

Korte samenvatting project rapportage Project Informatie gestuurde, hoge resolutie precisie fertigatie in de aardappelteelt. POP3

Project-, Zaaknummer 16290000015

1. ONDERNOMEN PROJECTACTIVITEITEN EN PROJECTRESULTAAT

De doelstellingen van het project waren:

1) Het ontwikkelen van een fijnmazig fertigatiesysteem dat oprolbaar is en makkelijk aan te passen is aan de op lokale omstandigheden en eigen inzichten en wensen van de boer.

In het project werden een 3 tal fundamenteel verschillende systemen, allen beschikbaar in de markt, op deze kenmerken onderzocht.

Na de aanvang van het project per 1 juli 2017. is er een eerste teeltjaar voorzien voor de periode 1 Januari 2018 t/m December 2018, gevolgd door een onderzoek in teeltjaar 2: Januari 2019 t/m December 2019. Uiteindelijk is in de beschikte verlenging een derde onderzoek in het teeltjaar 3: 1 Januari 2020 t/m December 2020.

Omdat de drie grote experimenten in de tijd ontwikkelde inzichten en mogelijkheden onderzochten is het probleem van inter-seizoen variatie zo goed als mogelijk gecompenseerd door het dubbel uitvoeren (bij de 2 boeren hetzelfde onderzoek in de opeenvolgende seizoenen) maar ook en vooral door het in elk onderzoek meenemen van een grote controle van onbehandelde teelt en oogsten in de onmiddellijke nabijheid van de proefvelden en in dezelfde akkers en onder dezelfde algemene zorg als aan de gehele teelt verleend door de betreffende boer.

Daarbij als eerste systeem, in Teelt jaar 1 van het onderzoek (Januari 2018 t/m December 2018) een systeem met vaste bovengrondse leidingen die in de groeven tussen de ruggen lagen (en daarmee voor de eigenlijke oogst weggenomen konden worden onder oprolling) onderzocht. Vanuit deze leidingen zijn korte dwarse drippeden naar de ruggen gevoerd die door een pen in de top van de rug gestoken, langs de pen druppelende, het toegevoerde water op ongeveer 13 cm onder de grond brachten – ongeveer ten hoogte van het belangrijkste deel van de wortelmasse. (zie ook de illustraties in de posters weergegeven in het vervolg van deze pagina's).

Hoewel er hierbij (zoals in de aanvraag en in het project beschreven) vele tussen variaties waren is in grote lijnen hierbij de vergelijking gemaakt tussen het natuurlijk verlopende seizoen zonder extra bewatering en doorgaande waterdosering op ½ van het jaargemiddelde en op ¼ van het jaargemiddelde in 1 maal daags gegeven dosering gedurende 8-10 minuten.

Daarbij zijn de grond temperaturen in de rug en de relatieve vochtigheid in de rug gevolgd en zijn de effecten van de watergiften daarbij gevolgd.

Daarbij is de ontwikkeling van het gewas gevolgd en zijn uiteindelijke oogstopbrengsten vastgesteld en vergeleken. De uitkomsten van het onderzoek na dat eerste volle teeltjaar (Jan. 2018 t/m Dec 2019) in het licht van de doelstelling waren:

- Het systeem is eenmalig aan het begin van het jaar kiesbaar maar door de schade aan het gewas die daarbij zal ontstaan niet tussentijds aan te passen.*
- Het systeem levert met een beperkt energie verbruik en een nog meer beperkt waterverbruik een 70% toename van de aardappelopbrengst in totaal gewicht op met daarbij een verschuiving van de gemiddelde gewichten en maten per aardappel naar hogere waarden.*
- Daarbij is er een dose respons relatie met de totale watertoevoer waarbij met de helft van de hoge dosering een toename van 45% van de (gemiddelde) gewichten waargenomen werd.*
- In de ruggen werd bij watergift gedurende langere tijd (tot 20 uur na de watergift) een verhoging van de RV gemeten en daarmee samengaan een tot maximaal 8 graden oplopend verschil in de temperatuur van de lucht en de bodemtemperatuur op het niveau van de wortels waarbij de bodemtemperatuur vrijwel onder alle omstandigheden onder de 15°C. gehouden kon worden. Tezamen verklaren deze 2 factoren de verbeterde groei van de aardappels voldoende en lijkt een toeval effect (mede door de verdeling en plaatsing van de proef-sub-veldjes) uit te sluiten als verklaring voor de bevinding.*
- Bij het onderzoek is een deel van het onderzoek uitgevoerd zodanig dat tussen elke bewaterde rij een onbewaterde rij geplaatst werd. Hierbij is het duidelijk dat het watereffect van de injectie in een rij zich horizontaal uitstrekt tot de naast en tussenliggende rijen omdat hier nog altijd een toename van het gemiddelde gewicht van 30% in vergelijking met de op wat grotere afstand van de proefvelden gelegen controle velden. Dit is reden om aan te nemen dat de gewenste effecten bij injectie in alle aaneengesloten rijen behouden kunnen blijven bij dosering van ¼ van de normale regenval of mogelijk zelfs nog lager.*
- Hierom is besloten in het volgende jaar een dunnere, zeer goed oprolbare slang te gebruiken en op bruikbaarheid en werkzaamheid in het licht van de doelstelling te onderzoeken. Deze slang werd direct na de 1^e ophoging van de ruggen, waarbij de pootaardappels geplaatst werden in de ruggen, op de lage startruggen gelegd (1-2 cm boven het niveau van de aardappels) en vervolgens bij het ophogen en finaal vormen van de ruggen tot 12-15 cm onder de top van de rug afgedekt. Het idee was daarbij dat deze labyrint druppellijnen*

op onderlinge afstanden van 30 cm in elke rug de gewenste water dosis / m² zou kunnen plaatsen als alternatief voor de in het eerste jaar gebruikte drip-feed lijnen met injectiepijpen. Verder was het argument voor deze keuze dat deze lijnen aan het eind van de teelt en het verwijderen van het loof door optrekken zouden kunnen verwijderen waarbij het materiaal licht genoeg is om rollen tot 250 meter lang door een enkel persoon te kunnen laten dragen en afvoeren.

In het tweede volle teeltjaar van het onderzoek (Jan 2019 t/m Dec 2019) is, naast dat van het gebruik van een andere (zie 1.f hier boven) bewateringslijn in een andere positie t.o.v. de ruggen (namelijk erin) toegevoegd een onderzoek naar het effect van het aansturen van de waterdosering op basis van ofwel een te hoog wordende / geworden bodemtemperatuur dan wel een te ver dalende of gedaalde Relatieve Vochtigheid van de bodem.

De lijn is daarbij inderdaad aan het eind van de teelt goed weg neembaar gebleken en kon door de leden van de onderzoeksgroep in korte tijd gerealiseerd worden in tegenstelling tot het wegnemen van de dikke leidingen van het eerste jaar, ook al lagen die eigenlijk alleen in de groeven tussen 2 ruggen en boven de grond,

De uitkomsten van het onderzoek na het tweede volle teeltjaar (Jan 2019 t/m Dec 2019) in het licht van de doelstelling waren:

- a. Het systeem is evenals dat van het eerste teeltjaar slechts 1 maal te leggen (gezien gewenste locatie in de rug is latere en eerdere plaatsing niet (meer) mogelijk).
- b. De resultaten in de zin van oogstverbetering weken niet af van die behaald in het eerste jaar met hetzelfde effect in de zin van een opwaartse verschuiving van het (ook gemiddelde) gewicht van de aardappelen. Daarbij was een extra proef stap toegevoegd met dosering van het water in elke lijn/elke rug van een serie van 8 aaneengesloten ruggen. Daarbij werden, gezien de eerdere bevindingen van de horizontale verspreiding van het water de 2 buitenste rijen niet bij de beoordeling van de teeltresultaten betrokken en werd het totaal aan gegeven water verdeeld over het dubbele aantal lijnen.
- c. De resultaten van continue geven van water op vaste tijden verschilden van die verkregen van rijen waarin het geven van water gebeurde op geleide van de bodemtemperatuur dan wel de bodemvochtigheid. Het was daarbij duidelijk dat:
 1. Beide doseer strategieën resulteerden in een aanzienlijk reductie van het waterverbruik.
 2. De dosering op geleide van een te grote daling van de RV eigenlijk even goed werkte als doorgaande bewatering.
 3. De dosering op geleide van de Rv van de bodem resulteerde in een vergelijkbare stijging van het (gemiddelde) oogstgewicht.
 4. De dosering op geleide van een te grote stijging van de bodemtemperatuur leidde tot verlaagd (gemiddeld) oogstgewicht en een sterk vertraagde daling van de bodemtemperatuur met enige overshoot voor het inzetten van een daling. Dit geeft aan dat de temperatuur correctie niet het directe gevolg is van de ateriinjectie maar eerder van de erop volgende verdamping van water die daarbij de verdampingswarmte (een aanzienlijke hoeveelheid) onttrekt aan de omgeving. Daarbij is het van belang te realiseren dat hierbij ook de aardappels zelf daarbij eerst (te) warm worden om vervolgens na een aanzienlijk periode (tenminste enkele uren) pas weer op de oorspronkelijke terug te komen.
 5. Opvallend hierbij is dat de totale watergift onder aansturing door de temperatuur groter blijkt dan de watergift op aansturing van de RV van de bodem.
 6. Gezien de bevindingen en het feit dat beide leidingsystemen nog geen maximale flexibiliteit in een gegeven teeltjaar opleverden, en bijvoorbeeld niet beperkt konden worden tot het aanleggen in enkele risicogebieden en eventueel later in het seizoen alsnog ook elders aanleggen van verdere leidingsystemen, werd in overleg met de boeren betrokken in het project de mogelijkheid besproken van een derde alternatief voor het systeem: een permanent – gedurende 5-6 jaar handhaafbaar systeem op grotere diepte in de grond in te brengen, dikwandig en daardoor niet door bodemdruk samenvallend leidingnet met eventueel tussen aanvoer en afvoer leiding series dunner even dikwandige buizen, die daardoor door ploegen en eggen niet beschadigd kunnen raken. Hierdoor is enerzijds ook gewaswisseling mogelijk en toepassing bij andere gewassen (als wisselteelt) dan aardappelen is het systeem anderzijds ook onafhankelijk van de richting van de rijen en wijzigingen daarin. De grotere kosten van het net worden daarbij gecompenseerd doordat het meerdere jaren meegaat. De vraagstelling was daarbij of het bereikbare effect daarbij even groot was als bij hoger, dichter bij de wortels, geplaatste systemen en of daarbij even grote waterwinsten en opbrengst verhogingen haalbaar zouden zijn. Wels was er voor dit systeem nog een aanvullend mogelijk voordeel: het systeem zou door de diepere plaatsing het opstijgen van zout vanuit diepere lagen naar het oppervlakkige deel van akkers (verzilt) kunnen remmen.

Omdat in het tweede jaar ook een deel van de proeven door het slechte weer en om andere redenen (uitval van deelnemer Van Loon waarover uitgebreid met SNN is overlegd en waarvoor een oplossing is gevonden in het omzetten van Rutec Engineering BV en Power Plastics BV van beschikte kosten derden partijen naar deelnemers zonder gevolgen voor het (maximaal) te besteden budget, tot een beperkte uitvoering van het proefplan had geleid is besloten nog een derde jaar aan de proefnemingen toe te voegen en hiervoor toestemming te vragen (die ook gegeven is).

In het derde volle teeltjaar van het project (voor het grootste deel uitgevoerd in de beschikte verlenging: Jan 2020 t/m Dec 2020) is een, in de vraagstellingen beperkter experimenteel teeltplan uitgevoerd, daarop gericht de tekortkomingen in de uitvoeringen van jaar 2 aan te vullen en daarnaast een nieuwe variant van de plaatsing van het leiding net op werkzaamheid en effecten op de teeltopbrengst en het waterverbruik te onderzoeken.

De uitkomsten van het derde jaar in het licht van de doelstelling waren:

- a. *De leidingen konden na de eenmalige plaatsing niet meer verplaatst worden maar hebben zich in hun functionaliteit het gehele teelt en bijna kalenderjaar functioneel intact gehouden.*
- b. *De leidingen waren aan het eind van het onderzoek slechts met de grootst mogelijke moeite te verwijderen. Bij het plaatsen is een 12 cm brede groeve ketting digger gebruikt die de bodem verder vrijwel onberoerd liet. Maar in de periode van het onderzoek was de grond die in de groeve teruggeplaatst was dusdanig verdicht dat de leidingen om de 10 meter opgegraven moesten worden, vervolgens onderbroken en daarna met grote kracht in de lengte richting uit de grond moesten worden getrokken. Dit maakt de toepassing van een dergelijk systeem op zich zelf al zeer problematisch omdat dit probleem na een aantal jaren alleen maar groter zal worden.*
- c. *Ten aanzien van de opbrengsten van de bewatering is in het onderzoek gebleken dat:*
 1. *De diepe bewatering ongeveer 2x zoveel water nodig heeft om hetzelfde oogstresultaat te bereiken en dat daarbij alleen aansturen op een vast schema werkzaam is.*
 2. *Aansturen van de bewatering op hetzij de bodemtemperatuur hetzij de relatieve vochtigheid van de (oppervlakkige) bodem leidt tot sterk verhoogd watergebruik en tot sterke vertraging (tot soms > 24 uur) in het bereiken van een gewenste correctie met onacceptabel grote overshoot van de in verkeerde richting zich ontwikkelende te hoge temperatuur of te lage relatieve vochtigheid van de grond.*

Daarmee is deze uitvoering van een leidingnetwerk alleen werkzaam te krijgen indien op grond van de regenval systematisch in perioden van (relatieve) droogte relatief grote waterhoeveelheden in de bodem gebracht worden.

Samenvattend lijkt het erop dat met zekerheid aangegeven kan worden dat de 1^e in het kader van het onderzoek gestelde doelstelling technisch inhoudelijk gehaald kan worden en dat een dergelijk flexibel systeem haalbaar en werkzaam is maar met name bij de aanleg ervan elk jaar weer een aanzienlijke extra inspanning vergt. Het is daarbij wel als realistisch te zien dat bij een eventuele brede invoer ervan de automatisering van de plaatsing van dergelijke leidingen inde rug sterk vereenvoudigd kan worden.

2) Ontwikkelen van een besturingssysteem met geïntegreerde algoritmieken dat op basis van telemetrische (en satelliet) data als grondtemperatuur, vochtigheid en andere weersgegevens automatisch met behulp van beslisbomen lokaal aangeeft welke nutriënten en waterhoeveelheden nodig zijn om de teelt te optimaliseren.

Voor deze doelstelling is gebleken in het onderzoek van teeltjaar jaar 1 (Jan t/m Dec 2018) en 2 (Jan t/m Dec 2019), en meer specifiek in teeltjaar 3 (Jan t/m Dec 2020), dat het satelliet beeld van bodem omstandigheden:

1. *Door groeiend loof niet meer te volgen is. Metingen van de temperatuur van (het oppervlak) van de bodem wordt daarbij al na 4-7 weken toenemend volledig onmogelijk.*
2. *Dat in de periode dat de bodemtemperatuur wel in satelliet data representatief te volgen is, de satelliet gegevens gemiddeld tot 5 uur kunnen achterlopen bij die van sensoren in de bodem en dat daardoor de satelliet gegevens bruikbaar zijn voor het algemene volgen van de gewasontwikkelingen, het onderkennen en volgen van lokale onregelmatigheden in de groeisnelheid maar minder geschikt zijn voor het aansturen van de snelle reacties die bij hoge temperaturen en lage luchtvochtigheden nodig kunnen zijn voor het handhaven van de maximale groeisnelheid van het gewas en de ontwikkeling van de aardappel.*
3. *De verkregen, telemetrisch doorgegeven resultaten van sensormetingen (van temperatuur en bodemvochtigheid) direct in de bodem, en op het niveau van de gepote aardappel en het zich ontwikkelende wortelnet, de sleutelrol spelen in het bereiken van de gerealiseerde toename van de opbrengsten.*
4. *Dat daarbij de meting van RV de belangrijkste sturende parameter is die een ontsparing van de groeicondities in de bodem: te droog, die voorloopt op het gevolg daarvan: te warm voorspelt en voordat die daadwerkelijk tot stand komt laat corrigeren door meer water in de bodem te voeren die dan door toename van de verdamping voldoende koeling levert om een daadwerkelijke stijging te voorkomen.*

In het onderzoek is daarbij, specifiek ten aanzien van een eventuele regulatie van de nutriënten toevoer, gebleken dat:

5. *Doorgaande zeer lage dosis dosering van de normale mestsamenstelling (N:P:K) op zelfs minder dan 1/10 van de dagdosis berekend uit de jaardosis / hectare en alleen aangevoerd gedurende de gehele groeiperiode het best resultaat levert.*
6. *Deze verbetering in de ontwikkeling van het gewas bij de boer die regulier werkte maar een beperkte verbetering opleverde maar bij de biologische boer een bijna 13% extra verbetering van de opbrengst gaf vergeleken bij bewatering alleen.*
7. *Dat het bij beide bedrijven daarnaast een duidelijke extra verschuiving van de verdeling van het totale oogstgewicht naar de hogere klassen gaf met een vrijwel volledig verdwijnen van het voorkomen van aardappels met een gewicht /maat van < 25 gram / diameter 3 cm (onverkoopbaar).*
8. *De voor het gebruik van het proces benodigde beslisboom beperkt kon blijven tot de beslissing tot bewatering indien:*
 - a. *de RV lager dan de ingestelde grenswaarde werd,*

terwijl hiermee eigenlijk altijd een temperatuurstijging boven de ingestelde grenswaarde voorkomen werd.

- b. De hoeveelheid water per (dag – gift) beperkt kon blijven tot het ingestelde volume van $\frac{1}{2}$ of $\frac{1}{4}$ van de berekende gemiddelde neerslag / dag o.b.v. jaargemiddelde meteorologische gegevens.
9. De voor de beslissing tot bemesting, bij een eerder besluit tot weglaten van de jaarlijkse sprong bemesting in na- of voorjaar, niet een variabele meetbare grenswaarde overschrijding betref maar het besluit tot doorgaande dagelijkse dosering gedurende de periode van poten tot loofverwijdering van $\frac{1}{10^e}$ van het bij correcties gebruikte volume met daarin een waarde van $\frac{1}{3^e}$ tot $\frac{1}{4^e}$ van het dag gemiddelde berekend uit de totale jaar bemesting bij gebruikelijke toepassing daarvan.
10. Dit een directe besparing van de stikstof belasting in het teeltakker gebied van $(365-90)/365$ mestdagen, ongeveer 75% oplevert met daarbij nog een verdere reductie door de verlaging van de dag dosering met een factor 3 tot 4. De totale besparing is daarmee 85-90% bij een sterk verbeterde oogst.



Van links naar rechts: open veld controle, :bewatering alleen $\frac{1}{4^e}$ van normaal, bewatering alleen $\frac{1}{2}$ van normaal, bewatering $\frac{1}{2^e}$ van normaal met bemesting op $\frac{1}{4^e}$ van normaal daggemiddelde gedurende 90 dagen.

Eind 2020 is het project binnen de gestelde projectperiode afgerond

Samenvattend is de opgedane kennis uiteindelijk dat:

1. Systematische micro bewatering leidt tot meer dan renderende productiviteit verhoging bij netto water verbruik reductie en reductie van bemestingsstoffen en de emissie daarvan.
2. Dat door intelligent aansturen van bewatering en bemesting, ook grote, perioden van droogte en warmte doorstaan kunnen worden zonder vertraging in groei en ontwikkeling van plant en aardappel zetting.
3. Dat een bovengronds systeem van distributie niet goed te vervangen is door een dieper liggend (genoeg diepte om meerdere seizoenen gebruikt te kunnen worden bij een eenmalige investering zonder noodzaak tot verwijdering in de winter en herplaatsing voor elk teeltseizoen.
4. Dat een inde grondstelsel, op het niveau van de aardappel en het wortelsysteem van de plant de beoogde en behaalde resultaten het beste zeker stelt.
5. Dat dergelijke systemen, sturend op de relatieve vochtigheid van de grond door middel van telemetrie, de sturing van de water aanvoer, wat betreft water frequentie en hoeveelheid autonoom (AI) volledig op optimale werking kunnen sturen.
6. Dat dergelijke systemen op basis van een zeer klein additioneel dagelijkse doseringsvolume aan water en met een zeer kleine bemesting in kwantitatieve zin gedurende slechts de tijd tussen poten van de aardappel en het verwijderen van het loof, de best mogelijk gewichtsopbrengst aan aardappelen geeft maar ook en vooral een commercieel betere verdeling van de gewichten en maten van de verkregen aardappelen.

Naschrift:

Dit project heeft, gesteund door een geïnteresseerde en een beslissend gesubsidieerd hebbende overheid, effectief een radicale stap gemaakt in het onderzoek naar de mogelijkheden om ook in het veld een stabilisatie van de teeltomstandigheden (vooralnog met uitzondering van de temperatuur) te gaan bereiken die tot op heden alleen mogelijk leek in gesloten kassen.

In het project zijn in 2 extreme weer jaren (de teeltjaren 2018 en 2019) met een extreem droog voorjaar en een zeer warm middenjaar van het groeiseizoen bij aardappelen zonder sproeibewatering en de daarmee gepaard gaande verdampingsverliezen en schade aan de ruggen, door ondergronds inbrenging van water in kleine hoeveelheden, de condities in de aardappelruggen vrijwel op optimale waarden voor de groei en zetting van aardappelen te houden gebleken.

Daarbij is aangestuurd door de uiteindelijk als meest voorspellende en bruikbare waarde: het vochtgehalte van de grond in de ruggen, ernstige verstoring van het bodemklimaat in de rug voorkomen.

Daarna is na een geschikt verzoek om verlenging, in teeltjaar 3 (Jan t/m Dec 2020) een deel van het onderzoek uit 2019 herhaald en uitgevoerd met een diepere positionering van het aanvoer netwerk gericht op de vraag of een dergelijke diepe plaatsing even werkzaam was met het oog op het voor de hand liggende voordeel dat de leidingen dan tenminste 4-6 jaren zouden kunnen blijven liggen.

Daarnaast is daar waar dat mee onderzocht is, de bemesting in zeer lage gehalten en alleen gedurende de periode na het poten en tot het oogsten, in staat gebleken om naast een netto toename van de totale oogst/massa ook de maatverdeling van de geteelde aardappelen gunstig te wijzigen en te optimaliseren. Door de zeer lage dosering in de grond is emissie naar bronwater en zeker oppervlaktewater hierbij volledig voorkomen en is de netto stikstoflast naar het land met voor deze teelt met een factor 6 te verlagen.

Alles tezamen is hiermee een radicale wijziging van de teeltbenadering aangereikt die in de nabije toekomst zijn potentieel voor de grote veelheid aan gewassen die in de Nederlandse akkerbouw plaatshebben op hun voordeel hierbij te onderzoeken.

De deelnemers stellen zich, mede in dank voor de hen verschaft publieke middelen, bij deze beschikbaar voor ondersteuning van het onderzoek door hen ter verkrijging van meer inzicht bij andere toepassingen aan collega ondernemers in het veld.

