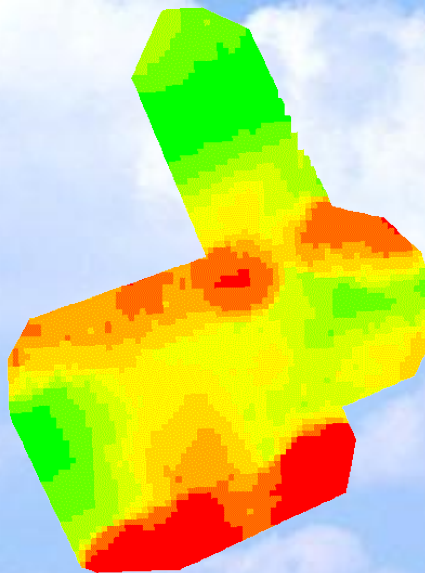


2015

Afstudeerwerkstuk *“Gewassensoren in de Nederlandse zetmeelaardappelteelt”*



Gewassensoren meten plaatsspecifiek verschillen in het gewas, waardoor er plaatsspecifiek bijgestuurd kan worden. Akkerbouwers willen graag weten waarop, hoe en hoeveel ze kunnen bijsturen om zo een economische meerwaarde te creëren? Volgens ervaringsdeskundigen valt de meeste winst te halen in de zetmeelaardappelteelt!

Koen Delaere

Afstudeerwerkstuk

*Welke economische meerwaarde
hebben gewassensoren de Nederlandse
zetmeelaardappelteelt te bieden?*

Koen Delaere

Oosterhesselen, 31-05-2015

Geert Sol (begeleider)

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerwerkstuk waarin onderzoek wordt gedaan naar; *De economische voordelen die gewassensoren de Nederlandse zetmeelaardappelteelt te bieden hebben.*

Met de opgedane ervaring tijdens de afstudeerstage bij het bedrijf Louis Nagel is er veel kennis opgedaan over gewassensoren en is er via klantbezoeken en support- e-mails veel contact geweest met telers. Naar aanleiding van bepaalde vraagstukken vanuit telers is er door de student research gedaan naar de economische voordelen van gewassensoren. Uit deze research is gebleken dat er onvoldoende documentatie beschikbaar is en nader onderzoek gewenst is.

Met behulp van een literatuurstudie, opgedane praktijkkennis (bij onder andere Louis Nagel) en diepgaande interviews is er voldoende informatie verzameld om dit onderzoek naar tevredenheid uit te voeren.

Mijn dank gaat uit naar het bedrijf Louis Nagel voor de voorkennis die gedurende de afstudeerstage is opgedaan. Ook wil ik Corné Kempenaar bedanken voor de kennis en tips die hij mij gedurende het onderzoek heeft gegeven. De bedrijven Yara en Agrometius wil ik langs deze weg ook graag bedanken voor hun productinfo en tips. In het bijzonder gaat mijn dank uit naar afstudeerbegeleider Geert Sol voor de intensieve begeleiding gedurende het traject.

Inhoud

Voorwoord	2
Samenvatting.....	5
Résumé	6
1 Inleiding	7
2 Wat is het principe van de huidige gewassensoren en welke sensoren zijn beschikbaar?	9
2.1 Technische werking gewassensoren	9
2.1.1 Spectrum	9
2.1.2 Zichtbare golflengtes (VIS).....	9
2.1.3 Nabij infrarood (NIR)	10
2.1.4 Bodemreflectie	10
2.2 Spectrale banden.....	10
2.2.1 Remote sensing	10
2.2.2 Near sensing	11
2.3 Metingmethode.....	11
2.3.1 Gewasindices	11
2.3.2 Actieve/ passieve sensor	12
2.4 Beschikbare gewassensoren	12
3 Op welke wijze kan de hoeveelheid bemesting in de zetmeelaardappelteelt worden beïnvloed door gewassensoren?	13
3.1 Bemesting in de zetmeelaardappelteelt	13
3.2 Stikstof in de aardappelteelt	13
3.3 N- bijmestsystemen.....	14
3.3.1 NBS- Bodem.....	14
3.3.2 Bladsteeltjesmethode	15
3.3.3 Aardappelmonitoring	15
3.4 NBS gewassensoren	15
3.4.1 Remmie Booij	15
3.4.2 Systeem van Booij	16
3.4.1 Systeem van Booij toepassen	17
3.5 Praktische toepasbaarheid bijmesten op basis van gewassensoren	19
4 Welke vormen van besparingen zijn er mogelijk met behulp van gewassensoren in de aardappelteelt en in welke mate?.....	20
4.1 Besparing meststoffen	20
4.2 Besparing gewasbeschermingsmiddelen	20

4.2.1	Toepassing variabel doseren gewasbeschermingsmiddelen	21
4.2.2	Besparing gewasbeschermingsmiddel	23
5	Welke effecten hebben gewassensoren op de opbrengst van de zetmeelaardappelteelt?	24
5.1	AVEBE onderzoek	24
5.1.1	Opbrengst factoren	24
5.1.2	Praktijkonderzoek.....	24
5.1.3	Uitkomst onderzoek	24
5.2	Beregenen zetmeelaardappelen	25
5.3	Opbrengstverhoging op basis van gewassensoren	25
6	Op welk moment kunnen gewassensoren de zetmeelaardappelteler een financieel voordeel leveren ?	26
6.1	Kosten gewassensoren	26
6.1.1	Investering OptRx sensoren	27
6.1.2	Investering YARA N-sensor	28
6.1.3	Investering Greenseeker sensoren.....	29
6.1.4	Jaarlijkse kosten.....	29
6.2	Economische besparing gewassensoren.....	30
6.2.1	Besparing kunstmest	30
6.2.2	Besparing gewasbeschermingsmiddelen	30
6.3	Economische meerwaarde	31
6.3.1	Break-even-point	31
6.3.2	Financiële voordeel situatie schets	32
6.4	Discussie	32
7	Conclusies en aanbevelingen	33
7.1	Conclusies.....	33
7.2	aanbevelingen	34
Bijlage 1	KWIN zetmeelaardappelteelt	37

Samenvatting

Dit onderzoek richt zich op de vraag: *Welke economische meerwaarde hebben gewassensoren de Nederlandse zetmeelaardappelteelt te bieden?*

Gewassensoren maken gebruik van het lichtspectrum en meten hierbij de opgevangen lichtreflectie. Onderzoekers hebben een tal aan gewasindices ontwikkeld. Echter zijn de NDVI en WdVI gewasindices momenteel het meest toepasbaar. De WdVI geeft naast een indicatie van de biomassa een goed beeld van de hoeveelheid bovengrondse stikstof van een aardappelplant. Hiermee is het mogelijk een bemestingsadvies te berekenen. Het systeem van Booij heeft hiervoor een NBS systeem ontworpen dat op basis van gewassensoren een bijmestadvies geeft. Met behulp van dit NBS systeem, kan er in de aardappelteelt gemiddeld 30kg N /ha bespaard worden op basis van gewassensoren. Het systeem van Booij hanteert de WdVlgreen index, gemeten met de Cropsan. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of commerciële gewassensoren deze gewasindex ook kunnen berekenen. Naast het doseren van bemesting, zijn ook bepaalde categorieën gewasbeschermingsmiddelen geschikt om op basis van gewasreflectie te doseren. Met behulp van een lineaire formule kan er een dosering berekend worden. Afhankelijk van de hoeveelheid risico en ziektedruk wordt de hoeveelheid besparing bepaald. Uit ervaring blijkt dat er van een gemiddelde besparing van 30% kan worden uitgegaan. Hoewel de opbrengst van zetmeelaardappelen nog groeipotentie biedt, heeft nog geen enkel onderzoek kunnen aantonen dat gewassensoren hier een bijdrage aan kunnen leveren. Door de jaarlijkse kosten van gewassensoren te berekenen en de besparingen van middelen in kaart te brengen, is berekend dat het gebruik van gewassensoren bij een areaal vanaf 15.2 hectare een financiële meerwaarde biedt.

Hiermee is de onderzoeksvraag "Welke economische meerwaarde hebben gewassensoren de Nederlandse zetmeelaardappelteelt te bieden?" beantwoord. Gemiddeld valt er in de zetmeelaardappelteelt ruim €100 per hectare te besparen.

Résumé

Cette étude se penche sur la question: Quel atout économique peuvent donner les capteurs optiques de végétation pour la culture néerlandaise de féculé de pommes de terre?

Les capteurs optiques de végétation utilisent le spectre de lumière et mesurent par ainsi la réception de la réflexion de lumière.

Des chercheurs ont développés un nombre d'index végétaux. Néanmoins les index végétaux de NDVI et de WdVI sont pour l'instant les plus appropriés. Le WdVI donne à côté de l'index de masse biologique une bonne mesure de la quantité d'azote en surface de la plante de pomme de terre. Il est ainsi possible d'établir un avis d'engraisement. Booij a pour cela conçu un système NBS, qui par l'utilisation de capteurs optiques de végétation donne cet avis d'engraisement. Avec l'aide de ce système NBS, il est possible d'économiser en moyenne 30kg N /ha dans la culture de pommes de terre par l'emploi de capteurs optiques de végétation. Le système de Booij utilise le WdVgreen index, mesuré par le CropScan. D'autres recherches devront dévoiler si des capteurs optiques de végétation commerciaux pourraient également fournir cet index. A côté du dosage d'engrais, il y a certaines catégories de produits phytosanitaires qui sont appropriées au dosage à base de réflexion végétale. Grâce à l'utilisation d'une formule linéaire, il est possible de calculer un dosage. En fonction de taux de risque et du danger de maladie, l'on définit la quantité d'économie d'argent. L'expérience apprend que l'on peut se baser sur un gain financier de 30% en moyenne. Quoique la rentabilité des pommes de terre pour féculé puisse encore s'améliorer, il n'y a pour l'instant aucune recherche qui sait confirmer que les capteurs optiques de végétation pourraient en être un moyen. En calculant les coûts annuels des capteurs optiques de végétation et les économies d'argent dues aux réductions d'engrais, il est démontré que l'utilisation de capteurs optiques de végétation offre un atout financier à partir d'une surface de sol de 15.2 hectares.

Ainsi est répondue la question: Quel atout économique peuvent donner les capteurs optiques de végétation pour la culture néerlandaise de féculé de pommes de terre? En moyenne, il est possible d'économiser un bon €100 par hectare pour la culture de féculé de pommes de terre.

1 Inleiding

Dat precisielandbouw de landbouw kan helpen is een feit. De wereldbevolking zal de komende jaren blijven stijgen, wat betekent dat er veel voedsel geproduceerd moet worden. Precisielandbouw draagt hieraan bij door efficiënter en duurzamer te werken. De Nederlandse overheid begrijpt dit en biedt haar steun. Gewassensoren maken deel uit van de precisielandbouw.

Gewassensoren kunnen met behulp van plaatsspecifieke reflectiemetingen het gewas beoordelen op vitaliteit, biomassa en kunnen een indicatie geven van de bovengrondse stikstof. Theoretisch gezien kan een teler met behulp van deze gegevens zijn gewassen vervolgens plaatsspecifiek bijsturen door bijvoorbeeld meer of minder middel te doseren. Momenteel is het voor telers, maar ook dealers, nog onbekend; hoe, hoeveel en waarop een teler kan bijsturen aan de hand van gewassensoren. Daarnaast zijn telers vaak pas geïnteresseerd wanneer het financiële voordelen met zich meebrengt. Volgens ervaringsdeskundigen valt de meeste winst te halen in de zetmeelaardappelteelt vanwege de schaalgrootte en de te variëren middelen binnen deze teelt.

Dit heeft tot de volgende onderzoeksvraag geleid:

Welke economische meerwaarde hebben gewassensoren de Nederlandse zetmeelaardappelteelt te bieden?

Deze hoofdvraag wordt in dit onderzoek beantwoord aan de hand van de volgende deelvragen:

- *Wat is het principe van de huidige gewassensoren en welke sensoren zijn beschikbaar?*
- *Op welke wijze kan de hoeveelheid bemesting in de zetmeelaardappelteelt beïnvloed worden door gewassensoren?*
- *Welke vormen van besparingen zijn er mogelijk met behulp van gewassensoren in de aardappelteelt en in welke mate?*
- *Welke effecten hebben gewassensoren op de opbrengst van de zetmeelaardappelteelt?*
- *Op welk moment kunnen gewassensoren de zetmeelaardappelteler een financieel voordeel leveren?*

De afgelopen jaren hebben verschillende groepen onderzoek verricht op het gebied van bijsturing op basis van gewassensoren. Tijdens dit onderzoek is er dan ook veel gebruik gemaakt van deze laatste publicaties. Daarnaast zijn enkele auteurs geïnterviewd voor een toelichting op deze rapportages. Naast deze onderzoekers zijn verschillende leveranciers geïnterviewd over de technische mogelijkheden en financiële kwesties die gewassensoren met zich meebrengen.

Met behulp van dit onderzoek wordt een transparant beeld gevormd van de mogelijkheden die gewassensoren de Nederlandse zetmeelaardappelteler kunnen bieden. De resultaten van dit onderzoek zullen telers helpen bij de overweging om gewassensoren te implementeren op hun bedrijf. Ook teeltbegeleiders en leveranciers van gewassensoren zullen gebaat zijn bij deze resultaten. Indien telers aan de hand van deze resultaten gewassensoren implementeren op hun bedrijf, zal dit onderzoek een bijdrage leveren aan de duurzaamheid en efficiëntie van de landbouw.

Het rapport is als volgt opgebouwd; In hoofdstuk twee zal worden ingegaan op de technische werking van de sensor, de verschillende soorten gewasindices en worden de verschillende gewassensoren beschreven. Hoofdstuk drie beschrijft het belang van stikstof binnen de aardappelteelt en de verschillende bijmestsystemen. Vervolgens zal worden beschreven hoe er op basis van gewassensoren een bijbemesadvies kan worden gemaakt. Hoofdstuk vier zal gaan over de besparingen die gewassensoren met zich mee brengen. Er zal worden beschreven hoeveel een stikstof bijmeststelsel kan besparen. Daarnaast zal er worden ingegaan op hoe en welke gewasbeschermingsmiddelen er te besparen valt. In hoofdstuk vijf wordt onderzocht welke factoren van belang zijn binnen de zetmeelaardappelteelt om opbrengstverhoging te realiseren. Er zal worden onderzocht of gewassensoren hier momenteel ook een bijdrage aan kunnen leveren. De laatste deelvraag zal worden beantwoord in hoofdstuk zes. Hier zal op basis van verschillende gewassensoren de gemiddelde jaarlijkse kosten van gewassensoren worden bepaald. Vervolgens wordt een reële besparing voor de zetmeelaardappelteelt berekend. In de laatste paragraaf wordt het break-even-point berekend en zal de economische meerwaarde voor bepaalde bedrijfsgroottes worden gecalculeerd. In het laatste hoofdstuk zullen de conclusies en aanbevelingen worden gedaan en geeft de auteur zijn eigen visie weer.

2 Wat is het principe van de huidige gewassensoren en welke sensoren zijn beschikbaar?

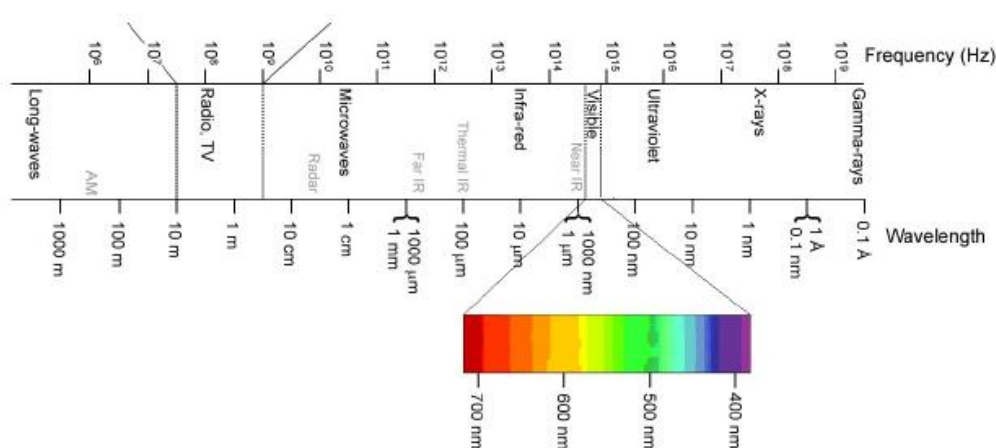
Tijdens een groeiseizoen kan een gewassensor ingezet worden om de groei en de toestand van een gewas te meten. De gewassensor kan met behulp van deze metingen een beeld geven van variatie in gewasontwikkeling die wordt uitgedrukt in een bepaalde gewasindex. Op basis van deze data kunnen bepaalde werktuigen aangestuurd worden en kunnen deze vervolgens plaats specifiek doseren. Dit hoofdstuk gaat in op de werking van gewassensoren, de soorten gewasindices en geeft een overzicht van verschillende gewassensoren.

2.1 Technische werking gewassensoren

In deze paragraaf wordt de technische werking van gewassensoren beschreven. Er wordt beschreven met welke techniek gewassensoren meten, wat de gewassensor meet en wat er vervolgens met deze meetgegevens kan worden gedaan.

2.1.1 Spectrum

Om de werking van een gewassensor te begrijpen, is het noodzakelijk om eerst kort op het licht spectrum in te gaan. Figuur 2.1 geeft het elektromagnetisch spectrum weer, waarbij het zichtbare spectrum is uitvergroet. Hierin valt af te lezen dat het menselijk oog de golflengtes 308 tot 740 nanometers (nm) kan waarnemen.

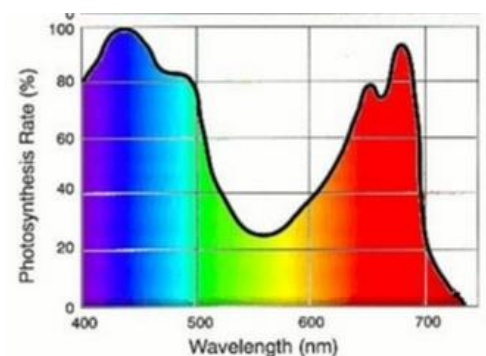


Figuur 2.1 elektromagnetische spectrum

2.1.2 Zichtbare golflengtes (VIS)

In het zichtbare gedeelte van het spectrum is de reflectie van het licht relatief laag, wat betekent dat het grootste gedeelte van het licht wordt geabsorbeerd. Deze absorptie vindt voornamelijk plaats in het chlorofyl (bladgroen) dat aanwezig is in het blad. Chlorofyl heeft de eigenschap de energie van (zon)licht, bruikbaar te kunnen maken voor de fotosynthese (groei). Chlorofyl kenmerkt zich aan de sterke absorptie (80%) die het vertoont in het rode (700-600nm) en blauwe deel (500-400nm) van het licht spectrum (zie figuur 2.2).

Het gedeelte 500-600nm wordt niet geabsorbeerd en reflecteert (10%), waardoor het menselijk oog de groene kleur waarneemt.



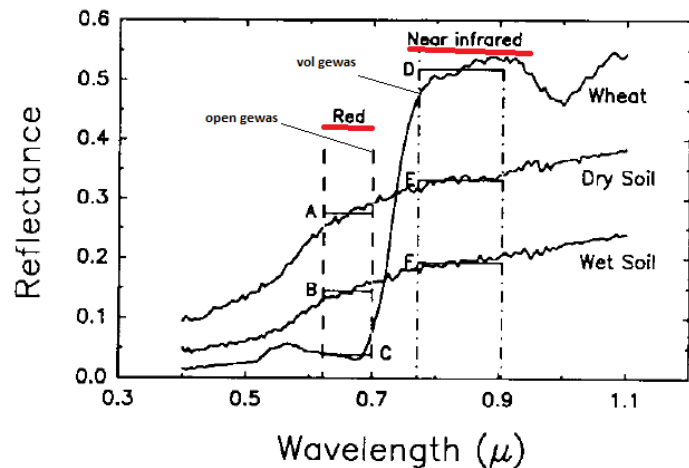
Figuur 2.2 absorptie van verschillende golflengtes bij zichtbaar licht

2.1.3 Nabij infrarood (NIR)

Nabij infrarood heeft een golflengte van circa. 1000nm en valt daardoor net buiten het zichtbare spectrum. In tegenstelling tot het zichtbare licht spectrum, absorbeert blad max 10% van het NIR licht. De rest van het NIR-licht wordt getransmitteerd of gereflecteerd. De reflectie kan toenemen tot 80% van het ingevallen licht. Dit wordt veroorzaakt door transitie (overgang) van lucht tussen de celkernen. Dit is kenmerkend voor gezond plantmateriaal.

2.1.4 Bodemreflectie

De reflectie eigenschappen van de bodem verschillen sterk ten opzichte van de gewasreflectie. De bodemreflectie stijgt geleidelijk bij een grotere golflengte. De gewasreflectie daarentegen vertoont van 700nm(rood) tot 750nm(infrarood) een zeer hoge reflectietoename (zie figuur 2.3). Een gesloten gewas reflecteert veel NIR en weinig rood licht. Een open gewas reflecteert daarentegen veel rood licht. Met behulp van deze eigenschappen kan het vegetatiedek bepaald worden.



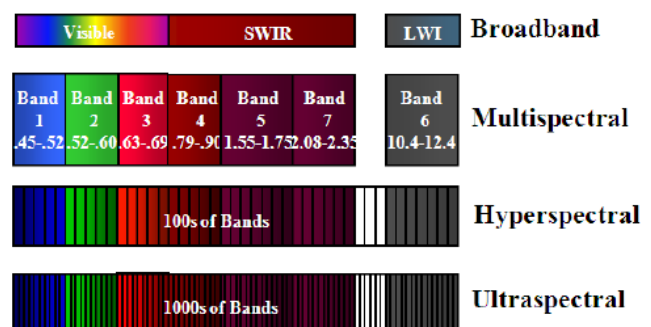
Figuur 2.3: reflectieverloop bodem en gewas

Deze reflectie-eigenschappen van het spectrum vormen de basis van een gewasindex.

2.2 Spectrale banden

Gewassensing (gewas meten a.d.h.v. sensor) kan op verschillende schaalniveaus plaatsvinden. Er zijn sensoren ontwikkeld die de reflectie van één blad meten (spectrometers). Andere sensoren meten de reflectie van een gewas vanaf bijvoorbeeld een trekker of werktuig (near sensing). Daarnaast bestaat er nog de mogelijkheid om gewasreflectie te meten vanaf vliegtuigjes, drones of satellieten (remote sensing).

In alle gevallen meten de sensoren de lichtreflectie over een bepaald golflengtebereik gebruikmakend van spectrale banden (zie Figuur 2.4). De nauwkeurigheid en informatiedichtheid van het gemeten signaal hangt samen met de hoeveelheid banden die gebruikt zijn. De nauwkeurigheid en informatiedichtheid nemen toe van breedband naar ultraspectrale sensoren.



Figuur 2.4: spectrale banden

2.2.1 Remote sensing

Huidige satellieten maken gebruik van breedband (broadband). Dit zijn sensoren waarbij circa zeven verschillende banden worden gemeten met bandbreedtes (golflengtebereik) van circa 40-100nm. Deze vorm van gewassensing wordt gedurende dit onderzoek verder buiten beschouwing gelaten vanwege de beperkte betrouwbaarheid te wijten aan de bewolkingsinvloeden en onvoldoende nauwkeurigheid.

2.2.2 Near sensing

Commerciële gewassensoren (near sensing) maken gebruik van multispectrale banden. Deze sensoren maken gebruik van twee tot vijf banden. Afwijkend van breedband sensoren maken deze sensoren gebruik van meer gevarieerde en smallere bandbreedtes, wat een hogere nauwkeurigheid mogelijk maakt. Betreffende gewassensoren kunnen meerdere bandbreedtes verwerken in hun systeem en zetten deze vervolgens om in gewasindices. Hoe meer banden, des te meer gewasindices. Hoe kleiner de bandbreedtes, hoe hoger de informatie-inhoud.

2.3 Metingmethode

Gewassensoren meten op verschillende bandbreedtes de reflectie van de bodem en het gewas. Met behulp van deze ontvangen reflectie kan er gemeten worden hoeveel licht er per bandbreedte is geabsorbeerd of gereflecteerd. Ook de hiervoor besproken reflectie eigenschappen van bodem en gewas worden meegenomen. Met behulp van deze gegevens en kennis zijn verscheidene algoritme formules ontworpen die zich uiten in een bepaalde gewasindex. Met behulp van een gewasindex kan onder andere de hoeveelheid fotosynthese (vitaliteit) en de bodembedekking (LAI) bepaald worden.

2.3.1 Gewasindices

Om een gewaskenmerk, bijvoorbeeld biomassa of stressconditie, te kunnen koppelen aan de gemeten delen van het lichtspectrum zijn "gewasindices" ontwikkeld (zie tabel 2.5). Deze gewasindices zijn via wetenschappelijk onderzoek opgesteld. Via deze indices is het mogelijk om specifiekere uitspraken te doen over een bepaalde gewasparameter.

Index	Naam	Formule	Ontwikkeld door
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR} - R_{red}) / (R_{NIR} + R_{red})$	Rouse et al. (1974)
RVI	Ratio Vegetation Index	R_{NIR} / R_{red}	Jordan (1969)
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index	$R_{NIR} - C \cdot R_{red}$ $C = 2$ (soil factor)	Clevers (1989)
REP-LI	Red edge position: linear interpolation method	$700 + 40(R_{re} - R_{700}) / (R_{740} - R_{700})$ $R_{re} = (R_{670} + R_{750}) / 2$	Guyot et al. (1988)
MTCI	MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	$(R_{754} - R_{708}) / (R_{708} - R_{680})$	Dash and Curran (2008)
TCARI	Transformed chlorophyll absorption in reflectance index	$3((R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})(R_{700} / R_{670}))$	Haboudane et al. (2002)
TCARI/OSAVI	Combined Index: TCARI with Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	TCARI/OSAVI $OSAVI = 1.16 \times (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$	Haboudane et al. (2002)
MCARI	Modified Chlorophyll Absorption index	$[(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \times (R_{700} - R_{550}) \times (R_{700} / R_{670})]$	Daughtry et al. (2000)
DCNI	Double-peak canopy nitrogen index	$(R_{720} - R_{700}) / (R_{700} - R_{670}) / (R_{720} - R_{670} + 0.03)$	Chen et al. (2010)
NDRE	Normalized Difference Red Edge Index	$(R_{780} - R_{720}) / (R_{780} + R_{720})$	Eitel et al. (2010)

tabel 2.1 overzicht spectrale gewas indices

De NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) is één van de meest gebruikte gewasindices en wordt door vrijwel elke sensor berekend. De NDVI bepaalt de fotosyntheseactiviteit van de plant en geeft een goede indicatie van de bladmassa (biomassa). Een nadeel is dat de NDVI bij een dicht gewas verzadigd raakt en dus minder variatie binnen een perceel kan meten. Naast de NDVI is de WDVI ook een veel gebruikte gewasindex. De WDVI (Weighted Difference Vegetation Index) geeft naast een indicatie van de biomassa een goed beeld van de hoeveelheid aanwezig stikstof in een gewas. In gewassen zoals aardappelen kan hiermee een bemestingsadvies berekend worden.

2.3.2 Actieve/ passieve sensor

Binnen de commerciële gewassensoren is er onderscheid te maken tussen actieve en passieve sensoren. Actieve sensoren zijn uitgerust met een actieve lichtbron, waardoor er dag en nacht betrouwbaar gemeten kan worden. Een passieve sensor is sterk afhankelijk van het zonlicht en is daardoor niet 24 uur per dag in te zetten en is weersafhankelijk. Later dit onderzoek zal er gesproken worden over de CropScan, een sensor waarmee veel praktijkproeven zijn uitgevoerd. Deze cropscan sensor is ook een passieve sensor, wat bewijst dat een passieve sensor ook zeker bruikbaar is.

2.4 Beschikbare gewassensoren

Tabel 2.2 geeft de verschillende sensoren weer die met behulp van reflectie biomassa in kaart kunnen brengen. Per sensor wordt er opgesomd hoeveel banden de sensor meet, het meetoppervlakte, de afstand van sensor tot gewas, of het een actieve of passieve sensor betreft en de soorten gewasindices die met de sensor te berekenen zijn. Figuur 2.5 tot en met 2.7 weergeven drie bekende gewassensoren, die tevens in tabel 2.2 zijn terug te vinden.

. * Inmiddels is CC (Cropcircle) veranderd in het merk OptRx van de fabrikant Ag Leader.

Tabel 2.2 overzicht gewassensoren

Technische vergelijking sensoren (meest recente model/ type)

Specificaties	Spectrometer		Near sensing					Remote sensing	
	FS	SPAD	GS	YARA	FM-I	CC	CS	CV/ TS	MA
Nr. bands	2150	2	2	54	5	3	8-16	8	4
FOV/	0,6	0,01	0,6	25	0,6	0,6	0,6	2	10
Pixelgrootte (m)									
Sensor - gewas afstand (m)	<1,5	<0,05	0,7-1,6	2-4	0,3-1,0	0,3-1,8	1,6-3,0	-	-
Lichtbron	-	Actief	Actief	Actief	Actief	Actief	-	-	-
Standaard*	Alle VI	NDVI	NDVI	NDRE	REP	NDRE	WDVI	NDVI	NDVI
Optioneel			WDVI	NDVI, WDVI, OSAVI, , TCARI, TCARI, , DCNI	NDVI, WDVI, OSAVI, TCARI	NDVI, WDVI	NDVI, REP, NDRE, TCARI, OSAVI	WDVI	

* de gebruikte golflengtes voor de berekening van de vegetatie indexen is niet gelijk voor de verschillende sensoren; let op: de standaard output is niet gelijk voor alle types. De optionele indexen kunnen op basis van band definities worden bepaald, maar zijn niet altijd standaard beschikbaar gesteld (Kooistra, 2011).

* de afkortingen voor de verschillende sensoren is FS voor FieldSpec; SPAD voor SPAD-meter; GS voor GreenSeeker; YARA voor YARA N-sensor; FM-I voor Fritzmeier – ISARIA; CC voor CropCircle; CS voor CropScan; CV voor CropView, TS voor Terraplane en MA voor MijnAkker.



Figuur 2.5 SPAD meter



Figuur 2.6 OptRx (cropcircle)



Figuur 2.7 YARA N- sensor

3 Op welke wijze kan de hoeveelheid bemesting in de zetmeelaardappelteelt worden beïnvloed door gewassensoren?

Gewassensoren zijn geschikt om op een vlugge en goedkope manier een inschatting te geven van het stikstofgehalte in een gewas. Door gebruik te maken van gewasindices kan een betrouwbare inschatting worden gegeven van de stikstofopname door het gewas. Met behulp van deze gegevens kan een stikstof bijmestadvies berekend worden.

3.1 Bemesting in de zetmeelaardappelteelt

Zetmeelaardappelen vragen een grote hoeveelheid stikstof en kali en hebben ook flink wat fosfaat nodig. Het gebruik van stikstof en fosfaat is wettelijk gereguleerd door de gebruikersnormen en wordt ieder jaar verminderd. Het is in Nederland gebruikelijk om in het voorjaar vlak voor of na het poten te starten met de gift van dierlijke mest. De voornaamste reden hiervan is dat dierlijke mest goedkoop is ten opzichte van kunstmeststoffen. Deze voorbemesting voorziet het perceel vaak voor 50-70% van de totale bemesting. Gedurende het groeiseizoen wordt de overige bemesting in één of twee periodes bijbemest met behulp van kunstmestkorrels of vloeibare kunstmest. Vloeibare kunstmest wordt zelfs over een nog groter aantal periodes verspreid, gezien een lage dosering bladverbranding voorkomt. Het voordeel van deze spreiding is dat het aantal meststoffen dat verloren gaat aan mineralisatie, uitspoeling en denitrificatie beperkt wordt. Daarnaast krijgt het gewas de meststoffen wanneer die het daadwerkelijk nodig heeft. (van Loon & Hammink, 2014)

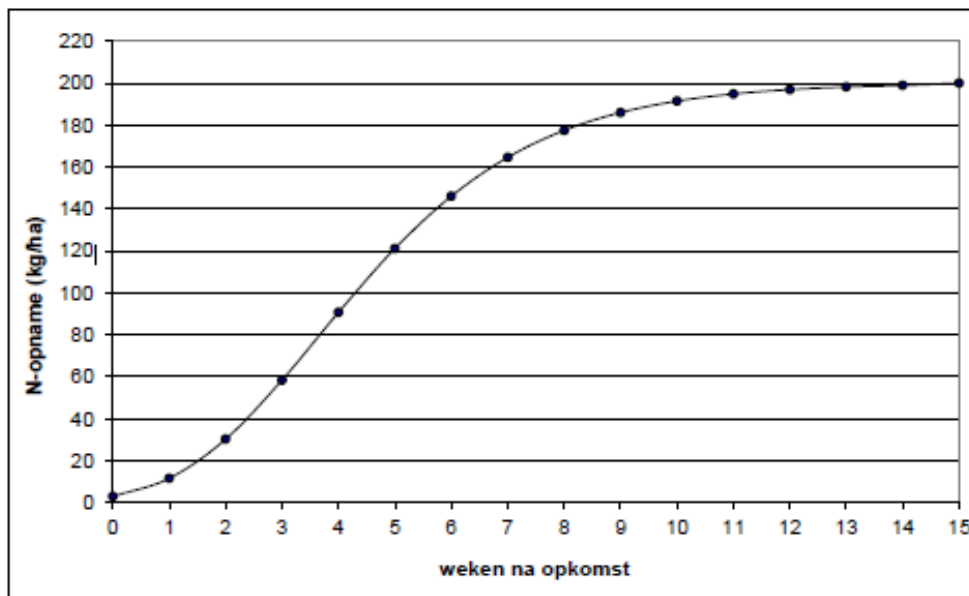
3.2 Stikstof in de aardappelteelt

Stikstof is het belangrijkste nutriënt voor een goede gewasproductie. De gewasopname kan bij een aardappelgewas variëren tussen 100 en 300 kg per hectare. De hoeveelheid beschikbare stikstof heeft grote invloed op bijvoorbeeld de knolzetting, de groei van boven en ondergrondse plantdelen, het moment van afsterven etc. Met behulp van stikstof kan er dus gestuurd worden in de richting van een optimale opbrengst en kwaliteit.

De aardappel is echter een gewas dat de aangeboden stikstof matig tot vrij slecht benut. Veelal wordt niet meer dan 50% van de toegediende (werkzame) stikstof teruggewonnen via de geoogste knollen en blijft er na oogst veel stikstof achter in de bodem. Deze gaat in de herfst- en winterperiode deels verloren door uitspoeling en denitrificatie. Op droge zandgronden en lössgronden (waar nauwelijks denitrificatie plaatsvindt) betreft het verlies merendeels uitspoeling. De oorzaken van de lage N-benutting bij aardappel zijn een gevolg van:

- gewaseigenschappen, waaronder beworteling en het stikstofopnamepatroon
- een (te) hoge stikstofgift

Stikstofopname is om te zetten in een curve waarin valt af te lezen dat de circa. 90% van de stikstof wordt opgenomen in de eerste negen á tien weken na opkomst(zie figuur 3.1). Het is dan ook van groot belang om op het juiste tijdstip en op de juiste plek de juiste hoeveelheid stikstof te dienen. (van Loon & Hammink, 2014)



Figuur 3.1 Gemiddelde stikstofopnamepatroon van zetmeelaardappel bij een knolproductie van 45 ton per ha

3.3 N- bijmestsystemen

Zoals in paragraaf 3.1 al is beschreven wordt er voor het poten 50% tot 70% van de totale bemesting toegediend. Deze grove schatting komt doordat elk teeltseizoen verschillend is. De omstandigheden van het perceel hebben hier een grote invloed op. Bij een gelijke bijbemesting kan de hoeveelheid stikstof die beschikbaar is voor het gewas elk teeltseizoen sterk wisselen. Belangrijke factoren die invloed hebben zijn: mineralisatieprocessen, uitspoeling, denitrificatie en droogte. Om gericht en efficiënter stikstof in te zetten in de aardappelteelt zijn er daarom N- bijmestsystemen (NBS) ontwikkeld. Met deze bijmestsystemen wordt geprobeerd om de stikstofvraag door het gewas en het aanbod van stikstof vanuit de bodem zo goed mogelijk te koppelen. Het doel is om een hogere stikstofbenutting door het gewas te realiseren.

Er zijn vier verschillende adviesystemen te onderscheiden voor de aardappelteelt. Eén van deze systemen geeft een stikstof advies op basis van gewassensoren. Er zal eerst kort ingegaan worden op de drie overige adviesystemen.

3.3.1 NBS- Bodem

Dit stikstof bijmeststelsel gaat uit van een startgift (voor het poten) van 2/3 van de berekende totale gift uit de adviesbasisbemesting. Vervolgens wordt de overige bemesting berekend aan de hand van een formule waarin de volgende factoren worden meegenomen.

Er wordt met behulp van de in figuur 3.1 weergegeven curve een schatting gemaakt van de stikstofopname van het gewas. Daarnaast worden op twee tijdstippen grondmonsters genomen om het stikstof leverend vermogen van de bodem te bepalen en dit te corrigeren. Ook wordt er een schatting gemaakt van de hoeveelheid mineralisatie en wordt er een buffer in gebouwd.

Uit deze berekening komt een N-gift naar voren die als advies wordt beschouwd. Een nadeel van dit systeem is dat er niet plaatsspecifiek bijgestuurd kan worden. (Blok, 2013)

3.3.2 Bladsteeltjesmethode

De bladsteeltjesmethode is een methode waarbij er gedurende het groeiseizoen wekelijks bladsteeltjes worden geplukt en geanalyseerd op het nitraatgehalte. Met behulp van opgestelde normtrajecten kan aan de hand van het nitraatgehalte een N-bijmesting vastgesteld worden. Vervolgens moet er kritisch gekeken worden naar de overige omstandigheden die invloed zouden kunnen hebben.

Dit systeem heeft goede resultaten maar is erg arbeidsintensief. Daarnaast is plaats specifieke bijsturing niet mogelijk. (Krebbes, 2015)

3.3.3 Aardappelmonitoring

Aardappelmonitoring maakt net als de bladsteeltjesmethode gebruik van het nitraatgehalte. Echter analyseert dit systeem naast het nitraatgehalte ook het plantgewicht. Hierdoor kan de gewasgroei aan het nitraatgehalte gekoppeld worden. Dit systeem is ontwikkeld door Altic en geeft de teler aan de hand van de gemeten gegevens een bemestingsadvies.

Dit systeem laat in de praktijk ook goede resultaten zien. Echter is de mogelijkheid tot plaats specifiek doseren ook met dit systeem niet mogelijk. (Blok, 2013)

3.4 NBS gewassensoren

Afhankelijk van het soort gewasindex, kunnen gewassensoren een betrouwbare indicatie geven van de hoeveelheid aanwezige stikstof in een gewas. Er is veel onderzoek gedaan om een systeem te ontwikkelen dat aan de hand van de gewasreflectiewaarde een stikstof bijmestadvies oplevert. Remmie Booij heeft deze eerst stappen gezet.

3.4.1 Remmie Booij

Remmie Booij komt in verscheidene rapporten naar voren en wordt beschouwd als grondlegger van het bijmesten op basis van gewassensoren. Vervolgstudies hebben dit systeem verder onderzocht en hebben geresulteerd tot een bruikbaar systeem.

Onder leiding van Remmie Booij werd in de periode 1996-2003 een op gewasreflectiemetingen gebaseerd N-bijmeststelsel voor aardappelen ontwikkeld. In 2009 en 2010 zijn aanvullende waarnemingen verricht teneinde stelsel-Booij te kunnen verbreden naar alle grondsoorten, rassen en teeltdoelen. In deze periode wees een analyse van alle beschikbare sensormetingen uit dat de WDVlgreen gewasindex het meest geschikt is. In eerste instantie is de WDVl een gewasindex voor het bepalen van biomassa. Echter is er gebleken dat deze gewasindex in aardappelen ook een goed verband weergeeft van de bovengrondse stikstof. Uit dit onderzoek blijkt dat de ijklijn van Booij gebruikt kan worden, ongeacht bodem, ras of teeltdoel. (van Evert, van der Schans, Mada, van den Berg, van Geel, & Nammen Jukkema, 2011)

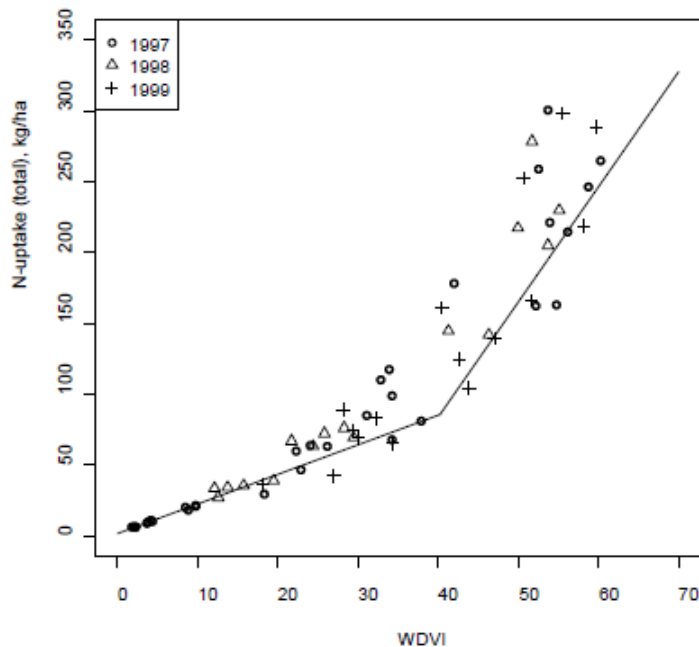
3.4.2 Systeem van Booij

Het adviesstelsysteem maakt gebruik van een door Booij ontwikkeld N-opname curve. Deze curve geeft het verband weer van N-opname en de WDVlgreen (zie figuur 3.2). Deze curve is door middel van verscheidene praktijkproeven met het ras Bintje geijkt. De WDWI is de input voor het berekenen van de N-opname die vervolgens wordt vergeleken met de streefwaarde voor de N-inhoud op dat moment (zetmeelaardappelen max 200kg N ha). Bij een lagere N-opname dan de streefwaarde wordt N bijbemesting geadviseerd die vervolgens met behulp van een taakkaart uitgevoerd kan worden. (van Evert, van der Schans, Mada, van den Berg, van Geel, & Nammen Jukkema, 2011)

De volgende formules zijn hiervoor ontworpen:

$$N \text{ (kg/ha)} = 1.88 + 2.095 \times WDWI \text{ (als } WDWI < 40)$$

$$N \text{ (kg/ha)} = -239.6 + 8.1 \times WDWI \text{ (als } WDWI > 40)$$



Figuur 3.2 verband WDWI en N opname

Zoals beschreven maakt het systeem van Booij gebruik van de de WDWIgreen gewasindex. Deze gewasindex werd in de voorgaande onderzoeken gemeten met de Cropscan. De Cropscan is een passieve sensor (zonder eigen lichtbron) die met behulp van een houder over het gewas wordt gedragen. Voor telers is deze sensor oninteressant. Commerciële gewassensoren kunnen in de meeste gevallen de WDWIgreen berekenen aan de hand van de formule:

$$WDWI_{\text{groen}} = R810 - \left(\frac{\text{reflectie kale grond } R810}{\text{reflectie kale grond } R560} \right) \times R560$$

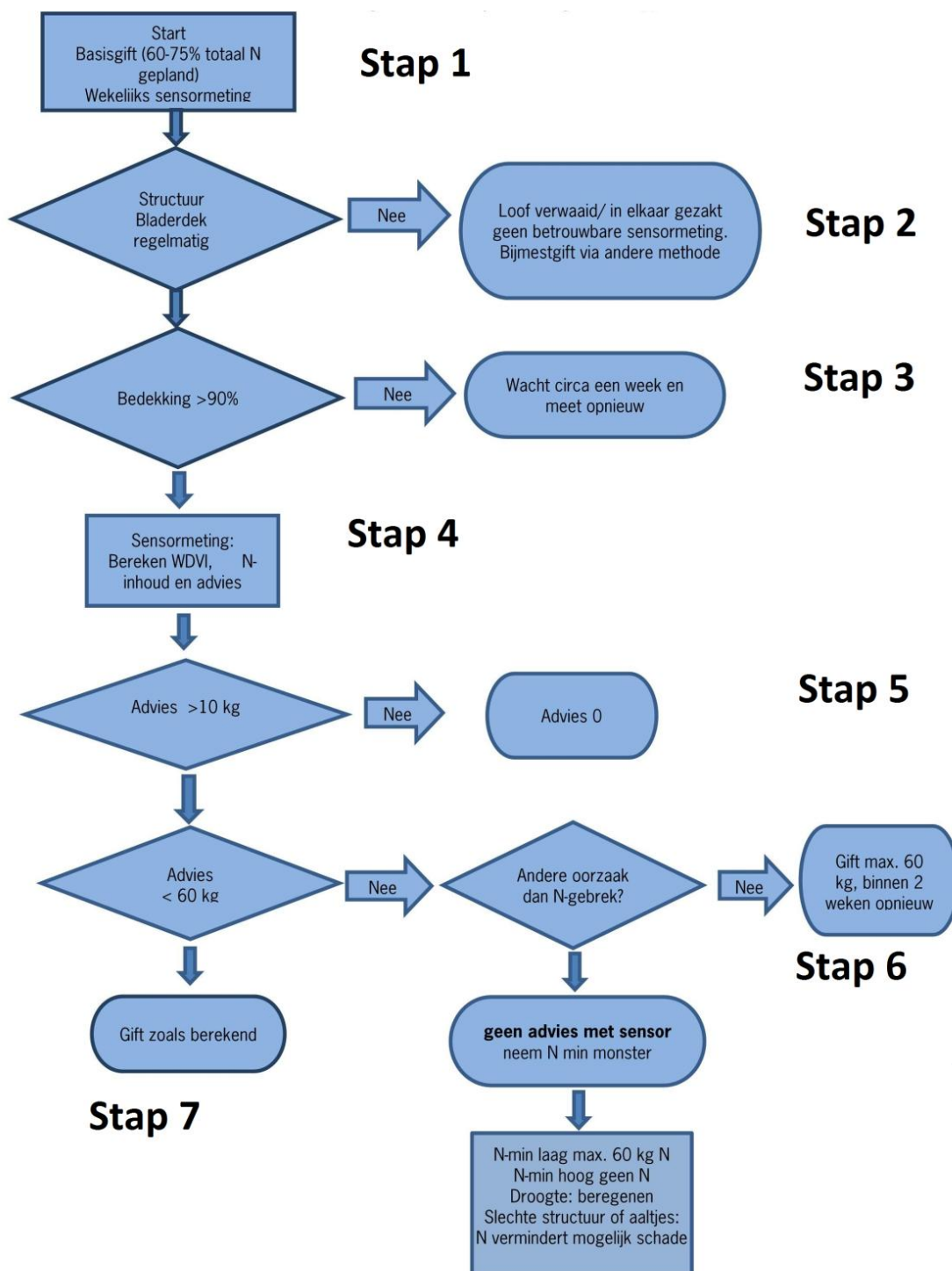
3.4.1 Systeem van Booij toepassen

In deze paragraaf wordt beschreven hoe het systeem van Booij in de praktijk kan worden toegepast. Dankzij enkele aanbevelingen afkomstig van het rapport “Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen” wordt er iets afgeweken van het door Booij ontwikkelde systeem.

Het bijmestadviesstelsel in aardappel volgens Booij kent drie stappen:

- Sensormeting van de gewasreflectie en het daaruit afleiden van een vegetatie index (WDVI)
- Afleiden van N-opname uit de vegetatie index met behulp van een ijklijn.
- Vaststellen van de stikstofbijmestgift op basis van een streefwaarde.

In figuur 3.3 wordt met behulp van een schematisch stroomschema aangegeven hoe het systeem van Booij kan worden toegepast. Vervolgens worden de stappen toegelicht:



Figuur 3.3

Stroomschema
systeem van
Booij

Stap 1

Het bijmeststelsel maakt deel uit van de totale stikstofadvies in de aardappelteelt. Bij een bijmeststelsel wordt de totale gift verdeeld over basisbemesting en bijbemesting. Aan de basis wordt in de regel ca. 2/3 deel van de adviesgift volgens de N-richtlijn toegediend. De benodigde bijmestgift is afhankelijk van teeltdoel, ras, bodemeigenschappen en overige groeiomstandigheden en kan variëren van niets tot wel 100 kg N per ha.

Stap 2

Om een betrouwbare sensormeting uit te voeren is het van belang dat het loof niet verwaaid of in elkaar gezakt is. De reflectiewaarde zal op deze plekken een onjuiste N-schatting weergeven.

Stap 3

De begrenzing van de bodembedekking <90% is afgeleid van de resultaten van onderzoek. In de praktijk begint men, om verschillende praktische redenen, echter wel in een vroeger stadium met het bijmesten met stikstof: bij begin knolzetting, bij de laatste keer aanaarden op zand vóór gewassluiting, na periode met overvloedige neerslag met risico van N-uitspoeling. Het vaststellen van de stikstofinhoud aan de hand van sensormetingen en WDWI is wel mogelijk in vroege gewasstadia maar streefwaarden zijn daarvoor niet vastgesteld. Een opname met een gewassensor levert dan wel een beeld van de regelmaat van de N-opname door het gewas op het perceel. Maar de teler moet zelf een gift vaststellen.

Stap 4+5

In dit stadium kan met behulp van de gewassensor een betrouwbaar N-advies worden gegeven. Met behulp van de gemeten WDWI waarde wordt gekeken of de streefwaarde (200 kg N ha) is bereikt. $N\text{-advies} = N\text{streefwaarde} - N\text{-gemeten}$. Wanneer uit de berekening een N-advies van 10 kg N ha blijkt, is het bijmesten volgens Booi niet rendabel en volgt er een advies 0 kg N. Met behulp van een excelbestand kan deze N-bijbemesting eenvoudig berekend worden.

Stap 6

Wanneer er een N-advies van meer dan 60 kg N ha wordt berekend, bestaat de kans dat overige stress factoren de beperkende factor zijn. (vocht, ziektes enz.) Zijn deze factoren uit te sluiten, dien het berekende N-advies dan toe in periodes van twee weken met een max. gift van 60 kg N ha.

Stap 7

Zorg dat het N-advies wordt berekend in een excel bestand, waarbij de juiste coördinaat aan het juist N-advies is gekoppeld. Vervolgens kan er met behulp van verscheidene software (GIS-software, SMS, Farmworks) een taakkaart gemaakt worden, door het excel bestand te importeren. Vervolgens kan met behulp van deze taakkaart een spuit of strooier aangestuurd worden.

(van Evert, van der Schans, Mada, van den Berg, van Geel, & Nammen Jukkema, 2011)

3.5 Praktische toepasbaarheid bijmesten op basis van gewassensoren

Onderzoeken van Remmie Booij hebben bewezen dat NBS op basis van gewassensoren betrouwbaar genoeg is om in de praktijk toe te passen. In vrijwel geen enkel onderzoek is er opbrengstvermindering geconstateerd, maar werd er wel aanzienlijk stikstof bespaard. Het systeem van Booij is gebaseerd op de WDVlgreen- index. Beschikbare gewassensoren die te bevestigen zijn aan een machine of voertuig meten vaak standaard de NDVI-index. Uitgezocht zal moeten worden of deze sensoren met hun bandbreedtes ruimte bieden om de WDVlgreen te berekenen. Indien dit mogelijk is zal deze WDVlgreen waarde kritisch vergeleken moeten worden met de WDVlgreen van de Cropscan aangezien er signalen zijn dat hier verschil in kan zitten.

Een teler heeft naast het systeem van Booij ook de mogelijkheid om met behulp van zijn biomassakaart (NDVI, NDRE, WDVl enz.) naar eigen inzicht een taakkaart te maken. Iedere gewasindex meet verschillen in een gewas en kan dit uitzetten in een kaart. Deze verschillen kunnen omgezet worden in een taakkaart. Een risico is dat niet elk verschil een stikstofgebrek is.

Echter kan de teler vaak op basis van zijn kennis en ervaring stressgebieden verklaren. De teler kan bijvoorbeeld overwegen om op plekken waar bijvoorbeeld een bietenbult heeft gelegen juist geen extra bemesting te geven omdat hij weet dat dit een structuur probleem is.

4 Welke vormen van besparingen zijn er mogelijk met behulp van gewassensoren in de aardappelteelt en in welke mate?

Zoals in hoofdstuk twee beschreven, meten gewassensoren op verschillende bandbreedtes de reflectie van een gewas. Met behulp van deze gemeten waardes en enkele algoritmes die ruis van bijv. de bodem wegfilteren, berekend de sensor één of meerdere gewasindexen. Deze gewasindices zeggen iets over de vitaliteit, de hoeveelheid biomassa en bij aardappels iets over de hoeveelheid stikstof in het gewas. Met behulp van deze gemeten variatie binnen een perceel kan er een variabele dosering plaatsvinden. Een voorbeeld hiervan is het variabel bemesten met het systeem van Booij dat in het voorgaande hoofdstuk is behandeld. Dit hoofdstuk analyseert de besparingen die met behulp van gewassensoren te behalen zijn.

4.1 Besparing meststoffen

In het rapport “Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen” wordt het systeem van Booij uitvoerig onderzocht. In dit rapport worden verscheidene praktijkproeven beschreven waarin het systeem van Booij wordt onderzocht en aanzienlijke stikstofbesparingen worden aangetoond.

Het systeem van Booij werd in 2002 en 2003 getest in de zetmeelaardappel op een zandgrond te Rolde (Drenthe). Er werden drie N- bijbemestingsystemen vergeleken bij het ras Seresta en Mercator. Deze bestonden uit het systeem van Booij, aardappelmonitoring en de conventionele N-bemestingsrichtlijn. Er was een reeks vaste N-trappen aangelegd om (achteraf) de daadwerkelijke optimale N-gift onder de gegeven groeiomstandigheden te kunnen afleiden. Uit dit onderzoek is gebleken dat aardappelmonitoring en het systeem van Booij vrijwel hetzelfde advies uitbrengen. Met behulp van deze twee systemen werd in 2002 voor Seresta 40kg en voor Mercator 15kg N/ha bespaard. In 2003 was dit voor Seresta 65kg en Mercator 25kg N/ha vergeleken met het conventionele systeem dat de N-bemestingsrichtlijn hanteert. Uit deze resultaten zijn per jaar relatieve verschillen op te merken. De daadwerkelijke besparing op toegediende N is dus afhankelijk van mineralisatie, uitspoeling en de ontwikkeling van het gewas en zal dus niet ieder jaar even groot zijn. Een groep onderzoekers van het programma precisielandbouw(PPL) beweert dat op basis van de uitgevoerde praktijkproeven een gemiddelde besparing van 30kg N /ha realistische is. (PPL & ZLTO, 2013) (van Evert, van der Schans, Mada, van den Berg, van Geel, & Nammen Jukkema, 2011)

4.2 Besparing gewasbeschermingsmiddelen

Zoals in dit rapport eerder beschrijven is, kunnen gewassensoren onder andere de hoeveelheid biomassa van een gewas in kaart brengen. Bij bepaalde gewasbeschermingsmiddelen, in onder andere aardappelen, is de dosering afhankelijk van de hoeveelheid “loof” (biomassa). Theoretisch gezien kan er op een plek waar veel biomassa gemeten wordt een hogere dosering toegediend worden en vervolgens op een plek met een lage biomassa een lagere dosering.

In het rapport “Modellen en beslisregels voor variabel doseren van gewasbeschermingsmiddelen op basis van variatie in bodem en gewas” is onderzoek gedaan naar het variabel doseren van gewasbeschermingsmiddelen op basis van gewassensoren. Dit onderzoek werd ondersteund door onder andere een praktijkproef. In dit rapport is onder andere bewezen dat het variabel doseren van gewasbeschermingsmiddelen tot een middelbesparing kan leiden. (Kempenaar, Heijting, Kessel, Michielsen, & Wijnholds, 2013)

4.2.1 Toepassing variabel doseren gewasbeschermingsmiddelen

Gewasbeschermingsmiddelen zijn onder te verdelen in verschillende groepen en worden aangegeven met verschillende codes. In tabel 4.1 worden de groepen weergegeven die geschikt zijn om op basis van de hoeveelheid biomassa te doseren. De groep F2 is enkel in combinatie met een ziektesensor inzetbaar.

Tabel 4.1: Geschikte gewasbeschermingsmiddelen die o.b.v. biomassa gedoseerd kunnen worden

Code	Omschrijving	Benodigde parameters/sensoren /historische data	Voorwaarden aan techniek, resolutie	Opmerkingen
F-1	Fungiciden, voornamelijk contactwerking, inzet preventief	Biomassa-sensor	Gering, vanaf < 50 m ²	Ziekte waarschuwingssysteem vereist, weer-, gewas- en rasspecifiek
F-2	Fungiciden, voornamelijk systemische werking, inzet curatief	Biomassa-sensor + ziektesensor	Gemiddeld tot groot, vanaf < 10 m ² , liefst < 1 m ²	Ziekte-waarschuwingssysteem vereist, weer-, gewas- en rasspecifiek
G	Groeiregulatoren	Biomassa-sensor	Gering, vanaf < 50 m ²	Weer heeft enig effect op werking, gewas- en rasspecifiek
H-1	Loofdoodmiddelen	Biomassa-sensor of -kaart	Gering, vanaf < 50 m ²	Weer heeft enig effect op werking, gewas- en rasspecifiek

Onder leiding van Corné Kempenaar is een systeem ontwikkeld om deze middelen variabel te doseren aan de hand van de gemeten biomassa, uitgedrukt in de WDWI of NDVI. Uit onderzoek is gebleken dat er een lineair verband bestaat tussen de hoeveelheid biomassa en de hoeveelheid middel. Dit verband is uitgedrukt in de volgende formule:

$$\text{Dosis}(\text{min, max, specificatie}) = a * x + b.$$

Waarbij geldt:

Dosis= dosering in aantal L/ ha

X= de gewasindexwaarde in NDVI of WDWI

A en B= Stijlheid en ligging lineaire verband (middel en situatie specifiek).

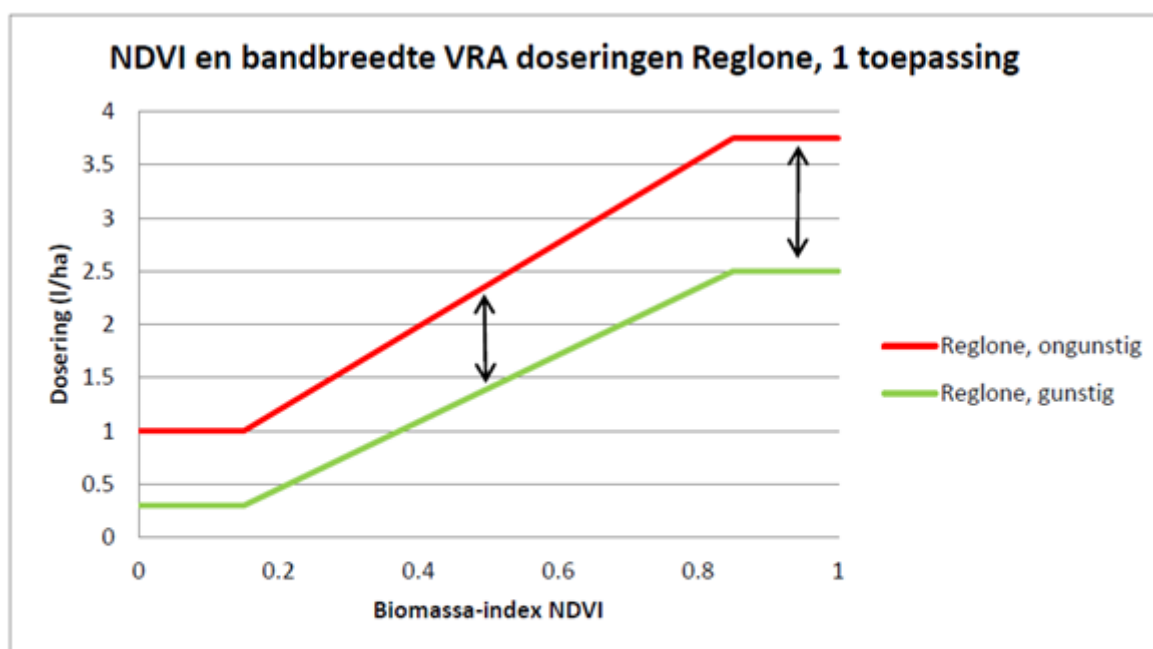
De waardes A en B geven het gebied aan waarin gevarieerd gaat worden. Dit gebied is per middel verschillend en zegt iets over de hoeveelheid risico die het met zich mee brengt. Wanneer 2% van een aardappelgewas net te weinig loofdodingsmiddel heeft gekregen, geeft dit weinig zorgen. Een phytoftora bespuiting waarbij 2% onvoldoende middel heeft opgenomen, kunnen veel grotere gevolgen veroorzaken. Naast de type middelen is de ziektedruk afhankelijk van het te variëren gebied. In tabel 4.2 zijn voor enkele middelen de A en B waardes weergegeven die toegepast kunnen worden. Voor het middel Reglone is er tevens onderscheid gemaakt voor een gunstige situatie (g) en een ongunstige situatie (o).

Tabel 4.2 toe te passen A en B waardes per middel

Middel/ specificatie	Actieve stof (gehalte)	Min. dosis [l prod./ha]	Max. dosis [l prod./ha]	a (r.c.) [-]	b (intercept) [-]
Reglone/o	Diquat dibromide	1,0	3,75	3,93	0,41
Reglone/g	Diquat dibromide	0,3	2,5	3,14	0,17
Shirlan/o	fluazinam	0,2	0,4	0,29	0,16
Revus/o	Mandipropamid	0,3	0,5	0,43	0,24
CECECE/o	Chloormequat	0,45	0,75	0,75	0,08

* De middelen waar alleen data voor ongunstige situaties gepresenteerd worden behoeven verder onderzoek om beslisregels op maat te ontwikkelen. Voor mandipropamid wordt dit in 2013 opgepakt in een nieuw project.

Door de juiste waardes in de formule **Dosis(min, max, specificatie) = a * x + b** toe te passen ontstaat de volgende grafiek zoals in figuur 4.1.



Schematische weergave van de relatie tussen NDVI en dosering van Reglone bij loofddoding in aardappel, bij toepassing van het basismodel $Dosis = a \cdot x + b$, met parameters zoals weergegeven in tabel 4.2. Specificatie: één bespuiting bij een ongunstige of gunstige situatie. De pijlen geven bandbreedtes VRA aan.

Figuur 4.1 toepassing Dosis-formule voor Reglone uitgedrukt in een grafiek.

Deze formules zijn met bepaalde GIS- Pakketen zoals SMS en Farmworks in te voeren. Deze software kan vervolgens met behulp van de WdVI of NDVI-kaart een taakkaart berekenen. Deze taakkaart kan met een relatief moderne veldspuit (of ander werktuig) ingeladen worden, waardoor een variabele dosering realiseerbaar is. Voor de YARA N-sensor heeft C. Kempenaar zelfs een softwareprogramma ontwikkeld, waarmee direct (online) tijdens het meten een variabele dosering berekend kan worden (zonder taakkaart). De verwachting is dat deze software ook voor overige gewassensorsystemen ontwikkeld gaat worden.

Let wel dat de nauwkeurigheid bij de meest gangbare veldspuiten afhankelijk is van de spuitbreedte. Hoe breder de boom, hoe groter minder er in een perceel valt te variëren. Bepaalde fabrikanten en onderzoekers zijn echter bezig met de ontwikkeling van een per dop te doseren systeem. (Kempenaar, et al., 2010)

4.2.2 Besparing gewasbeschermingsmiddel

Van den Borne Aardappelen, koploper op het gebied van precisielandbouw in de Nederlandse aardappelteelt, beweert een reductie van 50% middel Reglone te besparen tijdens het loofdoden met behulp van zijn gewassensoren. Plekken waar weinig biomassa werd gemeten kregen minder middel dan plekken waar veel biomassa werd gemeten. Of van den Borne gebruik heeft gemaakt van de hiervoor beschreven waardes (A en B) is onbekend. Er zal echter zeker een boven en een onderwaarde zijn vastgesteld. Echter bij variabel doseren van middelen gaat het niet alleen om meewegen van ruimtelijke variatie van één factor. Belangrijke factoren in deze zijn ook klimaat, gewas- en ras-eigenschappen, populatie-eigenschappen van de ziekte of plaag en effecten van toedieningstechniek. Deze factoren dienen ook te worden meegewogen in beslisregels. Als dat niet kan, dient een grotere veiligheidsmarge ingebouwd te worden in de beslisregel, waardoor de besparing minder zal zijn. Corné Kempenaar beweert tijdens zijn interview dat een gemiddelde besparing van 30% middel realistisch is. (Van den Borne, 2011) (Kempenaar C. , 2015)

5 Welke effecten hebben gewassensoren op de opbrengst van de zetmeelaardappelteelt?

Zoals in de voorgaande hoofdstukken naar voren is gekomen, kunnen gewassensoren met behulp van gewasreflectie een redelijke indicatie geven van de vitaliteit, de biomassa en het stikstofgehalte van een aardappelgewas. Op basis van deze data kan er een plaatsspecifiek dosering uitgevoerd worden. Dit hoofdstuk zal onderzoeken of het ook mogelijk is om dankzij deze plaatsspecifieke dosering de opbrengst van de zetmeelaardappelen te verhogen.

5.1 AVEBE onderzoek

Sinds de ontkoppeling van de zetmeelaardappelteelt in het kader van het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid is de concurrentiepositie van deze teelt sterk veranderd. Voor de AVEBE werd het hierdoor interessant om het saldo van deze teelt te verbeteren. De AVEBE heeft dan ook geïnvesteerd in een praktijkonderzoek naar opbrengstverhoging in de zetmeelaardappelteelt en heeft dit gepubliceerd in het rapport “Zetmeelaardappelteelt: Op naar 20 – 15 – 10”

5.1.1 Opbrengst factoren

Experts geven aan dat het huidige productiepotentieel in de zetmeelaardappelteelt nog onvoldoende wordt benut. Op basis van het huidige klimaat is in Nederland een opbrengst van 100ton aardappelen mogelijk. Dit is in 1982 door dr. D.E. van der Zaag al eens berekend. Hiervoor is echter nodig een “Ideaalgewas”. (van der Zaag, 1982)

Een ideaalgewas kenmerkt zich door:

1. Opkomst begin mei
2. Gewas gesloten ± 10 juni
3. Knolaanleg eerste helft juni
4. Gesloten groen bladerdek tot eind augustus
5. Enigszins gesloten bladerdek in september, ongeveer 65% grondbedekking
6. Geen tekort aan vocht gedurende het groeiseizoen
7. Geen ziekten en plagen.

5.1.2 Praktijkonderzoek

Met behulp van deze feiten is in 2012 een groep van 9 telers met elkaar aan de slag gegaan en hebben elkaars percelen het hele seizoen gevolgd. Er zijn een groot aantal extra waarnemingen gedaan en vervolgens zijn alle gegevens statistisch verwerkt om te analyseren hoe verschillen in zetmeelopbrengst kunnen worden verklaard. (Kennisakker)

5.1.3 Uitkomst onderzoek

Uit dit praktijkonderzoek is gebleken dat pootgoedkwaliteit een zeer belangrijke factor is en sterke invloed heeft op de opbrengst van het gewas. Er lijken ook duidelijke correlaties te zijn tussen het aantal dagen grondbedekking van minimaal 75% en de gerealiseerde zetmeelopbrengst, dit aantal dagen is echter ook sterk weersafhankelijk en dus moeilijk te beïnvloeden. (Wijnholds, 2012)

5.2 Beregenen zetmeelaardappelen

Het beregenen van zetmeelaardappelen kan een sterke bijdrage leveren bij het verhogen van de opbrengst binnen de zetmeelaardappelteelt. Het beregenen draagt ook bij aan het punt zes van een “ideaal gewas”

Een regelmatige vochtvoorziening van het gewas met behulp van beregening kan het optreden van groeischeuren en andere knolmisvormingen (bijvoorbeeld als gevolg van doorwas) sterk beperken. Daarnaast neemt het knolaantal per plant toe, indien er op tijd wordt beregend. Gewone schurft, veroorzaakt door de actinomyceet *Streptomyces scabiei*, kan goed worden bestreden door de grond in de rug vanaf het begin van de knolaanleg gedurende drie weken vochtig te houden wat opbrengstreductie beperkt. Het onderwatergewicht van zetmeelaardappelen is als gevolg van beregening ook iets hoger dan zonder beregening. Het door de WUR uitgevoerde vijfjarige onderzoek “Watersense”, heeft uitgewezen dat met behulp van beregenen een opbrengsterhoging tot 6% mogelijk is. Echter is het per teler belangrijk te berekenen of het rendabel is ten op zichte van de kosten. (Wageningen UR, 2012) (kennisakker, 2010)

5.3 Opbrengstverhoging op basis van gewassensoren

In het onderzoek “Sensorgestuurde advisering van Stikstof bijbemesting in aardappelen” uitgevoerd door PPO Wageningen, is onderzoek gedaan naar verscheidene stikstof-ijklijnen voor gewassensoren. Dit rapport is onderteund door praktijkproeven op vijf verschillende locaties in Nederland.

Uit de resultaten van deze praktijkproeven werden per locatie verschillende waarnemingen gedaan op het gebied van opbrengst. Op de ene locatie werd bij een gewassensor stikstofbemestingssysteem een lichte opbrengstverhoging waargenomen, een andere locatie gaf juist een lichte opbrengstverlaging en nog weer een andere locatie gaf geen opbrengstverschil weer. Aan de hand van dit rapport wordt dan ook geconcludeerd dat opbrengstverhoging aan de hand van gewassensoren nog niet bewezen kan worden. Een oorzaak kan zijn dat de tot nu toe ontwikkelde stikstof bijbemestingsystemen juist sturen op een opbrengstpotentie en aan de hand van deze opbrengstpotentie stikstof bijbemesten. (Ros, Ouwehand, Van der Draai, & Bussink, 2012)

Volgens verscheidene rapporten en deskundigen valt er nog relatief veel winst te behalen op het gebied van opbrengstverhoging binnen de zetmeelaardappelteelt. De kwaliteit van het pootgoed, het moment van bemesten en de vochtvoorziening kunnen een behoorlijke invloed uitoefenen op de opbrengstresultaten. Met de huidige kennis en technieken kan er echter niet bewezen worden dat gewassensoren tot een opbrengstverhoging in de zetmeelaardappelteelt kunnen leiden. (Haak, 2015)

6 Op welk moment kunnen gewassensoren de zetmeelaardappelteler een financieel voordeel leveren ?

In deze analyse wordt met behulp van de opgevraagde bedragen, bronnen en ervaringen een analyse uitgevoerd naar de economische meerwaarde van gewassensoren.

Zoals in hoofdstuk twee beschreven, ligt de nadruk in dit rapport op near-sensing gewassensoren. Dit houdt in dat de satellietbeelden, handheld sensoren en de met spectrale-camera verbonden vliegtuigjes of drones, verder buiten beschouwing worden gelaten. Het gebruik van near-sensing kan gecombineerd worden met een veldbewerking, waarbij de sensoren op het voertuig of werktuig bevestigd kunnen worden. Hierdoor kan de gebruiker zonder extra handelingen zijn sensordata regelmatig verzamelen. Naast deze praktische reden is near-sensing nog veruit betrouwbaarder en exacter ten opzichte van satellieten. Mogelijk dat de technische ontwikkeling van de spectrale sensoren dit in de toekomst zullen veranderen. Hoewel vliegtuigjes of drones een gedetailleerde metingen in kaart kunnen brengen, zijn er momenteel nog belemmeringen op het gebied van wet- en regelgeving. Er bestaat een kans dat gespecialiseerde bedrijven deze metingen in de toekomst als dienst gaan uitvoeren voor een akkerbouwer.

6.1 Kosten gewassensoren

Het spreekt vanzelf dat het gebruik van gewassensoren een bepaalde investering met zich meebrengt. Near-sensing gewassensoren zijn, afhankelijk van het merk en type, gemonteerd op het voertuig of werktuig zodat de sensor op veel plekken kan meten en dit kan combineren met een veldbewerking. Om de gemeten gewasreflectie te koppelen aan een locatie is het een vereiste dat het voertuig of werktuig voorzien is van een GPS-antenne. Voor dit doeleind is een DGPS correctie-sigitaal (<30cm nauwkeurig) voldoende. Echter, een groot deel van de akkerbouwers is vaak al voorzien van een RTK-gps systeem (<3cm nauwkeurig) voor onder andere nauwkeurige zaai- en pootwerkzaamheden, waardoor deze antenne gebruikt kan worden voor het “loggen” van gewasdata. Afhankelijk van het merk sensor kan de bestaande GPS-terminal gebruikt worden om de data te loggen.

Voor deze analyse is er gekozen om een GPS- terminal en de gewassensoren in de berekening mee te nemen, waardoor er een relatieve merkonafhankelijke vergelijking plaatsvindt. In bepaalde combinaties zou het investeringsbedrag lager kunnen zijn omdat de gebruiker al over een geschikte GPS-terminal beschikt.

In tabel 6.1, 6.2 en 6.3 worden voor de drie meest commerciële gewassensoren in Nederland een berekening uitgevoerd, die de jaarlijkse kosten weergeven. Vervolgens zal er in tabel 6.4 voor deze sensoren een gemiddeld bedrag worden berekend. Met deze gemiddelde jaarlijkse kosten zal er in de laatste paragraaf worden berekend wanneer de kosten tegen de besparingen op kunnen en of er een break-even-point ontstaat.

6.1.1 Investerings OptRx sensoren



Figuur 6.1 Ag Leader OptRx

Tabel 6.1 Berekening jaarlijkse kosten OptRx (Nagel, 2015) (Kempenaar & Etc., 2010) (Rijksoverheid)

OptRx		
Vervangingswaarde		€ 12.986,00
sensormod.+ kab.	€ 8.327,00	
terminal incl. kabels	€ 4.659,00	
Restwaarde	0	
subsidies	13,5 % MIA	€ 1.753,11
	E.v.t. tot 75% vers. afschrijven (VAMIL)	
aanschaffkosten		€ 11.232,89
Afschrijving (10 jaar)	10%	€ 1.123,29
Onderhoud + verzekering	2,00%	€ 224,66
Rente	3,00%	€ 336,99
Totale jaarlijkse kosten		€ 1.684,93

Toelichting

Set bestaat uit twee OptRx actieve sensoren die vrijwel op elke constructie gemonteerd kunnen worden. In de praktijk worden de sensoren vaak aan de spuitboom of aan de frontheef van het voertuig gemonteerd. Het is van belang dat de sensor vlak en circa. op 80cm hoogte van het gewas wordt gemonteerd. De benodigde terminal is daarnaast geschikt voor ISOBUS, waardoor er eventueel op een strooi of spuitterminal bespaard kan worden. (niet meegenomen in berekening) (Nagel, 2015)

**In elke berekening wordt de nieuwwaarde (vervangingswaarde) genomen aan de hand van de opgevraagde BRUTO- prijzen. Uit gesprekken met verschillende leveranciers blijkt dat een levensduur van 10 jaar reëel is. Voor het gemak wordt er in elke berekening gerekend met een restwaarde van € 0,00.*

In elke berekening wordt aangenomen dat er gebruik gemaakt wordt van de MIA- subsidieregeling waardoor 13,5% (B2326 Milieulijst) van het investeringsbedrag afgetrokken kan worden van de belasting. Daarnaast bestaat er nog de mogelijkheid om gebruik te maken van de VAMIL-regeling, waardoor de ondernemer tot 75% versneld kan afschrijven. Dit is echter sterk bedrijfsafhankelijk en maakt de afschrijvingsberekening te complex, waardoor de VAMIL-regeling in deze berekening buiten beschouwing is gelaten. Voor meer informatie over de MIA en VAMIL- regeling:

<http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/rekenvoorbeelden-miavamil-uw-voordeel>

6.1.2 Investerings YARA N-sensor



Figuur 6.2 YARA N-sensor

Tabel 6.2 Berekening jaarlijkse kosten YARA (Raijmakers, 2015) (Kempenaar & Etc., 2010) (Rijksoverheid)

YARA N-sensor passief (geen lichtbron)		
Vervangingswaarde		€ 18.000,00
seniore+ kabels	€ 16.800,00	
terminal	€ 1.200,00	
Restwaarde	0	
subsidies	13,5 % MIA	€ 2.430,00
	E.v.t. tot 75% vers. afschrijven (VAMIL)	
aanschafkosten		€ 15.570,00
Afschrijving (10 jaar)	10%	€ 1.557,00
Onderhoud + verzekering	2,00%	€ 311,40
Rente	3,00%	€ 467,10
Totale jaarlijkse kosten		€ 2.335,50

Toelichting

De YARA-sensor is ontworpen om op het dak van de tractor te plaatsen. De sensor meet circa drie meter links en rechts van het voertuig en middelt deze vervolgens. Naast de passieve sensor beschikt YARA ook over een actieve sensor (met lichtbron). Gezien de goede ervaring met de passieve sensor, het enorme prijsverschil (actieve sensor >30.000) en de relevantie van de analyse wordt de passieve sensor in beschouwing genomen. Dit beperkt de gebruiker tot enkel met daglicht te kunnen meten.

De sensor maakt gebruik van een Windows- besturingssysteem, waardoor eventueel ook andere terminals gebruikt kunnen worden. Daarnaast ondersteunt momenteel alleen de YARA N-sensor softwareprogramma's voor onder andere loofdoordmiddelen, ontworpen door C. Kempenaar, die met een paar drukken op de knop een betrouwbare variabel gift-advies weergeeft. (Raijmakers, 2015)

6.1.3 Investerings Greenseeker sensoren



Figuur 6.3
Trimble Greenseeker

Tabel 6.3 Berekening jaarlijkse kosten Greenseeker (van Kampen, 2015) (Kempenaar & Etc., 2010) (Rijksoverheid)

Greenseeker		
Vervangingswaarde		€ 13.000,00
sensor+kabels	€ 11.000,00	
terminal	€ 2.000,00	
Restwaarde	0	
subsidies	13,5 % MIA	€ 1.755,00
	E.v.t. tot 75% vers. afschrijven (VAMIL)	
aanschafkosten		€ 11.245,00
Afschrijving (10 jaar)	10%	€ 1.124,50
Onderhoud + verzekering	2,00%	€ 224,90
Rente	3,00%	€ 337,35
Totale jaarlijkse kosten		€ 1.686,75

Toelichting

De Greenseeker is verkrijgbaar vanaf een set van vier actieve sensoren (zie berekening). Met behulp van vier sensoren ten opzichte van twee sensoren wordt er bij vier sensoren een homogenere verdeling van meetpunten gecreëerd wat een betrouwbaarder resultaat levert. In deze berekening is een terminal opgenomen die draait op Windows mobile™, hierdoor is deze terminal ongeschikt voor ISOBUS toepassingen en/ of te gebruiken als GPS-rechtrij terminal.

6.1.4 Jaarlijkse kosten

Tabel 6.4 Berekening Jaarlijkse kosten.

Jaarlijkse kosten gewassensor

Totale jaarlijkse kosten OptRx	€ 1.684,93
Totale jaarlijkse kosten YARA	€ 2.335,50
Totale jaarlijkse kosten Greenseeker	€ 1.686,75
Totale jaarlijkse kosten gemiddeld	€ 1.902,39

Toelichting:

Om de economische meerwaarde van gewassensoren te bepalen moet er van een gemiddeld bedrag uitgegaan worden. Er is daarom gekozen om van deze drie sensoren de gemiddelde jaarlijkse kosten te beschouwen.

6.2 Economische besparing gewassensoren

In voorgaande hoofdstukken is beschreven hoe er met behulp van gewassensoren gevarieerd kan worden op de gift van kunstmest en gewasbeschermingsmiddelen. Met behulp van verscheidene systemen kan aan de hand van de gemeten gewasindex een gift gekoppeld worden. In deze hoofdstukken is onderzocht dat er met behulp van deze systemen zowel op kunstmest als op verscheidene soorten gewasbeschermingsmiddelen bespaard kan worden. In deze paragraaf worden deze besparingen aan de hand van KWIN getallen omgezet in euro's die per hectare bespaard kunnen worden.

6.2.1 Besparing kunstmest

De berekening in tabel 6.5 zien dat met behulp van gewassensoren een bedrag van **€ 32,40** per hectare bespaard kan worden aan kunstmest.

Tabel 6.5 Besparing op bemesting

Bemesting					
kunstmeststoffen	norm. Hoeveelheid in kg	perc. besparing	besparing in kg	prijs per kg	besparing in euro's
Kalkammonsalpeter	239	13%	30	€ 1,08	€ 32,40
triplesuperfosfaat	55	0%	0	€ 0,97	€ -
Kali 602. (chloorhoudend)	110	0%	0	€ 0,60	€ -
Totale besparing bemesting per Ha					€ 32,40

Toelichting:

De "normale hoeveelheid product gegevens" en de "prijs per kg" product zijn afkomstig van de KWIN zetmeelaardappelen 2012 (zie bijlage 1). PPL beweert in één van haar publicaties dat bij praktijkbemesting een gemiddelde besparing van 30kg N/ha haalbaar is. Dit resulteert bij zetmeelaardappelen tot een besparing van 13% op Kalkammonsalpeter. Overige meststoffen zoals kali en fosfaat zijn ongeschikt om variabel te doseren. De gewassensor meet voornamelijk het stikstofgehalte van een gewas, waardoor hier een variabele dosering op toegepast kan worden. (Wageningen, 2012) (PPL & ZLTO, 2013) (van Evert F., 2015)

6.2.2 Besparing gewasbeschermingsmiddelen

Tabel 6.6 laat met behulp van een berekening zien dat met gewassensoren een bedrag van **€ 93,15** bespaard kan worden op gewasbeschermingsmiddelen.

Tabel 6.6 Besparing gewasbeschermingsmiddelen

Gewasbeschermingsmiddelen					
middelen	norm. Hoeveelheid in kg of L	perc. besparing	besparing in kg of L	prijs per kg of L	besparing in euro's
glufosinaat-amonium (L)	3	30%	0,9	€ 23,00	€ 20,70
mancozeb, benth.-isopropyl (kg)	23	30%	6,9	€ 10,50	€ 72,45
besparingsnorm Kempenaar	30%	Totale besparing middel per Ha			€ 93,15

Toelichting:

In hoofdstuk vier is behandeld welke middel categorieën geschikt zijn om op basis van gewassensoren te doseren. Vervolgens werden deze categorieën weergegeven in tabel 4.1. Met behulp van de KWIN data voor gewasbeschermingsmiddelen in de zetmeelaardappelteelt en deze betreffende tabel konden de geschikte middelen achterhaald worden. Hieruit is gebleken dat glusofinaat-amomium, een loofdodingsmiddel(H1) geschikt is om variabel te doseren. Daarnaast is “mancozeb, benthiavalicarb- isopropyl “, een preventieve fungicide, ook geschikt om op basis van biomassa te doseren. (Wageningen, 2012) (Plant, 2015) (Kempenaar, Heijting, Kessel, Michielsen, & Wijnholds, 2013)

Uit het interview met Corné Kempenaar is gebleken dat er een aanname gedaan mag worden dat gemiddeld 30% op gewasbeschermingsmiddel bespaard kan worden, wanneer er op biomassa gevarieerd wordt (Kempenaar C. , 2015). Dit percentage is dan ook als uitgangspunt genomen in deze berekening. Bepaalde akkerbouwers, zoals van den Borne, beweren zelfs meer dan 50% op loofdodingsmiddelen te kunnen besparen.

6.3 Economische meerwaarde

In deze paragraaf wordt er nauw antwoord gegeven op de hoofdvraag, namelijk: *Welke economische meerwaarde hebben gewassensoren de Nederlandse zetmeelaardappelteelt te bieden?*

Er wordt een break-event-point berekend waarin wordt aangeven vanaf hoeveel hectare zetmeelaardappelen gewassensoren rendabel zijn. Vervolgens wordt er voor vijf verschillende bedrijfsgroottes berekend wat gewassensoren kunnen opleveren. Oftewel: “de economische meerwaarde”

6.3.1 Break-even-point

In tabel 6.7 zijn de totale besparingen op € 125,55 per hectare berekend. In de paragraaf investering gewassensoren is berekend dat gewassensoren per jaar gemiddeld € 1902,39 kosten. Door de besparing per hectare te delen door de jaarlijkse kosten ontstaat het break even point. Aan de hand van deze gegevens en berekeningen kan geconcludeerd worden dat gewassensoren theoretische gezien vanaf **15,2 hectare** zetmeelaardappel areaal een economische meerwaarde vormen voor de zetmeelaardappelteelt.

Tabel 6.7 totale besparingen en break-even-point

Totale besparing	
totale besparing bemesting per hectare	€ 32,40
Totale besparing middel per hectare	€ 93,15
totale besparing per hectare	€ 125,55
gem. jaarlijkse kosten sensor	€ 1.902,39
break even point	15,2

6.3.2 Financiële voordeel situatie schets

In tabel 6.8 zijn voor vijf bedrijfsgroottes een berekening uitgevoerd, waarin valt af te lezen hoeveel euro's per bedrijfsgrootte te besparen zijn en wat de economische meerwaarde kan zijn.

Tabel 6.8 economische meerwaarde per bedrijfsgrootte

areaal aardappels in hectares	besparing	economische meerwaarde
50	€ 6.277,50	€ 4.375,11
100	€ 12.555,00	€ 10.652,61
150	€ 18.832,50	€ 16.930,11
200	€ 25.110,00	€ 23.207,61
400	€ 50.220,00	€ 48.317,61

6.4 Discussie

In dit hoofdstuk is met behulp van verscheidene bronnen berekend dat gewassensoren bij meer dan 15,2 hectare zetmeelaardappelen een economische meerwaarde kunnen vormen. Om deze besparing uit te voeren zal er in de meeste gevallen een taakkaart gemaakt moeten worden. Dit zal het eerste jaar een aantal uren per week in beslag nemen. De hoeveelheid arbeid is lastig uit te drukken en is daarom ook niet meegenomen in deze berekening. Wanneer deze arbeid door berekend zal worden, zal dit invloed hebben op de economische meerwaarde. Aan de andere kant, een gemiddelde zetmeelaardappelteler heeft naast aardappelen ook vaak andere gewassen in zijn bouwplan. Gewassensoren kunnen naast de aardappelteelt ook in andere teelten toegepast worden, waardoor de economische meerwaarde zal stijgen. Volgens deskundigen kunnen gewassensoren in bijvoorbeeld de graanteelt een zeer goed hulpmiddel zijn om opbrengst te verhogen. (Agricon, 2015)

7 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksresultaten van de voorgaande hoofdstukken gereflecteerd. In totaal zijn er in vijf hoofdstukken de deelvragen onderzocht en zijn er resultaten naar voren gekomen. Aan de hand van deze resultaten zullen er naast het geven van conclusies enkele aanbevelingen gedaan worden richting de sector.

7.1 Conclusies

Wat is het principe van de huidige gewassensoren en welke sensoren zijn beschikbaar?

Gewassensoren maken gebruik van het lichtspectrum en meten hierbij de opgevangen lichtreflectie. Onderzoekers hebben een tal aan gewasindices ontwikkelt. Echter zijn de NDVI en WdVI gewasindices momenteel het meest toepasbaar.

Op welke wijze kan de hoeveelheid bemesting in de zetmeelaardappelteelt beïnvloed worden door gewassensoren?

De WdVI geeft naast een indicatie van de biomassa een goed beeld van de hoeveelheid bovengrondse stikstof van een aardappelplant. Hiermee is het mogelijk een bemestingsadvies te generen. Het systeem van Booij heeft hiervoor een NBS systeem ontworpen wat op basis van gewassensoren een bijmestadvies geeft. Met behulp van dit NBS systeem, kan er in de aardappelteelt gemiddeld 30kg N /ha bespaard worden op basis van gewassensoren. Het systeem van Booij hanteert de WdVlgreen index, gemeten met de CropScan. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of commerciële gewassensoren deze gewasindex ook kunnen genereren.

Welke vormen van besparingen zijn er mogelijk met behulp van gewassensoren in de aardappelteelt en in welke mate?

Naast het doseren van bemesting, zijn ook bepaalde categorieën gewasbeschermingsmiddelen geschikt om op basis van gewasreflectie te doseren. Met behulp van een lineaire formule kan er een dosering berekend worden. Afhankelijk van de hoeveelheid risico en ziektedruk wordt de hoeveelheid besparing bepaald. Uit onderzoeken blijkt dat er van een gemiddelde besparing van 30% kan worden uitgegaan.

Welke effecten hebben gewassensoren op de opbrengst van de zetmeelaardappelteelt?

Hoewel de opbrengst van zetmeelaardappelen nog groeipotentie biedt, heeft nog geen enkel onderzoek kunnen aantonen dat gewassensoren hieraan een bijdrage kunnen leveren. Wel is bekend dat de kwaliteit van het pootgoed en een optimale vochtvoorziening de opbrengst aanzienlijk kunnen vergroten.

Op welk moment kunnen gewassensoren de zetmeelaardappelteler een financieel voordeel leveren ?

Er is berekend dat het gebruik van gewassensoren bij een areaal vanaf 15.2 hectare een financiële meerwaarde biedt. Hiermee is de onderzoeksvraag beantwoordt. Een zetmeelaardappelteler met een areaal van 100 hectare creëert dankzij gewassensoren een financiële meerwaarde van ruim €10.000 per jaar.

Hiermee is de onderzoeksvraag "Welke economische meerwaarde hebben gewassensoren de Nederlandse zetmeelaardappelteelt te bieden? " met een positieve uitkomst beantwoord.

7.2 aanbevelingen

Hoewel er uit dit onderzoek naar voren is gekomen dat gewassensoren een financiële meerwaarde kunnen vormen, zullen gewassensoren voor een aantal zetmeelaardappeltelers nog ongeschikt zijn. Er is veel computerkennis nodig om een juiste taakkaart te maken, wat naast deze kennis ook nog veel tijd vergt. De loofdodingssoftware van C. Kempenaar werkt eenvoudig met behulp van de YARA N-sensor en os met een paar drukken op de knop operationeel. Fabrikanten en teeltdeskundigen zullen met elkaar samen moeten werken en voor meerdere sensoren deze softwaremodules gaan ontwikkelen. Gebruiksgemak is voor een teler erg belangrijk, in het groeiseizoen is het druk en alles moet eenvoudig en snel kunnen werken. Daarnaast zal er nader onderzoek gedaan moeten worden naar de te generen gewasindices. Mogelijk dat fabrikanten hun bandbreedte zullen moeten aanpassen om meerdere gewasindices te kunnen berekenen. Het is realistisch om te zeggen dat binnen enkele jaren gewassensoren voor vrijwel elke akkerbouwer interessant en rendabel zijn. De puntjes moeten enkel nog even op de "i" gezet worden.

Bibliografie

- Agricon. (2015). *Wachstumsregler angepasst dosieren, Stress und Lager in kritischen Situationen vermeiden*.
- Akkerman, K. (2014, december). Ervaar de OptRx. (G. J. Giesberts, Interviewer)
- Blok, D. (2013). *Beter aardappels telen met gewassensing via onbemande vliegtuigjes*.
- CBS. (2015, maart). *Landbouw; gewassen, dieren en grondgebruik naar regio*.
- Deelnemers ervaar de OptRx. (2014). Praktijkgroep "ervaar de OptRx".
- Duisterwinkel, M. (2013). *Nitrogen sidedressing in seed potatoes on the basis of reflectance measurements and an advice system*.
- Haak, P. (2015). college aardappelgewassen. (K. Delaere, Interviewer)
- Kempenaar, C. (2015). Diepgaand interview. (K. Delaere, Interviewer)
- Kempenaar, C., & Etc. (2010). *Ontwikkeling prototype Sensispray in aardappel en tulp*.
- Kempenaar, C., Heijting, S., Kessel, G., Michielsen, J., & Wijnholds, K. (2013). *Modellen en beslisregels voor variabel doseren van gewasbeschermingsmiddelen op basis van variatie in bodem en gewas*.
- Kempenaar, C., Oosterhuis, H., van der Lans, A., van der Schans, D., Stilma, E., Hendriks, V., et al. (2010). *Ontwikkeling van het prototype van Sensispray in de gewassen aardappel en tulp*.
- kennisakker. (2010). *Teelthandleiding zetmeelaardappelen - berekening*.
- Kennisakker. (sd). *MOGELIJKHEDEN OPBRENGSTVERHOOGING ZETMEELAARDAPPELTEELT*.
- Krebbes, H. (2015, maart). (D. Koen, Interviewer)
- Nagel, L. (2015). (K. Delaere, Interviewer)
- Oosterhuis, J. (2008). *GPS in de akkerbouw op het Hogeland*. Opgehaald van Mijn van Dijk: <http://www.mijnnovandijk.nl/documenten/Projectverslag%20precisielandbouw.pdf>
- Plant, D. (2015). *Gewasbescherming Akkerbouw en Veehouderij*.
- PPL, & ZLTO. (2013). *Bijmesten aardappelen o.b.v. gewasreflectie*.
- Raijmakers, W. (2015). YARA. (K. Delaere, Interviewer)
- rijksoverheid. (2011, juni). *veertig miljoen euro voor duurzame en innovatieve landbouw*. Opgeroepen op maart 2015
- Rijksoverheid. (sd). *MIA/VAMIL*.
- Ros, G., & Bussink, G. (2012). *beslissingsondersteunende systemen*. onderzoek.

- Ros, G., Ouwehand, G., Van der Draai, H., & Bussink, B. (2012). *Naar de ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen voor het bijbemesten van gewassen*. onderzoek.
- Ros, G., Owehand, G., & Bussink, D. (2012). *Factoren en protocol voor inzetbaarheid sensoren*. NMI.
- UR, W. (2010). *Het wereld voedsel vraagstuk*. Opgeroepen op 2015, van Wagening UR.
- Van den Borne. (2011). *Van den Borne aardappelen*.
- Van der Schans, D., van Evertl, F., Malda², J., & Dorka-Vona², V. (2012). *Sensorgestuurde advisering van Stikstof bijbemesting in aardappel*.
- van Evert, F. (2015). besparing N aardappelteelt a.d.h.v. gewassensoren. (K. Delaere, Interviewer)
- van Evert, F., van der Schans, D., Mada, J., van den Berg, W., van Geel, W., & Nammen Jukkema, J. (2011). *Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen*.
- van Kampen, M. (2015). Agrometius. (K. Delaere, Interviewer)
- van Loon, K., & Hammink, H. (2014). *aardappelsignalen*. RoodBont.
- Wageningen UR. (2012). *Beregenen en bijbemesting bij zetmeelaardappelen niet altijd rendabel*.
- Wageningen, U. (2012). *KWIN-AGV*.
- Wijnholds, K. (2012). *Zetmeelaardappelteelt: Op naar 20 – 15 - 10*.
- Wilbert Hilken, D. K. (juni, 2012). *hightech agrosystems*. ABN AMRO.

Bijlage 1 KWIN zetmeelaardappelteelt

6.2.9 Zetmeelaardappelen

	Hoeveelheid Eenheid	Prijs Eenheid	Bedrag
hoofdproduct ¹⁾	43000 kg	0.07 €/kg	3010
BRUTOGELDOPBRENGST (a)			3010
UITGANGSMATERIAAL			
eigen pootgoed	2300 kg	0.18 €/kg	414
BEMESTING			
kalkammonsalpeter	239 kg N	1.08 €/kg	258
tripelsuperfosfaat	55 kg P ₂ O ₅	0.97 €/kg	53
kali 60 (chloorhoudend)	110 kg K ₂ O	0.60 €/kg	66
GEWASBESCHERMINGSMIDDELEN			
thiacloprid (480)	0.15 l	185 €/l	28
glufosinaat-ammonium (150)	3 l	23 €/l	69
lambda-cyhalothrin (100)	0.2 l	121.5 €/l	24
metribuzin (70%)	0.25 kg	43 €/kg	11
rimsulfuron (25%)	0.03 kg	1303.05 €/kg	39
mancozeb (70%), benthialvalicarb-isopropyl (1%)	23 kg	10.5 €/kg	242
oxamyl (10%)	10 kg	11.5 €/kg	115
ENERGIE			
brandstof en smeermiddelen	242 l	0.85 €/l	206
bewaring afzetproduct	1346 kWh	0.15 €/kWh	202
AFZETKOSTEN			
OVERIGE PRODUCTGEBONDEN KOSTEN			
berekende rente	550 €	5.5 %	30
productschapsheffing	1 ha	14.85 €/ha	15
potatopol	1 ha	6.6 €/ha	7
TOEGEREKENDE KOSTEN (b)			1779
SALDO PER EENHEID EIGEN MECHANISATIE (c=a-b)			1231
ARBEIDSBEHOEFTE			
grondbewerking	2 uur		
planten/poten/zaaien	1 uur		
gewasverzorging	10 uur		
handwieden	0 uur		
oogst & verwerking	16 uur		
TOTAAL	29 uur		

¹⁾ Opbrengst is netto-veldgewicht met een onderwatergewicht van 470 gram, incl. bewaarvergoeding (40% v.d. aardappelen).