liggende oorzaak is dat de fase na zouttoediening, waarbij de grond verpulverd wordt en opnieuw herverdeeld, er een scheve verdeling plaatsvindt. Een advies voor toekomstig onderzoek zou zijn dit ofwel vooraf te checken dan wel het zout toe te dienen direct ná het planten en voor het frezen.

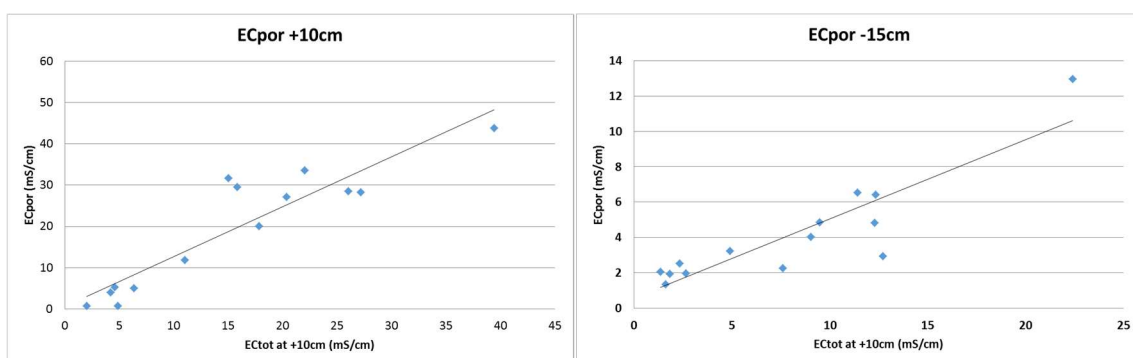
De verschillen in zoutgehalte tussen de ruggen hebben consequenties voor de interpretaties van de resultaten van de proef. In de volgende paragraaf ' $EC_{tot}$  versus  $EC_{por}$ ' is beschreven hoe deze resultaten zijn gebruikt bij de interpretatie van de zoutmetingen, en in hoofdstuk 4 hoe deze variatie is gekoppeld aan de gemeten oogst van verschillende aardappellassen.



Weergave 37: Het gemeten totale zoutgehalte in de ruggen op +10 cm diepte (wortelzone), gemeten op 16 juni. De locatie van de meetpunten staan geplaatst.

#### EC<sub>tot</sub> versus EC<sub>por</sub>

Voor elk meetpunt is het zoutgehalte van het bodemvocht (EC<sub>por</sub>) op verschillende dieptes gemeten met behulp van de Macro Rhizons en vergeleken met het aangetroffen totale hoeveelheid zout in de ruggen (EC<sub>tot</sub>). In Weergave 38 is te zien dat er een duidelijke lineaire relatie bestaat en dit betekent dat de gemeten hoeveelheid zout in de rug (EC<sub>tot</sub>) een maat is voor het zoutgehalte van het bodemvocht. De relatie is het sterkt met het bodemvocht in de wortelzone (+10cm). Zo is voor iedere rug bekend of we te maken hebben met een hoog of laag zoutgehalte en kunnen deze gegevens worden vergeleken met de aardappelgroei in de desbetreffende ruggen (zie volgend hoofdstuk).

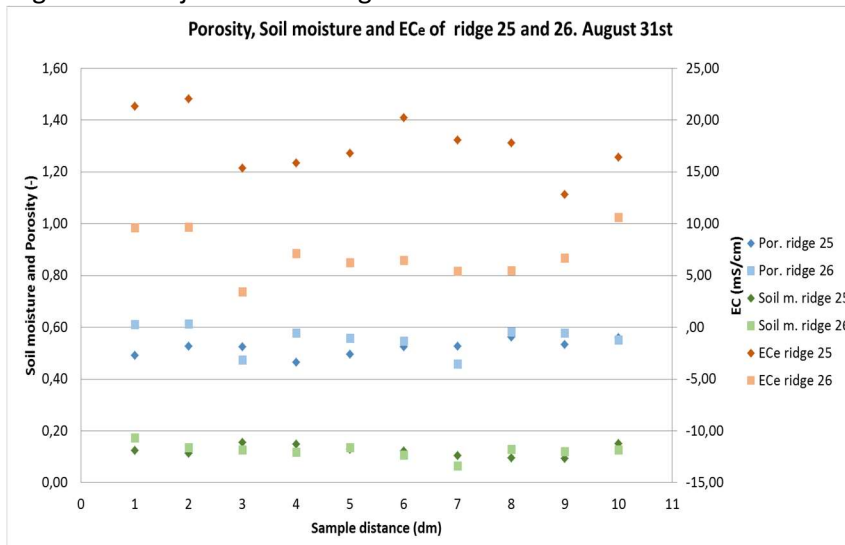


Weergave 38: De (lineaire) relatie tussen de gemeten zoutconcentratie in de wortelzone (EC<sub>por</sub>+10cm) en op -15cm (EC<sub>por</sub>-15cm) (gemiddeld voor periode tot 21 april - 16 juni) en het totale gemeten zoutgehalte in de ruggen (EC<sub>tot</sub>) op 16 juni. EC<sub>por</sub> is bepaald voor 14 meetpunten en EC<sub>tot</sub> is de geïnterpoleerde waarde tussen de EC<sub>tot</sub> van de west- en oostzijde van het perceel.

#### Variatie binnen een rug

Voor twee ruggen (rug 25 en 26) is de lokale ruimtelijke variatie van het zoutgehalte in beeld gebracht door voor elke 10 cm EC<sub>tot</sub> te bepalen voor een totale lengte van 1 m. Tevens is ook het

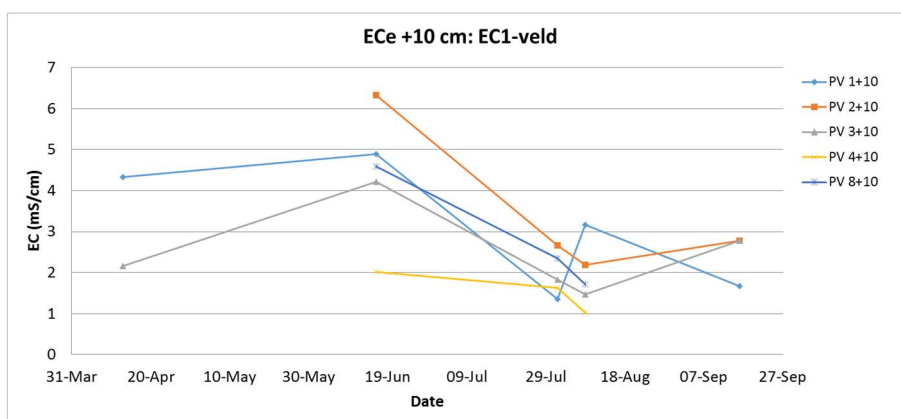
volumetrisch vochtgehalte en de porositeit bepaald. In Weergave 39 zijn deze meetgegevens weergegeven voor de bemonstering op 31 augustus, aan het eind van het groeiseizoen. In de Weergave 39 is duidelijk te zien dat er een groot verschil is in zoutgehalte tussen rug 25 en 26 maar dat de variatie per rug veel minder groot is. De verschillen in porositeit en bodemvochtgehalte tussen rug 25 en 26 zijn veel minder groot.

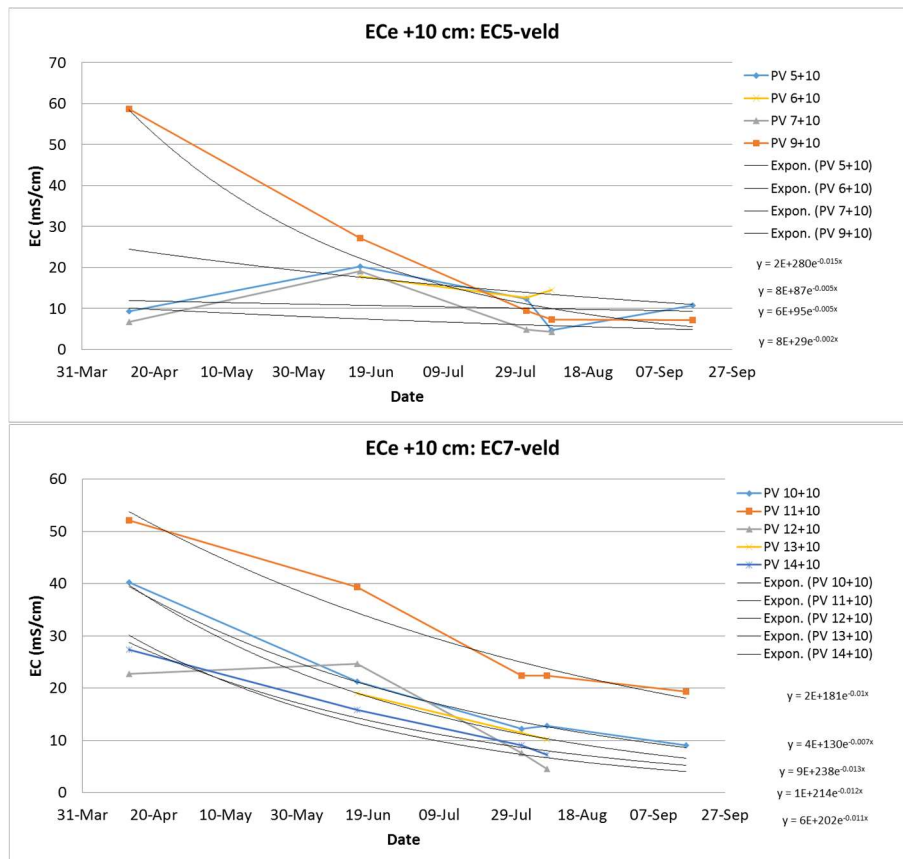


**Weergave 39: Metingen van  $EC_{tot}$ , porositeit, en volumetrisch vochtgehalte op 31 augustus voor 10 locaties in rug 25 en 26. De locaties per rug liggen 10 cm uit elkaar.**

#### Afname van zoutgehalte bodem met de tijd

Weergave 40 laat metingen van  $EC_{tot}$  op +10 cm diepte (wortelzone, in de rug) voor verschillende momenten in het jaar voor de meetpunten in het EC1, EC5 en EC7 veld. Voor de meeste EC5 en EC7 meetpunten is een duidelijke daling van het totale zoutgehalte in de tijd te zien. De zoutkorrels lossen gedurende het seizoen op en het opgeloste zout wordt verder getransporteerd naar diepere lagen. Voor meetpunt 11 is aan het eind van het groeiseizoen nog steeds veel zout in de rug aanwezig ( $EC_{tot} = 20 \text{ mS/cm}$ ), alle andere meetpunten zijn gedaald tot beneden  $10 \text{ mS/cm}$ .

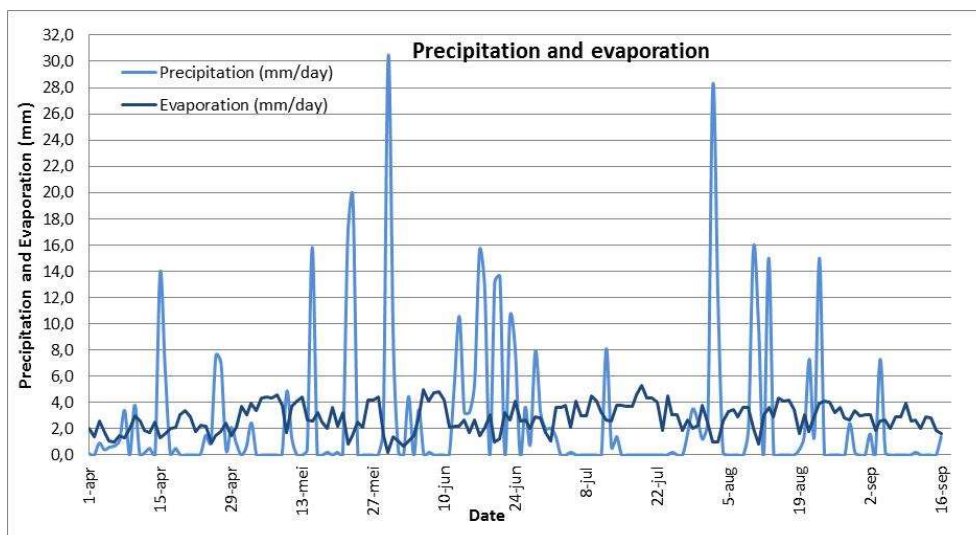
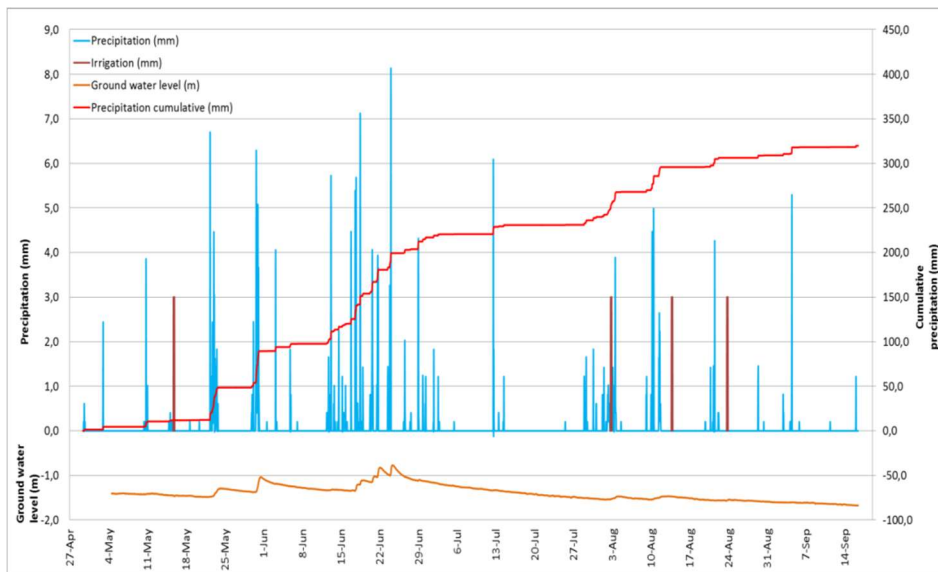




**Weergave 40: Metingen van EC<sub>tot</sub> op +10 cm diepte (wortelzone) voor verschillende momenten in het jaar voor de meetpunten in het EC1, EC5 en EC7 veld.**

### 3.4.5 Neerslag, verdamping en grondwaterstand

In Weergave 41 is dagelijks neerslag, de cumulatieve neerslag, de irrigatiehoeveelheden en de grondwaterstandsfluctuatie weergegeven gedurende de meetperiode 29 april tot en met 16 september. In totaal 320 mm neerslag gevallen en 30 mei was de natste dag met 20 mm in 6 uur. Mei en begin juni waren relatief droog maar het 2e deel van juni was weer erg nat met meer dan 125 mm. Van juli tot 16 september was de hoeveelheid ongeveer 90 mm. Het perceel is 4 keer geïrrigeerd (15 mei, 2, 13 en 23 augustus) met per keer een irrigatiebeurt van 15 mm in 5 uur. De gemiddelde dagelijkse verdamping (potentiële Makkink-verdampin) was 2.8 mm over de meetperiode. De grondwaterstand fluctueerde tussen -1.67 en -0.77 meter beneden maaiveld en laat stijgingen zien tijdens regenbuien. Vanaf eind juni daalt de grondwaterstand gestaag naar een het minimale niveau van -1.67 m.



Weergave 41: dagelijks neerslag, de cumulatieve neerslag, de irrigatiehoeveelheden en de grondwaterstandsfluctuatie weergegeven gedurende de meetperiode 29 april tot en met 16 september

### 3.4.6 Conclusies monitoring hydrologie 2016

- Ten opzichte van 2015 is het hydrologisch meetnet voor groeiseizoen 2016 sterk uitgebreid. Op 14 locaties is zowel m.b.v. Marco Rhizons (wekelijkse monitoring) als automatisch met sensoren (ieder uur) het zoutgehalte van het bodemvocht op verschillende dieptes in de wortelzone van de aardappel gevolgd.
- De zoutmetingen van het bodemvocht bemonsterd met Macro Rhizons geven de meest betrouwbare en bruikbare resultaten.
- Gezien de twijfelachtige betrouwbaarheid van de zoutmetingen door bodemvochtsensoren, verdient het de aanbeveling om zout van bodemvocht op verschillende manieren te meten i.p.v. eenzijdig door bijv. automatische sensoren. Macro-rhizons of lab-metingen (e.g. saturated paste) aan bodemonsters geven de meest betrouwbare resultaten en dienen met regelmaat te worden uitgevoerd.
- De resultaten laten een duidelijk verschil zien tussen de drie velden EC1, EC5 en EC7. Echter, de variatie per veld is groot.
- Met Saturated Paste metingen van de bodem is het totale zoutgehalte (vaste zoutkorrels + opgelost in bodemvocht) bepaald voor elke rug, zowel voor de oost- als de westzijde. De

metingen laten een duidelijk patroon zien. De variatie tussen de ruggen is groot en binnen de ruggen klein. Dit heeft zeer waarschijnlijk te maken met de wijze van toediening van de zoutkorrels of herverdeling van de grond erna. Deze werkzaamheden zijn parallel aan de ruggen met een machine aangebracht en daarna in de ruggen verwerkt.

- Deze resultaten laten zien dat voor een deel van het EC5-veld geen of weinig zout is gestrooid waardoor de aardappelen in dit deel niet aan het gewenste zoutregime zijn blootgesteld en dus behoren tot het EC1-veld, het referentiedeel.
- Er is een duidelijke lineaire relatie tussen dit totale zoutgehalte (vaste stof + opgelost) en het gemeten zoutgehalte van het bodemvocht op verschillende dieptes in de wortelzone.
- Per rug is dus een redelijk goed beeld van het zoutgehalte van het bodemvocht in de wortelzone bekend. Deze gegevens zijn gebruikt om per aardappelras opbrengstcijfers met het zoutgehalte te vergelijken (zie Hoofdstuk 6).
- In 2016 is op meer dieptes gemeten dan in 2015. Een zeer waardevolle uitbreiding, waren de Macro Rhizon metingen op diepte +10cm in de rug. Dit is direct onder de aardappel en dit zoutgehalte is van belang voor de vroege ontwikkeling van de aardappel als de wortels nog moeten groeien. In de rug zitten de zoutkorrels. In 2015 is alleen op 25 cm en 50 cm onder de aardappel gemeten (onder de rug en waar dus geen zoutkorrels aanwezig zijn) waardoor relatief zoete waarden werden gevonden terwijl het direct onder de aardappel vermoedelijk (veel) zouter was (2015)
- De metingen in 2016 direct onder de aardappel (+10 cm) laten voor de ruggen waar zout is gestrooid, een zeer hoog zoutgehalte van het bodemvocht zien in de periode tot half juni, tussen 10 en 50 mS/cm. Vanaf eind mei daalt het zoutgehalte in de rug tot een waarde die ook op -15 cm, -30 cm en -45 cm diepte wordt aangetroffen (omstreeks half juni – half juli). Dit is veroorzaakt door neerslagwater dat het opgelost zout naar beneden transporteert.
- De aardappelen in het zoute deel zijn dus in het begin van het groeiseizoen (tot eind mei, half juni) aan zeer hoge zoutgehalten blootgesteld. Dit heeft een groot effect op de aardappels gehad (zie verder).
- De hoge zoutgehalten zijn veroorzaakt door de hoeveelheid zout die is aangebracht in combinatie met een nat begin van het groeiseizoen. Hoewel er minder zout is toegediend dan in 2015, waren de zoutgehalten hoger als gevolg van een veel natter seizoen.
- Dit geeft aan dat met dit zout management 'het toedienen van zoutkorrels' het lastig is om de zoutconcentraties in de wortelzone te reguleren. Vanaf half juni worden wel de gewenste zoutconcentraties in de wortelzone bereikt die tot het einde van het groeiseizoen konden worden gehandhaafd.
- Meer bevindingen voor groeiseizoen 2016 wat betreft de factoren die de zout dynamiek in de wortelzone bepalen en de interactie met de aardappelplant, wordt verwezen naar de master-thesis van Ahlrichs (2017).

### 3.5 Resultaten modellering zout- en vochtdynamiek wortelzone

Voor een uitgebreide beschrijving van de resultaten van de HYDRUS-modellering wordt verwezen naar bijlag 8.8. De belangrijkste conclusies worden hieronder puntsgewijs besproken.

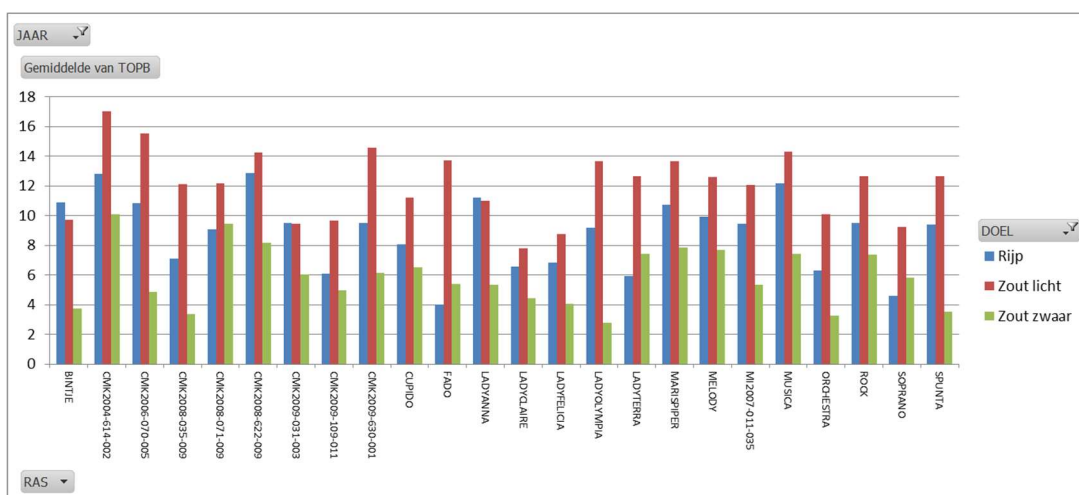
- Het verloop van het gemeten vochtgehalte in de wortelzone voor het groeiseizoen 2016 kon redelijk goed worden gesimuleerd met HYDRUS.
- Echter, het bleek lastig om de gemeten zoutconcentraties te reproduceren met HYDRUS. Het belangrijkste probleem hierbij was het feit dat het proces van oplossen van zoutkorrels in de bodem niet door HYDRUS kan worden gesimuleerd. Om dit probleem te ondervangen is getracht om binnen de mogelijkheden van HYDRUS de juiste zoutconcentratie op +10 cm diepte te verkrijgen. Dit is gedaan om aan de ruggen een bepaalde initiële zoutconcentratie toe te kennen en om aan de neerslag op verschillende momenten gedurende het groeiseizoen een bepaalde zoutconcentratie toe te kennen. Deze waarden zijn zo aangepast (kalibratie) dat het model het verloop van de zoutconcentratie op +10 cm op redelijke wijze

voorspeld. Dit gekalibreerde model (scenario 1 in bijlage 8.8) is vervolgens gebruikt om verschillende scenario's door te rekenen.

- Het model is doorgerekend met de regen- en verdampinggegevens van 2015. De resultaten laten zien dat het droge eerste deel van het groeiseizoen 2015 veel invloed heeft op zowel het bodemvocht als de zoutconcentraties. Pas eind juli en in augustus wordt het vochtiger in de ruggen rond de aardappels en pas in augustus neemt de zoutconcentratie op 25 cm onder de aardappel toe als gevolg van infiltratie van bodemvocht als gevolg van de toename van neerslag.
- Neerslag is nodig om het zouttransport in de wortelzone op gang te brengen. Gedurende droge perioden blijft het zouttransport gering en nemen zoutconcentraties iets toe door indamping.
- Verschil in bodemeigenschappen hebben weinig invloed op de vocht- en zoutdynamiek zoals gemodelleerd met HYDRUS. Het is de vraag of dit in werkelijkheid ook zo is. De variatie in het gemeten vocht- en zoutgehalte voor verschillende meetpunten is namelijk veel groter dan het model laat zien.
- Continue irrigatie van 3 en 10 mm/dag leidt tot een continue nat bodemprofiel maar niet tot een te nat bodemprofiel zodat de gewassen er hinder van ondervinden. De pieken als gevolg neerslagbuien in de situatie zonder drainage, blijven min of meer gelijk voor de situatie met irrigatie. Dit biedt mogelijkheden om continue irrigatie toe te passen met brakwater om zo een constant verhoogd zoutgehalte in de wortelzone te bewerkstelligen.

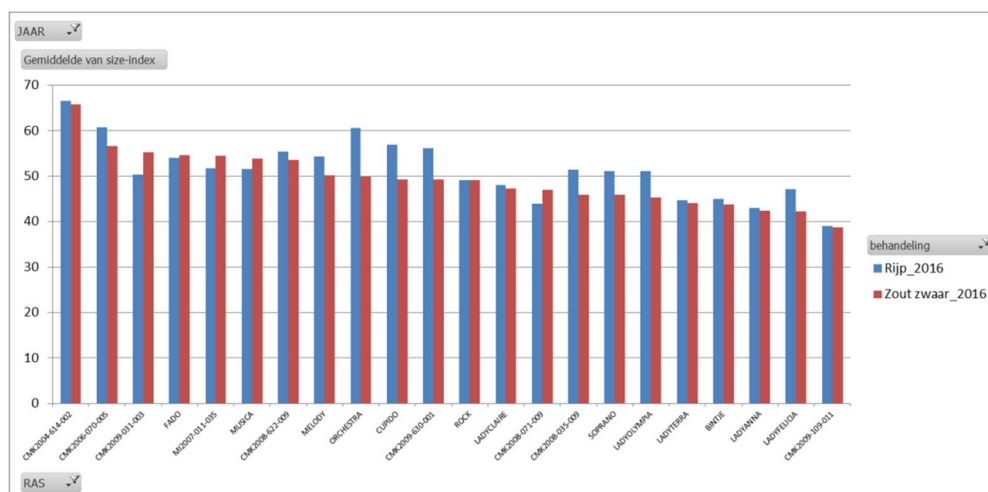
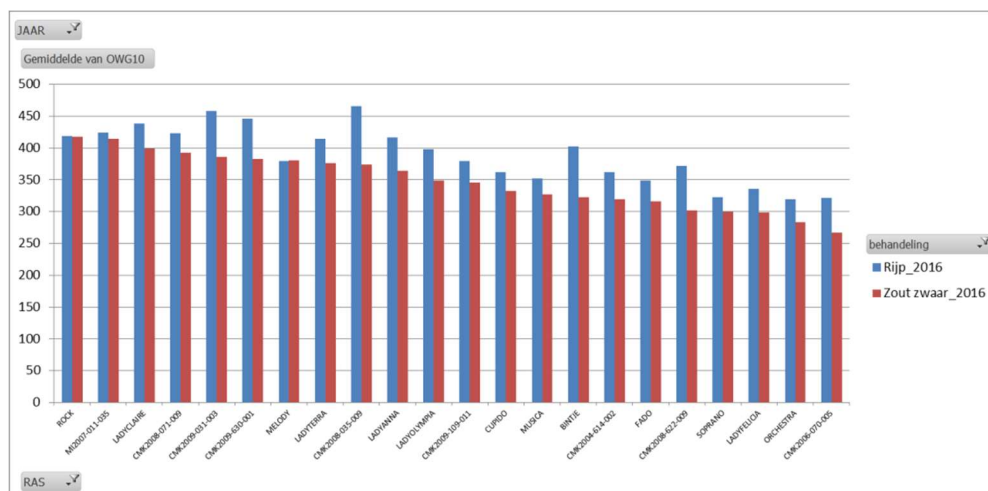
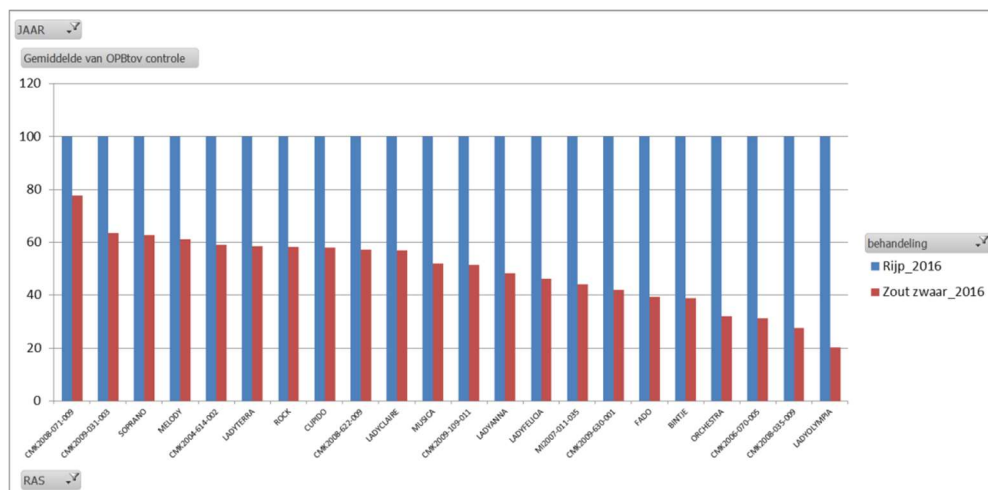
### 3.6 Resultaten veldproef aardappelrassen groeiseizoen 2016

De gedetailleerde resultaten van 2016 zijn opvraagbaar bij C. Meijer BV. Een samenvatting van de belangrijkste resultaten is te zien in onderstaande weergave.

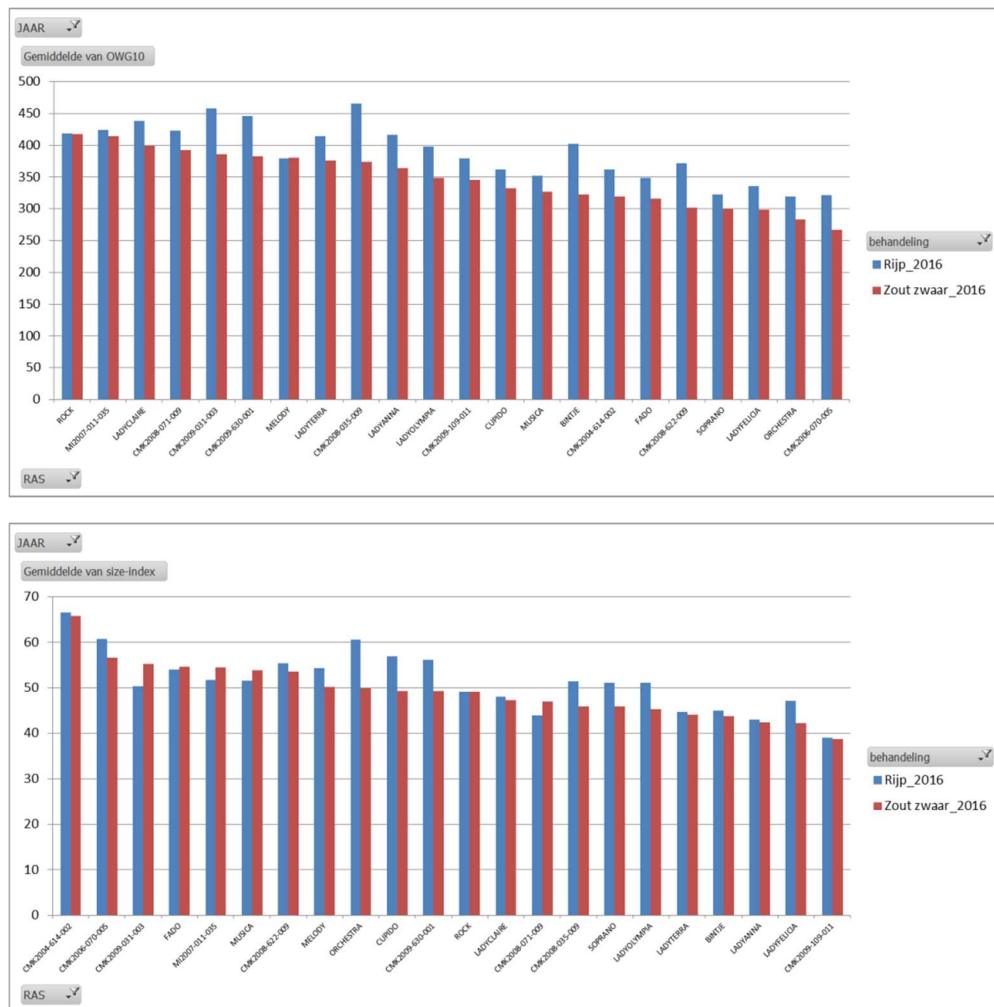


**Weergave 42: Kg/opbrengst per veld van de rassen in de controle behandeling (rijk), de licht zoute behandeling (Zout licht) en de zwaar zoute behandeling (Zout zwaar)**

In deze grafiek is een afwijkend beeld te zien t.o.v. de verwachting dat er een afname van opbrengst te zien is bij ieder ras bij een toenemend zoutgehalte van de bodem. Echter, de opbrengst van de licht zoute behandeling is beduidend hoger dan de controle. De verklaring hiervoor is een grote Phytophthora besmetting in het gedeelte van de controle proef. Phytophthora is wel in het bestrijdingsplan opgenomen bij proefveldhouder Van Wesemael, maar door de vochtige omstandigheden vanaf juni is de ziekte er toch flink doorheen gekomen. We hebben besloten de controle te laten vervallen en de licht zoute behandeling als controle te nemen, ervan uitgaand dat het opbrengst verlies tussen controle en licht zout in alle gevallen laag is.



Weergave 43: Resultaten van belangrijke eigenschappen voor de rassenproef in 2016 onder zoute (rode staven) t.o.v. controle (blauwe staven).. Opbrengstverlies, onderwater gewicht en maatsortering.



Weergave 43 geeft een flinke reductie te zien in opbrengst. Indien we deze grafiek vergelijken met de grafiek van 2015 kunnen we de volgende indeling in rassen maken:

#### STERK OP ZOUT:

- Melody
- Cupido
- CMK2009-622-009
- Rock
- Lady Claire
- Musica

#### ZWAK OP ZOUT:

- CKM2005-070-005
- Fado
- CMK2009-630-001

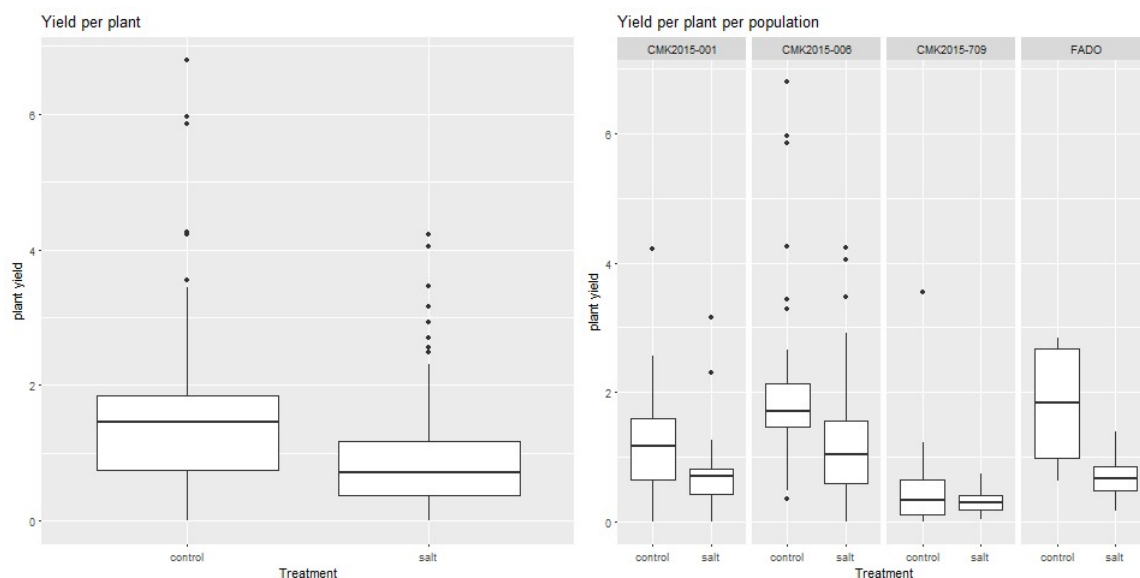
### 3.7 Resultaten veldproef populaties groeiseizoen 2016

Met dank aan de inzet van de bio-informaticus van Meijer, Inez Terpstra konden de resultaten direct worden ingezet voor genetisch onderzoek.

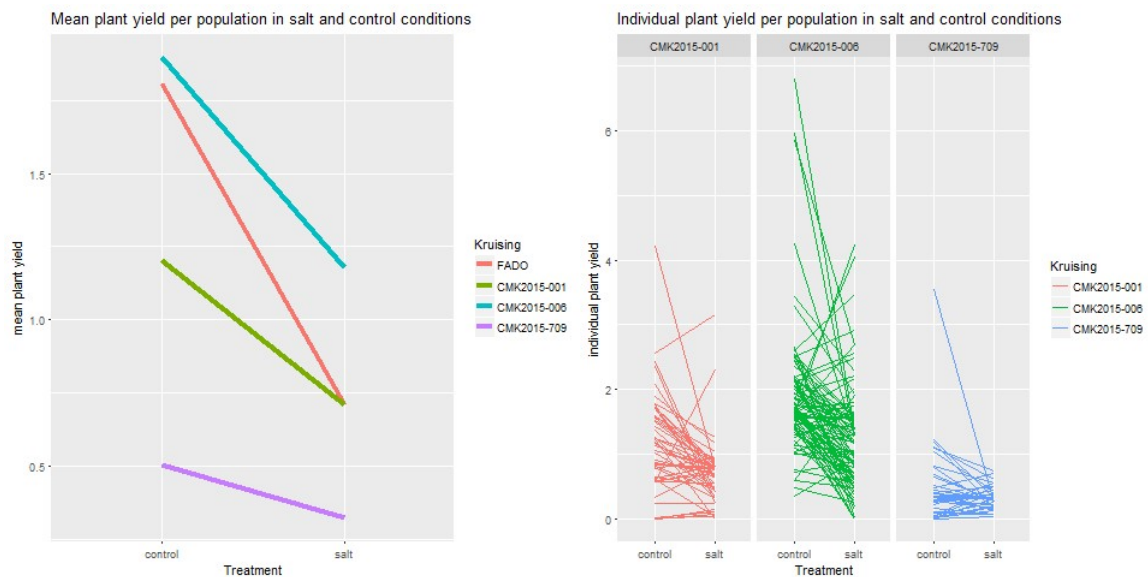
#### De opbrengsten van de populaties en daarbinnen behorende genotypen onder controle en zoute omstandigheden

Het effect van zout op opbrengst van individuele genotypen binnen populaties is vastgesteld door de populaties in een controle en zwaar zoute behandeling te laten groeien. In tegenstelling tot 2015 bevatten de populaties in de controle en het zout dezelfde genotypen waarmee vergelijking op individueel niveau mogelijk is. Dat maakt een genetische studie ook mogelijk. Het ras Fado is gebruikt als opvulling.

Waargenomen eigenschappen zijn loofontwikkeling op 3 tijdstippen en een opbrengstbepaling bij oogst. In onderstaande weergave zijn de opbrengsten van de populaties en de daaronder vallende individuen uitgezet.



Weergave 44: Opbrengst van de populaties (kg per plant) met links een totaal overzicht en rechts een overzicht per populatie.

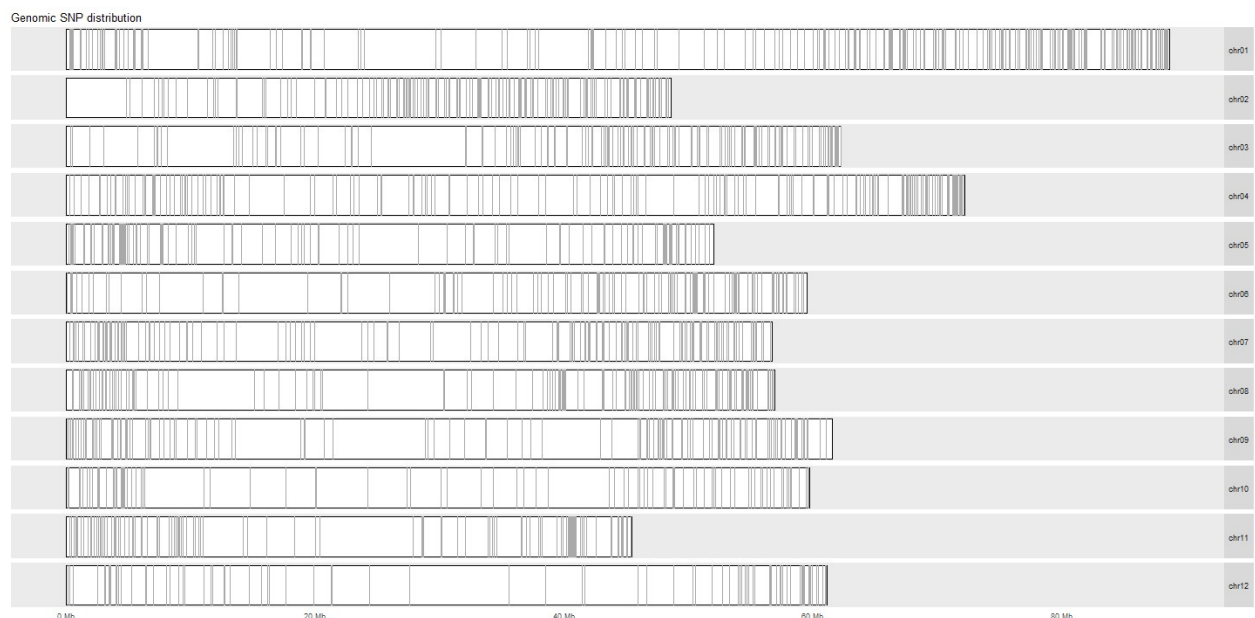


**Weergave 45: Opbrengstverlies van de populaties (kg per plant) met links een overzicht van de gemiddeldes en rechts een overzicht per individu. De richtingshoek van de lijnen geeft een indicatie aan de zouttolerantie (hoe vlakker de lijn, des te zouttoleranter het genotype, deze wordt als factor ratio meegenomen).**

### SNP associatie studies van de populaties

Van populatie CMK2015-709 zijn 37 genotypen gegenotypeerd op de Illumina Infinium 20K SNP array. De 20.000 anonieme merkers, verdeeld over de chromosomen, kunnen een aanwijzing geven m.b.t. voor zouttolerantie belangrijke genen.

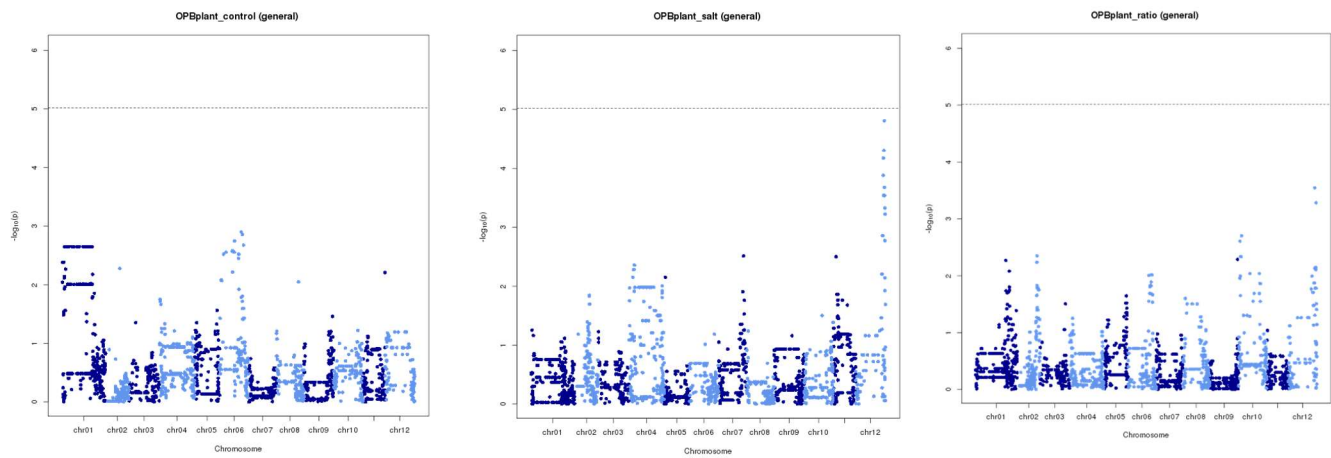
Van de 37 genotypen van populatie 2015-709 die op de array zijn gegenotypeerd zijn 3686 SNP's gevonden die variatie vertoonden. Deze SNP's zijn mooi verdeeld over het genoom zoals te zien in onderstaande weergave.



**Weergave 46: Verdeling van de SNP's die variatie vertonen over de 12 chromosomen.**

In het laboratorium van Meijer is een platform ingericht voor het draaien van SNP-merkers. Deze moleculaire merker techniek is gebaseerd op PCR technologie en maakt onderscheid tussen stukken DNA zichtbaar. Associatie studies van belangrijke SNP's die gerelateerd aan opbrengst naar voren voor de controle, de zout behandeling en de verhouding tussen opbrengst controle vs zout komen

leveren onderstaande grafieken op. Indien de p-waarden boven de stippellijn komen kan men spreken van een significant effect van de SNP.

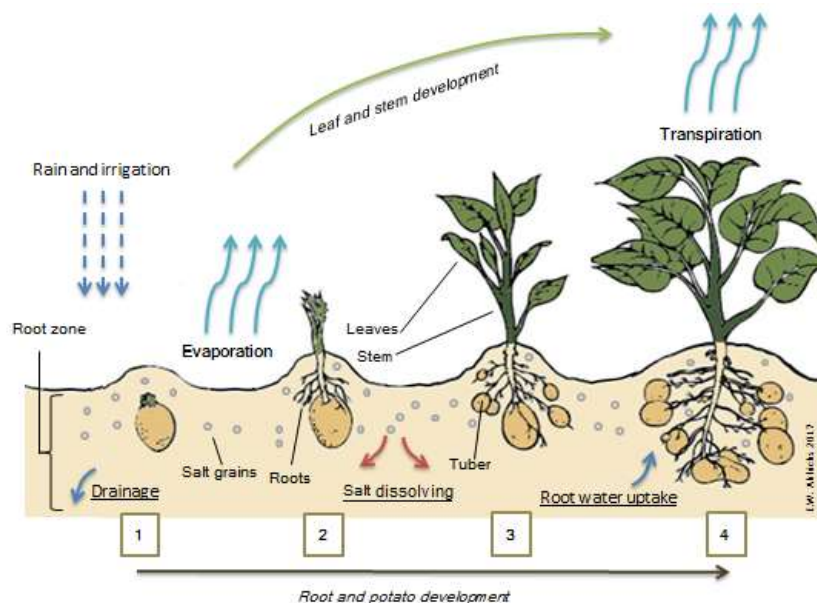


Weergave 47: effect van de SNP's die effect hebben op opbrengst onder controle omstandigheden (links), zoute omstandigheden (midden) en ratio controle vs zout (rechts).

## 4 Discussie: Interactie zout en groei van aardappelen

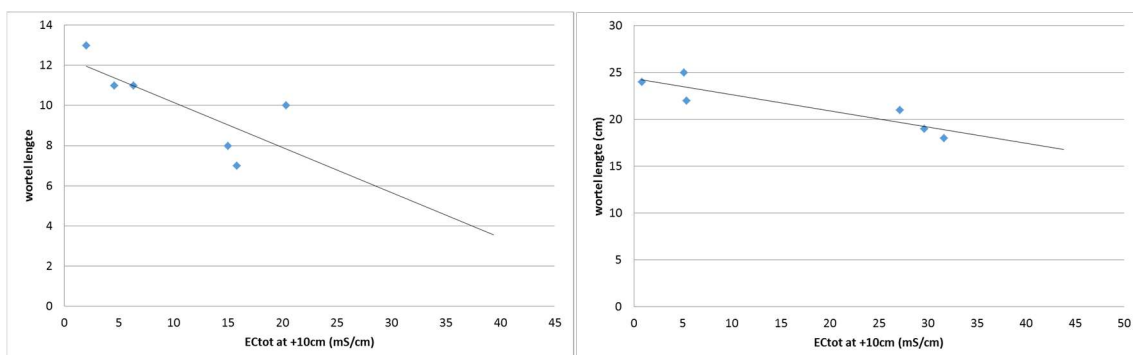
### 4.1 Resultaten uit de veldproeven

In de Weergave 48 staat de ontwikkeling van de aardappelplant bestaande uit de kenmerken blad, wortels en de aardappelen zelf. Het zoutgehalte in de bodem heeft duidelijk zijn invloed op de groei van deze aardappelplant kenmerken. In deze paragraaf wordt beschreven welke relatie bestaat tussen het gemeten zoutgehalte in de ondergrond en de groei van de aardappel. Dit is op 2 manieren gedaan: (1) op 6 van de 14 meetpunten waar wekelijks het zoutgehalte in de tijd is gemeten, is ook de ontwikkeling van de aardappelplant gevolgd, en deze worden met elkaar vergeleken, (2) het zoutgehalte van de bodem ( $EC_{tot}$ ) gemeten in elke rug wordt vergeleken de oogst van alle aardappelplanten.

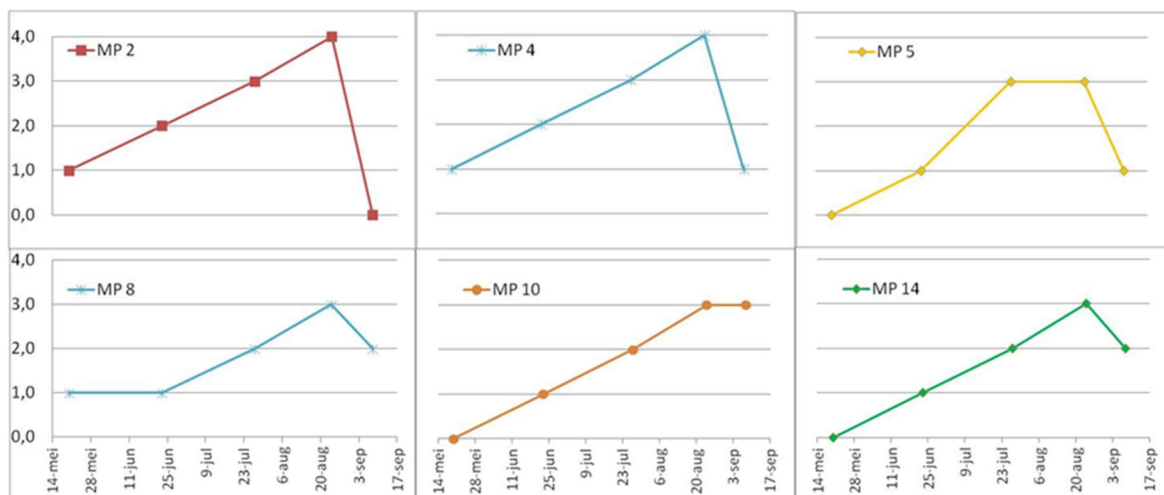


**Weergave 48: de ontwikkeling van de aardappelplant bestaande uit de kenmerken blad, wortels en de aardappelen**

In de Weergave 49 staat de relatie tussen de gemeten wortellengte en de gemeten zoutconcentratie van het bodemvocht in de wortelzone voor zes meetpunten (Mp 2, 4, 5, 8, 10, 14). Duidelijk zichtbaar is dat de wortellengte afneemt met de zoutconcentratie in de wortelzone en dit geldt voor beide periodes. De wortelontwikkeling was ongeveer 30% minder in de zoute delen van het perceel dan het controle veld. De planten in de zoute delen groeiden duidelijk langzamer dan in het zoute deel dan in het controle veld.



**Weergave 49: Relatie tussen het gemeten zoutgehalte in de wortelzone (gemiddeld voor periode) en de gemiddelde lengte van de wortels van de aardappelplant (aan eind van periode) voor twee periodes (21-04 tm 16-07 en 17-07 tm 16-09).**



**Weergave 50:** De ontwikkeling van de leaf area index (LAI) in de tijd voor zes meetpunten. Een LAI van 0, 1, 2, 3 en 4 betekent een diameter van het totale bladoppervlak van respectievelijk, 0, 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm.

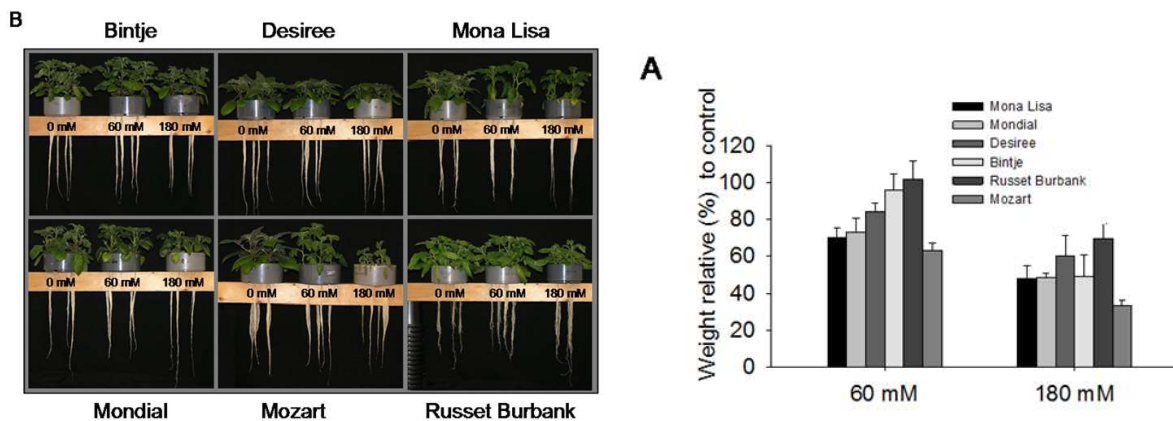
De LAI laat zien dat voor de meetpunten MP2, MP4 en MP8 al in het begin van het groeiseizoen sprake is van een goede ontwikkeling van blad. Dit is direct te correleren met het lage zoutgehalte van het bodemvocht (1-5 mS/cm) direct onder de aardappel (zie onderstaande tabel). De meetpunten MP5, MP10 en MP14 zijn vertraagd in de ontwikkeling van het blad, en laten pas vanaf half juni bladgroei zien. Deze meetpunten hebben een zeer hoog zoutgehalte direct onder de aardappel (~ 30 mS/cm).

MP	ECpor+10cm mS/cm	May 20 <sup>th</sup>	June 23 <sup>rd</sup>	Juny 27 <sup>th</sup>	August 24 <sup>th</sup>	September 8 <sup>th</sup>
2	5.0	9 +	15 ++	27 +++	28 +++	18 x
4	0.8	12 +	16 ++	25 +++	25 +++	17 x
5	27.1	5	15 +	20 ++	22 +++	20 +++
8	5.4	10	14 +	20 ++	24 +++	20 +++
10	31.6	6	11 +	15 +	20 ++	21 ++
14	29.6	5	9	16 +	21 ++	21 +++
		+ : Tubors	++ : small potatoes	+++ : normal potatoes	x : dead roots with potatoes	

**Weergave 51:** Voor 6 meetpunten de ontwikkeling van de aardappelen. Het getal geeft de worteldiepte in cm aan en de symbolen (+, x) geven een indicatie van de productie van de aardappelen. Tevens is het gemiddelde gemeten zoutgehalte van het bodemvocht direct onder aardappel (ECpor+10cm) gegeven voor de periode 21 april – 16 juli 2016.

## 4.2 Linken van genetica met zout

In een eerder meer fundamenteel gericht project waaraan Meijer deelnam als aardappel partner, werd onderzocht hoe verschillende aardappelrassen reageren op verschillende concentraties zout onder kunstmatige omstandigheden. Hieruit bleek dat er duidelijk rasverschillen te zien zijn; dit duidt op genetisch te verklaren zouttolerantie verschillen. In de onderstaande Weergave (Jaarsma et al, 2013) wordt dit duidelijk aangetoond.



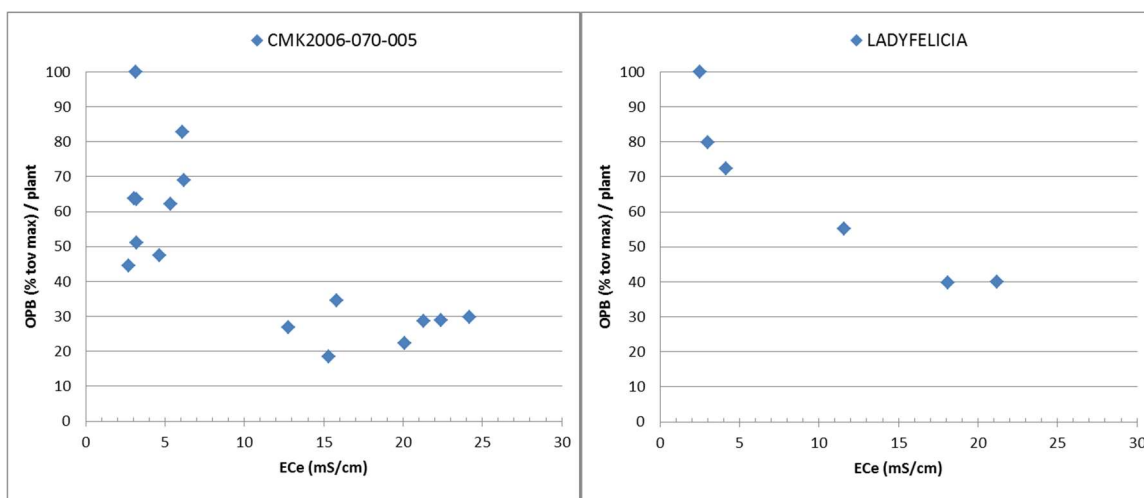
**Weergave 52: Verschil in plantontwikkeling bij 6 aardappelrassen blootgesteld aan verschillende concentraties zout (Jaarsma et al, 2013)**

De resultaten van het onderzoek van Jaarsma et al geven aan dat de mechanismen van zout tolerantie gelegen zijn in de capaciteit van ophoping van  $\text{Na}^+$  in het stengelweefsel dat zorgt voor een gereduceerd  $\text{Na}^+$  transport in de bladeren.

### 4.3 Zoutgehalte - opbrengst relatie per aardappelras

In het plan is steeds melding gemaakt van 3 zoutregimes, de praktijk bleek weerbarstiger. Weergave 54 laat de opbrengst verdeeld over het perceel zien en een duidelijk verschil tussen het EC7 en het EC1 en EC5-veld is zichtbaar.

Op basis van de zoutmonitoring was het mogelijk om voor elke rug een representatief zoutgehalte te schatten (zie paragraaf 5.4.4). Zo kan er voor elke plot (met bepaald ras) op het proefveld (ongeacht welk EC-veld) een zoutgehalte worden geschat. Dit resulteert per ras voor een aantal punten waarvan zowel de opbrengst als het zoutgehalte bekend is en waarvan een scatter diagram tussen de opbrengst en het zoutgehalte kan worden afgeleid. In de onderstaande Weergave 53 is zo'n scatter diagram weergegeven voor ras CMK2006-070-005 en LADYFELICIA. Voor deze 2 rassen is een duidelijke relatie zichtbaar tussen de opbrengst en het zoutgehalte; met toenemend zoutgehalte neemt de opbrengst af. Veel rassen laten een vergelijkbare trend zien. Maar de relatie is niet altijd eenduidig. Dit wordt veroorzaakt door andere factoren die van invloed zijn op de groei van de aardappels. Zoals de aardappelziekte *Phytophthora* dat op delen van het perceel de groei van de planten heeft beperkt.

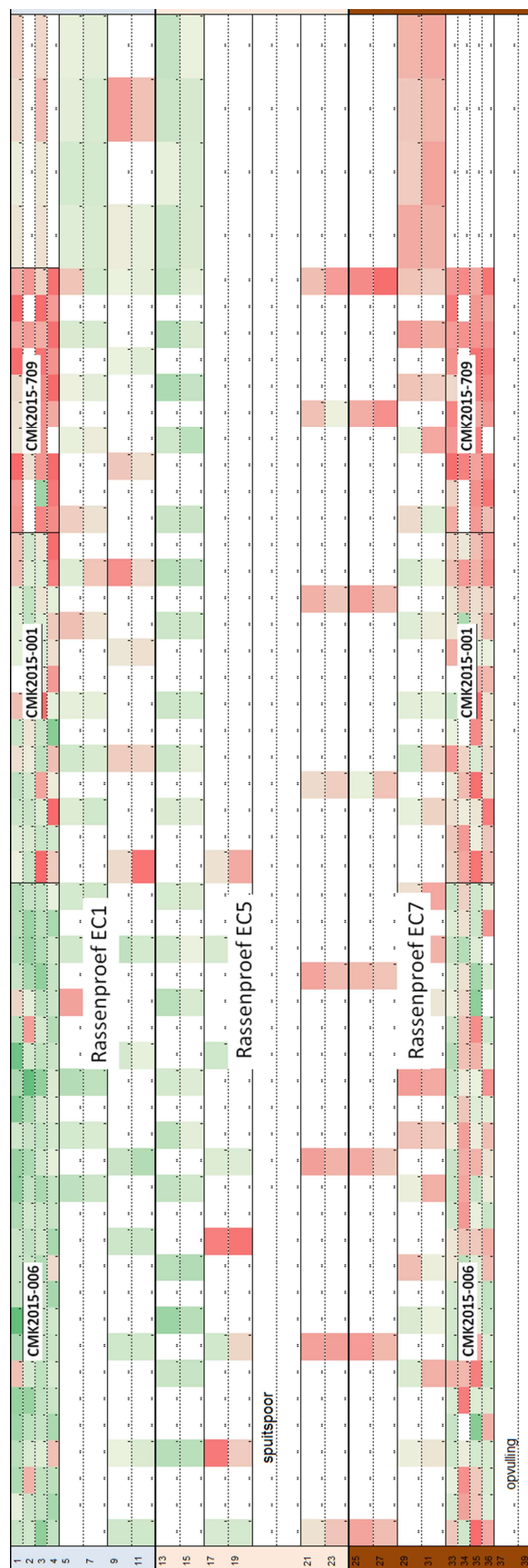
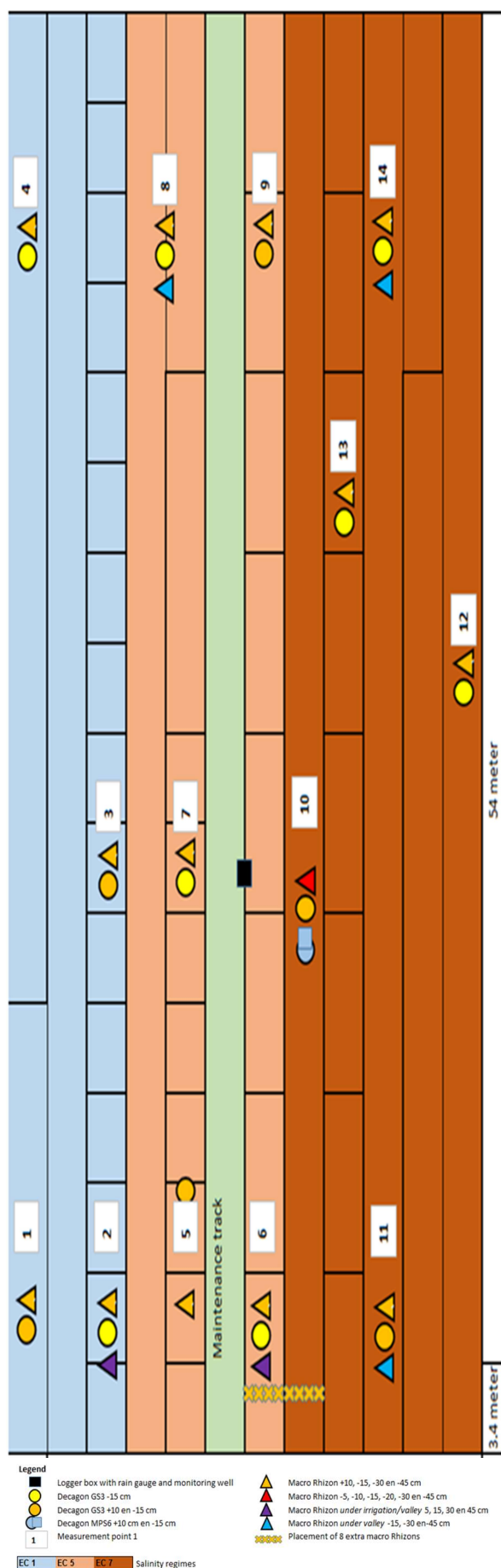


**Weergave 53: Voor twee aardappelrassen scatter-diagrams tussen het gemeten totale zoutgehalte (uitgedrukt in mS/cm) en de opbrengst genormaliseerd naar de maximale opbrengst per ras.**

Op basis van Weergave 54 en de scatter plots van alle rassen tussen opbrengst en zoutgehalte (bijlage 8.15 ) worden getrokken:

- Er is een groot verschil in opbrengst tussen zoutregime EC7 versus EC1 en EC5
- Er is een groot verschil in opbrengst tussen de populaties en binnen de populaties in opbrengst en opbrengstverlies door hoog zoutgehalte.
- Een meetnetwerk is essentieel als gebleken is in dit project. Met de gedetailleerde analyses van metingen in de wortelzones zijn de rasverschillen specifiek in kaart te brengen (Weergave 53).

Het verschil in opbrengst tussen zoutregime EC7 versus EC1 en EC5 is duidelijk over de gehele behandeling. Het hoge zoutgehalte heeft duidelijk geleid tot een uitermate trage gewasontwikkeling. De ontwikkeling van de plant uit de pootgoedknollen bleef sterk achter. Deze vertraging heeft invloed op de eind oogst omdat het aantal groeidagen verminderd is. Daarnaast heeft het zout ook na opkomst een sterke rol gespeeld, te zien aan de typische loofsymptomen op gevoelige rassen als CMK2005-070-005 en Fado. De timing van de zoutafgifte is van groot belang voor het type stress. In 2015 heeft de zoutstress juist laat toegeslagen waardoor vroege rassen relatief weinig geleden hebben onder de zoutstress. Bij vervolgprouven is het van groot belang de timing vooraf te bepalen en daar waar mogelijk op te sturen.

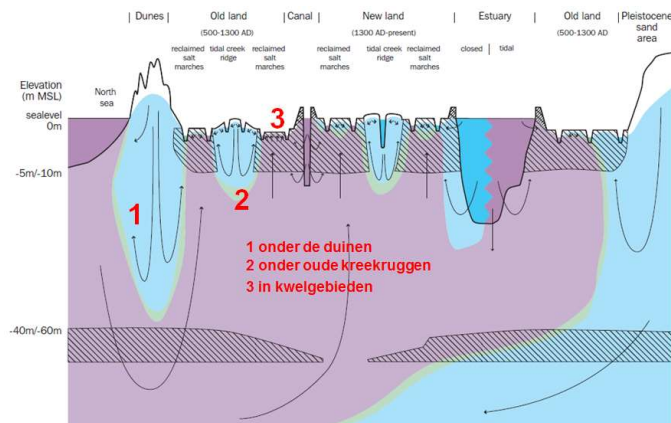


Weergave 54: Opbrengst per plant (van laag\_rood naar hoog\_groen weergegeven) uitgetekend op de exacte locatie in het proefveld 2016 met links de meetpunten welke in paragraaf 3.4.2 zijn beschreven.

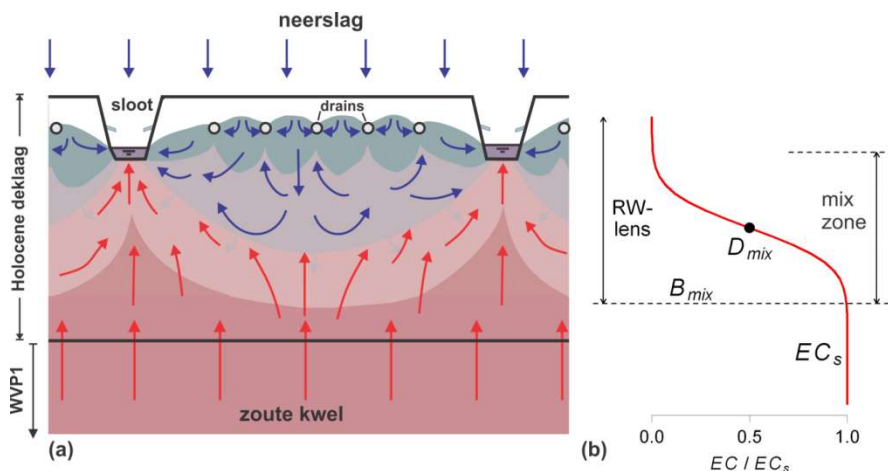
## 5 Voorkeursgebieden Zeeland zout tolerante aardappel

### 5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een kaart met voorkeursgebieden voor zouttolerante aardappelen gepresenteerd. Het grondwater in de provincie kent een grote variatie aan zoutgehaltes. Zoetwaterlenzen onder duinen en hooggelegen kreekruggen drijven als het ware op het onderliggende zoute grondwater (zie Weergave 55). Dit zoete grondwater wordt gebruikt voor drinkwater of irrigatie van landbouwgewassen.



Weergave 55: Conceptuele weergave van het voorkomen van verschillende typen zoetwaterlenzen (blauw) in het onderliggende zoute grondwater (paars)



Weergave 56: (a) Schematische weergave van een regenwaterlens zoals ze voorkomen in de zoute kwelgebieden. (b) Profiel van het zoutgehalte van het grondwater met de diepte.  $D_{mix}$  is het midden van de meng-zone waar het zoutgehalte (EC) de helft van het zoutgehalte van het kwelwater ( $EC_s$ ) is.  $B_{mix}$  is de basis van de meng-zone waar het zoutgehalte gelijk is aan dat van het zoute kwelwater ( $EC_s$ ). Uit De Louw et al. (2013).

In de laaggelegen polders stroomt het zoute grondwater omhoog en dit proces wordt zoute kwel genoemd. Zoute kwel zorgt ervoor dat het regenwater niet ver de bodem kan indringen met als gevolg zeer dunne en kwetsbare regenwaterlenzen en de nabije aanwezigheid van zout grondwater (type 3 in Weergave 55). Weergave 56 laat een schematische weergave van een regenwater lens in een zout kwelgebied zien. Vaak is er een mengzone van zoet en zout water aanwezig van 1 á 2 meter. In 2013 is een uitgebreid promotieonderzoek naar deze dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden afgerond (de Louw, 2013). Het onderzoek laat zien dat gedurende de zomermaanden in de meeste kwelgebieden zoet grondwater zelfs afwezig is. Dan kan via capillaire opstijging het

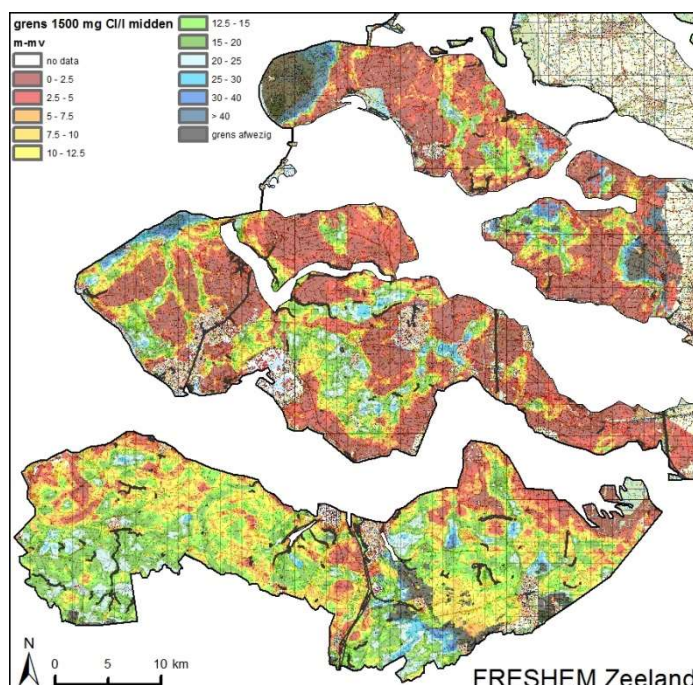
zoute grondwater de wortelzone van de gewassen bereiken. Metingen van het zoutgehalte in de wortelzone laten een grote ruimtelijke variatie zien. Afhankelijk van de lokale omstandigheden kan de wortelzone nog steeds zoet zijn terwijl er op 2 meter diepte een zoutgehalte vergelijkbaar met zeewater wordt aangetroffen. Op andere locaties worden hoge zoutgehalten in de wortelzone aangetroffen (Cl 2 – 8 g/l).

Modelberekeningen tonen aan dat de regenwaterlenzen door hun ondiepe ligging erg kwetsbaar zijn voor klimaatverandering, waarbij drogere zomers en nattere winters worden voorspeld. Het extra winterwater wordt effectief door het intensieve drainagesysteem afgevoerd en draagt niet bij aan de voeding van de regenwaterlens, terwijl in de zomer de hogere verdamping tot krimpings van de lens leidt. Hierdoor nemen zoutgehalten in de regenwaterlens toe, met als gevolg een toename van zoutgehalten in het bodemwater in de wortelzone gedurende het zomerhalfjaar. Daarnaast zal voor landbouwpercelen die nabij de Zeeuwse kust liggen (< 1 km van zee) de verwachte zeespiegelstijging leiden tot een toename van de zoute kwel, waardoor de regenwaterlenzen verder onder druk komen te staan. Voor deze kwetsbare gebieden is het telen van zouttolerante aardappelen (of andere gewassen) een goede optie. Ook in de huidige situatie zullen er al gebieden zijn waar hogere opbrengsten mogelijk zijn met een zouttolerante aardappel.

## 5.2 Methodiek

Voor het samenstellen van de kaart met voorkeursgebieden voor zouttolerante aardappelen zijn de volgende fysische factoren in ogenschouw genomen:

- Zoet-zout verdeling ondergrond (FRESHEM)
- Kwelgebieden (Grondwater model Zeeland)
- Capillaire eigenschappen bodem (Bodemkaart)

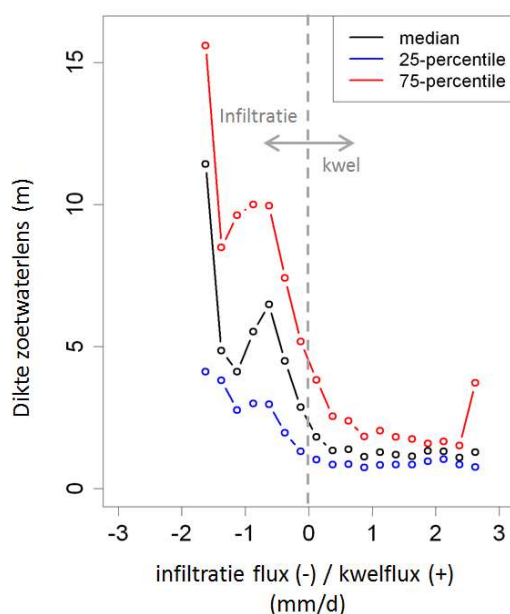


Weergave 57: De diepte van het grensvlak 1500 mg Cl per liter (midden)

### Zout-zout verdeling ondergrond

De belangrijkste bron voor het vaststellen van voorkeursgebieden voor zouttolerante aardappelen vormt de zoet-zout kartering die onlangs is uitgevoerd en afgerond binnen het project FRESHEM (Baaren e.a., 2017). Binnen dit project is zeer gedetailleerd met een helikopter elektromagnetische

metingen uitgevoerd, op basis waarvan een 3D-veld van het zoutgehalte van het grondwater is afgeleid. Om de onzekerheid in de bepaling van de zoutconcentratie mee te nemen, is een relatief 'lage', 'midden' of 'hoge' zoutconcentratie bepaald. Wij gebruiken hier de 'midden'-concentraties. Uit het 3D-veld zijn kaarten gemaakt met de diepte van het grensvlak van verschillende zoutgehaltes (uitgedrukt in chlorideconcentratie ofwel Cl). We gebruiken hier grensvlakkenkaarten van Cl = 1500 mg/l en Cl = 10.000 mg/l. Een chloridegehalte van 1500 mg/l wordt in Zeeland door de agrariërs als landbouwkundig zoet aangemerkt, een zoutgehalte waar veel gewassen nog net tegen kunnen. De diepte waar dit zoutgehalte voorkomt, is een goede indicatie voor de dikte van de zoetwaterlens. Weergave 57 presenteert de kaart met het grensvlak van Cl = 1500 mg/l. Het is duidelijk dat hoe ondieper dit grensvlak, hoe groter de kans op zout in de wortelzone. Daarnaast is ook de diepte van het grondwater met een Cl van 10.000 mg/l gebruikt, als indicatie of er ook heel erg zout grondwater ondiep voorkomt. Beide kaarten zijn gecombineerd tot 1 kaart die is gebruikt voor het samenstellen van de uiteindelijke voorkeursgebiedenkaart. Weergave 59 staat weergegeven hoe dit is gedaan. In Weergave 60 staat de samengestelde kaart.



**Weergave 58: De relatie tussen de dikte van de zoetwaterlens en de verticale kwel / infiltratieflux op Schouwen-Duivenland (Uit De Louw, 2013). De relatie is gebaseerd op 86.000 combinaties van metingen van de dikte van de zoetwaterlens met behulp van Helikopter-EM en de kwel/infiltratieflux uit het grondwatermodel van Zeeland.**

### ***Kwelgebieden***

Uit het onderzoek van De Louw (2013) is gebleken dat de verticale stroming van grondwater in belangrijke mate de dikte van de zoetwaterlens bepaald. Als de stroming naar beneden is gericht, ofwel infiltratie, dan kunnen er zeer dikke lenzen ontstaan van type 1 en type 2, ook wel aangeduid als Badon-Ghyben Herzberg lenzen, genoemd naar de onderzoekers die dit soort type lenzen al in de 19<sup>e</sup> eeuw hebben onderzocht. Het proces van lensvorming is totaal anders wanneer de grondwaterstroming omhoog is gericht, ofwel kwel. Zoals al eerder besproken kan het regenwater niet diep infiltreren en ontstaan er zeer dunne lenzen. De 86.000 metingen van de dikte van de zoetwaterlens die in 2009 met behulp van Helikopter-EM op Schouwen-Duivenland zijn bepaald, laten dit heel mooi zien (De Louw, 2013). Voor al deze metingen is de verticale flux uit het grondwatermodel van Zeeland (Oude Essink e.a., 2017) bepaald en in een grafiek gezet. De grafiek laat zien dat in gebieden met kwel de lens niet dikker is dan 1 tot 2 meter terwijl wanneer naar een infiltratiesituatie wordt overgegaan de lensdikte zeer sterk toeneemt bij toenemende neerwaartse flux.

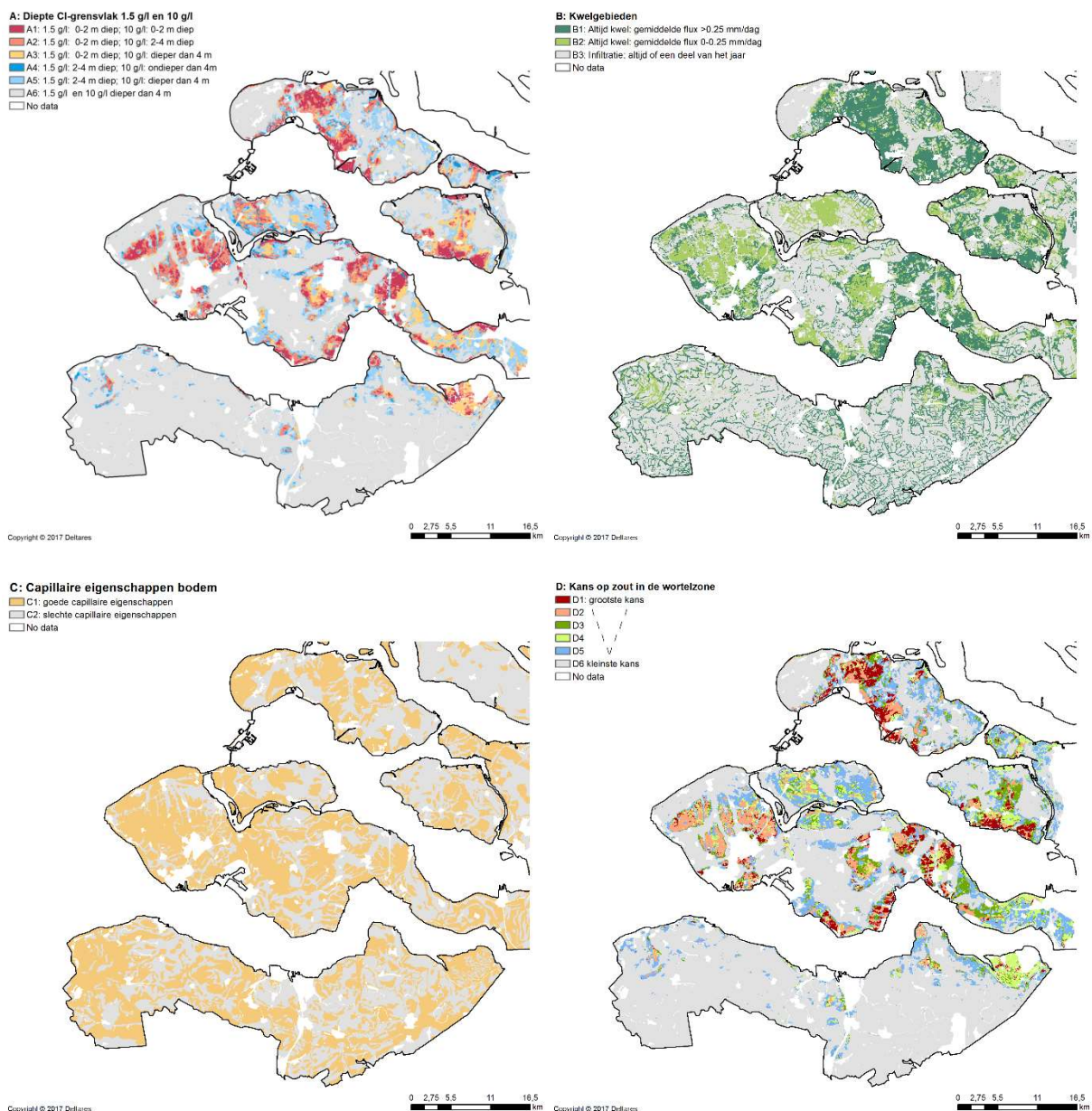
Kwel is dus de belangrijkste oorzaak voor de aanwezigheid van dunne regenwaterlenzen, vaak dunner dan 2.5 m. Uit veld- en modelonderzoek blijkt dat een grotere kwelflux leidt tot een dunnere regenwaterlens. Tevens wordt er meer zout vanuit de ondergrond aangevoerd wanneer er meer kwel is. Om verder een onderscheid te kunnen maken in de dunne lenzen die uit de FRESHEM-kartering kunnen worden gehaald, wordt de kwel-infiltratiekaart van Zeeland gebruikt. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in gebieden met permanente kwel en de overige gebieden waar permanent of een deel van het jaar infiltratie optreedt. Binnen de permanente kwelgebieden wordt nog een onderscheid gemaakt in de grootte van de kwelflux (0-0.25 mm/d en > 0.25 mm/d). Gebieden met permante kwel en een grotere kwelflux hebben een groter risico op zout in de wortelzone. In Weergave 60 staat de resulterende kaart weergegeven.

### Capillaire opstijging

Het zout bereikt de wortelzone niet direct via kwel maar via capillaire opstijging van zout grondwater. In de zomer daalt de grondwaterstand door verdamping en wordt het bovenste grondwater steeds zouter. Het is ook gedurende de zomer dat er grote naar boven gerichte potentiaalverschillen ontstaan door de verdamping van de gewassen. Hierdoor neemt de capillaire opstijging vanuit het grondwater toe waardoor zout water dat afkomstig is van het grondwater de wortelzone kan bereiken. Bodems met goede capillaire eigenschappen, zoals lemige zandbodems, lopen dus een groter risico op zout in de wortelzone. Deze factor is dus meegenomen bij het vervaardigen van de voorkeursgebiedenkaart voor zouttolerante aardappelen. Als bodemkaart is de nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland gebruikt (Wosten e.a., 2012). In Weergave 59 staat beschreven aan welke bodems goede capillaire eigenschappen worden toegekend, in Weergave 60 staat de resulterende kaart weergegeven.

**Weergave 59: Samenstelling van de kaarten van drie belangrijkste fysische factoren die de kans op zout in de wortelzone bepalen**

<b>A: Diepte Cl-grensvlak 1.5 g/l en 10 g/l</b>	<b>B: Kwelgebieden</b>	<b>C: Capillaire eigenschappen bodem</b>
A1: 1.5 g/l: 0-2 m-mv; 10 g/l: 0-2 m -mv A2: 1.5 g/l: 0-2 m-mv p; 10 g/l: 2-4 m -mv A3: 1.5 g/l: 0-2 m-mv; 10 g/l: > 4 m-mv A4: 1.5 g/l: 2-4 m-mv; 10 g/l: < 4m-mv A5: 1.5 g/l: 2-4 m-mv; 10 g/l: > 4 m-mv A6: 1.5 g/l en 10 g/l: > 4 m	B1: Altijd kwel: gemiddelde flux >0.25 mm/dag B2: Altijd kwel: gemiddelde flux 0-0.25 mm/dag B3: Infiltratie - altijd of deels van het jaar	C1: goede capillaire eigenschappen zwaklemig fijn zand zwaklemig fijn zand op grof zand zwaklemig fijn zand op (kei-)leem enkeerdgronden Sterk lemig fijn zand Zavel met homogeen profiel C2: slechte capillaire eigenschappen overige bodems



**Weergave 60: De verschillende kaarten met fysische factoren (A,B en C) de zijn gebruikt voor het vervaardigen van de kaart met kans op zout in de wortelzone (D).**

### 5.3 Resultaten

De drie fysische factoren worden gecombineerd tot een kaart die de kans op zout in de wortelzone weergeeft. In Weergave 61 staat weergegeven hoe deze kaart is samengesteld. De zoet-zout verdeling wordt als belangrijkste factor meegenomen waarna de kwelsituatie en de capillaire eigenschappen van de bodem een verder onderscheid maken.

Vervolgens is de 'kans op zout in de wortelzone' kaart gebruikt om de voorkeursgebieden voor zouttolerante aardappelen weer te geven (zie Weergave 61). Er wordt gesproken over voorkeursgebieden omdat in de meeste zoute kwelgebieden op dit moment ook al goede oogsten met de gangbare niet zouttolerante aardappelen worden behaald. Het is echter niet bekend waar de zoutgehaltes in de wortelzone zo hoog zijn dat de aardappel zoutschade ondervindt. De kans hierop is echter het grootst in de gebieden aangegeven op de 'kans op zout in de wortelzone' kaart. Tevens zijn het deze gebieden die het meest kwetsbaar zijn voor een toename van zoutgehaltes in de wortelzone als gevolg van klimaatverandering (meer verdamping en minder neerslag in de zomer).

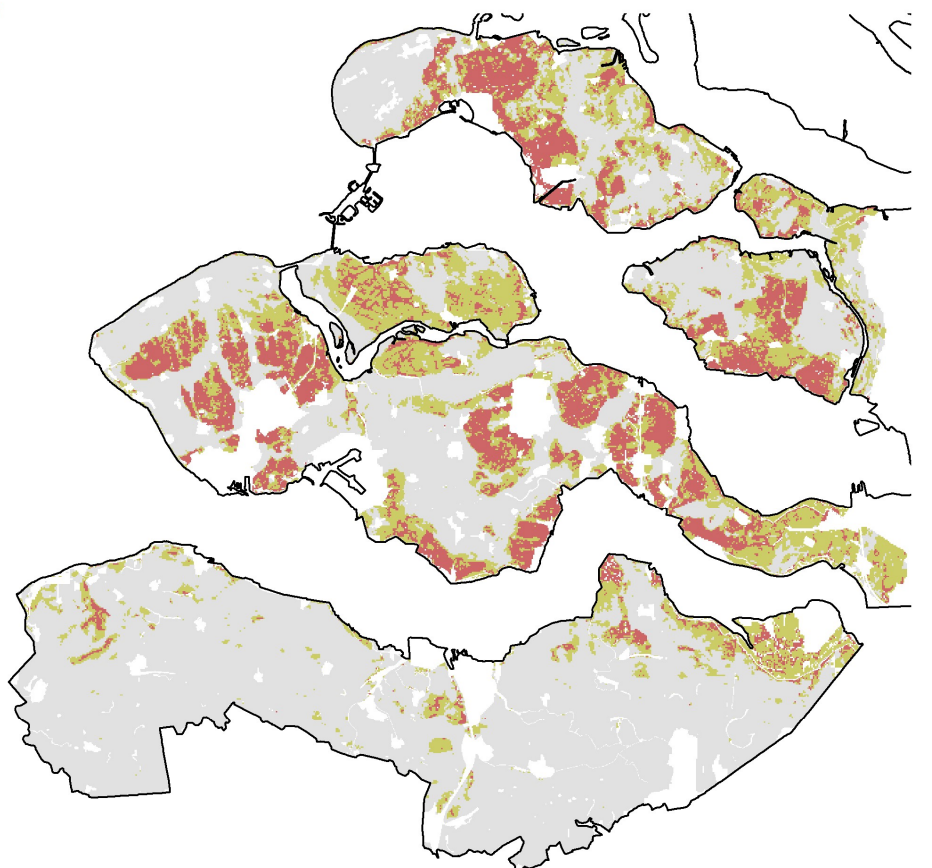
Deze gebieden bieden dus de voorkeur om te overwegen om zouttolerantere aardappelen (of andere zouttolerante gewassen) te verbouwen. Weergave 62 toont de kaart met 'voorkeursgebieden voor een zouttolerante aardappel'.

**Weergave 61: Samenstelling van de kaarten van drie belangrijkste fysieke factoren die de kans op zout in de wortelzone bepalen**

D: Kans op zout in de wortelzone	E: Voorkeursgebieden zouttolerante aardappelen
D1: grootste kans: A1 en A2 in combinatie met B1 met C1 D2: ..... kans: A1 en A2 in combinatie met (B1 met C2) of (B2 met C1) of (B2 met C2) D3: ..... kans: A3 in combinatie met B1 en B2 met C1 en C2 D4: ..... kans: A1 t/m A3 in combinatie met B3 met C1 en C2 D5: ..... kans: A4 en A5 in combinatie met B1 en B2 en B3 met C1 en C2 D6: kleinste kans: A6	E1: grote voorkeur: D1 of D2 of D3 E2: voorkeur: D4 of D5 E2: geen voorkeur: D6

**E: Voorkeursgebieden zouttolerante aardappelen**

- E1: grote voorkeur
- E2: voorkeur
- E3: geen voorkeur
- No data



Copyright © 2017 Deltares

0 2,75 5,5 11 16,5 km

**Weergave 62: Kaart met voorkeursgebieden voor zouttolerante aardappelen.**

## 6 Conclusies en aanbevelingen

1. Het project heeft veel inzicht gegeven in de relatie zout in de wortelzone en groei aardappel (2015 en 2016)
2. De zoutmetingen met behulp van Marco Rhizons op verschillende dieptes geven zeer waardevolle informatie over de zoutgehaltes van het bodemvocht waar de aardappel aan bloot wordt gesteld. Een wekelijkse bemonstering wordt aanbevolen.
3. Het is essentieel om het zoutgehalte ook direct onder de aardappel te meten zoals wel in 2016 is gedaan en niet in 2015. Dit zoutgehalte heeft invloed op de ontwikkeling van de aardappel in het begin van het groeiseizoen.
4. De variatie van het zoutgehalte van het bodemvocht binnen de verschillende zoutregimes is groot. Dit wordt voornamelijk bepaald door de methode van het toedienen van de zoutkorrels.
5. Het zoutgehalte in de bodem in een veldproef blijkt moeilijk te reguleren met de methode 'toediening zoutkorrels' (2015 en 2016).
6. Neerslag (hoeveelheid en moment in het groeiseizoen) bepaalt het verloop van het zoutgehalte; het bepaalt hoe snel en hoeveel van de zoutkorrels wordt opgelost en hoe snel dit via vochttransport naar beneden wordt getransporteerd.
7. Een goed hydrologisch meetnet waar op veel locaties het zoutgehalte van het bodemvocht wordt gemeten, is essentieel voor het trekken van de juiste conclusies wat betreft de relatie tussen aardappelopbrengst en zoutgehalte.
8. De metingen tonen een duidelijke relatie aan tussen de ontwikkeling van de aardappel (bladgroei, wortelgroei, uiteindelijke opbrengst) en het zoutgehalte in de wortelzone van de aardappel.
9. Er zijn rasverschillen: Melody, CMK2009-622-009 en Musica zijn door de jaren en gebieden heen sterke rassen op zoutgevoeligheid (2015 en 2016)
10. Er lijkt voldoende genetische variatie voor populatie onderzoek in beide jaren, echter, populatieonderzoek moet onder gelijkmatige omstandigheden om associërende SNP's te vinden en daarmee de genen (2016).
11. De combinatie van precieze meetdata en precieze waarnemingsdata is uniek. Het verdient aanbeveling om deze data verder te analyseren met statistisch verantwoorde methodes.

Meijer is in 2017 een nieuwe veldproef gestart waarin zout wordt aangebracht na het frezen van de aardappelruggen. In mei 2017 is te zien dat de zoutbehandeling een lichte groeiachterstand heeft.

## 7 References

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). "Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements." *Irrigation and Drainage Paper No. 56*, FAO, Rome, Italy.
- Brovelli, A. and G. Cassiani. 2011. Combined estimation of effective electrical conductivity and permittivity for soil monitoring. *Water Resources Research*, 47, W08510 (doi:10.1029/2011WR010487).
- Colin S. Campbell, Gaylon S. Campbell, Douglas R. Cobos, and Lauren L. Bissey, 2009. Calibration and Evaluation of an Improved Low-Cost Soil Moisture Sensor
- Custodio, E., Bruggeman, G.A., 1987. Groundwater problems in coastal areas, studies and reports in hydrology. UNESCO, International Hydrological Programme, Paris.
- Ahlrichs, E. 2017. The effects of salinity on salt-tolerant potatoes. To reduce fresh-water demand in saline coastal areas with loam soils. Master Thesis VU-Amsterdam.
- van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 892-898.
- Green, T.R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J.J., Allen, D.M., Hiscock, K.M., Treidel, H. Aureli, A., 2011. Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater, *Journal of Hydrology* 405, 532–560.
- Jaarsma R., de Vries R. S. M., Albertus H. de Boer A.H. (2013); Effect of Salt Stress on Growth, Na<sup>+</sup> Accumulation and Proline Metabolism in Potato (*Solanum tuberosum*) Cultivar Published: March 22, 2013 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060183>
- W.P Locher and H. de Bakker 1991. "Bodemkunde van Nederland"
- De Louw, P.G.B. 2013. Saline seepage in deltaic areas. Preferential groundwater discharge through boils and interactions between thin rainwater lenses and upward saline seepage PhD thesis, Vrije Universiteit Amsterdam.
- Maas and Grieve, 1990. Crop Yields as Affected by Salinity, *Journal of Hydrology* 407, 564
- Rana Munns, Richard A. James and Andre´ La¨ uchli 2005. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals.
- Post, V.E.A., Abarca, E., 2010. Saltwater and freshwater interactions in coastal aquifers. *Hydrogeology Journal* 18(1), 1-4.
- Ranjan, P., Kazama, S., Sawamoto, M., 2006. Effects of climate change on coastal fresh groundwater resources. *Global Environmental Change* 16, 388–399.
- J. D. Rhoades,\* Nahid A. Manteghi, P. J. Shouse, and W. J. Alves (1989) Estimating Soil Salinity from Saturated Soil-Paste Electrical Conductivity. Published In *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:428-433 (1989)

Stuart J Roy, So' nia Negra' o, and Mark Tester, 2014 Salt resistant crop plants.

Shannon M.C., Grieve C.M. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinitywheat. Scientia Horticulturae 78 (1999) 5±38.

Simunek, J., Sejna, M., van Genuchten, M.Th., 1999. The HYDRUS-2D SoftwarePackage for Simulating Two-Dimensional Movement of Water, Heat, andMultiple Solutes in Variable Saturated Media. Version 2.0. IGWMCTPS-53. Inter-national Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden,CO.

Gerrit van Straten<sup>1\*</sup>, Arjen de Vos<sup>2</sup>, Rik Vlaming<sup>2</sup>, Roland Oosterbaan<sup>3</sup>, 2014. Saline test fields in Texel: Dielectric sensors in an automated facility for testing salt tolerance of irrigated field crops.

J.šimunek and M. Šejna, 2011. Hydrus 2D user manual, 2011.

Stuyfzand, P.J., Stuurman R.J., 1994. Recognition and genesis of various brackish to hypersaline groundwaters in The Netherlands. In: G. Barrocu (Ed.), Proc. 13th Salt Water Intrusion Meeting, University of Cagliari, Sardinia, 125-136.

Taylor, R.G. Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., van Beek, R. Wada, Y., Longuevergne, L., Leblanc, L., Famiglietti, J.S., Edmunds, M., Konikow, L., Green, T.R., Chen, J., Taniguchi, M., Bierkens, M.F.P.,

MacDonald, A., Fan, Y., Maxwell, R.M., Yechieli, Y., Gurdak, J.J., Allen, D.M., Shamsudduha, M., Hiscock, K., Yeh, P.J.-F., Holman, I., Treidel, H., 2012. Ground water and climate change, Nature Climate Change, DOI: 10.1038/NCLIMATE1744.

M Tester and R. Davenport, 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants

Van Baaren E.S., Oude Essink G.H.P., Janssen G.M.G.M., de Louw P.G.B., Heerdink R., Goes B. 2016. Verzoeting en verzilting van het grondwater in de Provincie Zeeland; Regionaal 3D model voor zoet-zout grondwater, Deltares rapport, 86 p.

Van Baaren E.S., e.a. 2017. FRESHEM-resultaten Zeeland. Rapportage in concept.

Vogeler, I, B.E. Clothier, S.R. Green, D.R. Scotter and R.W. Tillman. 1966. Characterizing water and solute movement by time domain reflectometry and disk permeametry. Soil Sci. Soc. Am. J. 60:5-12.

Werner, A.D., Bakker, M., Post, V.E.A., Vandenbohede, A., Lu, C., Ataie-Ashtiani, B., Simmons, C.T., Barry, D.A., 2013. Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges. Advances in Water Resources 51, 3-26.

Wosten, H, F.de Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2012. Bofek2012, de nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland. Alterra, rapport 2387.

### *Manuals*

Decagon Devices, Inc. 2015. MPS-2 & MPS-6 Dielectric Water Potential Sensors Operator's Manual

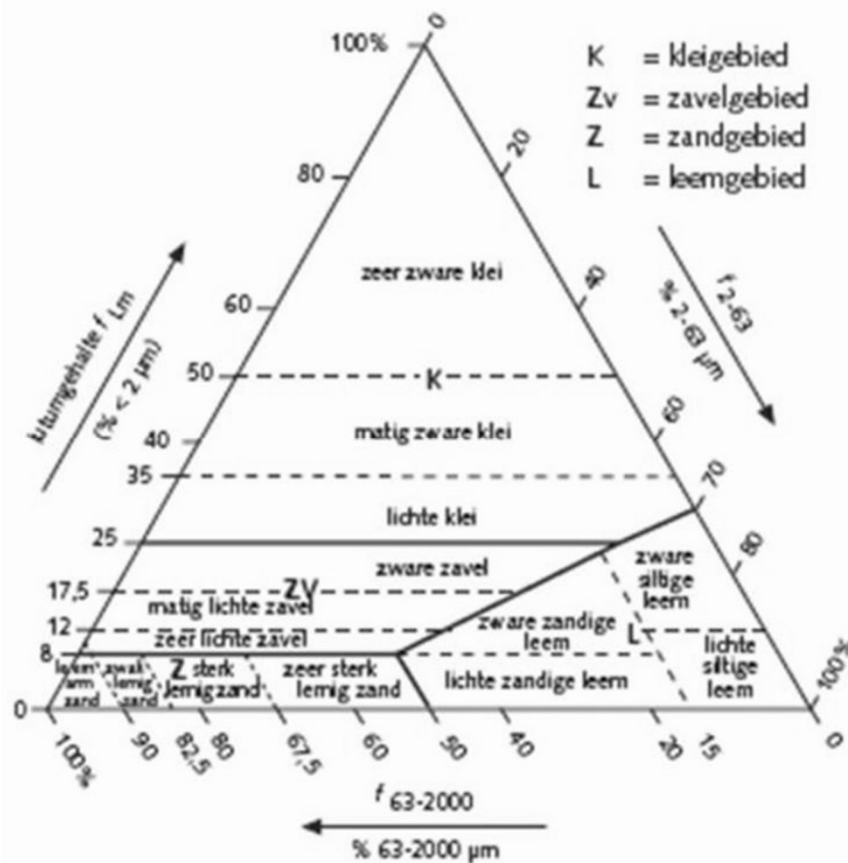
UMS GmbH, 2013, www.ums-muc.de. Hyprop user Manual

## 8 Bijlagen

### 8.1 Methode voor bepaling van bodemtextuur

#### Lithology

In the beginning of March, soil samples from the bare field were taken in twelve random locations to identify the soil type. The samples were taken from the top 10 cm of the field. Grain size measurements were done in the lab via the dry sifting method to determine the soil type according to the Classification Triangle as describe in by Locher and de Bakker (1991). The soil samples were dried, weighed and the grains were separated by centrifuging the sample through a stainless steel mesh screen. The grains were sorted by their size in 30 classes, ranging from smaller than 2  $\mu\text{m}$  till 2000  $\mu\text{m}$ . The Classification Triangle divides soil types into three categories based on their grain size; smaller than 2  $\mu\text{m}$ , from 2  $\mu\text{m}$  till 63  $\mu\text{m}$  and between 63 and 2000  $\mu\text{m}$  (Weergave 63). The results of the grain size distribution will be plotted on the Classification Triangle to determine the soil type.



Weergave 63: Grain size distribution and soil type determination via the Soil Texture Triangle.

## 8.2 Methode voor bepaling van volumetrisch bodemvochtgehalte

Het volumetrisch bodemvochtgehalte ( $\theta$ ) is op 2 manieren gemeten: (1) automatisch met een frequentie van 1 uur met behulp van de bodemvochtsensors van Decagon, (2) labanalyse van bodemonsters. Hieronder worden ze kort besproken.

### *Decagon sensors (hourly)*

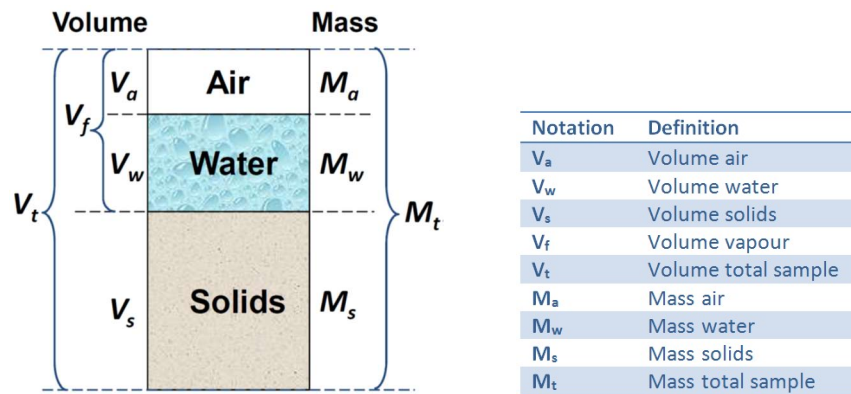
Soil moisture is measured by passing an electric current through a soil sample or other material between two sensor electrodes. These specific soil moisture and salinity sensors measure the bulk EC ( $EC_b$ ) that means; the electrical conductivity of the soil, air and liquids combined with various dissolved materials. Sensors calibrate the pore water EC by using curves to convert the  $EC_b$ , these calibration curves can be applied to every major soil type.

The test fields often have a mixture of different types of soil; the sensors need careful calibration in order to determine the salt content of the samples provided by analysing these at a laboratory.

At the laboratory soil salinity is measured by determining the EC with a 1:5 distilled water to soil dilution or by converting the soil into a saturated paste. The sensors need extra calibration curves for measuring the salinity level of the soil moisture since this influences the actual soil moisture reading (Decagon Devices Inc., 2009).

### *Soil water content samples*

Soil samples in the described locations for the pF curves and in the locations of the eight extra macro Rhizons were all taken with sample rings with a known volume and weight. The soil was not mixed to preserve the structure and porosity. These so called undisturbed samples were taken to determine the soil moisture content, porosity, bulk density and visual cracks were noted. Sample rings with soil samples were weighed to determine the field weight of the sample. The samples were placed in an oven at 105°C for at least 24 hours to completely dry out the sample, and weighed again to determine the dry weight of the soil particles. By subtracting the dry soil weight from the field weight and saturated weight, the field soil moisture content is derived. In Weergave 64 the notations of air, water and solids in a soil sample are shown.



**Weergave 64:** Volumes and mass notation's of air, water and solids in a soil sample.

The following definitions and formulas were used to determine the soil properties and soil moisture content. The mass of the dry solids in the sample is calculated by:

$$M_s = M_t - M_w$$

The volumetric water content  $\theta$  is calculated by:

$$\theta = \frac{V_w}{V_t}$$

### 8.3 Methode voor bepaling van het zoutgehalte van het bodemvocht en bodem

Het zoutgehalte van het bodemvocht ( $EC_{por}$ ) is op twee manieren bepaald: (1) automatisch met een frequentie van 1 uur met behulp van de bodemvochtsensors van Decagon, (2) via bemonstering van het bodemvocht met behulp van MacroRhizons. Hieronder worden ze kort besproken.

Daarnaast is het totale zoutgehalte van de bodem (bodemvocht + onopgeloste zoutkorrels) bepaald met de (iets aangepaste) saturated paste methode.

#### *Soil water salinity Decagon (hourly)*

The automatic sensors (Decagon GS3) measure the bulk EC ( $EC_b$ ) of the soil material, air and the liquids with any dissolved materials such as salt.  $EC_b$  values for standard soil types and EC ranges (EC 0-4 mS/cm) are converted via calibration curves using the Topp formula (Decagon Devices Inc., 2009). This multiplies the measured  $EC_b$  ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) with 0.0025 to calculate the calibrated EC ( $EC_c$ ) (mS/cm). To correct the salinity measurements of the automatic sensors with the  $EC_p$  of the Rhizon measurements, the resulting  $EC_c$  were compared with the Rhizon  $EC_p$ . This showed that they didn't line up. As bulk EC and bulk dielectric permittivity are determined by the same soil characteristics, there is a link between these two. Brovelli and Cassiani (2011) provide an extensive theoretical model to relate bulk EC to pore water EC at various degrees of water saturation, and they also unify models cited in the literature. Van Straten et al. (2014) showed that the empirical model of Vogeler et al. (1996) described the relation between  $EC_b$  and  $EC_p$  the best for soils with a pore water EC range from 0 till 20 mS/cm measured with the Decagon GS3 sensors. The simple version of the Vogeler empirical model is:

$$EC_b = p_1 \theta_c EC_p \quad (1)$$

Where:  $EC_b$  is the bulk EC (mS/cm);

$p_1$  is a estimated parameter;

$\theta_c$  is the calibrated soil moisture content ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ );

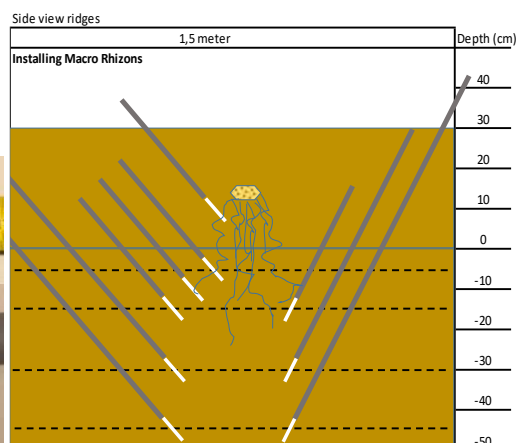
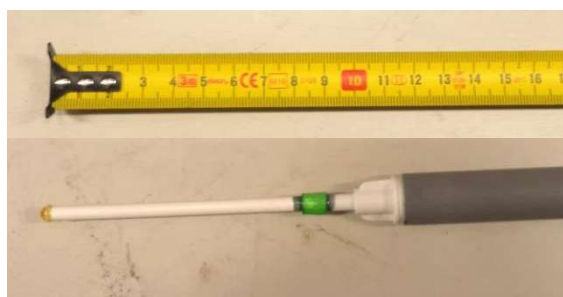
$EC_p$  is the pore water EC (mS/cm)).

The parameter  $p_1$  was estimated by minimizing the sum of squared differences between model prediction and lab observations. While in these relationships the true volumetric water content ( $\theta$ ) must be used, this is unpractical as the true VWC can only be known by taking samples. Equally good parameterizations can be obtained by taking the VWC as obtained directly from the sensor ( $\theta_s$ ).

#### *Soil water salinity MacroRhizons (Weekly)*

In addition to the sensors, macro Rhizons were installed in the field at the measurement points, indicated with triangles in Weergave 65. Macro Rhizons are white flexible tube membranes on the end of a PVC pipe, the macro Rhizon is connected to a syringe on the other end of the pipe (Weergave 65). When the piston of the syringe is drawn back and locked in that position, soil moisture is sucked into the macro Rhizon and collected in the syringe. The macro Rhizons were placed on the ridges and in the furrows of the field, in total 79 macro Rhizons were divided over the 14 measurement points and 8 extra ridges. The Rhizons were placed in various depths; +10, -5, -10, -15, -30 and -45 cm in relation to the reference level, and under an angle of 45 or 60 degrees to prevent preferential flow along the PVC tube of the Rhizons. The placement in relation to the reference level (the bottom of the furrows) is shown in Weergave 65.

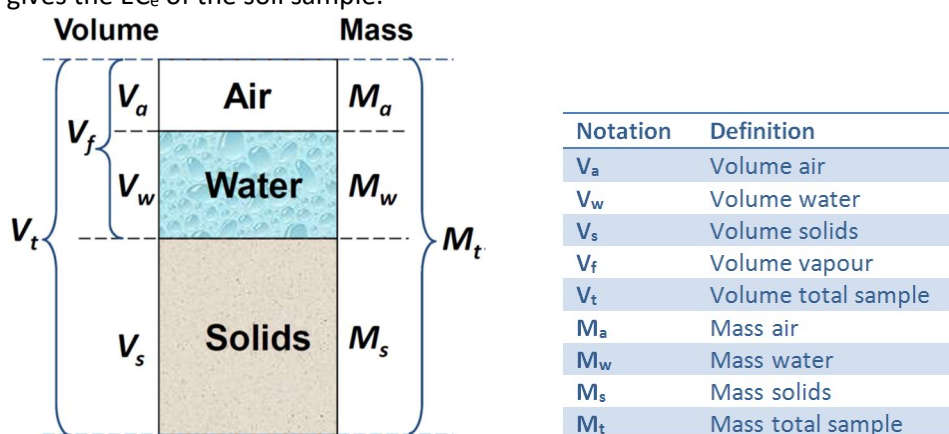
Pore water was sampled by the Rhizons once a week and the pore EC ( $EC_p$ ) measured with an EC meter.



**Weergave 65: Macro Rhizon with connection tubes and PVC pipe and installation of the Macro Rhizons in the ridges**

### Total salt content in soil ( $EC_{tot}$ )

The  $EC_{tot}$  (total dissolved salt) was determined via the saturated paste method (Rhoades et al. 1989); this method can be used with disturbed and undisturbed soil samples. Sample rings with soil samples were weighed to determine the field weight of the sample. Then the samples were saturated with demineralised water until the total volume of the sample ring was filled, and rested for 4 hours. The resting time depends on the permeability of the soil; the demineralised water has to penetrate and fill all the pores in the sample. The samples were weighed again to obtain the weight of the sample, sample ring and the water. After weighing, the samples were transferred in a foil container thoroughly mixed into a mud like substance, called a saturated paste. The paste is rested for another four hours to let all the present salt dissolve. Soil moisture is extracted from the paste via a Rhizon and the EC of the extracted soil moisture is measured. The sample is weighed, placed in an oven at  $105^{\circ}C$  for at least 24 hours to completely dry out the sample, and weighed again to determine the dry weight of the soil particles. By subtracting the dry soil weight from the field weight and saturated weight, the field soil moisture content and volume of the added demineralised water can be determined. Dividing the added demineralised water by the soil moisture gives the dilution factor. Multiplying the dilution factor with the EC of the extracted soil moisture from the saturated paste gives the  $EC_e$  of the soil sample.



**Weergave 66: Volumes and mass notation's of air, water and solids in a soil sample.**

The following definitions and formulas were used to determine the soil properties and soil moisture content. In Weergave 66 the notations of air, water and solids in a soil sample are shown.

The mass of the dry solids in the sample is calculated by:

$$M_s = M_t - M_w$$

The bulk density  $\rho_s$  is calculated by:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_t}$$

The porosity  $n$  or  $\phi$  gives an indication how much water can be stored in the soil and is calculated by:

$$n = \phi = \frac{V_f}{V_t}$$

The volumetric water content  $\theta$  is calculated by:

$$\theta = \frac{V_w}{V_t}$$

The total dissolved salt content  $EC_e$  is calculated by:

$$EC_e = EC_{dil} \frac{M_w + Demi_w}{M_w}$$

Where:  $EC_{dil}$  is the EC of the diluted paste of the sample

$Demi_w$  is the amount of added demiwat

## 8.4 Kalibratie bodemvochtsensoren

De bodemvochtsensoren (Decagon) meten zowel het bodemvochtgehalte (VWC) als het zoutgehalte van het bodemvocht. Hieronder wordt besproken hoe de sensoren zijn gekalibreerd.

### *Volumetric Water Content (VWC)*

The Decagon GS3 sensors measure bulk dielectric permittivity ( $\epsilon_b$ ), bulk EC ( $EC_b$  or  $\sigma_b$ ) and temperature (T). To derive the Volumetric Water Content (VMC,  $\theta$ ), the Topp equation (Topp et al., 1980) is used by the manufacturer for mineral soils (Equation 1). The loamy sand and sandy loam in the test location are responding different than standard mineral soils, lab tests were done to derive a custom calibration formula. Three soil samples,  $3.24 \text{ dm}^3$ , were saturated and then dried under lab conditions; the weight loss due to evaporation was monitored by a balance and the soil moisture was measured with the GS3 sensor. After two weeks the samples were dried in an oven at 105 degrees Celsius and weighed again to determine the dry soil mass.

$$\theta_s = a\epsilon_b^3 + b\epsilon_b^2 + c\epsilon_b + d \quad (1)$$

$$a = 5.89 \cdot 10^{-6}; b = -7.62 \cdot 10^{-4}; c = 3.67 \cdot 10^{-2}; d = -7.53 \cdot 10^{-2}$$

Where:  $\theta_s$  is the soil moisture content ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ );  
 $\epsilon_b$  is the bulk dielectric permittivity in Farads per meter ( $\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$ ).

An adjustment of the Topp equation was made by minimizing the sum of the differences that were found by comparing the true VMC with the sensor VMC ( $\theta_s$ ) calculated via Equation 1 (van Straten (2014)). The parameters a, b, c and d were adjusted to fit the sensor VMC to the true VMC (Table 10.4.1).

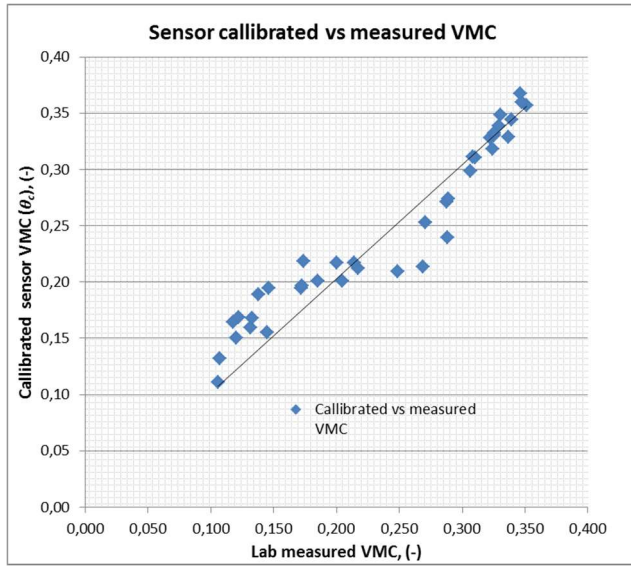
**Weergave 67: Adjuste values in the Topp equation.**

	Adjusted values
a	$6.0 \cdot 10^{-6}$
b	$-7.1 \cdot 10^{-4}$
c	$2.99 \cdot 10^{-2}$
d	$-5.0 \cdot 10^{-2}$

The quality of the fit between the calibrated VMC ( $\theta_c$ ) values, obtained by the adjusted equation (Equation 2), and the true VMC is shown in Weergave 68.

$$\theta_c = 6.0 \cdot 10^{-6} \epsilon_b^3 - 7.1 \cdot 10^{-4} \epsilon_b^2 + 2.99 \cdot 10^{-2} \epsilon_b - 5.0 \cdot 10^{-2} \quad (2)$$

The calibrated VMC values overestimated the lower measured VMC values, slightly underestimate the middle values and the higher VMC values are nicely matched.



Weergave 68: Sensor VMC calibration and measured VMC fit with a 1:1 line.

### Soil water salinity

The automatic sensors (Decagon GS3) measure the bulk EC ( $EC_b$ ) of the soil material, air and the liquids with any dissolved materials such as salt.  $EC_b$  values for standard soil types and EC ranges ( $EC$  0-4 mS/cm) are converted via calibration curves using the Topp formula (Decagon Devices Inc., 2009). This multiplies the measured  $EC_b$  ( $\mu S/cm$ ) with 0.0025 to calculate the calibrated EC ( $EC_c$ ) (mS/cm). To correct the salinity measurements of the automatic sensors with the  $EC_p$  of the Rhizon measurements, the resulting  $EC_c$  were compared with the Rhizon  $EC_p$ . This showed that they didn't line up. As bulk EC and bulk dielectric permittivity are determined by the same soil characteristics, there is a link between these two. Brovelli and Cassiani (2011) provide an extensive theoretical model to relate bulk EC to pore water EC at various degrees of water saturation, and they also unify models cited in the literature. Van Straten et al. (2014) showed that the empirical model of Vogeler et al. (1996) described the relation between  $EC_b$  and  $EC_p$  the best for soils with a pore water EC range from 0 till 20 mS/cm measured with the Decagon GS3 sensors. The simple version of the Vogeler empirical model is:

$$EC_b = p_1 \theta_c EC_p \quad (3)$$

Where:  $EC_b$  is the bulk EC (mS/cm);

$p_1$  is a estimated parameter;

$\theta_c$  is the calibrated soil moisture content ( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ );

$EC_p$  is the pore water EC (mS/cm)).

The parameter  $p_1$  was estimated by minimizing the sum of squared differences between model prediction and lab observations. While in these relationships the true volumetric water content ( $\theta$ ) must be used, this is unpractical as the true VWC can only be known by taking samples. Equally good parameterizations can be obtained by taking the VWC as obtained directly from the sensor ( $\theta_s$ ). Pore water EC is of larger agronomical interest as this is the EC seen by the roots, therefore the equation above was inverted to yield pore water EC. The inverse of the simple model is the preferred model:

$$EC_p = EC_c = \frac{EC_b}{p_1 \theta_c} \quad (4)$$

The bulk EC as measured by the sensor is divided by the parameter  $p_1$  multiplied by the calibrated soil moisture content. This results in the calibrated EC that is compared to the pore water EC.

### Data comparison

Weergave 69 shows the parameter estimation and comparison between the different calibration methods. The multiplication factor shows the multiplication factor of the different methods and the column Average error represents the average error between the  $EC_p$  and the calibrated EC values. The  $EC_p$  RMSE represents the root mean square error in  $EC_p$  units; defined as the square root of the sum of squared differences between model and data divided by the number of degrees of freedom, i.e. the number of points minus the number of parameters (Equation 5). The RMSE is calculated via:

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (5)$$

Where:

$n$  is the sample size;

$y_i$  is the measured value on time step  $i$ ;

$\hat{y}_i$  is the modelled value on time step  $i$ ;

$\Sigma$  is the summation over the sample size with time step  $i=1$ .

**Weergave 69: Calibration methods and resulting comparison with the  $EC_p$ . \* Average multiplication factor; depending on the soil moisture content.**

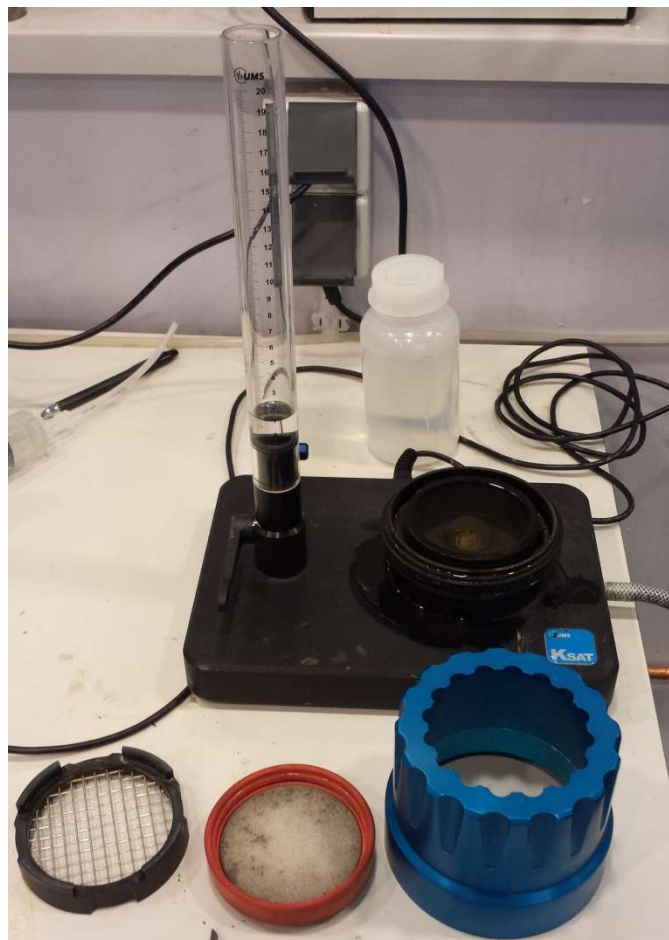
Calibration method	Multiplication factor	Average error (mS/cm)	$EC_p$ RMSE (mS/cm)
Sensor data in mS/cm	0.001	3.53	5.175
Decagon manual	0.0025	0.11	3.763
Vogeler	0.0043*	0.21	3.368

Calibrated sensor EC values with the Vogeler method result in the lowest RSME and a average error of 0.21 mS/cm with the pore water EC measurements. The multiplication factor of the Vogeler method in the table is shown with the average soil moisture content. The estimated parameter  $p_1$  value is 770.

## 8.5 Bepaling verzadigde doorlatendheid

### *Saturated conductivity*

The saturated conductivity ( $K_s$ ) was measured for soil samples which were taken from the same samples locations that were used for the pF curve measurements and three additional samples from -25 cm deep. In total 16 samples were taken and the saturated conductivity was determined with a KSAT (Weergave 70) device. The KSAT uses a pressure sensor to measure the water flow through the saturated sample. Water flows from the 20 cm glass tube, via the device, through the bottom of the sample (positioned upside down in the KSAT) and is drained when it exits the sample. The pressure sensor in the bottom of the KSAT detects the water pressure difference between the standing water in the glass tube and the water that flows through the sample. The saturated conductivity is then calculated via the Darcy equation.

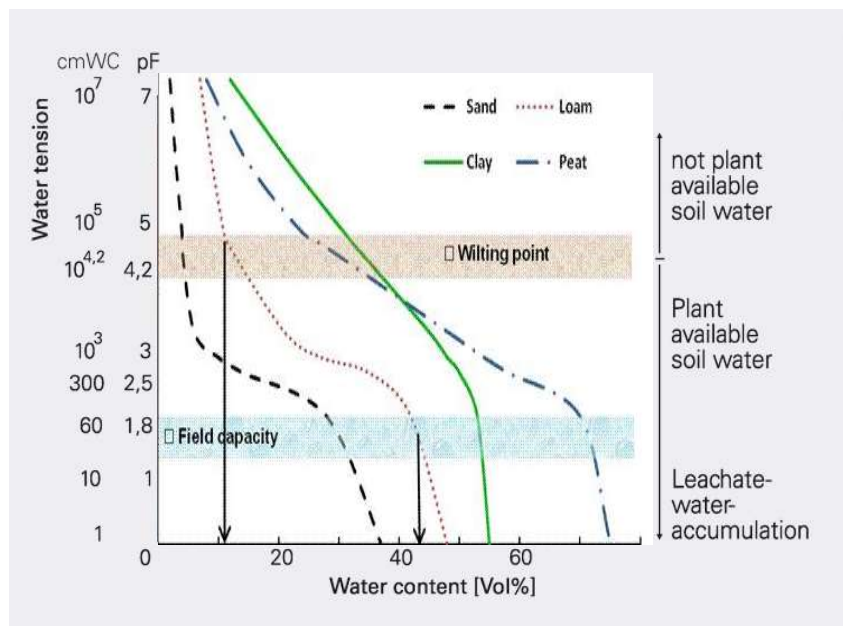
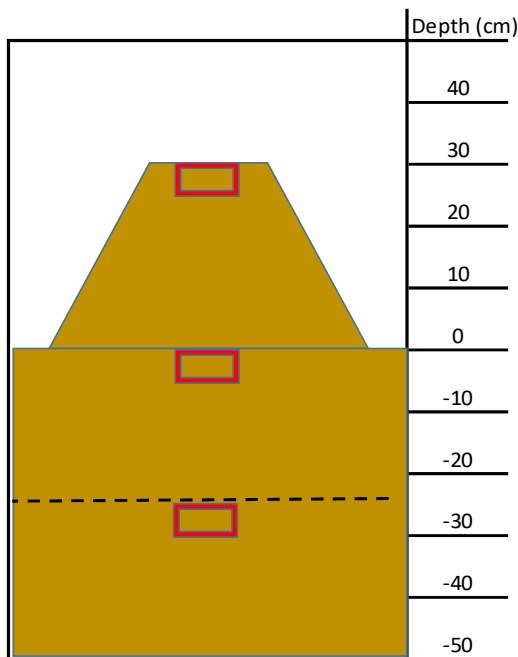


Weergave 70: KSAT measurement device

## 8.6 Bepaling pf-curves en onverzadigde doorlatendheid

### Water retention curves (pf-curve)

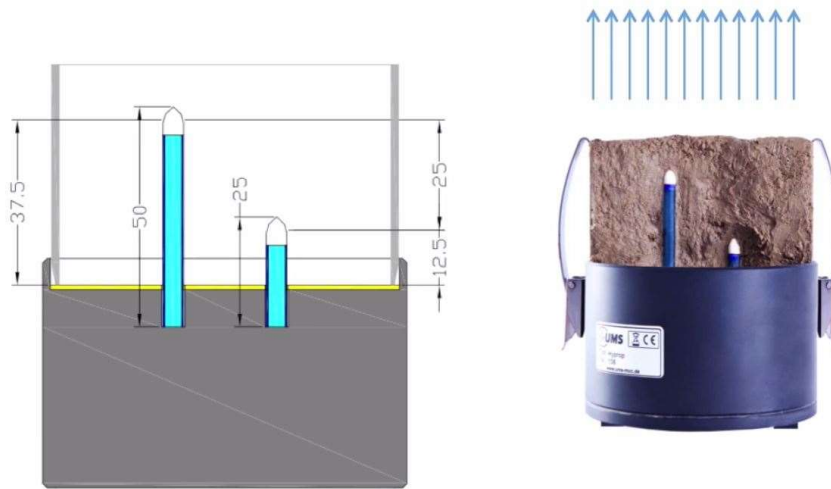
To determine the soil characteristics, plant available water and water potential of the soil, water retention or pF curves were made from six soil samples. These pF curves are also used to determine the Van Genuchten parameters of the soil for the Hydrus model. The samples were taken at measurement points 2, 10 and 14, on 2 different depths; one at the top of the ridge (+25 to +30cm) and one below the bottom of the ridge (0 to -5 cm) as shown in Weergave 71. The samples were taken with stainless steel sample rings with a diameter of 8 cm, height of 4 cm and a volume of 200 cm<sup>3</sup>.



Weergave 71: Sample depths for the pF curves and saturated conductivity measurements.

Weergave 72: pF curves of different soil types.

Water retention curves can be measured in various ways, often used are sandbox methods for the range from 0 to a pF of 1 and pressure plates to measure up to a pF of 3.4. Another method is the evaporation method where the water retention in the evaporating sample is measured by tensiometers. For this study, the pF measurements were done with a Hyprop device as shown in Weergave 73. The Hyprop measures water potential via two tensiometers, and water loss with a balance. The range of the tensiometers in the Hyprop (Hyprop manual) is from fully saturated sample with a pF of 0 until around plant available water with a pF of 3.0. When the sample is drying out, air enters the pores of the soil and replaces the water. When the air is reaching and entering the tensiometers, the pressure drops. This point is called the cavitation point and can be used to calculate the extra pF 3.9 point on the pF curve. Undisturbed soil samples were taken, weighed and saturated, and installed on the Hyprop. While the water in the sample slowly evaporates over the course of a few days, the water tension inside the sample and the evaporated water is measured. After the sample has lost almost all of its water, visible by the low tension in the tensiometers, the data is collected and the sample is dried in the oven.



Weergave 73: Hyprop measurement device. Left; distances in millimetres, right; installation of sample ring with soil on the tensiometers tips in the Hyprop.

### *Unsaturated conductivity*

The unsaturated conductivity of the soil sample is also measured with the Hyprop. When the soil sample in the Hyprop is evaporating at a constant rate, the unsaturated conductivity is calculated using the one-dimensional vertical unsaturated water flow equation (Van Genuchten 1980), i.e. the vertical Richards' equation (Equation 1):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left[ k(\theta) \frac{\partial h}{\partial y} \right] \quad 1$$

Where: t is the time (days);

h is the pressure head (cm);

k(θ) is the unsaturated hydraulic conductivity (cm·days<sup>-1</sup>);

y is the height of the sample.

$\frac{\partial \theta}{\partial t}$  represents the evaporation rate and  $\frac{\partial h}{\partial y}$  is the water potential difference between the two tensionmeter tips.

## 8.7 Bepaling Van Genuchten parameters

The water retention curves are used to determine the Van Genuchten parameters for the Hydrus 2D model. The parameters are calculated using the soil water retention curve model (Van Genuchten, 1980) and is described by

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (1)$$

$$m = 1 - 1/n, \quad n > 1 \quad (2)$$

Where:  $\theta$  is the volumetric water content ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ );  
 $\theta_r$  and  $\theta_s$  are the residual and saturated water content, respectively.

Parameter  $\alpha$  is a scaling parameter that is inversely proportional to mean pore diameter ( $\text{cm}^{-1}$ ),  $n$  is the soil water characteristic curve index [-] (shape parameter of the curve).  $\theta_r$  and  $\theta_s$  can be measured directly,  $\alpha$  and  $n$  are fitted parameters. With parameter  $\alpha$  is described as follows:

$$\alpha = \frac{1}{h} (\theta^{-1/m} - 1)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

Where:  $h$  is the pressure head (cm);  
 $\theta$  is the volumetric water content ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ).

If  $S$  is the absolute value for the slope of  $\theta$  with respect to  $\log h$ , i.e.:

$$S = \left| \frac{d\theta}{d(\log h)} \right| \quad (4)$$

$S$  can be describes as:

$$S = 2.303 \frac{m}{1-m} \theta (1 - \theta^{\frac{1}{m}}) \quad (5)$$

The best location on the  $\theta(h)$ - curve for evaluating the slope of  $S$  is halfway between  $\theta_r$  and  $\theta_s$  with will be called point P where  $\theta = \frac{1}{2}$ . Combining with Equation 3 and 5 reduces to:

$$S_p(m) = 1.151 \frac{m}{1-m} (1 - 2^{\frac{1}{m}}) \quad (6)$$

$S_p$  indicates that at point P Equation 6 may be used to obtain an estimate for  $m$  once the slope  $S_p$  is determined graphically from the soil water retention curve. A full description of the theory has been given by Van Genuchten (1980).

The Van Genuchten parameters were determined in a excel sheet by fitting the calculated retention-curve through the measured saturated and residual and soil moisture contents and the soil moisture content at the point pF 1.8.

## 8.8 Modelling bodenvocht water en zout met Hydrus

In order to better understand the hydrological processes of soil moisture and salinity in the unsaturated zone, a model was created with the groundwater simulation program HYDRUS 2D. This program was purchased from [www.pc-progress.com](http://www.pc-progress.com). The HYDRUS 2D model was used to research the effect of the lithology on the salt and moisture content in the root zone of the potato plants, as well as to simulate and investigate the distribution and movement of the salt and moisture contents in the unsaturated zone.

### *Unsaturated Soil Hydraulic Properties*

The HYDRUS 2D model is a 2D numerical model that solves the Richards equation for saturated-unsaturated water flow and convection-dispersion type equations for heat and solute transport. To model the water uptake of plants, the flow equation incorporates a sink term. The governing convection-dispersion solute transport equations are written in a very general form by including provisions for nonlinear nonequilibrium reactions between the solid and liquid phases, and linear equilibrium reaction between the liquid and gaseous phases (Šimůnek, et al., 1999). The governing flow equation that is used in the model is given by the modified form of the Richards equation:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ k(\theta) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ k(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} \right] + \frac{\partial k(\theta)}{\partial z} - S \quad (1)$$

Where:  $t$  is the time [T];

$h$  is the pressure head [L];

$k(\theta)$  is the unsaturated hydraulic conductivity [ $L T^{-1}$ ]; and

$S$  is a sink term [ $T^{-1}$ ].

The HYDRUS 2D model calculates using the soil hydraulic functions of Van Genuchten (1980):

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m} \quad (2)$$
$$h < 0, \theta_s; h \geq 0$$

and:

$$K_\Psi = K_S S_e^l \left[ 1 - \left( 1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (3)$$

$$m = 1 - 1/n, n > 1 \quad (4)$$

Where:  $\theta_r$  and  $\theta_s$  are the residual and saturated water content, respectively [ $L^3 L^{-3}$ ];  
 $\alpha$  is the inverse of the air-entry value [ $L^{-1}$ ];  
 $n$  is the pore-size distribution index [-];  
 $K_\psi$  is the hydraulic conductivity at matric potential  $\Psi$  [ $L T^{-1}$ ];  
 $K_s$  is the saturated hydraulic conductivity [ $L T^{-1}$ ];  
 $S_e$  is the effective water content [-]  $((\theta - \theta_r)/(\theta_s - \theta_r))$ ;  
 $l$  is the pore-connectivity parameter [-]; and  
 $m$  is a parameter defined by  $1-1/n$  [-].

The pore-connectivity parameter,  $l$ , was estimated to be approximately 0.5 on average for most soil types (Šimůnek, et al., 2013), and has therefore been left constant in the model.

### *Input data and basic model set-up*

During the field experiment, many factors had an influence on the measurements. The most relevant factors were measured in the field or collected using different methods, and estimated where possible. To prevent the research from expanding outside of the field of interest, and to prevent additional assumptions from being included in the model, the single porosity model was used. The single porosity function uses the Van Genuchten-Mualem hydraulic model. Hysteresis is usually applied to this hydraulic model when drying and wetting occurs, which results in different soil water retention curves for each condition. However, due to limited data, hysteresis was not applied in this study.

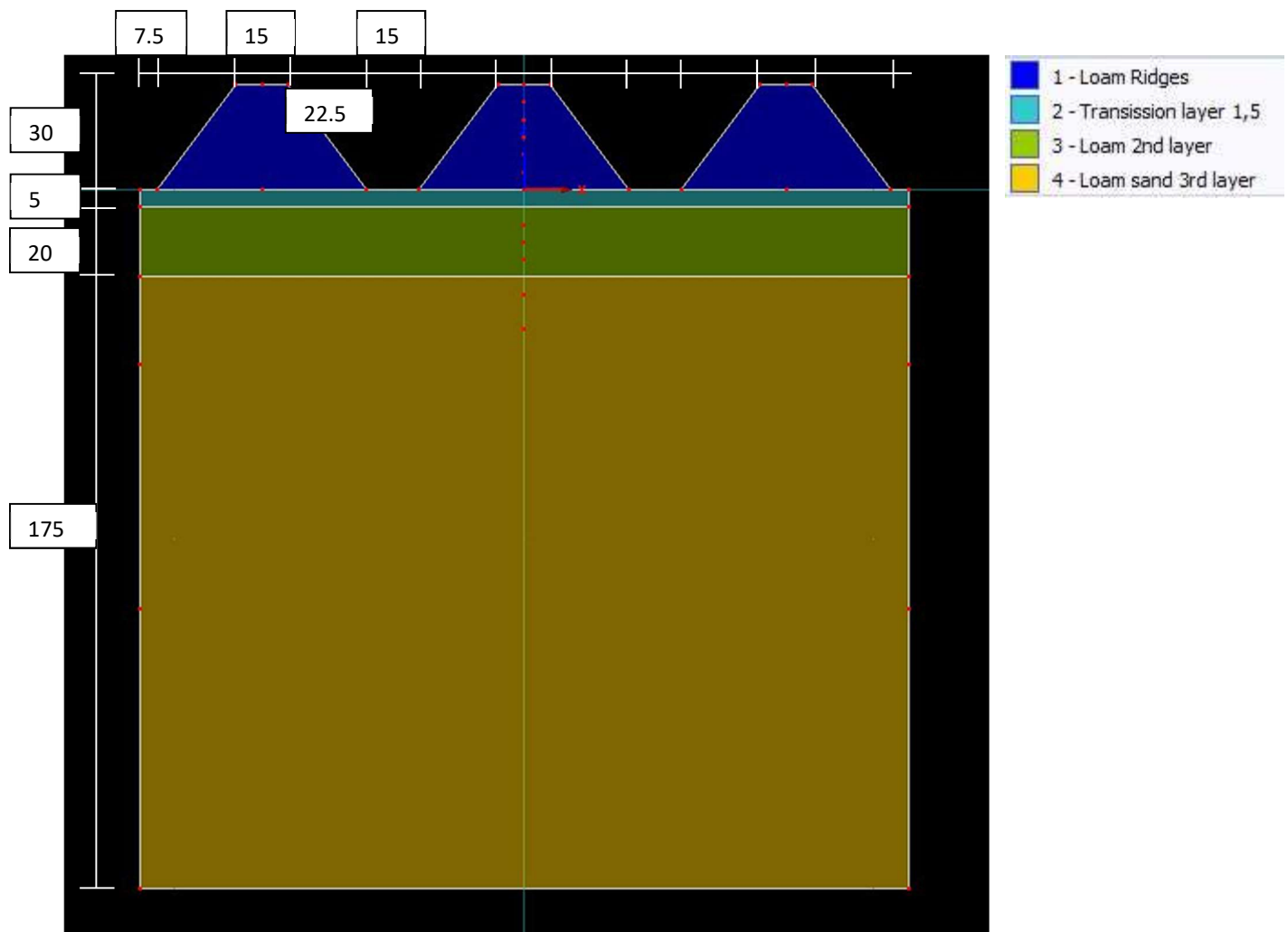
HYDRUS-2D automatically selects its optimal time step, but an initial time step of 0.0001 days was prescribed for the simulation (suitable for large initial pressure head or concentration gradient at the boundaries), with an allowed minimum time step of  $1 \times 10^{-5}$  days and a maximum time step of 5 days to provide flexibility to the model. The larger time steps are preferable for soils with less nonlinear hydraulic properties (e.g., loam) (Šimůnek, et al., 2008).

### *Soil layers and parameters*

The basic model in Hydrus 2D consisted of a field section located at MP 10 and simulated a vertical cross section perpendicular to the direction of the ridges. Three ridges were simulated with a soil section reaching 2.0 metres deep and 2.2 metres wide. The soil materials in the model were separated into four materials:

- Material 1: top 30 cm of the loam ridges (+30 to 0 cm in the model domain) on the field (where the potatoes grew);
- Material 2: transition layer (0 to -5 cm) with the function of connecting the ridges and the underlying soil layer;
- Material 3: loam layer under the ridges (-5 to -25 cm); and
- Material 4: loam sand layer (-25 to -200 cm).

Material 2 was included in order to connect the soil layers and more accurately simulate the flow between materials 1 and 3 because of the significant difference in characteristics between the two soil types. The dimensions of the ridges and soil layers are shown in Weergave 74. Soil characteristics inserted into the model include the Van Genuchten parameters and saturated conductivity as shown in Weergave 75.



Weergave 74: Basic model geometry with the dimensions (in cm), the location of the three ridges and the different soil layers.

Weergave 75: Van Genuchten model parameters and saturated conductivity for each soil layer at MP10 and MP14.

Location	Soil Layer	$\theta_r$ [-]	$\theta_s$ [-]	$\alpha$	N	$K_s$
MP10	1: Loam ridges	0.150	0.50	0.40	1.40	100
	2: Transition layer	0.105	0.49	0.50	1.40	175
	3: Loam layer	0.105	0.47	0.55	1.35	280
	4: Loam sand layer	0.100	0.44	0.30	2.30	40
MP14	1: Loam ridges	0.150	0.50	0.65	1.40	150
	2: Transition layer	0.105	0.49	0.60	1.40	100
	3: Loam layer	0.105	0.47	0.40	1.35	10
	4: Loam sand layer	0.100	0.44	0.30	1.40	10

In addition, root water uptake was also included in the model with the following parameters:

- Maximum rooting depth: 40 cm; and
- Depth of maximum intensity: 25 cm.

Observation nodes were placed at the following depths in the central ridge of the model: +10 cm, -10 cm, -15 cm, -20 cm, -30 cm, -40 cm, and -45 cm.

### *Initial and boundary conditions*

Initial and boundary conditions (BC) in Hydrus 2D can be defined either in terms of pressure heads or water contents. Values for pressure head and water content are calculated using the Van Genuchten retention curve method.

The model was initially run in a steady-state and calibrated; the resulting pressure heads were then used as the initial conditions for the transient model. The transient simulation was run for 169 days with prescribed water fluxes and soil characteristics. The BCs for the surface water fluxes (atmospheric boundary) include precipitation, evaporation and transpiration; a variable head BC was assigned to the bottom of the model to represent fluctuations in groundwater levels, and no flow BCs were prescribed at either side of the model.

Due to the no flow BCs prescribed on either side of the model, three ridges were modelled. Soil moisture and salinity flows under the middle ridge were assumed not to be affected by the no flow boundaries on either side of the model. The boundary and initial conditions used in the transient model are described in Weergave 76.

**Weergave 76: Initial and boundary conditions in the transient model representing MP10.**

Initial conditions	Layer	Value
Pressure head	All layers	Results from steady-state model
Concentration	Ridges	0.3 mmol/cm <sup>3</sup> (EC 29)
	All other layers	0.016 mmol/cm <sup>3</sup> (EC 1.5)

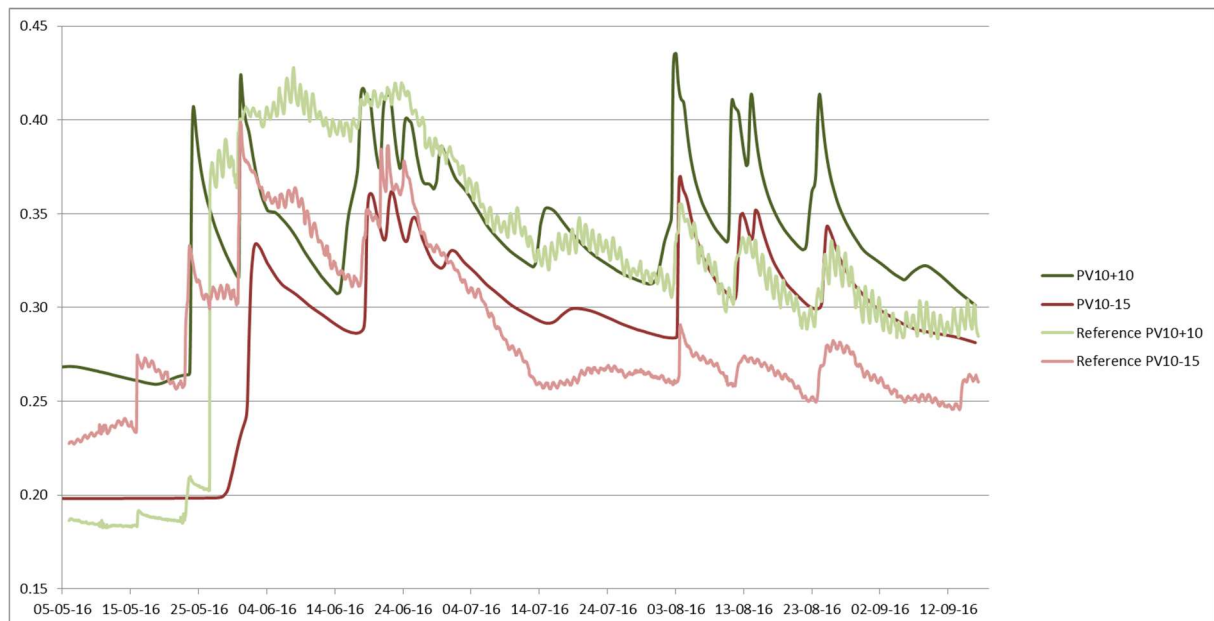
  

Boundary conditions	Location	Type
Water flow	Top	Atmospheric
	Sides	No flow
	Bottom	Variable head (Var.H-1)
Solute transport	Top and bottom	Third type; code=1
	Sides	No flux

### **Water content results location MP10**

The resulting water content compared between measurements and modelled results at +10 cm and -15 cm are provided in Weergave 77.

At both depths, the general water content trend that was measured in the field is represented by the model results. The simulated results from mid-June until the end of July are very close to what was measured in the field, especially in the ridge (depth +10 cm); however, from August onwards, the simulated water content at both depths is much higher than what was measured in the field.



**Weergave 77: Comparison between measured (Reference, light green and red) and simulated (dark green and red) water content at +10 and -15**

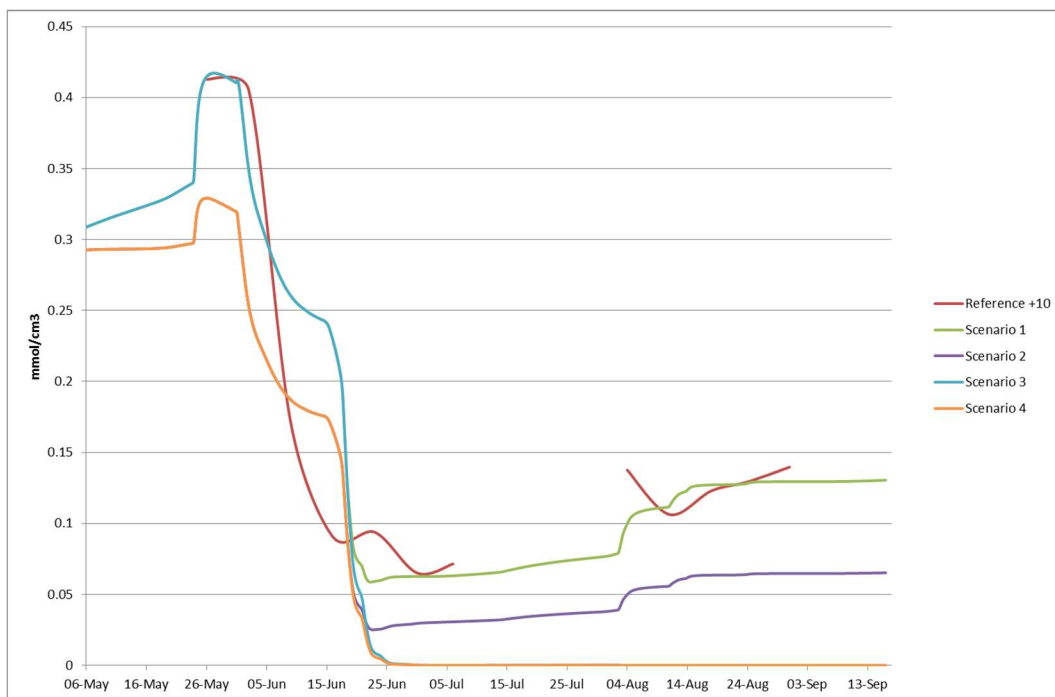
### **Sensitivity analysis**

A number of different scenarios were calculated to test the sensitivity of the model in order to better understand the infiltration process and distribution of the salt concentration with depth. Since the real process of dissolution of the applied salt grains could not be modeled by HYDRUS, the scenarios present other ways to simulate this process and to approach the measured salinities in the field with the model. An overview of the scenarios is provided below in Weergave 78.

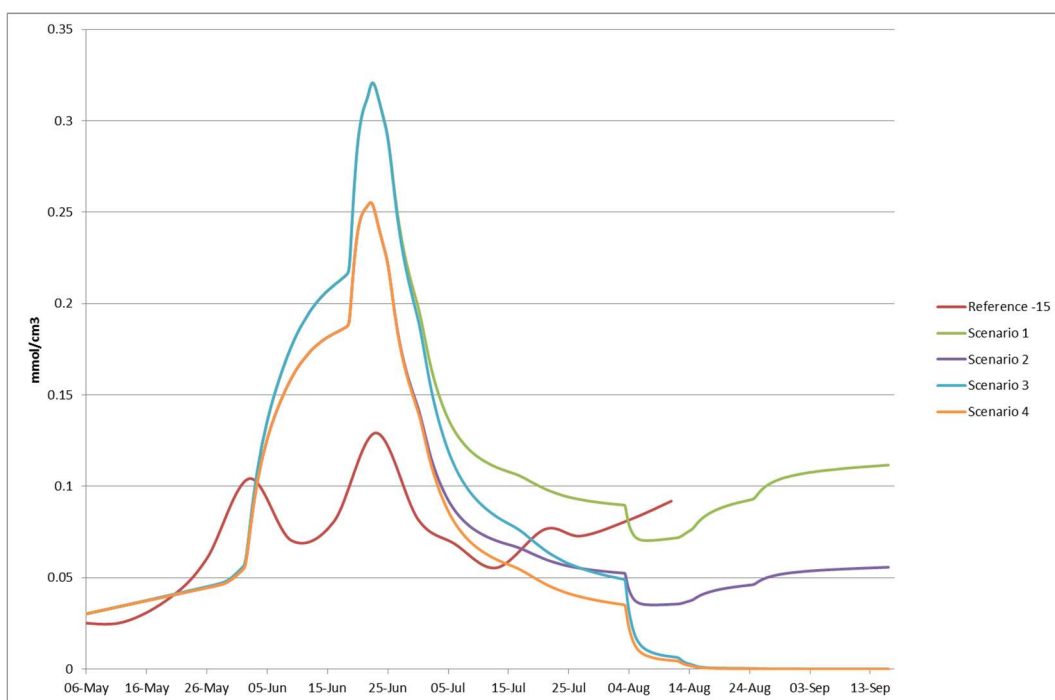
**Weergave 78: Description of scenarios for sensitivity analysis.**

Scenario	BC
<b>1: MP10 (2016)</b>	Atmospheric 2016, groundwater level 2016; Salt concentration BC 0.35 mmol/cm <sup>3</sup> (EC 34) until 24 April, then 0 mmol/cm <sup>3</sup> until 9 June, 0.06 mmol/cm <sup>3</sup> (EC 5.8) until 24 June, and 0.13 mmol/cm <sup>3</sup> (EC 12) until 16 September
<b>2: MP10 (2016), 50% salt input</b>	Same as above but with 50% salt concentration BC (as compared to scenario 1)
<b>3: MP10 (2016), 100% salt input until 24 April 2016</b>	Same as scenario 1 but 0.35 mmol/cm <sup>3</sup> salt concentration BC until 24 April 2016 and then 0 mmol/cm <sup>3</sup> salt concentration BC
<b>4: MP10 (2016), 50% salt input until 24 April 2016</b>	Same as scenario 2 but 0.175 mmol/cm <sup>3</sup> salt concentration BC until 24 April 2016 and then 0 mmol/cm <sup>3</sup> salt concentration BC

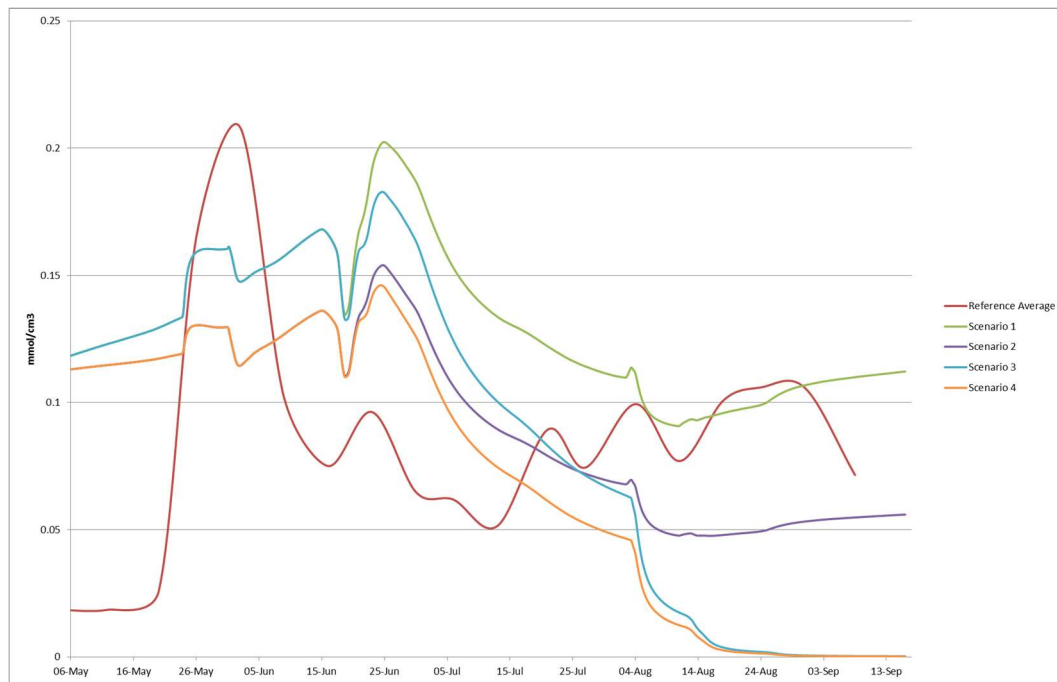
The comparison of the average salt concentration at depths of +10 cm and -15 cm for scenarios 1-4 and the reference field (MP10) are provided in Weergave 79 and Weergave 80, respectively. An average of the salt concentration at depths of +10 cm, -15 cm and -30 cm at the same locations is provided in Weergave 81.



Weergave 79: Comparison between measured and simulated salt concentrations (mmol/cm<sup>3</sup>) at +10 cm



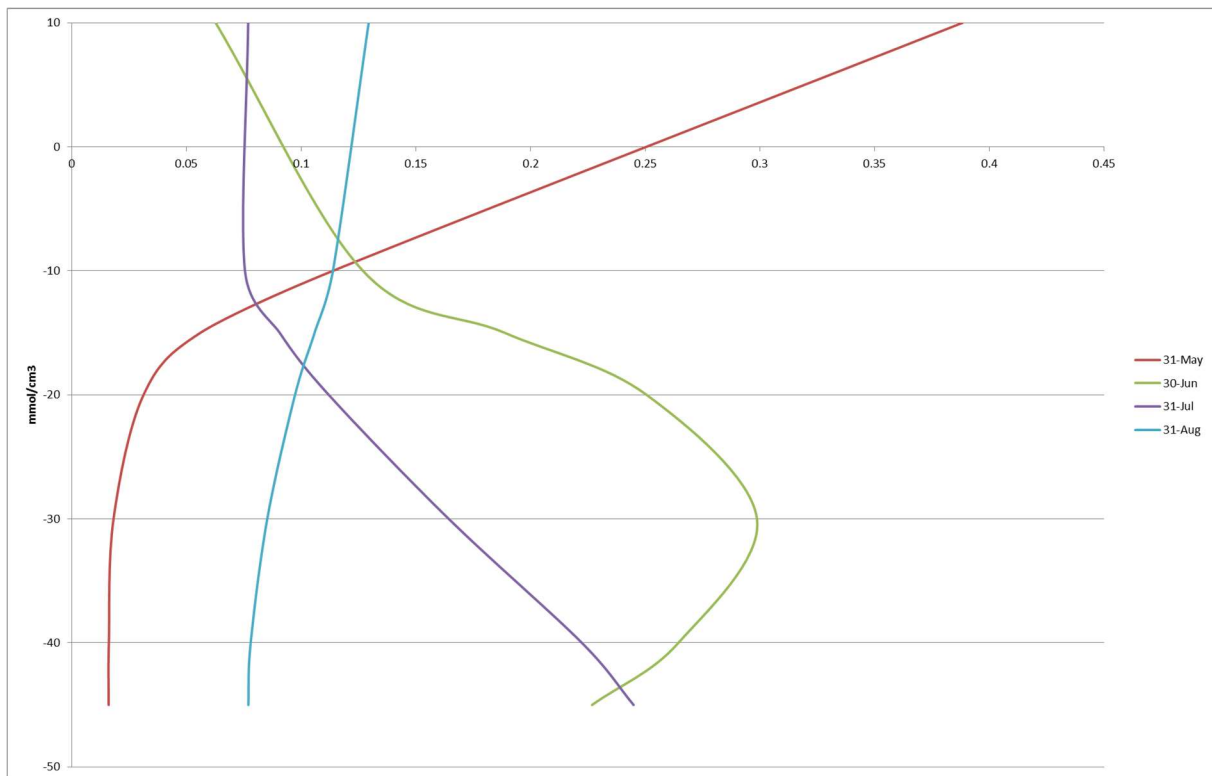
Weergave 80: Comparison between measured and simulated salt concentrations (mmol/cm<sup>3</sup>) at -15 cm



**Weergave 81: Comparison between measured and simulated salt concentrations (mmol/cm<sup>3</sup>), average of depths at +10 cm, -15 cm and -30 cm**

The sensitivity analysis of scenarios 1-4 show that scenario 1 is the best fit for the conditions at MP10 at a depth of +10 cm in 2016. Scenario 1 fits the peak of the salt concentration (end of May), the lowest value (end of June), and the values near the end of the season (from August onwards) very closely. However, at -15 cm, the results from all of the scenarios overestimate the salt concentration in the month of June, as compared to the measured concentrations in the field. It is only near the end of the simulation (from end of July onwards) that the results from scenario 1 appear as though they could fit with the situation in the field; unfortunately, however, the rhizons were dry for most of the month of August, so it is not possible to compare the simulated and field measurement results for this period.

A comparison of the salinity-depth profiles for scenario 1 using observation nodes at depths of +10 cm, -10 cm, -15 cm, -20 cm, -30 cm, -40 cm, and -45 cm is provided in Weergave 82. This graph shows that at the end of May, the saltiest part of the soil profile was at the top (+10 cm), gradually decreasing until a depth of -15 cm, and then sharply dropping to 0.016 mmol/cm<sup>3</sup> (EC 1.5) for the remaining depth of the profile, which is equivalent to the initial condition inserted in the model. By the end of June, the salt concentration in the ridges had dropped considerably, and the maximum value, 0.30 mmol/cm<sup>3</sup>, was observed at a depth of -30 cm. This is equivalent to what was initially present in the ridges at the start of the simulation. The maximum salt concentration continued to deepen, and was calculated to be at -45 cm with a value of 0.25 mmol/cm<sup>3</sup> at the end of July. By the end of August, the salinity profile is relatively constant at all depths (between 0.08 mmol/cm<sup>3</sup> and 0.13 mmol/cm<sup>3</sup>), and the higher concentration in the upper soil layers is equal to the upper BC which inserts 0.13 mmol/cm<sup>3</sup> into the model at the boundary. These salinity-depth profiles show that for this model configuration (given the assumptions made for this model, e.g. using a single porosity instead of a dual porosity model, inclusion of root water uptake but not of root solute uptake), the majority of the salt that was initially placed in the ridges at the start of the growing season is gradually diluted and travels downwards through time. Once the remains of this salt are gone from the ridges, the remaining salinity is entirely attributable to the BC.



**Weergave 82: Depth-salinity profiles for Scenario 1 on 31 May, 30 June, 31 July and 31 August**

Regarding the sensitivity of the model to the various scenarios, the model does react when there is a 50% reduction of the salt concentration at the BC. Sudden increases and decreases in the results do not seem to be attributed to changes in the BC, but rather to atmospheric conditions. At certain periods of the model, the resulting concentrations at +10 cm react in line with what is coming in through the boundary. This is especially the case in the months of August and September, as with the low value that is reached in late June. In other instances, such as at the end of April and May, concentrations continue to increase until starting to drop on June 1<sup>st</sup> despite the fact that there is no concentration entering through the upper boundary (no salt entering into any scenario between 25 April and 9 June, inclusive).

It was not possible to remove the inflection point around June 14-15 or to achieve the correct slope for the decrease in concentrations in the month of June by varying the salt concentration BC. This is believed to be due to the atmospheric BC that is imposed (precipitation, evaporation and transpiration). The value that is actually inserted at the boundary is recalculated by Hydrus based on the relationship between precipitation and evaporation for each time step such that  $cVal = \frac{Precip}{(Precip - Evap)} * cVal$ , where cVal is the salt concentration BC; no mention of transpiration is provided in the formula. Other discrepancies between the the measured and calculated salt concentration values can be attributed to the fact that a number of assumptions have been made regarding the water flow and solute transport processes.

### Scenarios

Based on the results of the above sensitivity analysis, scenario 1 was selected as the best fit (baseline model) to represent the conditions at MP10. A number of additional scenarios have been analyzed to assess the effect of the following:

- Seasonal variability, by changing the atmospheric BC;
- Initial salt concentration in the ridges;
- Soil parameters, by using the soil properties from monitoring location MP14; and
- Irrigation patterns.

A summary of these scenarios is provided in Weergave 83.

**Weergave 83: Description of scenarios.**

Scenario	Soil parameters	IC	BC
<b>1: MP10 (2016)</b>	MP10	-	Atmospheric 2016, groundwater level 2016; salt concentration BC 0.35 mmol/cm <sup>3</sup> until 24 April, then 0 mmol/cm <sup>3</sup> until 9 June, 0.06 mmol/cm <sup>3</sup> until 24 June, and 0.13 mmol/cm <sup>3</sup> until 16 September
<b>5: MP10 (2015)</b>	MP10	-	Atmospheric 2015, groundwater level constant h = -140 cm, same salt concentration BC as scenario 1
<b>6: MP10 (2016), EC 40 mS/cm</b>	MP10	EC 40 in ridges	Atmospheric 2016, groundwater level 2016, no salt input
<b>7: MP10 (2015), EC 40 mS/cm</b>	MP10	EC 40 in ridges	Atmospheric 2015, groundwater level constant h = -140 cm, no salt input
<b>8: MP14 (2016)</b>	MP14	-	Atmospheric 2016, groundwater level 2016, same salt concentration BC as scenario 1
<b>9: MP10 (2016), continuous freshwater irrigation 3 mm/day, initial EC 7</b>	MP10	EC 7 entire domain	Atmospheric 2016 + 3 mm/day, groundwater level 2016, no salt input
<b>10: MP10 (2016), continuous freshwater irrigation 6 mm/day, initial EC 7</b>	MP10	EC 7 entire domain	Atmospheric 2016 + 6 mm/day, groundwater level 2016, no salt input

A comparison between the results of these scenarios with scenario 1 is provided in the figures below. Comparisons for water content at a depth of +10 cm, as well as salt concentrations averaged over +10 cm, -15 cm and -30 cm and for +10 cm and -15 cm are provided. Comparisons have been grouped into 4 cases:

1. 2016 (scenario 1) vs. 2015 (scenario 5);
2. 2016 (scenario 1) and 2015 (scenario 5) vs. 2016 and 2015 but with a higher starting salt concentration in the ridges and no salt input throughout the simulation (scenarios 6 and 7, respectively);
3. MP10 (scenario 1) vs. MP14, which was a wetter location on the field with lower drainage (scenario 8); and
4. 2016 (scenario 1) vs. the same year but with an initial salt concentration of EC 7 for the entire domain, no salt input throughout the simulation and additional atmospheric inputs of 3 mm/day and 6 mm/day (scenarios 9 and 10, respectively).

Case 1: 2015 was a much drier year than 2016, and this is reflected in the water content results. The model was much drier in 2015, and water content only began increasing at the beginning of July, reaching similar values to those of 2016 at the beginning of August. As a result of this, salt concentrations remained mostly constant until the increase in water content in August. This resulted in an increase in salt concentrations everywhere in the model, likely because the presence of precipitation finally allowed for salt to enter in through the upper BC of the model. Note that when precipitation is equal to 0 or less than evaporation, no salt is added through the upper boundary.

Case 2: the same general trends noted for 2015 and 2016 above are visible in the results, especially when comparing the salt concentrations at -15 cm and average over different depths. However, two main differences can be noted:

- concentrations in scenarios 6 and 7 are higher than those in 1 and 5, which is due to the higher initial conditions for those scenarios; and
- concentrations in scenarios 6 and 7 drop to below those in 1 and 5 over the course of the simulation, which is due to the fact that there is no salt being introduced into the model through the upper boundary throughout those simulations.

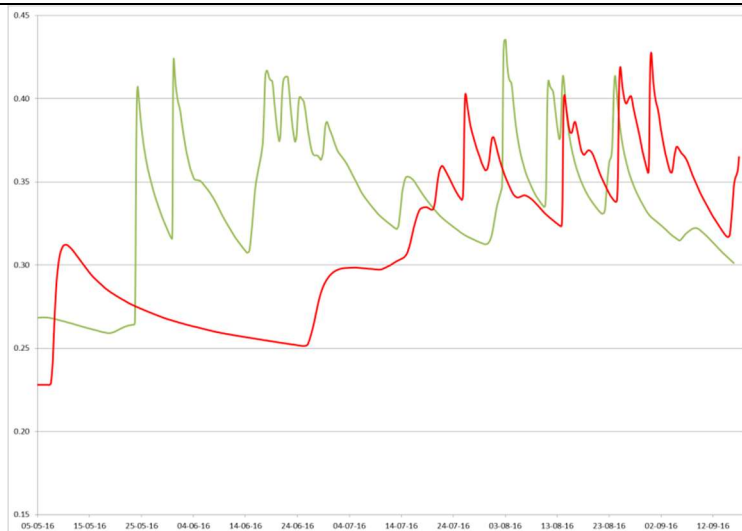
From these scenarios it can be seen that precipitation is an important driving force of salt to be transported downward. A dry season with less precipitation will delay the deliverance of salt to the root zone of the potatoes. This is exactly what happened during growing season 2015.

Case 3: this case compared soil properties for locations MP10 and MP14. Although both were part of the EC 7 field during the sampling season for 2016, MP14 was noted to be much wetter and did not drain as well as the rest of the field. Soil properties to reflect this difference were inserted into the model. The water content result shows a slight lag in reaching the peaks modelled in scenario 1, with slightly lower peaks. Likewise, the salt concentration results at +10 cm show a slight lag and also slightly reduced values. However, at a depth of -15 cm and for the average of all depths, from the beginning of July until mid-August, scenario 8 has higher salt concentrations. This is caused by the fact that scenario 8 is draining slower than scenario 1, and so likely retains salt for a longer period of time. However, differences are small and from a modelling point of view, soil properties as adopted into the model do not have a major impact on the water and salt dynamics in the root zone.

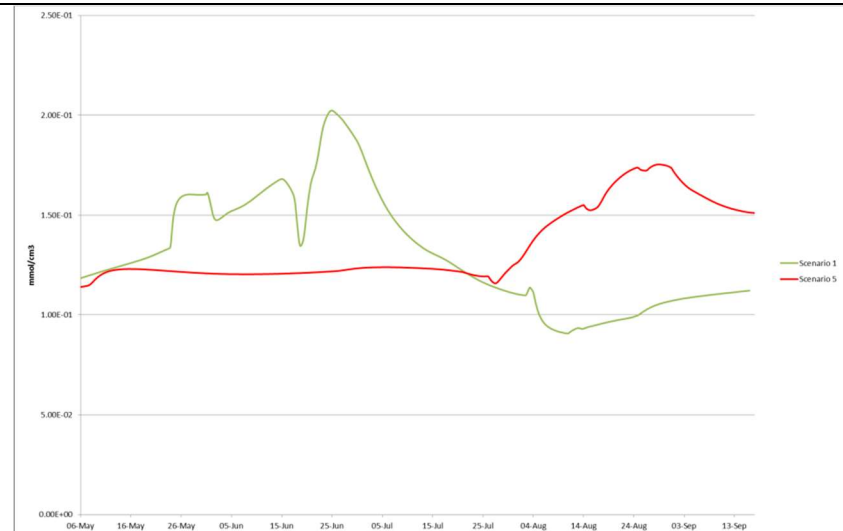
Case 4: the presence of constant irrigation (3 mm/day and 6 mm/day for scenarios 9 and 10, respectively) yield higher water contents as compared to scenario 1, as expected. However, the increase of water inserted at the upper boundary does not provide a linear increase in soil moisture at a depth of +10 cm; this is likely due to the soil parameters (residual and saturated soil water content) prescribed to the domain. When there is no salt inserted at the upper BC, the salt that was initially located in the ridges is quickly flushed out of the domain, as anticipated. This salt is flushed out of the domain more quickly when there is greater irrigation, showing a relationship between the atmospheric conditions at the boundary and the salt conditions in the soil.

By combining the results from these cases, the following conclusions can be drawn:

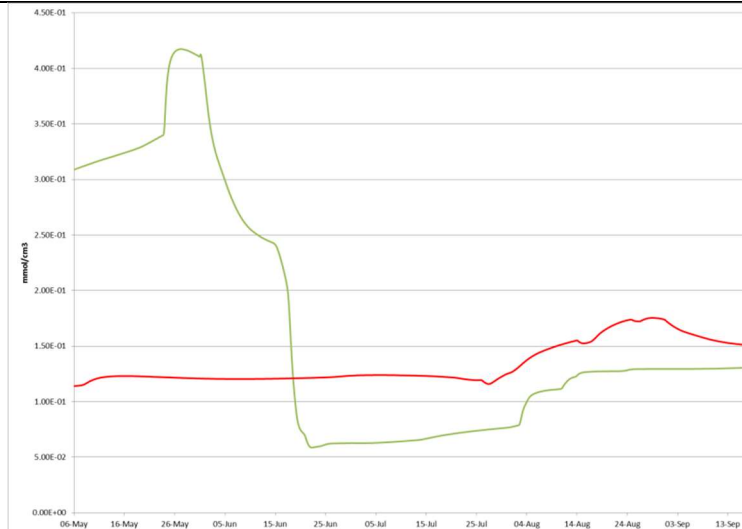
- Some precipitation is needed in order to increase the salt concentrations in the system. If there is no precipitation or it is smaller than evaporation, then no salt enters the model. This can be compared to the fact that salt crystals located in the soil will not dissolve without the presence of water;
- Increased precipitation/irrigation will flush the salt through the system through the soil faster than when there is less precipitation/irrigation (but still sufficient, so that it complies with the first point); and
- Changes in soil parameters affect salt concentrations at different depths differently. With respect to the growth of potatoes, it is recommended that further studies on this point are conducted, specifically with relation to the root depth of the potatoes, so that a better understanding is gained between the relationship of soil parameters, root depth, soil moisture, and salt concentration.



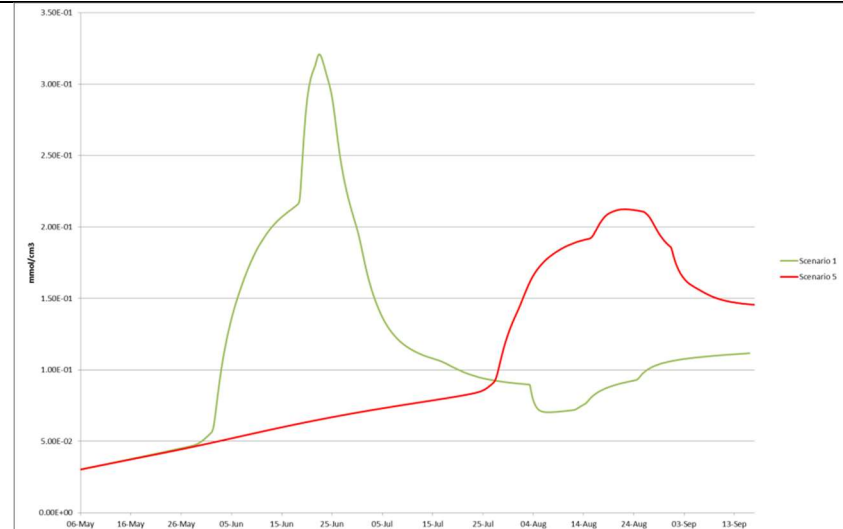
Comparison between water content for scenarios 1 and 5 at +10 cm



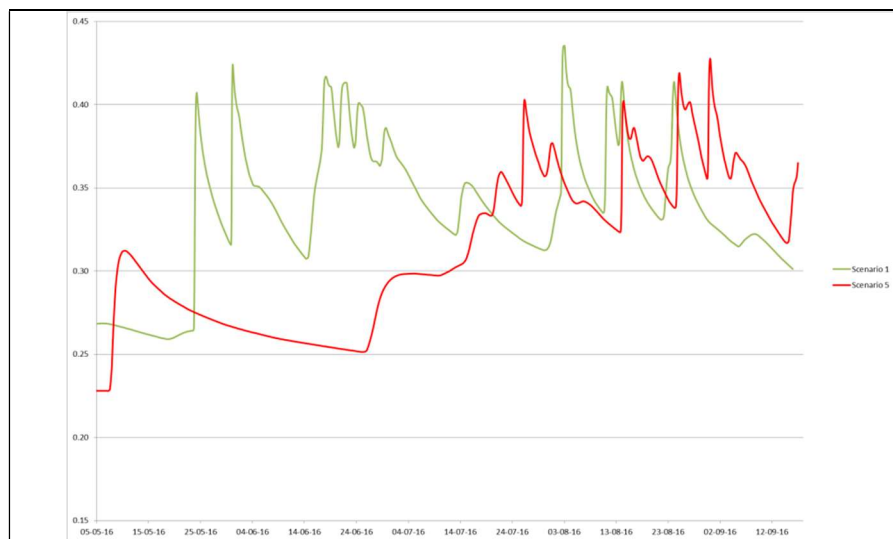
Comparison between salt concentrations for scenarios 1 and 5, average of depths at +10 cm, -15 cm and -30 cm



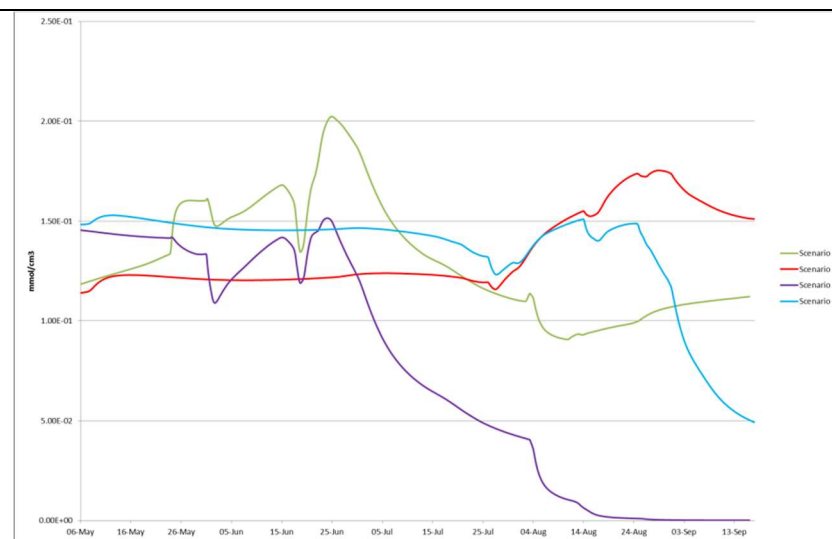
Comparison between salt concentrations for scenarios 1 and 5 at +10 cm



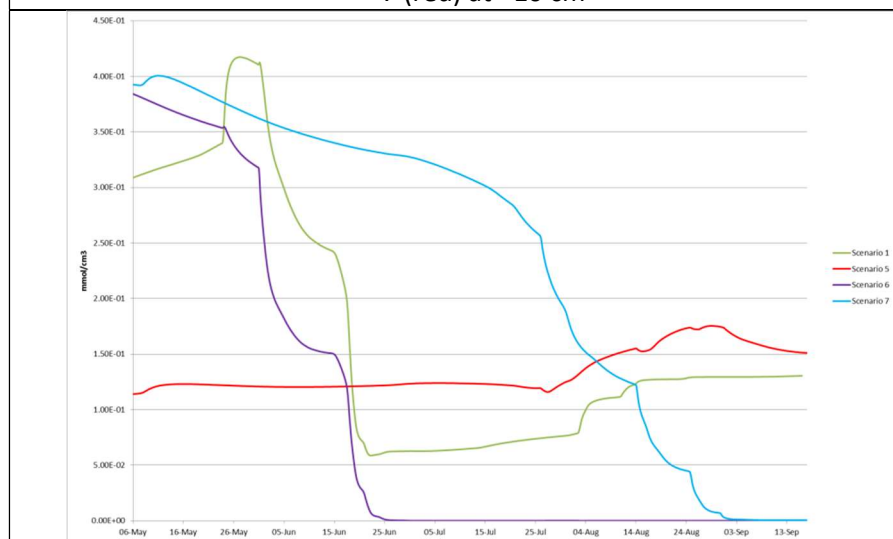
Comparison between salt concentrations for scenarios 1 and 5 at -15 cm



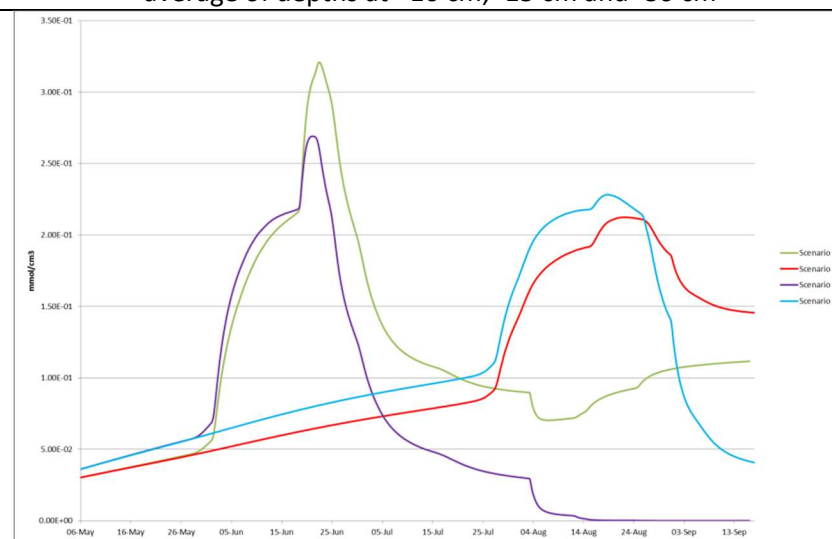
Comparison between water content for scenarios 1 and 6 (green) and 5 and 7 (red) at +10 cm



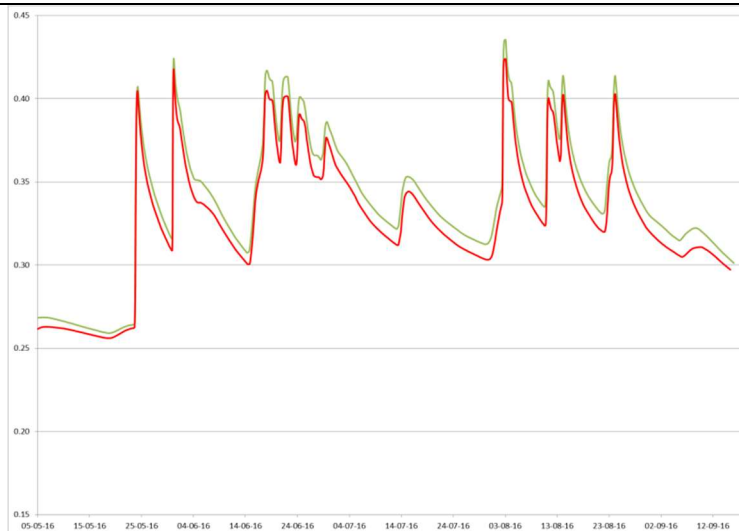
Comparison between salt concentrations for scenarios 1, 5, 6, and 7, average of depths at +10 cm, -15 cm and -30 cm



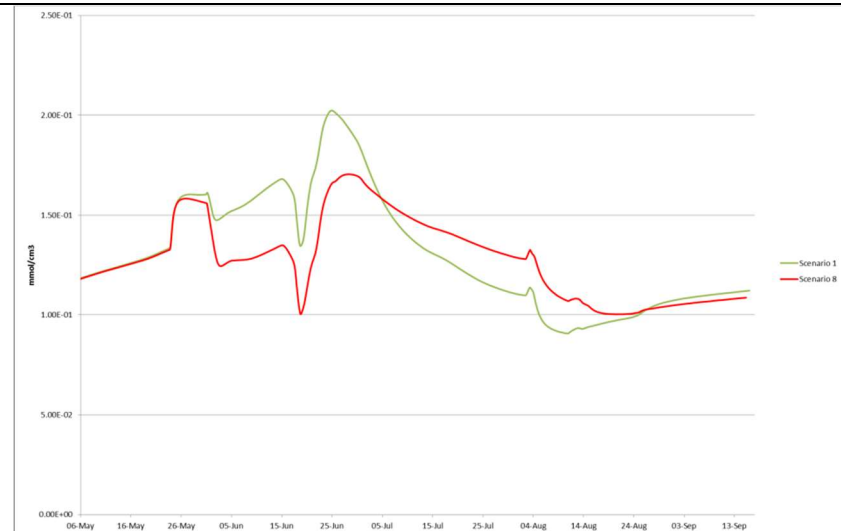
Comparison between salt concentrations for scenarios 1, 5, 6, 7 at +10 cm



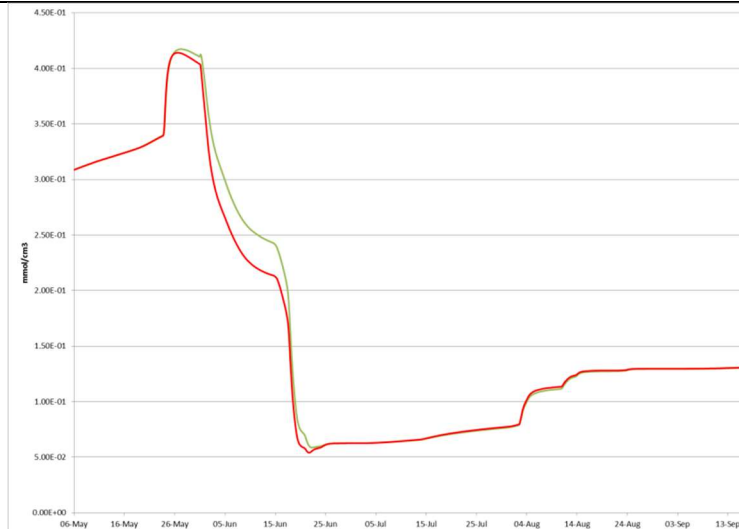
Comparison between salt concentrations for scenarios 1, 5, 6, 7 at -15 cm



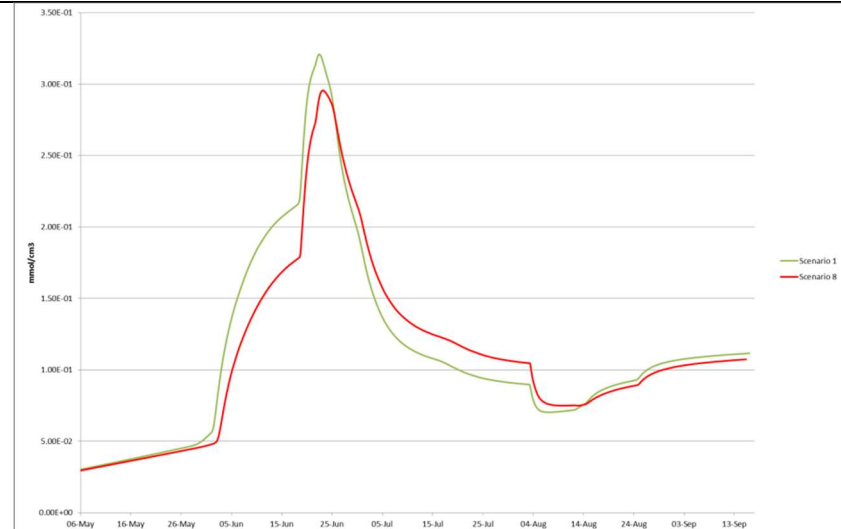
Comparison between water content for scenarios 1 and 8 at +10 cm



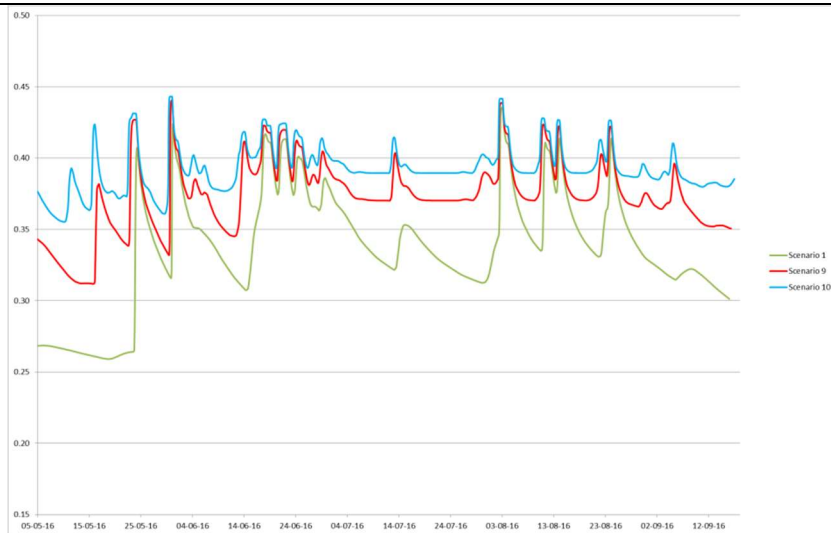
Comparison between salt concentrations for scenarios 1 and 8, average of depths at +10 cm, -15 cm and -30 cm



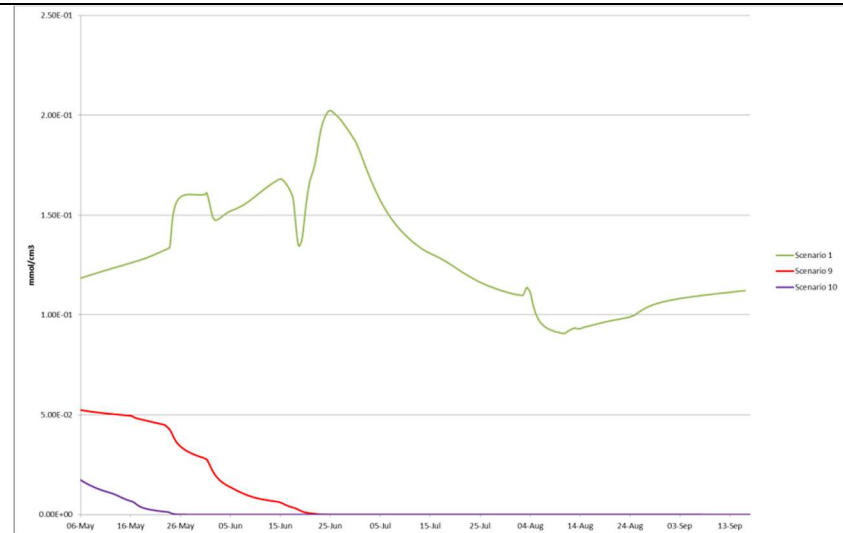
Comparison between salt concentrations for scenarios 1 and 8 at +10 cm



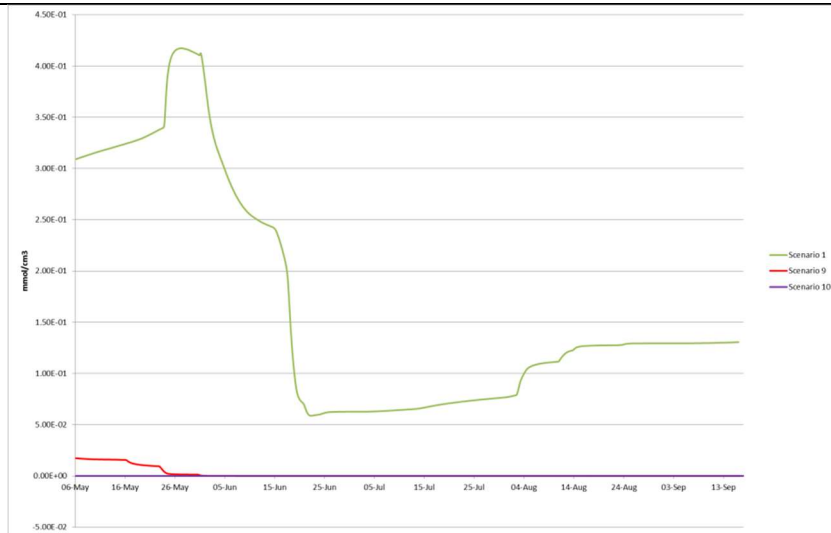
Comparison between salt concentrations for scenarios 1 and 8 at -15 cm



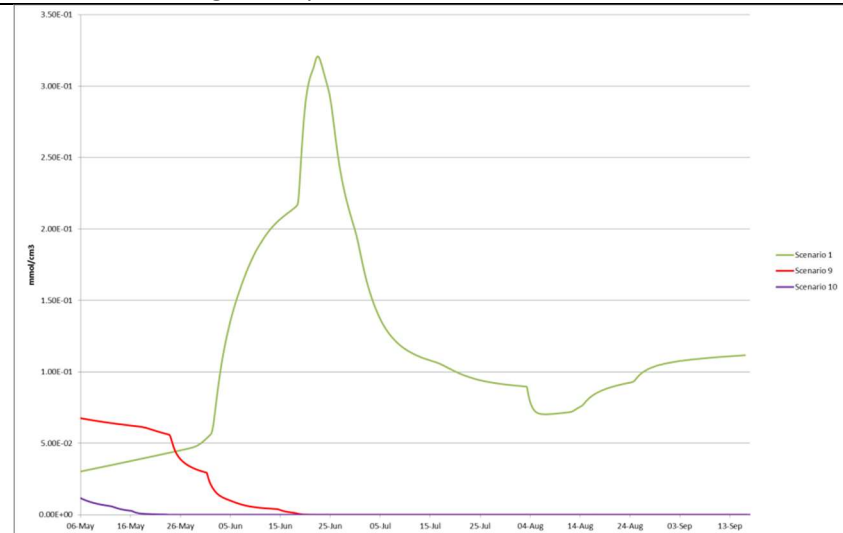
Comparison between water content for scenarios 1, 9, and 10 at +10 cm



Comparison between salt concentrations for scenarios 1, 9, and 10, average of depths at +10 cm, -15 cm and -30 cm

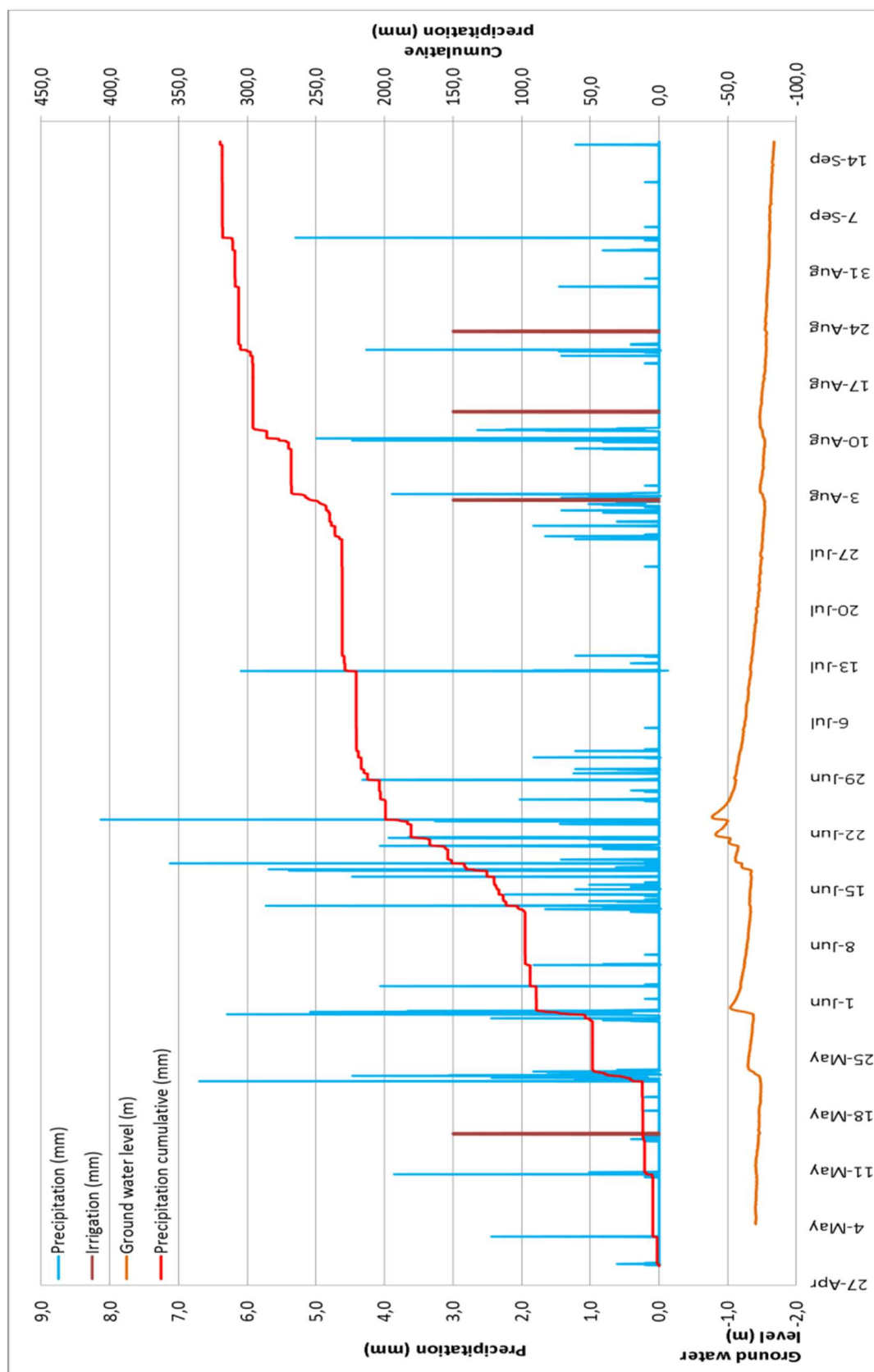


Comparison between salt concentrations for scenarios 1, 9, and 10 at +10 cm



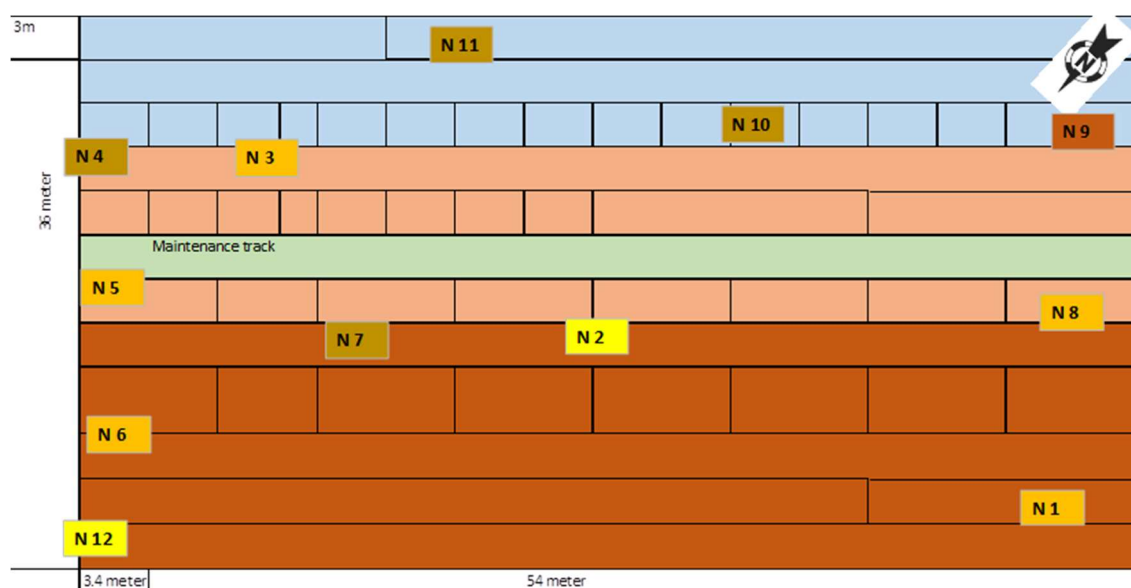
Comparison between salt concentrations for scenarios 1, 9, and 10 at -15 cm

## 8.9 Resultaat: Neerslag en grondwater



Weergave 84: Precipitation, cumulative precipitation, groundwater levels and irrigation

## 8.10 Resultaat: Textuuranalyses bodemonsters

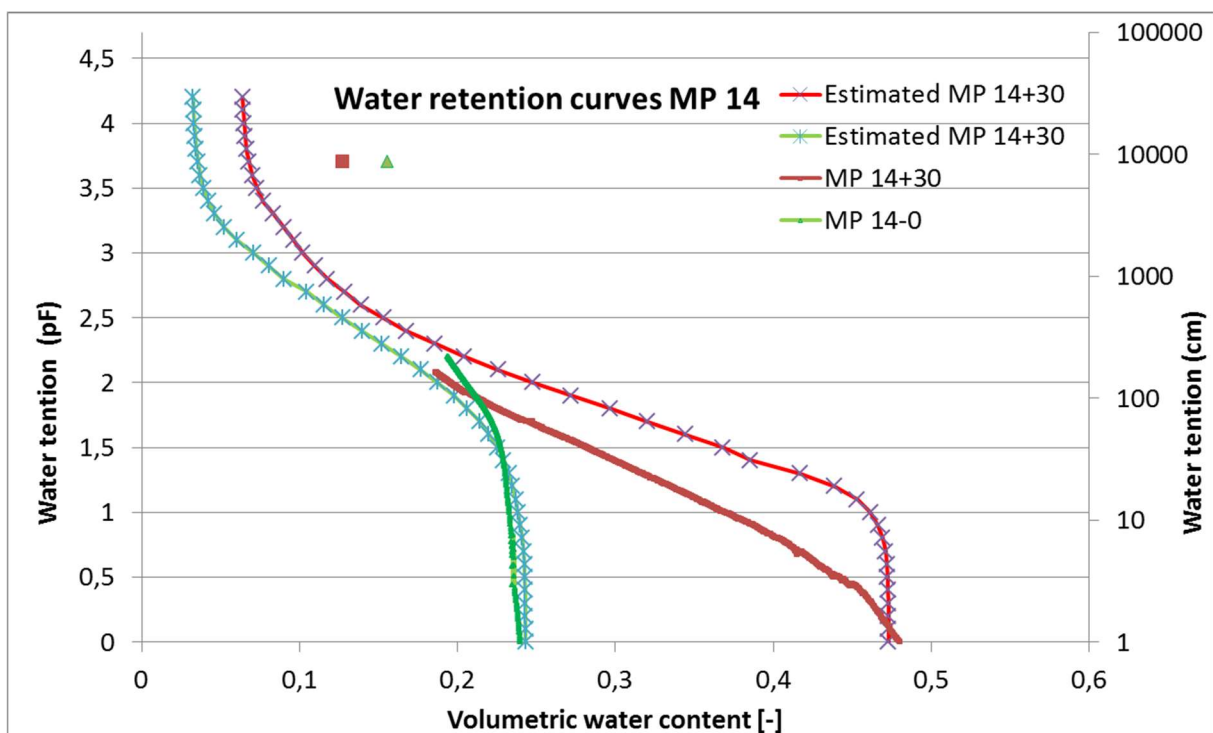
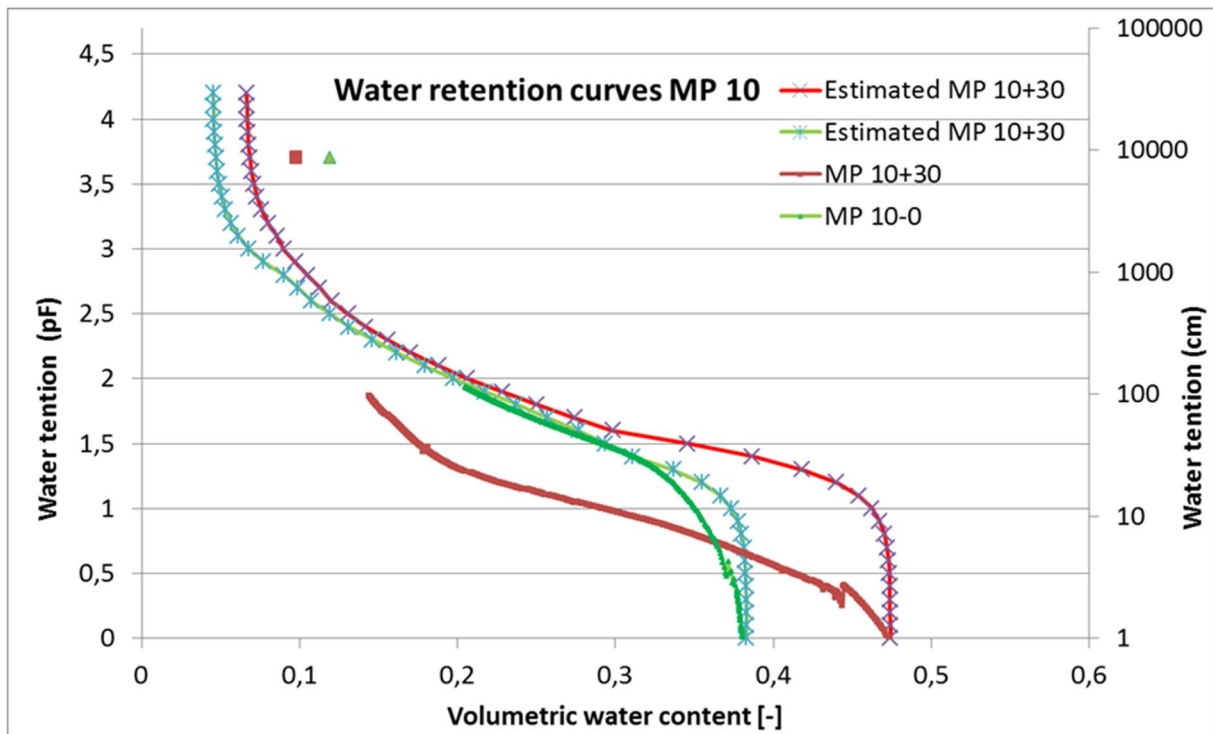


Weergave 85: Locatie van bodemonsters

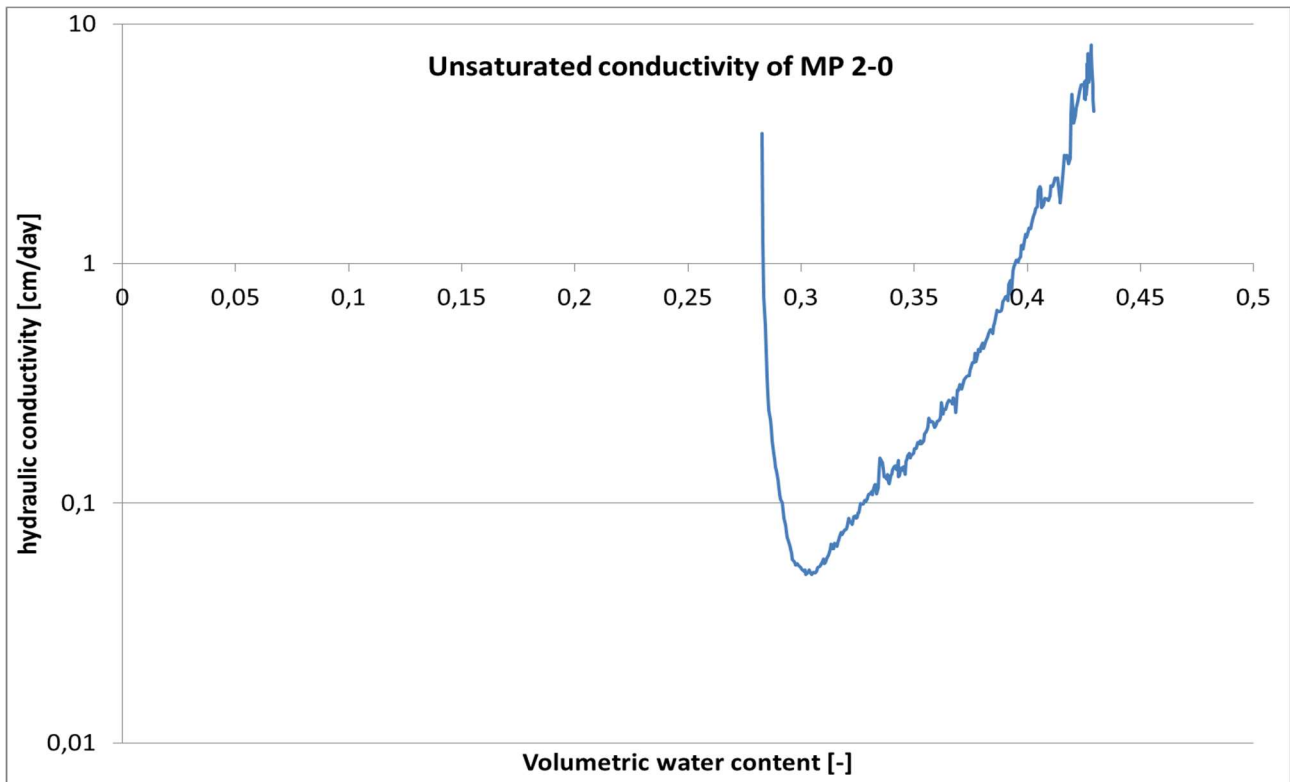
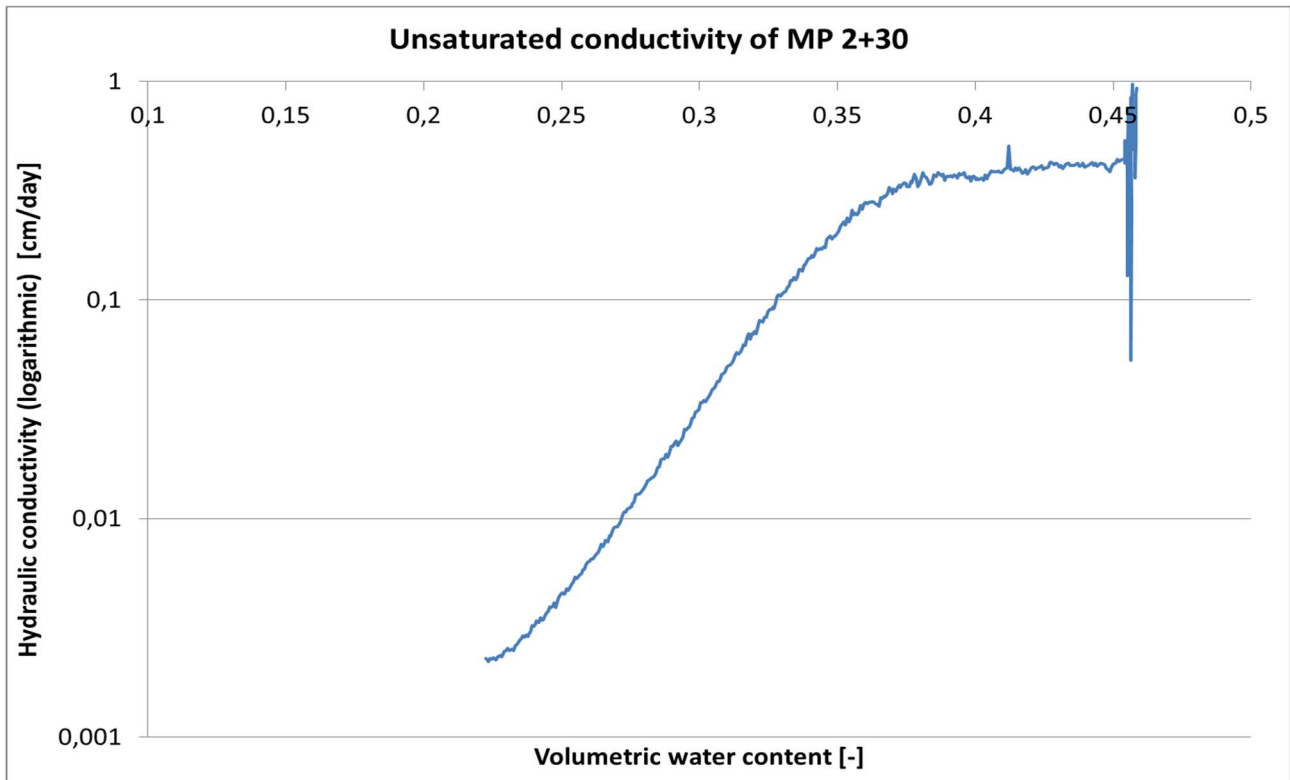
Sample	% <2 $\mu\text{m}$ Lutum-fractie	% 2-63 $\mu\text{m}$ Silt-fractie	% 63-2000 $\mu\text{m}$ Zand-fractie
N1	5,0	44,9	50,1
N2	4,1	36,8	59,1
N3	4,8	46,3	48,9
N4	6,8	46,7	46,5
N5	5,2	45,9	48,9
N6	4,9	43,8	51,3
N7	5,8	48,6	45,6
N8	5,3	44,3	50,4
N9	7,4	53,8	38,8
N10	5,8	48,2	46,0
N11	5,0	48,1	46,9
N12	4,2	38,2	57,6

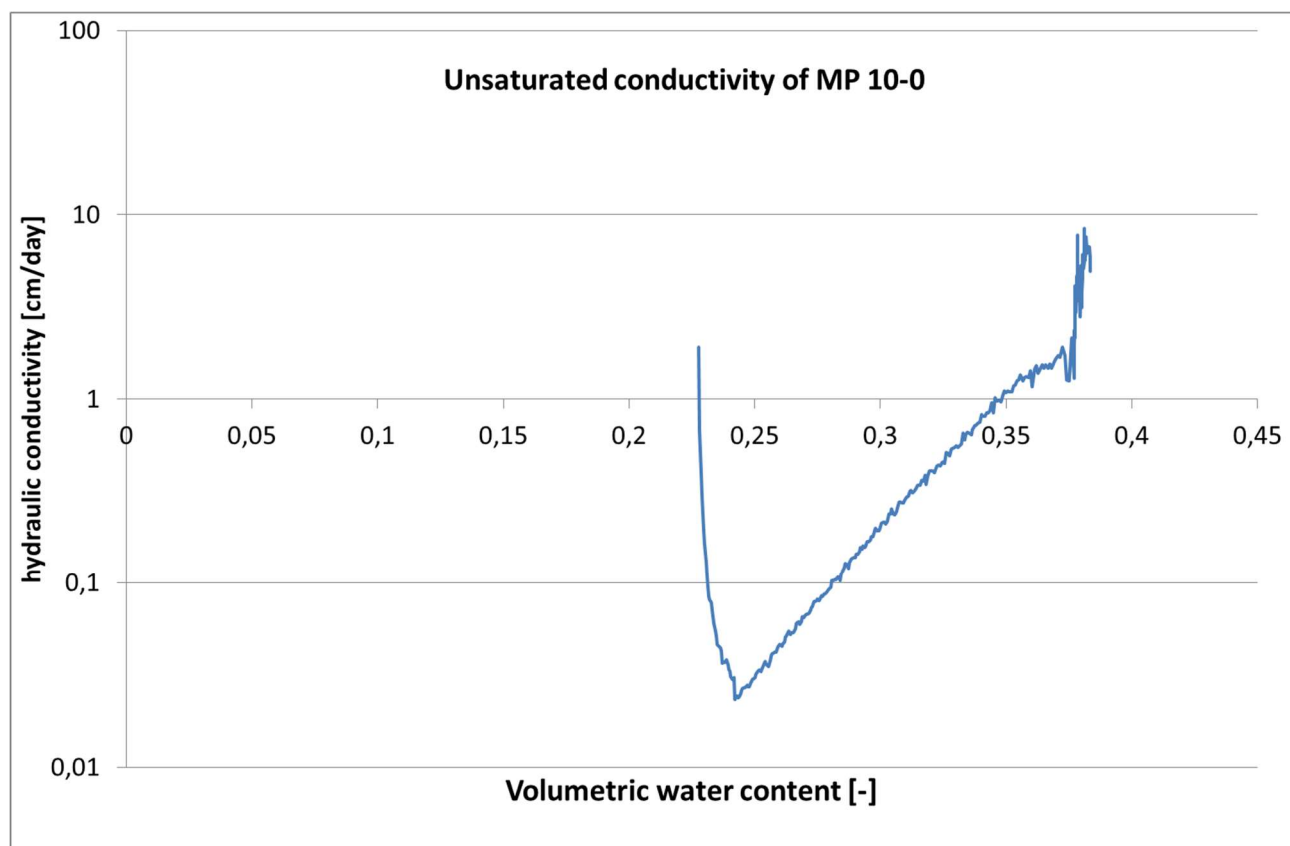
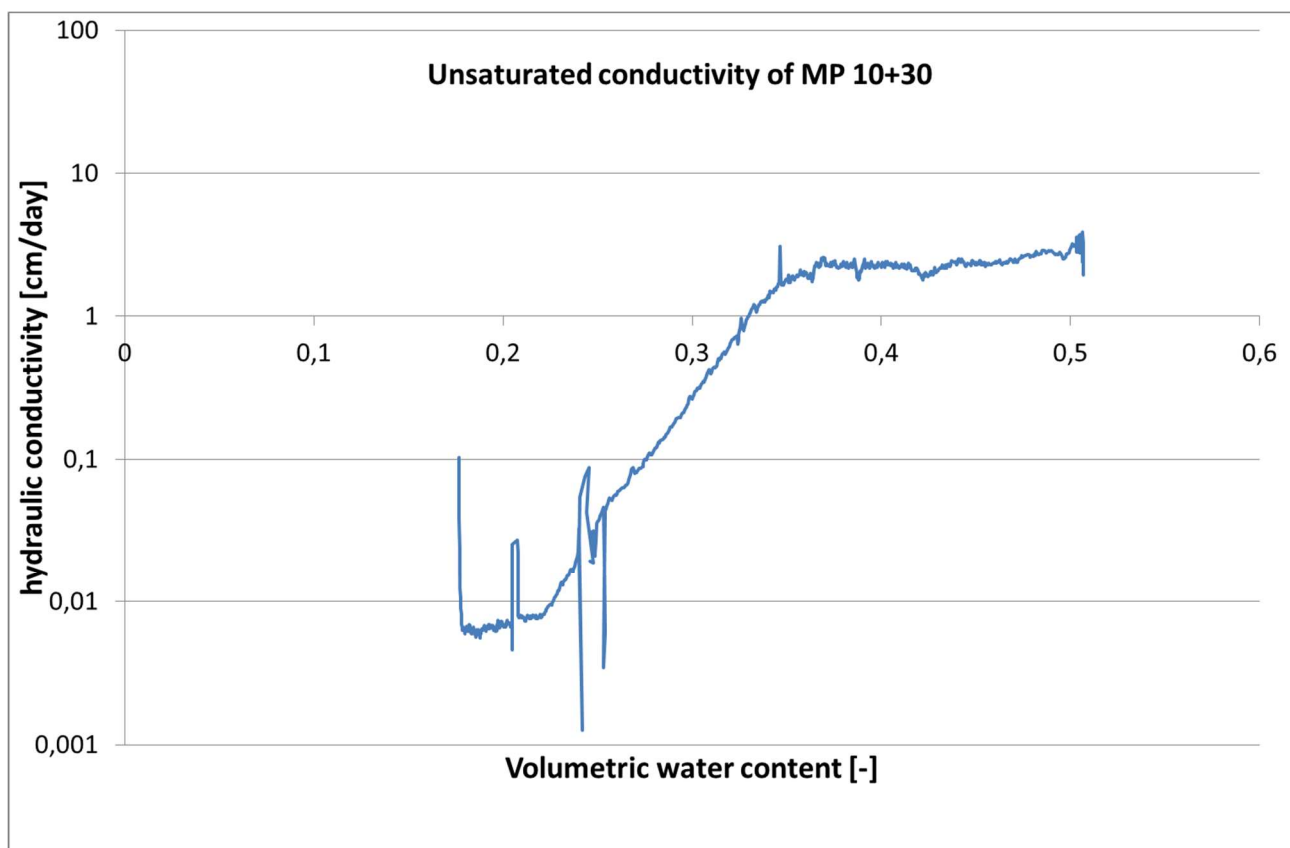
Weergave 86: Textuuranalyse van bodemonsters, % per lithoklasse

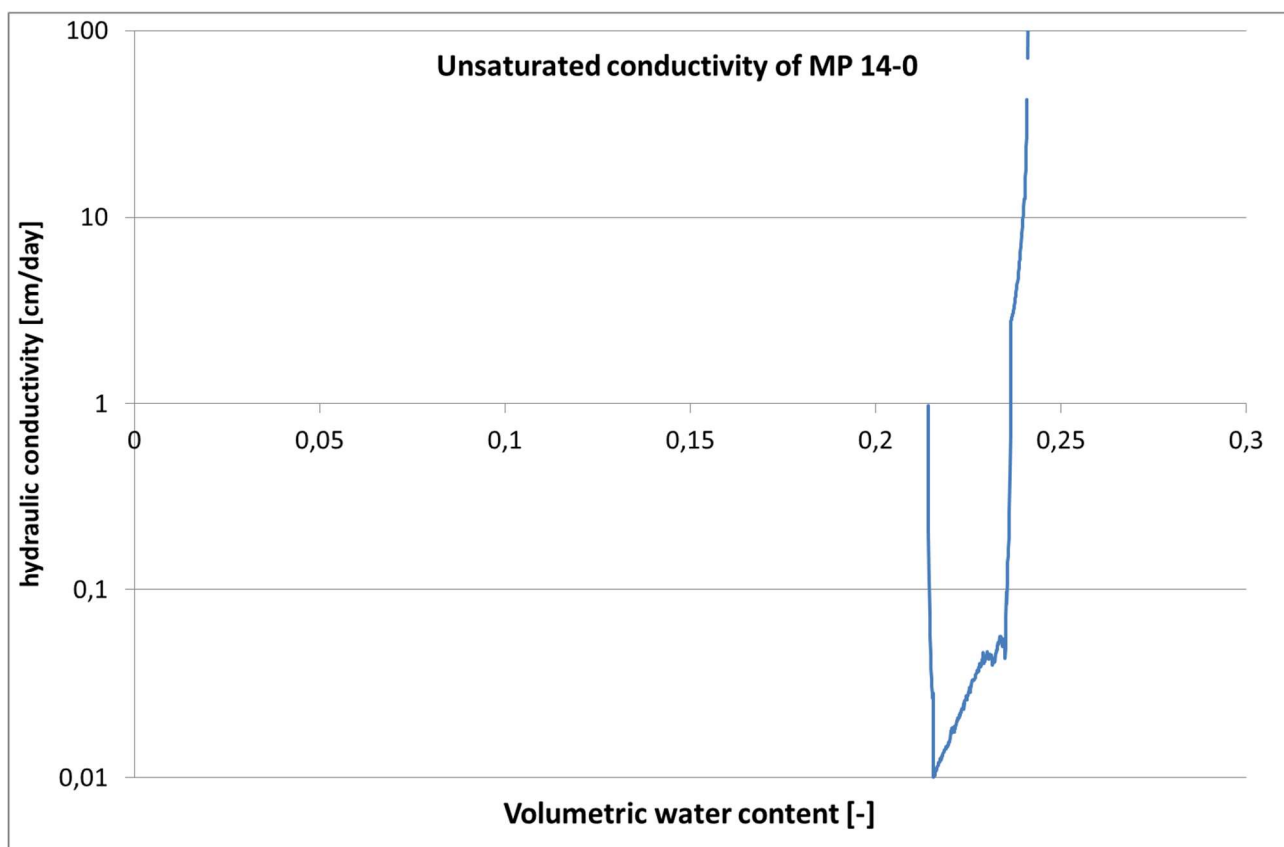
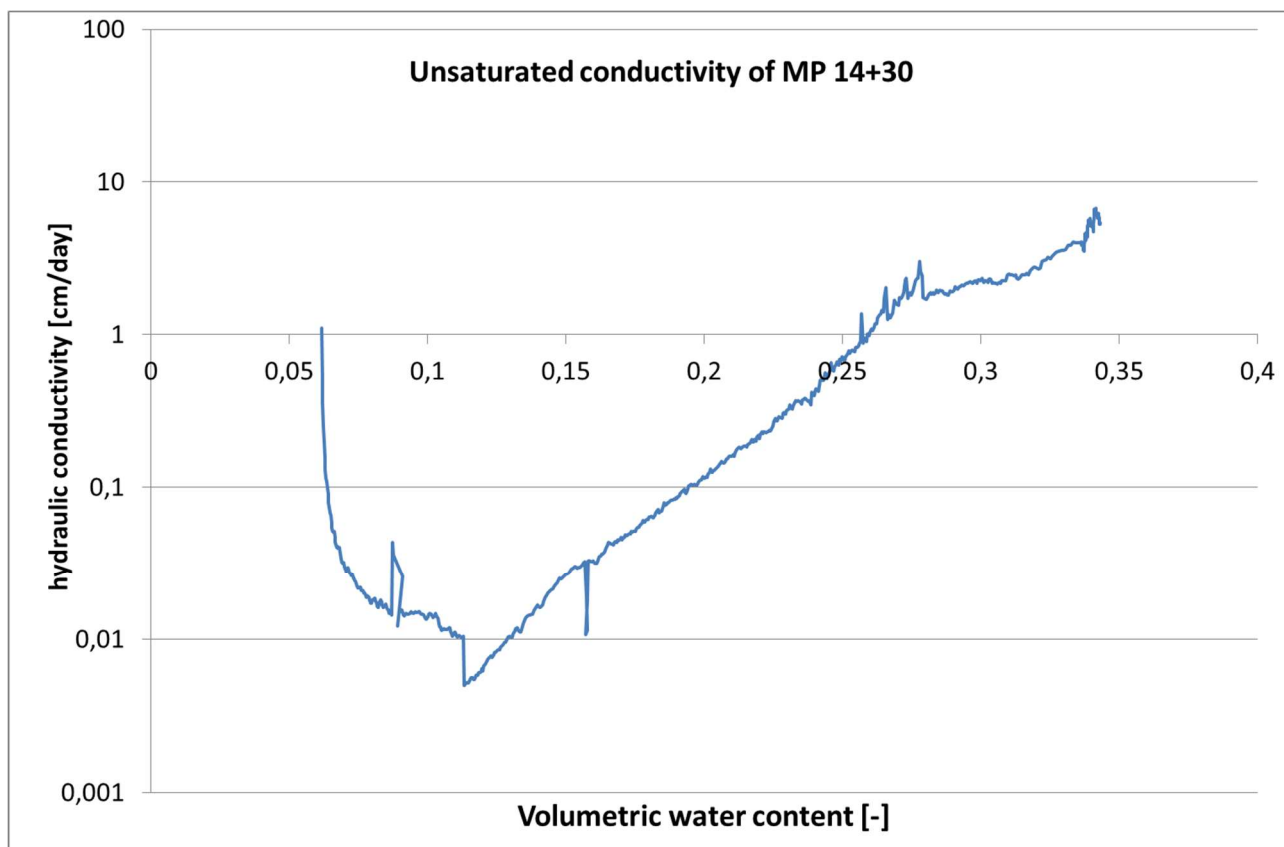
### 8.11 Resultaat: pF-curves van MP 10 en 14



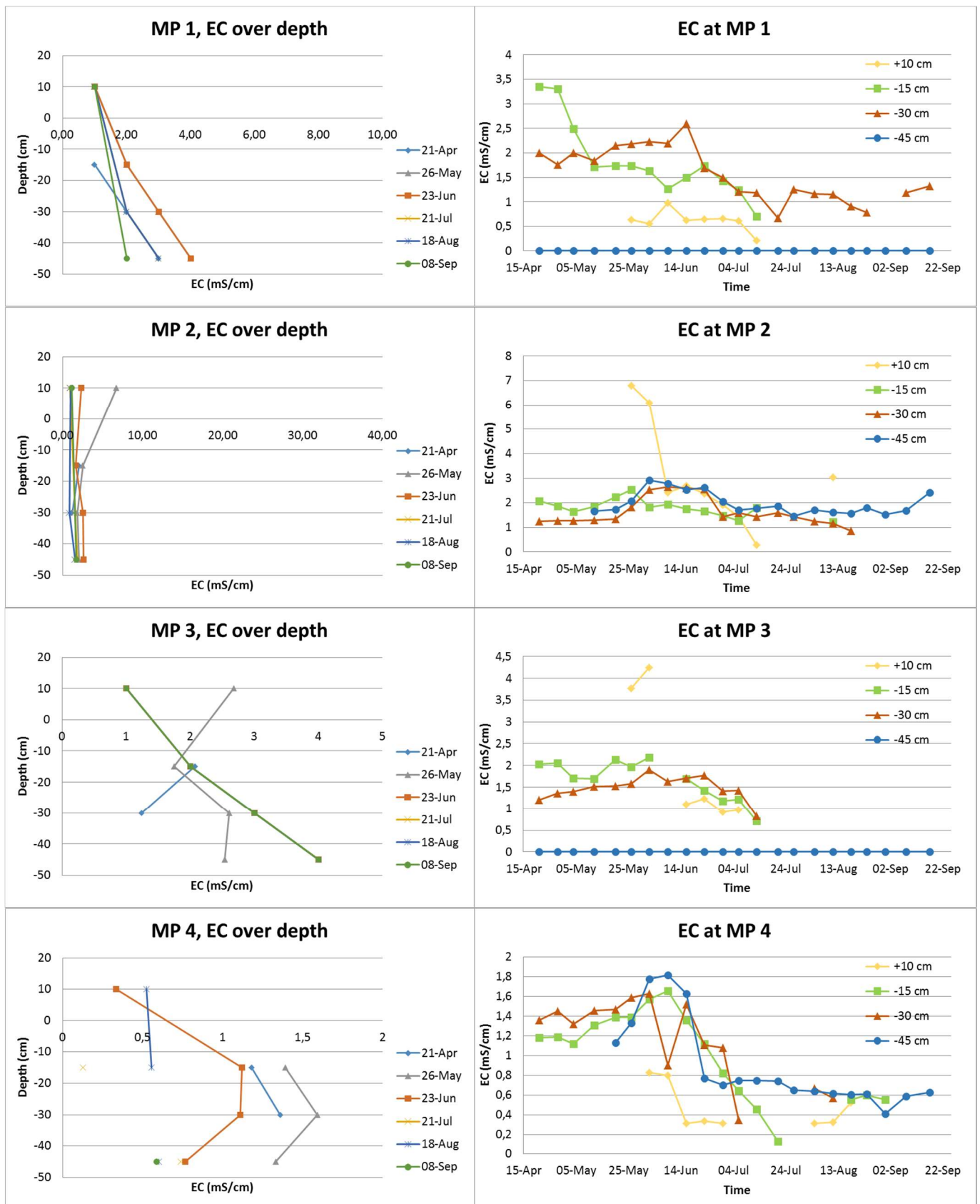
## 8.12 Resultaat: Unsaturated conductivity interpretation of MP 2, 10 en 14

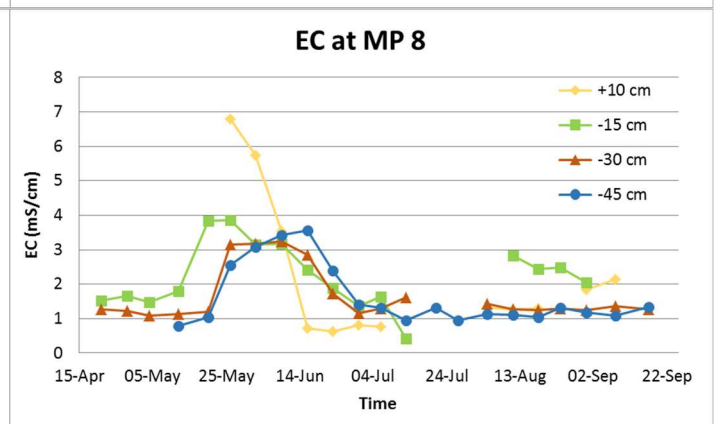
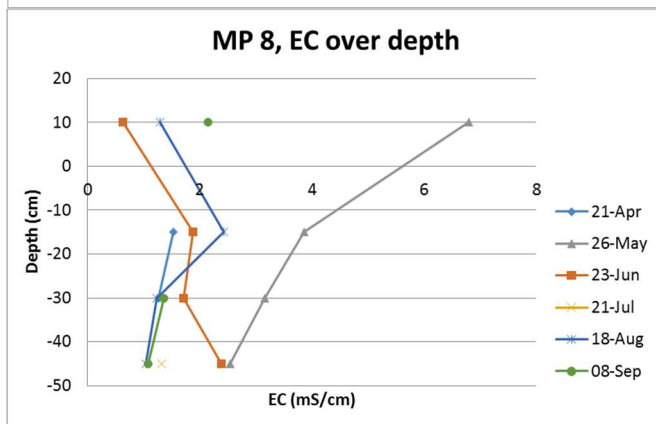
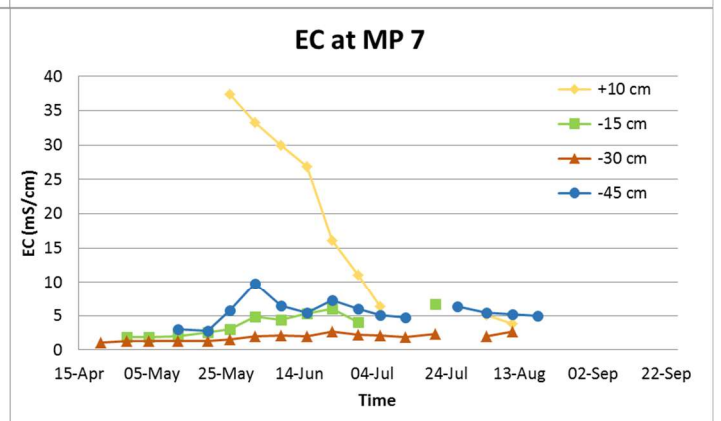
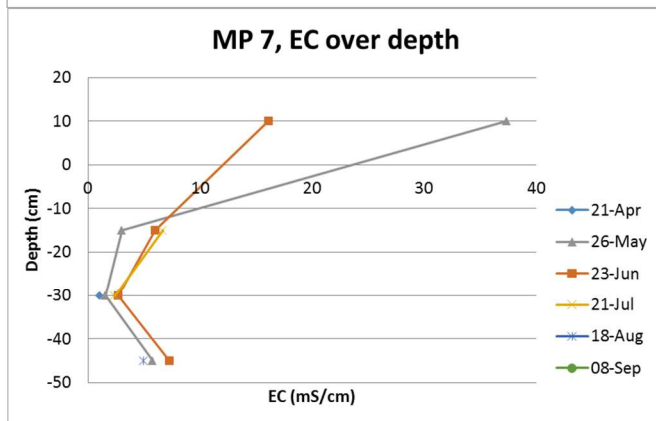
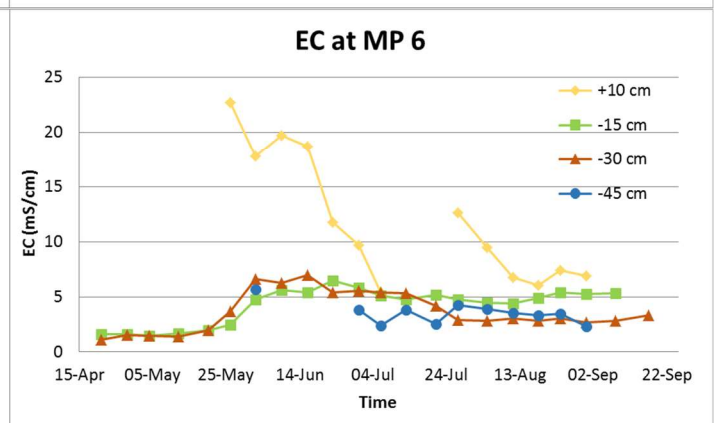
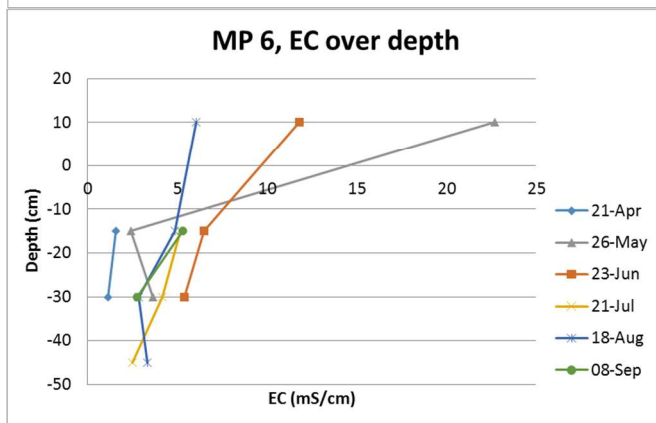
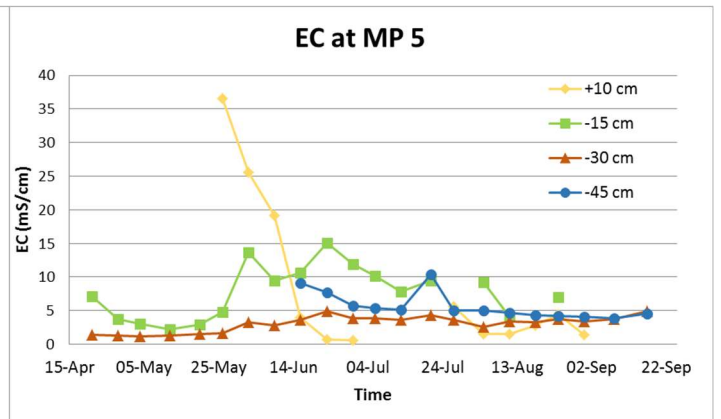
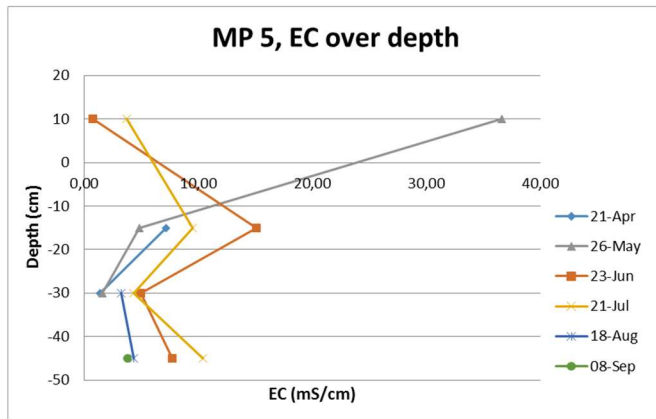


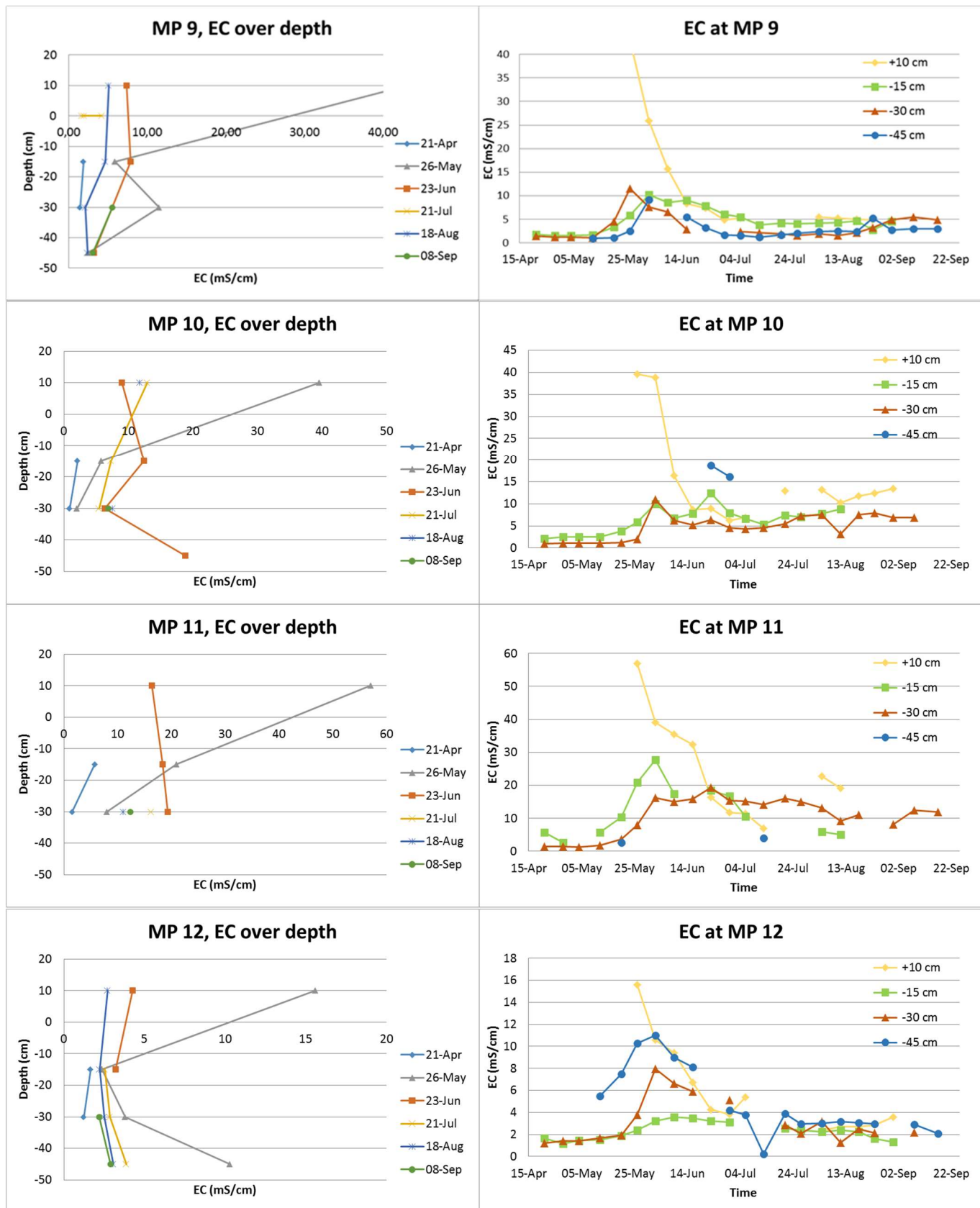


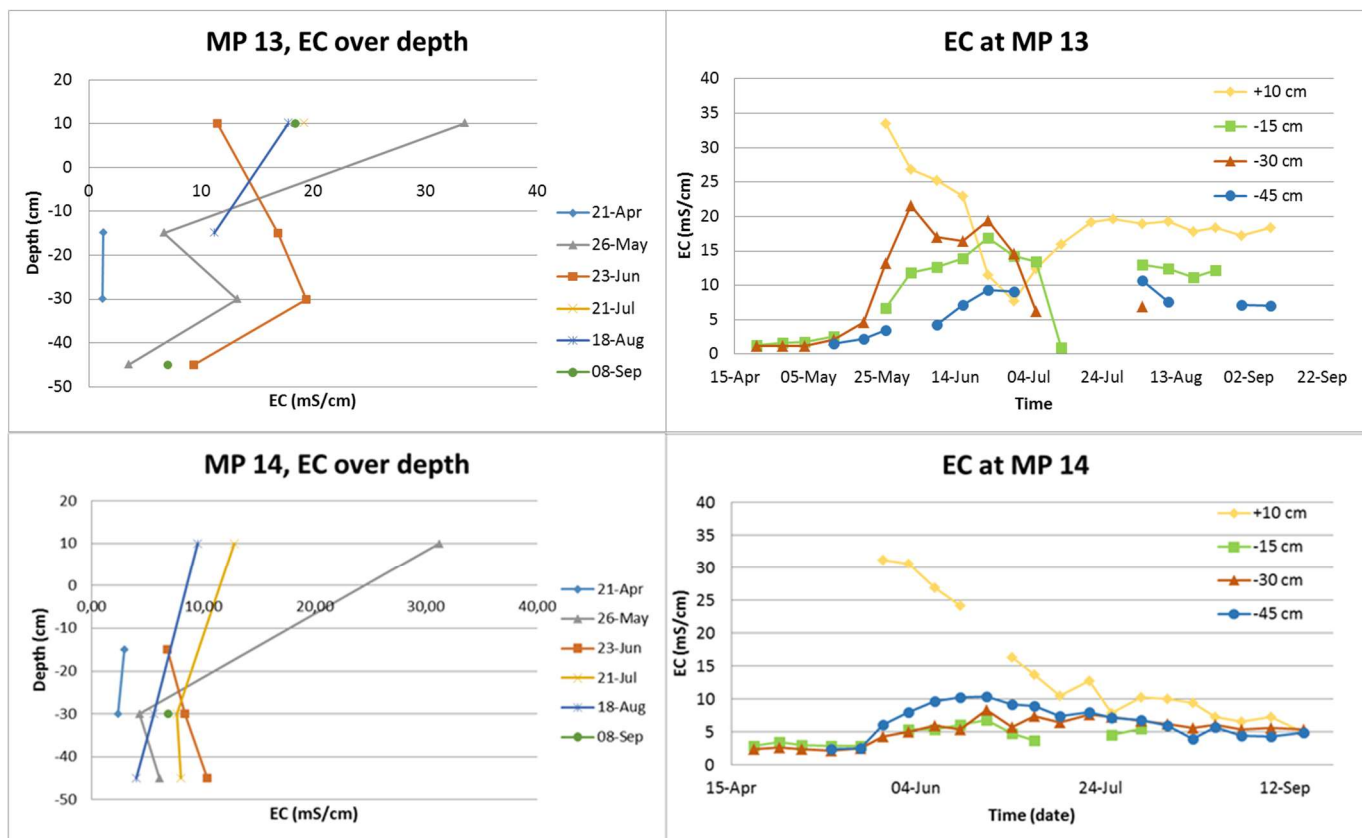


## 8.13 Resultaat: Zout gehalte op verschillende dieptes

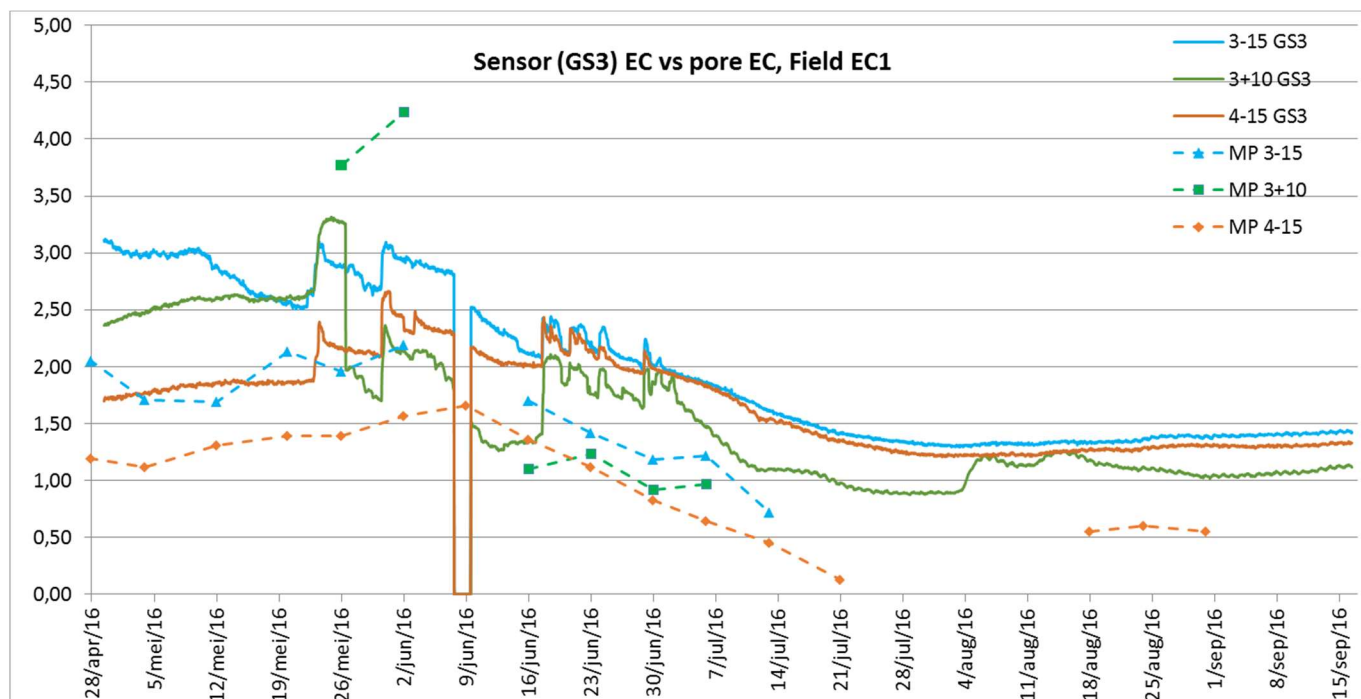
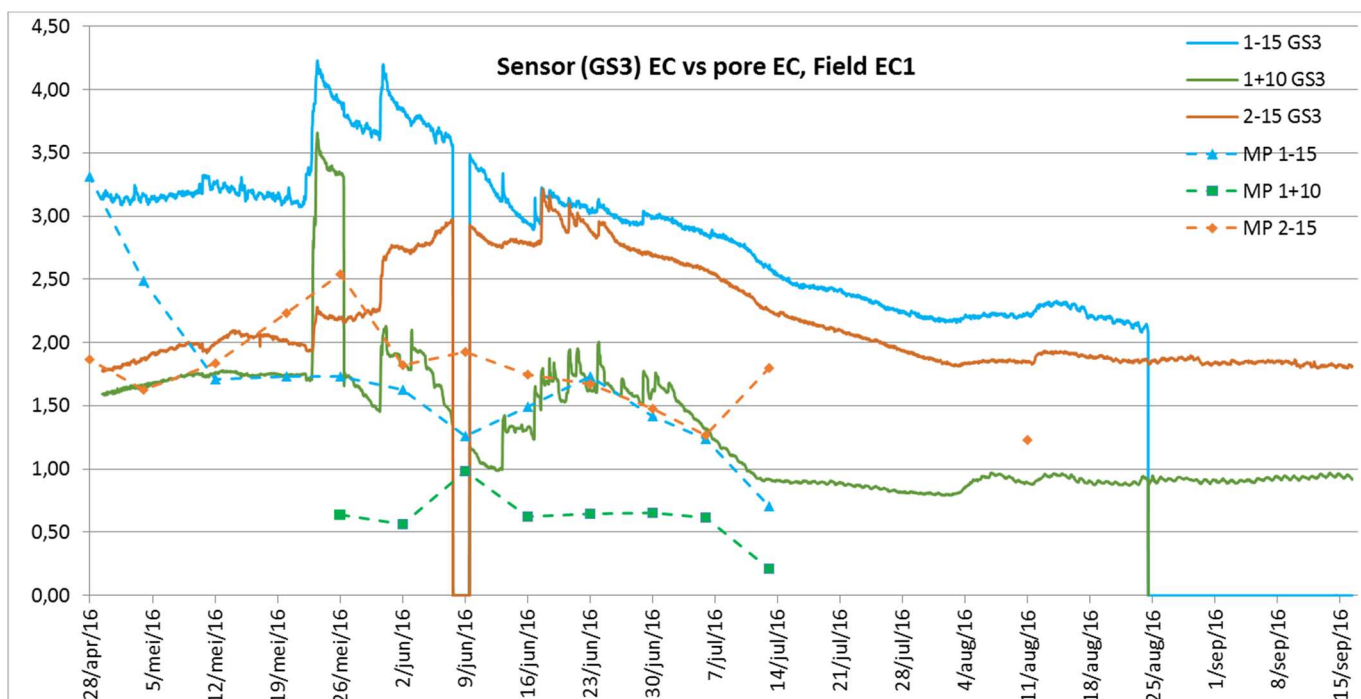


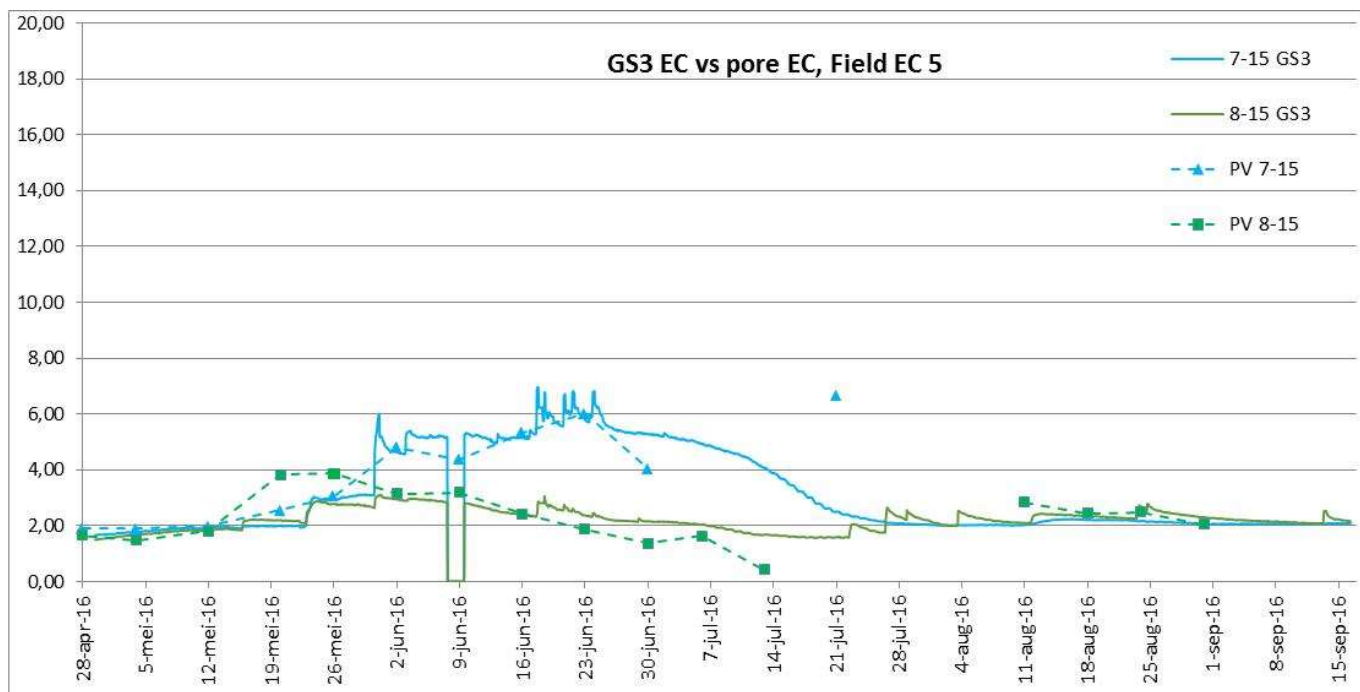
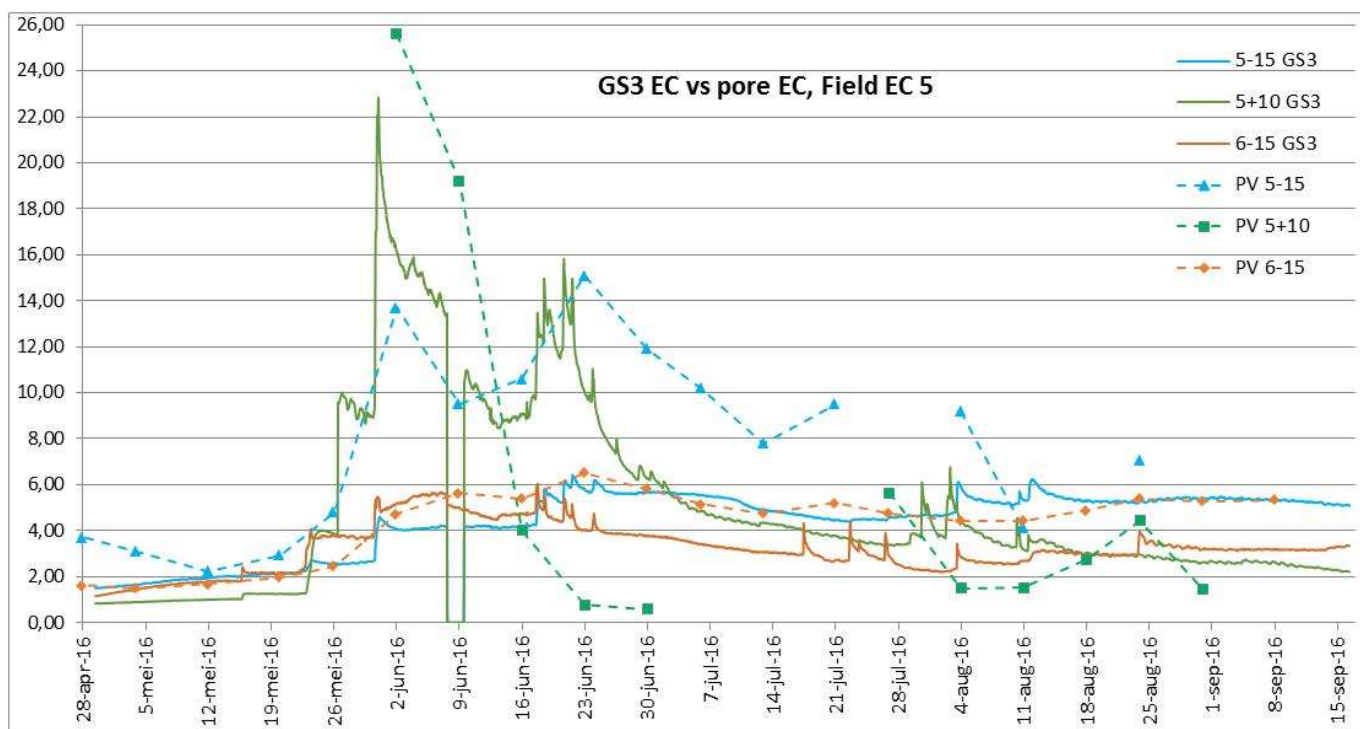


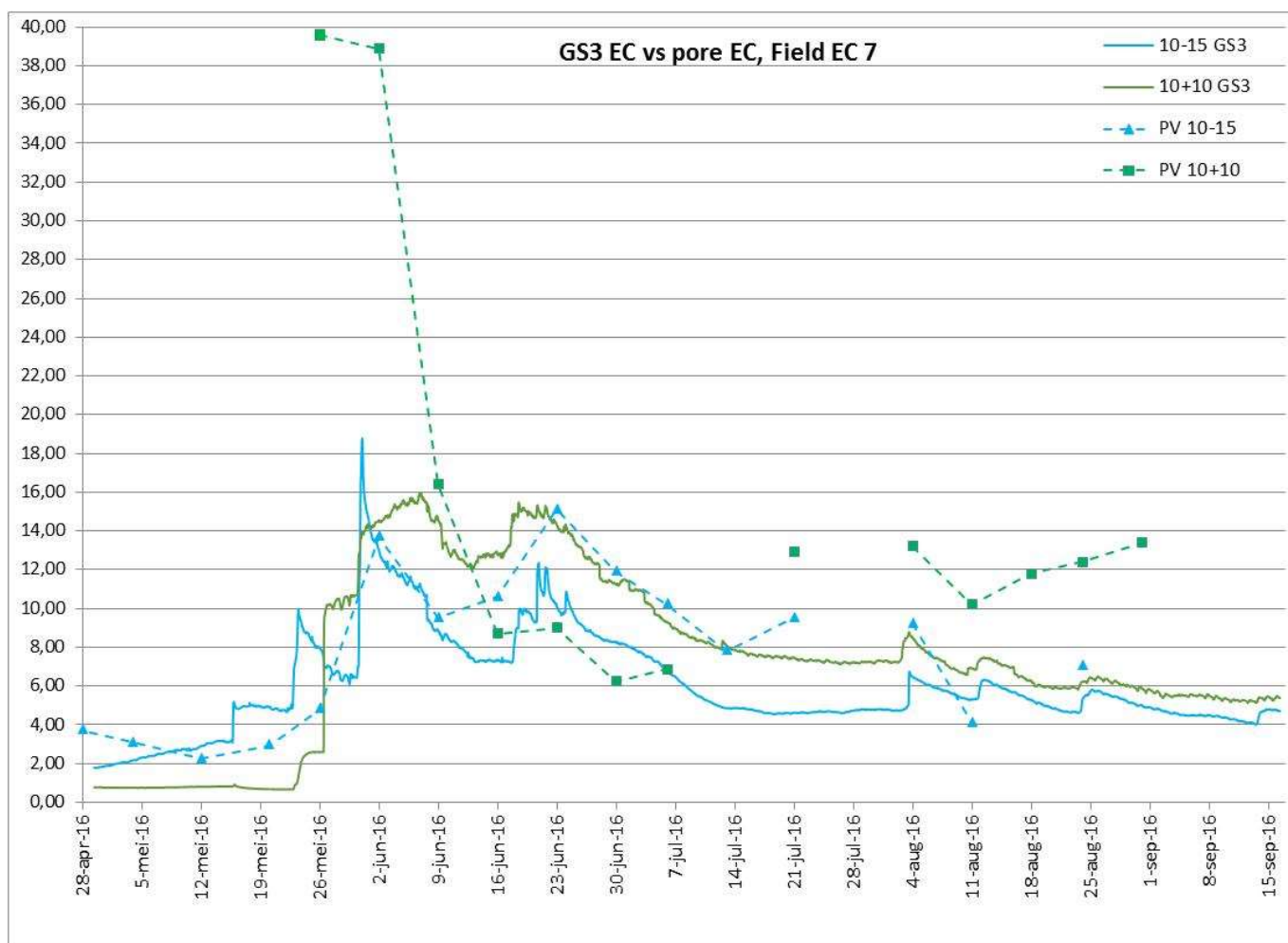
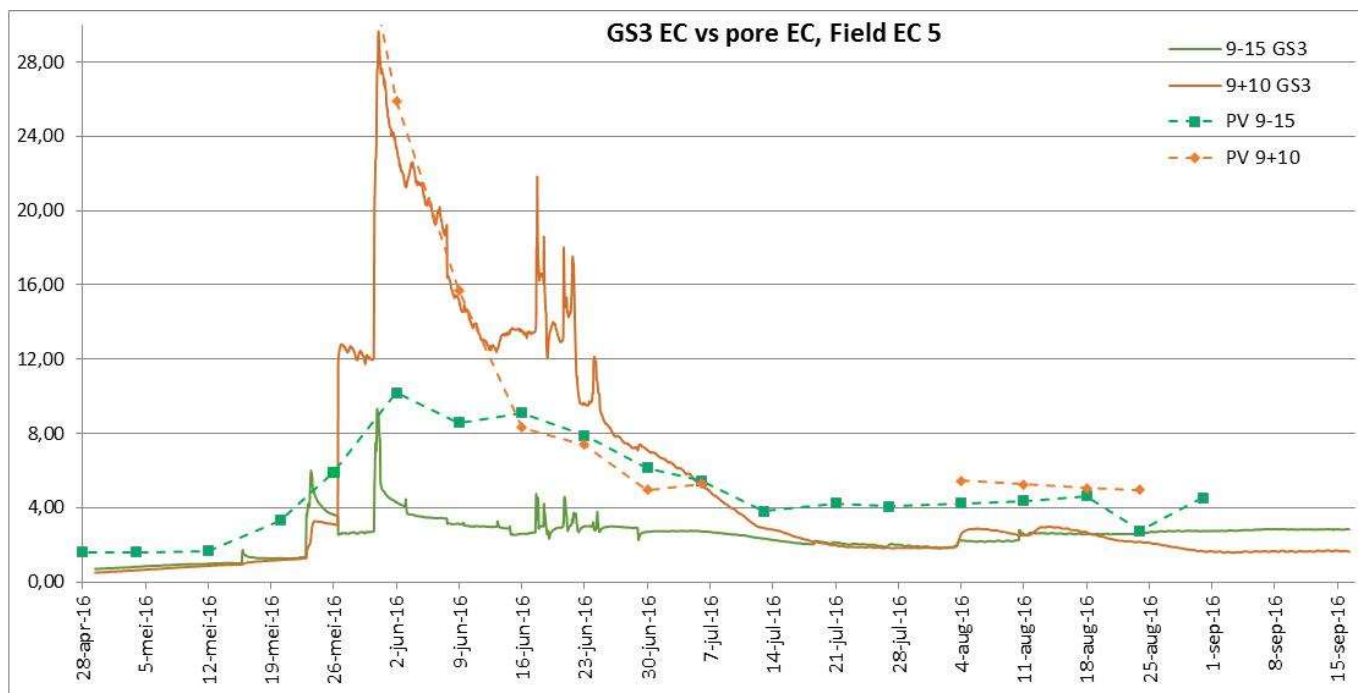


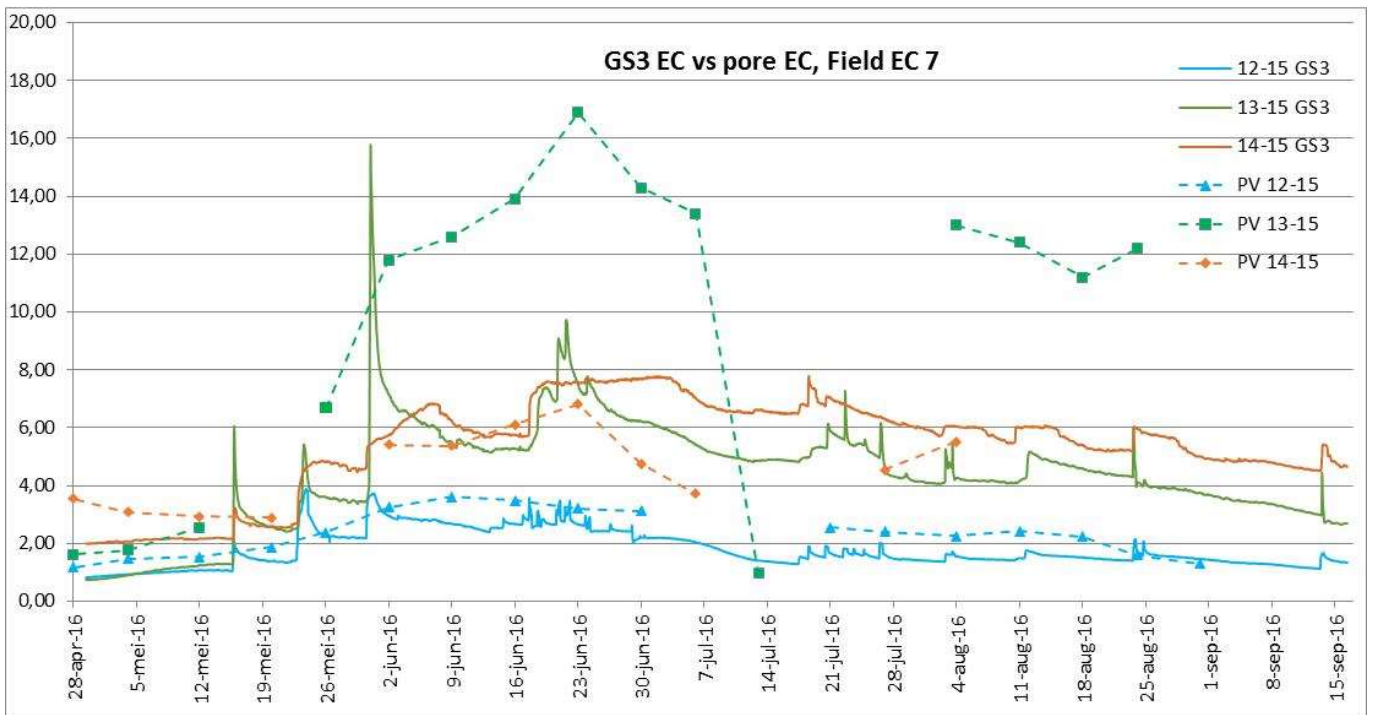
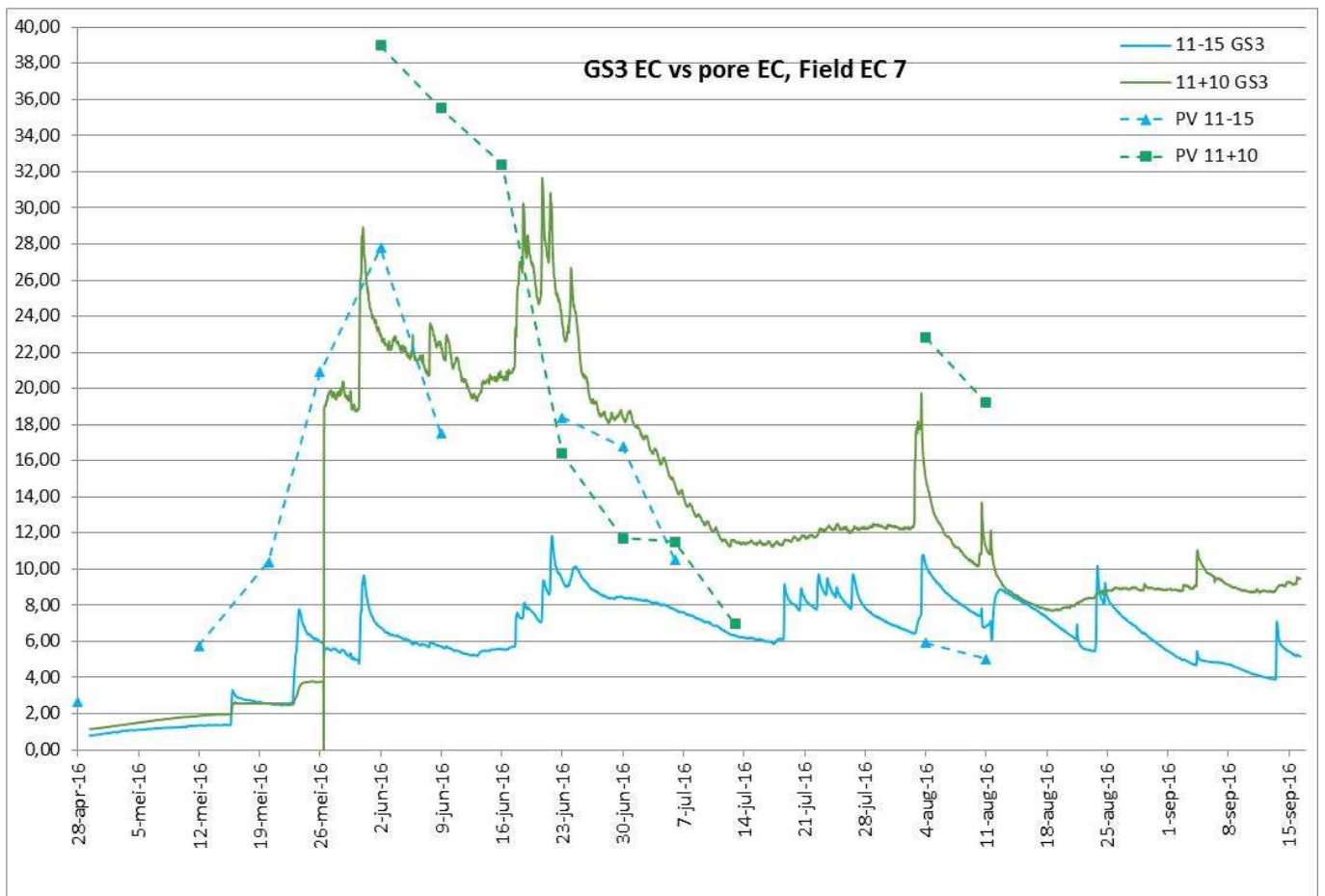


## 8.14 Resultaat: Vergelijking zoutgehalte Rhizons met automatische sensoren



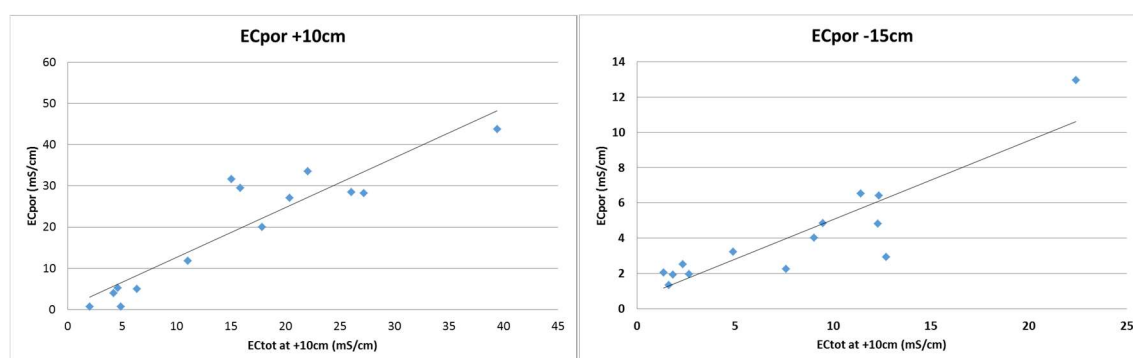






## 8.15 Scatterplots tussen zoutgehalte en aardappelroost voor verschillende rassen

Voor elke plot met enkele planten van een bepaald aardappelras, is het totale zoutgehalte  $EC_{tot}$  (zowel opgelost zout als in vaste vorm - zoutkorrels) in de wortelzone bepaald. Dit is gedaan obv van de gegevens van de zoutanalyse per rug op 16 juni. Er is aangetoond dat het gemeten totale zoutgehalte  $EC_{tot}$  (dus vaste vorm + opgelost) een lineaire relatie vertoont met het gemeten zoutgehalte van het bodemvocht in de wortelzone  $EC_{por}$ . De totale hoeveelheid zout  $EC_{tot}$  is uitgedrukt alsof deze hoeveelheid zou zijn opgelost in het bodemvocht met een volumetrisch vochtgehalte van 0.26.  $EC_{tot}$  is dus altijd hoger dan  $EC_{por}$ . De gepresenteerde  $EC_{tot}$ 's moeten dus niet als absolute zoutgehalten van het bodemvocht worden geïnterpreteerd, maar als relatieve maat voor het zoutgehalte in de wortelzone. Via onderstaande grafieken kan worden geschat wat het zoutgehalte in het bodemvocht ( $EC_{por}$ ) op +10 cm en op -15 cm zou zijn bij een bepaalde  $EC_{tot}$ .



**Weergave 87:** De (lineaire) relatie tussen de gemeten zoutconcentratie in de wortelzone ( $EC_{por}+10cm$ ) en op -15cm ( $EC_{por}-15cm$ ) (gemiddeld voor periode tot 21 april - 16 juni) en het totale gemeten zoutgehalte in de ruggen ( $EC_{tot}$ ) op 16 juni.  $EC_{por}$  is bepaald voor 14 meetpunten en  $EC_{tot}$  is de geïnterpoleerde waarde tussen de  $EC_{tot}$  van de west- en oostzijde van het perceel.

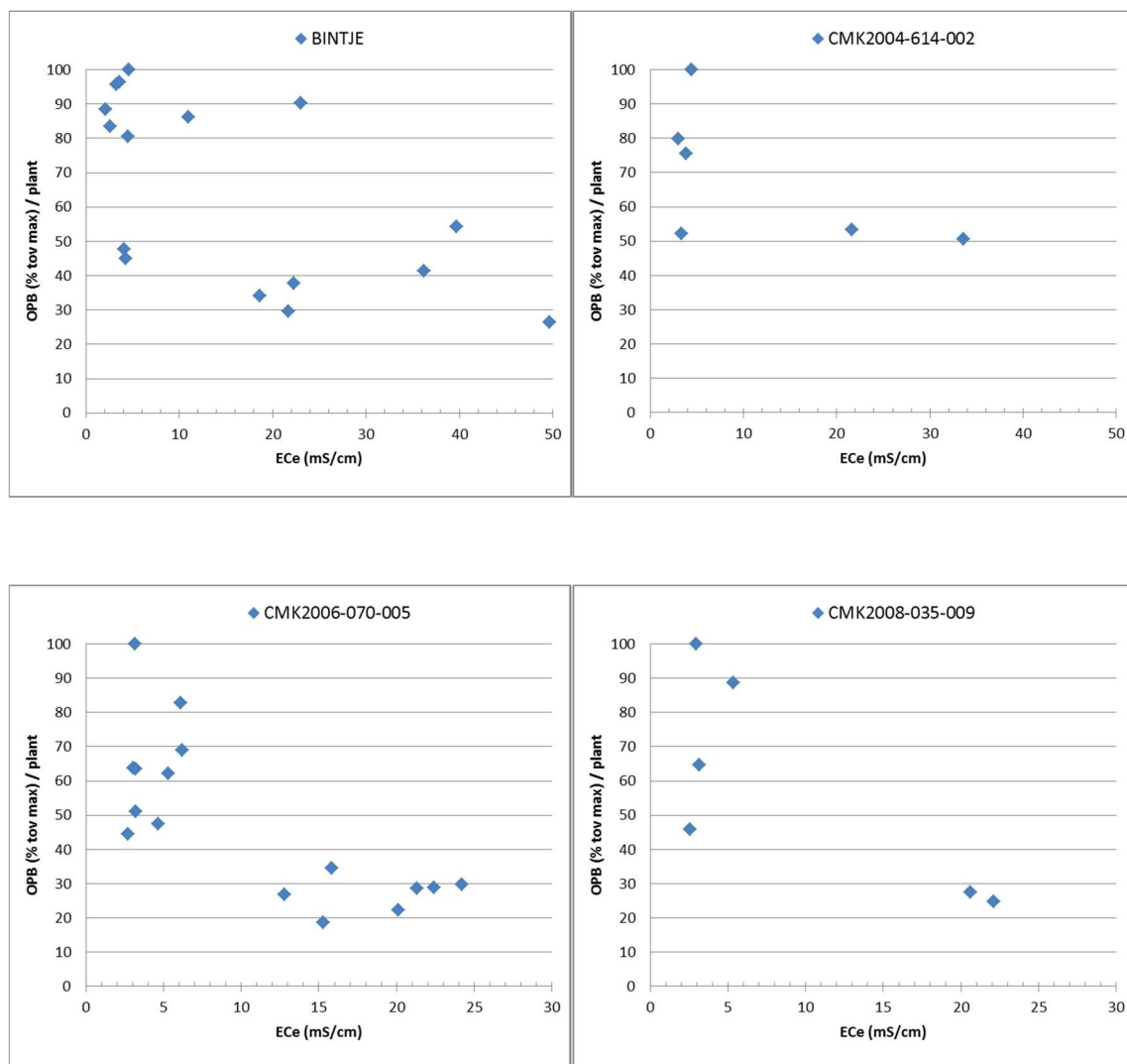
Zo is er dus voor elke plot met enkele planten van een bepaald aardappelras zowel het zoutgehalte ( $EC_{tot}$ , in grafieken  $EC_e$ ) als de opbrengst (OPB) bekend. Door deze gegevens per ras in een grafiek te plotten (scatter plot) wordt de relatie tussen het zoutgehalte en de opbrengst zichtbaar. In deze bijlage staan de scatterplots voor alle rassen weergegeven. De opbrengst OPB is uitgedrukt in percentage tov de maximale opbrengst per ras. In onderstaande tabel staat per ras de maximale opbrengst weergegeven en het bijbehorende zoutgehalte  $EC_{tot}$ . Voor bijna alle rassen wordt de maximale opbrengst gehaald voor de lagere zoutgehalten. Deze maximale opbrengsten kunnen dus als referentie-opbrengst worden gezien voor het proefperceel, voor groeiseizoen 2016.

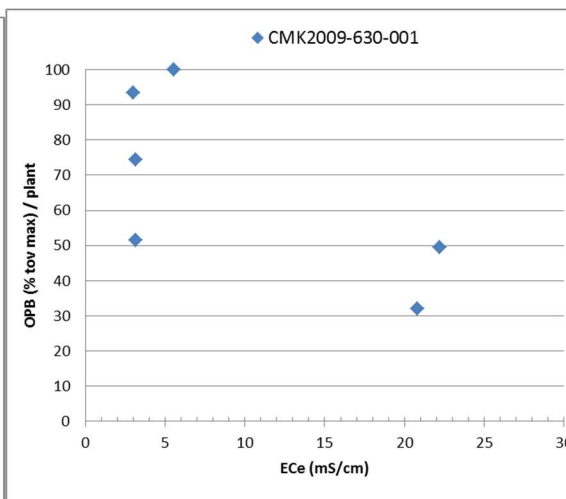
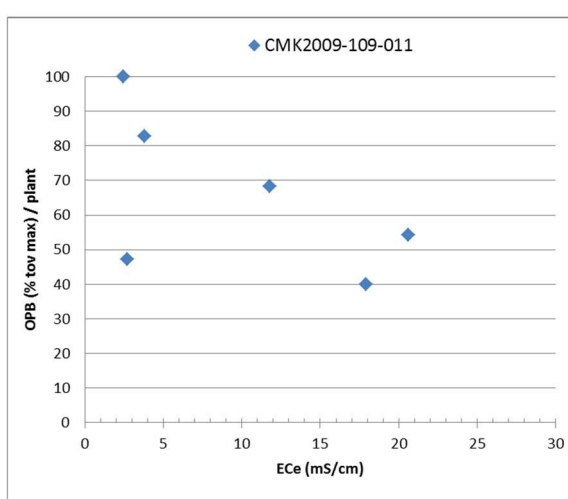
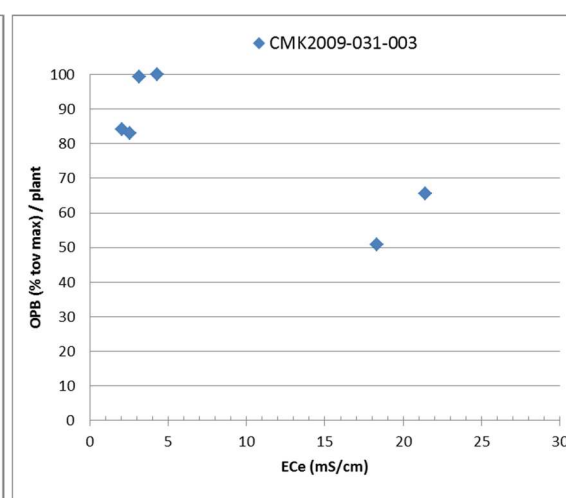
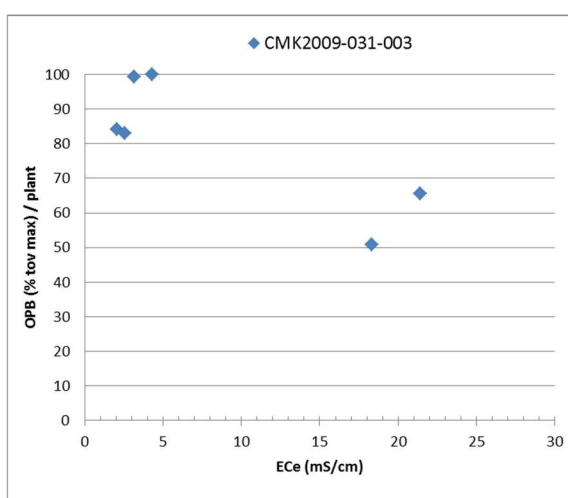
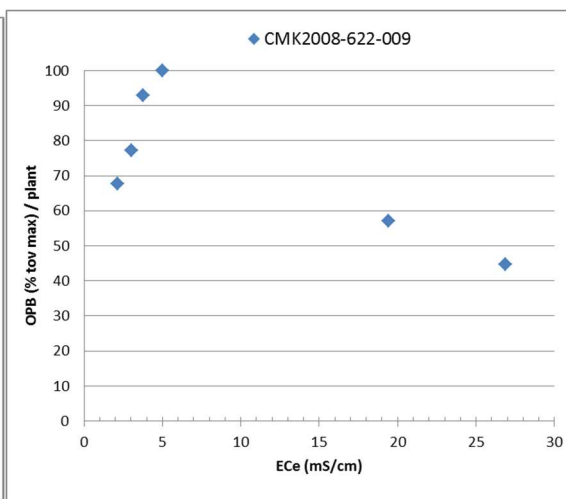
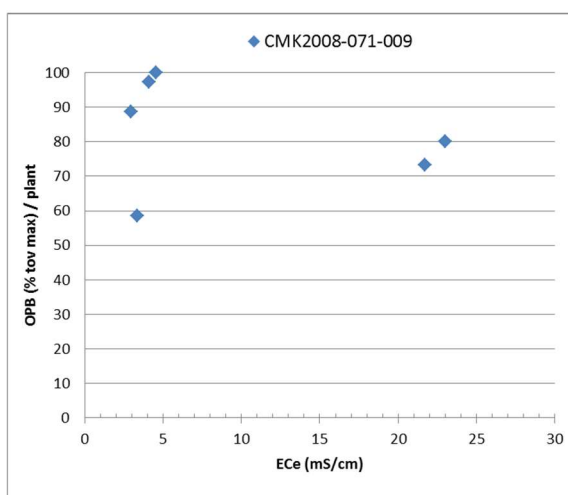
**Weergave 88:** Maximum yield and corresponding  $EC_{tot}$  values.

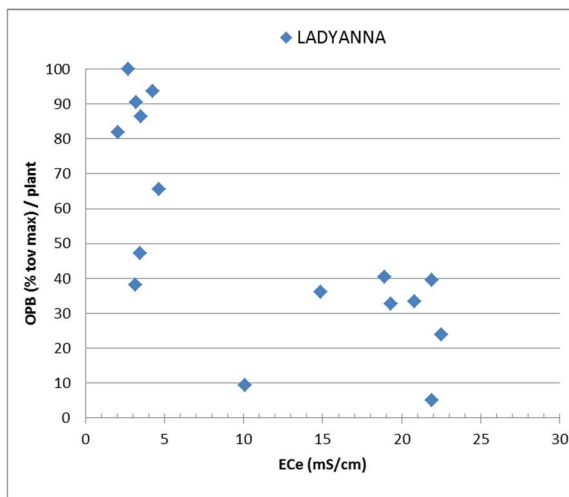
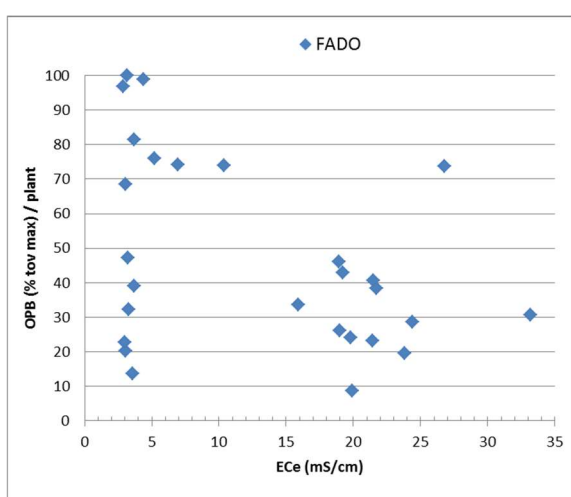
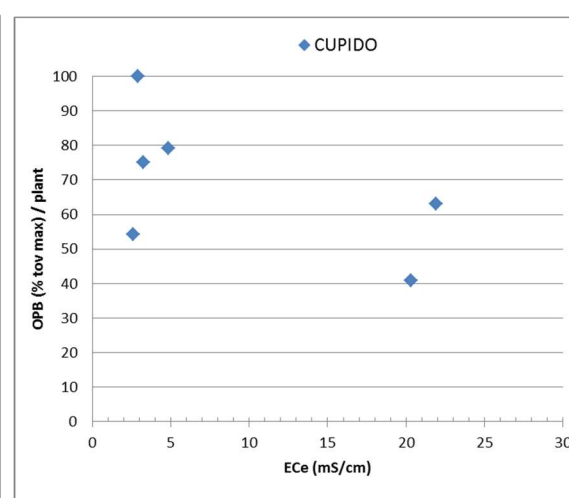
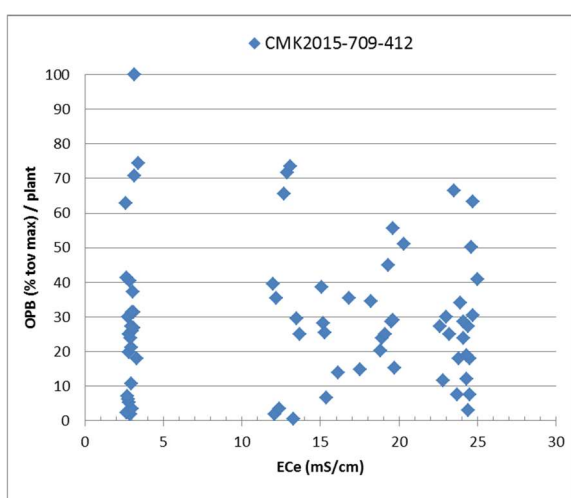
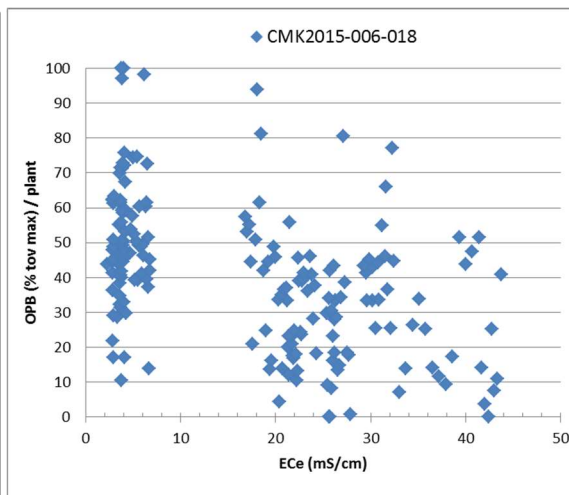
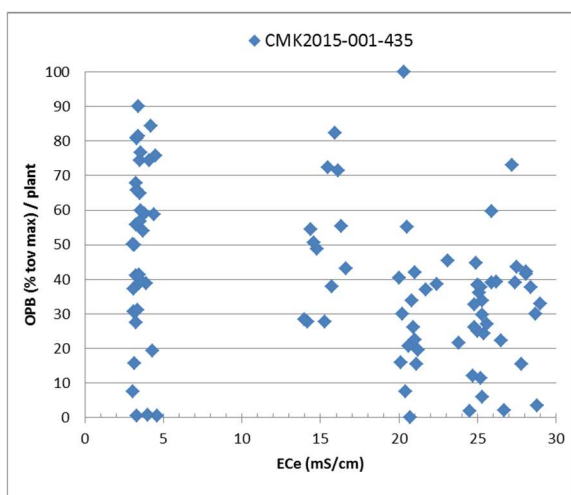
Name	Max yield per plant (kg)	$EC_{tot}$ (mS/cm)	Percentage
BINTJE	1,48	4.63	100
CMK2004-614-002	2.43	4.47	100
CMK2006-070-005	2.12	3.17	100
CMK2008-035-009	1.54	4.54	100
CMK2008-622-009	2.0	5.01	100
CMK2009-031-003	1.29	4.31	100
CMK2009-109-011	1.32	2.49	100
CMK2009-630-001	1.88	5.58	100
CMK2015-001-453	2.11	20.3	100
CMK2015-006-033	3.5	4.06	100
CMK2015-006-070	3.5	3.81	100

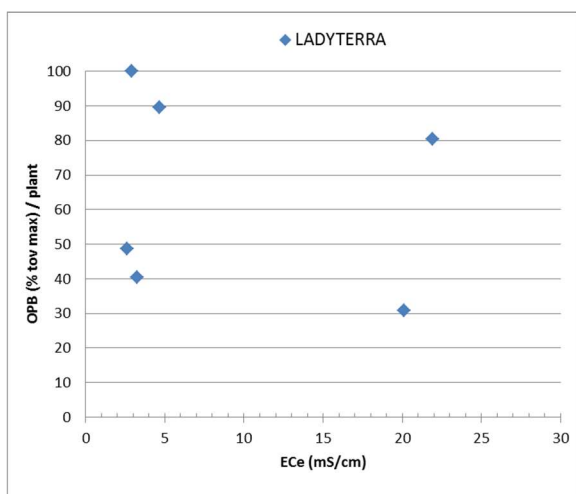
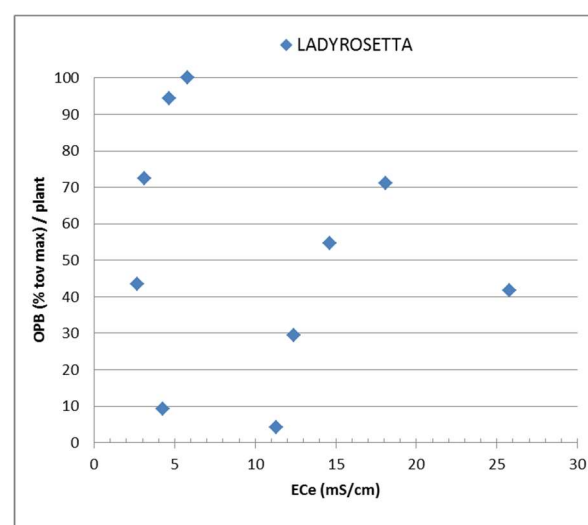
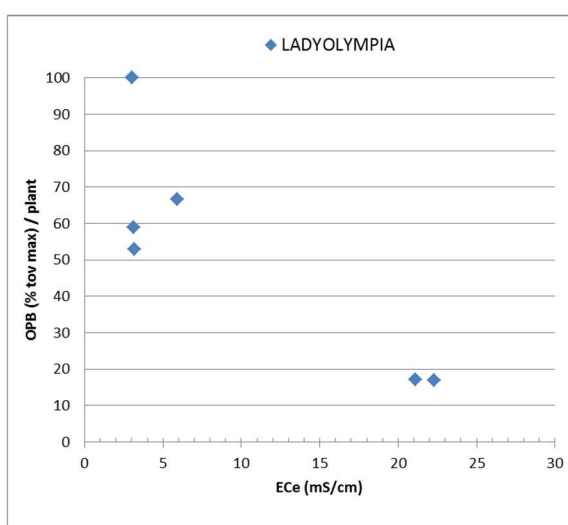
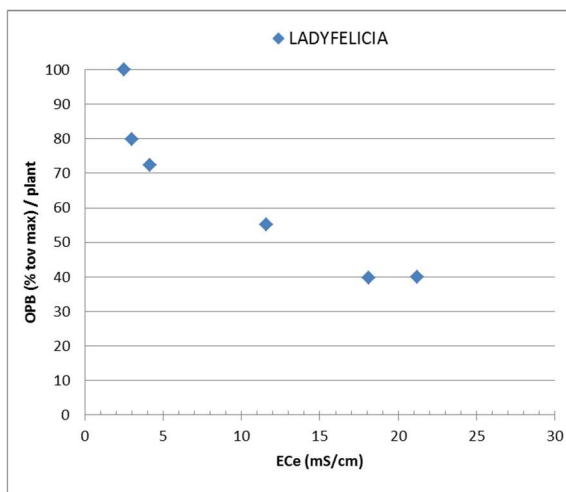
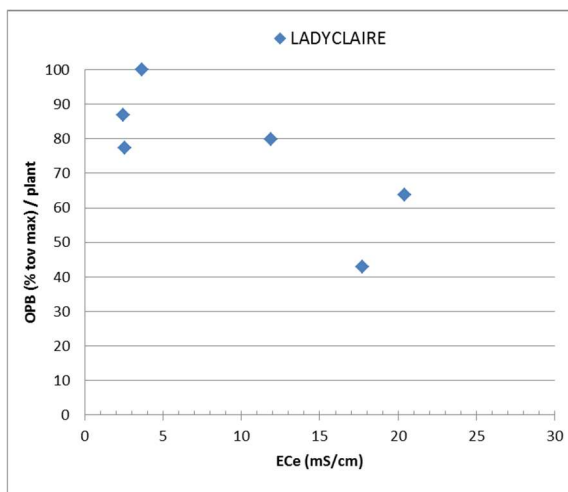
<b>CMK2015-709-420</b>	1.12	3.14	100
<b>FADO</b>	1.9	3.19	100
<b>LADYANNA</b>	1.67	2.69	100
<b>LADYCLAIRE</b>	1.05	3.67	100
<b>LADYFELICIA</b>	1.27	2.53	100
<b>LADYOLYMPIA</b>	2.05	3.04	100
<b>LADYROSETTA</b>	0.82	5.78	100
<b>LADYTERRA</b>	1.67	2.9	100

For the races CMK2015-001, CMK2015-709 and FADO, 1 outlier is removed from the dataset.









In de onderstaande weergave staan alle gegevens in 1 scatter-plot samengevat.

