



# Zelflerende systemen

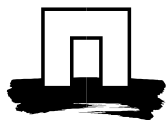
Teeltregistratie als sleutel voor innovatie

Vertrouwelijk

R.J.F. van Haren & D. M. Jansen







# Zelflerende systemen

Teeltregistratie als sleutel voor innovatie

Vertrouwelijk

R.J.F. van Haren & D. M. Jansen

Plant Research International B.V., Wageningen  
januari 2002

Nota 146

© 2002 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

## **Plant Research International B.V.**

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 - 47 70 00  
Fax : 0317 - 41 80 94  
E-mail : [post@plant.wag-ur.nl](mailto:post@plant.wag-ur.nl)  
Internet : <http://www.plant.wageningen-ur.nl>

# Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
Summary	3
1. Inleiding	5
2. Aanpak	7
3. Taken eerste jaar	9
4. Inventarisatie van bestaande toepassingen van kwantitatieve systemen	11
4.1 Niet interactief (tussen teler en gegevens verzamelaar) toepassingen	11
4.2 Interactieve toepassingen	12
5. Inventarisatie van geautomatiseerde systemen	15
5.1 Inventarisatie van systemen van teeltbegeleiding met wellicht mogelijkheden tbv Zelflerende systemen	15
5.2 Beschrijving van niet geautomatiseerde gewasbegeleidingsystemen	16
5.2.1 Geleide bestrijding van insecten	16
5.2.2 Teeltbegeleiding, waarnemen en meten	16
6. Teeltregistratie	17
6.1 Generieke registratie	17
6.2 Specifieke registratie het MDS formulier	21
Bemesting	22
7. Gegevens	23
7.1 Generieke data-bestanden	23
8. Verkenningen met historische data: autokalibrerende modellen	25
8.1 Set-Theoretische en Bayesiaanse benaderingen	25
8.1.1 Set-Theoretische benadering	25
8.1.2 Bayesiaanse benadering	26
8.2 Autokalibrerende simulatiemodellen	27
8.2.1 Strategische advisering met behulp van zelflerende systemen	29
8.3 Blauwdruk voor Zelflerende systemen	32
8.3.1 Cyclische teeltinnovatie	32
8.3.2 ICT format voor zelflerende systemen	33
8.3.3 Data-uitwisseling voor zelflerende systemen productieketen	33
9. Pilot bij bedrijven	35
9.1 Teler met gemiddeld opbrengstniveau	35
9.2 Leer-casus: effecten van laat poten en slecht pootgoed	35

	pagina
10. Overleg met partners: de workshop	39
10.1 Lezing N. Hoogenboom workshop	39
11. Project-beschrijving: Teeltinnovatie in de (zetmeel)aardappelproduktiekolom	41
11.1 Samenvatting	41
11.1.1 Doel	41
11.1.2 Middel	41
11.2 Inleiding	41
11.3 Toekomstperspectief voor teler en keten	42
11.4 Werkwijze	42
11.4.1 Additionele kennisvragen	44
11.5 Fasering	45
11.6 Verwachte resultaten	46
Bijlage	47
12. Conclusie	49
13. Appendix: Self-learning decision support in nitrogen recommendation:	51
13.1 Introduction	51
13.1.1 The case	51
13.1.2 The available information	52
13.1.3 The new information	53
13.2 A set-theoretic approach to learning	53
13.2.1 Results	54
13.3 A Bayesian approach to learning	56
13.3.1 Results	57
13.4 Comparison of set-theoretic and Bayesian approach	59
13.4.1 Nitrogen recommendation	59
13.4.2 Characterization of both approaches: a 'learning curve'	59
13.5 Application to other datasets	60
13.5.1 Results	60
13.6 Discussion	61
13.7 Conclusions	64
13.8 Literature	64

# Samenvatting

De bedrijfsvoering in de landbouw moet zich steeds innoveren om aan te sluiten bij eisen aan producten en effecten op milieu. Kennis en gegevens van bedrijfsvoering zal bij die innovatie gebruikt moeten worden. Op de korte termijn zal een verbeterde overdracht van bestaande generieke kennis hierbij een belangrijke rol spelen, omdat veel telers nog niet alle kennis en ervaringen goed gebruiken voor verbetering van kwaliteit, opbrengst en rendement. Op de langere termijn zal ook beter gebruik gemaakt moeten worden van situatiespecifieke gegevens. Hierbij zal aangesloten moeten worden bij ontwikkelingen in de Informatie en Communicatie Technologie (ICT), zoals toegepast in zelflerende systemen. Dergelijke systemen passen gegevens en kennisregels toe om teeltadvies te genereren. Op basis van de geregistreerde resultaten die met gerealiseerd teelt management bereikt worden, worden daarna de gegevens en kennisregels aangepast, waarmee in het volgende seizoen een nieuw advies wordt gegenereerd.

Dit rapport beschrijft een aantal activiteiten die zijn verricht in het kader van het AgroBiokon project met als oogmerk om:

1. te inventariseren wat voor benaderingen er nu al zijn t.a.v. al dan niet geautomatiseerde systemen voor kennisoverdracht (hoofdstukken 4 en 5)
2. te inventariseren wat voor teelt-registratie nodig is voor zelflerende systemen (hoofdstuk 6)
3. te bekijken welke generieke gegevensbestanden er zijn om te gebruiken als basis voor zelflerende systemen (hoofdstuk 7)
4. een aantal methoden te vergelijken die de basis kunnen vormen voor zelflerende systemen (hoofdstuk 8)
5. voorbeelden te geven van toepassing van die methoden in bestaande situaties (hoofdstukken 9 en 13)
6. inzichten van partners te inventariseren over de mogelijkheden van nieuwe systemen voor teeltinnovatie (hoofdstuk 10)
7. een beschrijving te geven van een project om innovatie in de (zetmeel) aardappelproductie te stimuleren (hoofdstuk 11)





## Summary

Continuous innovation of agricultural management is required to match demands regarding products and effects on the environment. For this innovation, utilization of knowledge and data on farm and crop management will be required. At present, many farmers do not yet make sufficient use of existing knowledge and experiences. Therefore, in the short term, improved transfer of existing generic knowledge will still be important. In the long run, however, also better use will have to be made of situation specific information. To enable this, use will have to be made of developments in the Information and Communication Technology (ICT), such as applied in selflearning systems. These systems apply data and knowledge-rules to generate advice on crop or farm management. On basis of registered results obtained with realised management activities, these data and knowledge-rules are adapted and used to generate a new advice for the next season.

This report describes a number of activities within the AgroBiokon project that aim to:

1. make an inventory of existing approaches for computer based knowledge transfer (chapters 4 and 5)
2. make an inventory of the need of selflearning systems for registration of crop management activities (chapter 6)
3. indicate which existing generic databases can be used as basis for selflearning systems (chapter 7)
4. compare a number of methods that could form the basis for selflearning systems (chapter 8)
5. give examples of application of these methods in existing situations (chapters 9 and 13)
6. make an inventory of views among partners about the possibilities for new systems for innovation of crop and farm management (chapter 10)
7. describe a project to stimulate innovation in the production-chain of (starch) potato (chapter 11)



# 1. Inleiding

De bedrijfsvoering in de landbouw, zowel in Nederland als daarbuiten ligt onder continue druk tot aanpassing en innovatie. Product- en milieueisen veranderen voortdurend onder invloed van wensen van consument en burger. Deze wensen zijn samen te vatten tot het credo 'goedkope gezonde voeding geproduceerd in een gezonde natuurlijke omgeving'. De financiële noodzaak bij de teler-ondernemer tot verbeteren van de efficiëntie van inzet van productiemiddelen is mede hierdoor groot. Kennis en gegevens van opties van bedrijfsvoering en de effecten daarvan op de bedrijfsresultaten, producten en omgeving moeten daarom zo goed mogelijk benut worden teneinde de wensen van alle keten-partijen te vervullen. Er kan niet meer volstaan worden met algemeen geldende relaties en aanbevelingen. De teler-ondernemer van de toekomst maakt gebruik van situatie en marktspecifieke advisering. De consument verwacht maatwerk ten aanzien van het product, voor de producent betekent dit maatwerk op het bedrijf door integratie van algemene, bedrijf en perceelspecifieke gegevens en kennis.

Maatwerk door integratie van generieke en specifieke kennis en gegevens is de sleutel tot continue innovatie van bedrijfssystemen en productieketens. Verbeterde Informatie en Communicatie Technologie (ICT) maakt het mogelijk dit maatwerk per bedrijf en keten te realiseren: zelflerende systemen. Zelflerende systemen zijn systemen waarin gegevens gebruikt worden door kennisregels met het doel adviezen te genereren voor verbetering van het huidige teelt, bedrijf en ketenmanagement waarna de nieuw geregistreerde gegevens van het gerealiseerde management gebruikt wordt voor het genereren van opnieuw verbeterde adviezen.

Voor de korte termijn, de komende paar jaar, wordt verwacht dat de inspanningen op het gebied van kennisoverdracht in de open teelten vooral resultaat zullen boeken door demonstraties, cursussen en individuele advisering. Hierdoor wordt bestaande kennis en ervaring verbreid. Het is immers nog vaak evident waar de grootste doorbraak te verwachten is voor verbetering van kwaliteit, opbrengst en rendement. Ook op langere termijn zal directe advisering en verbreiding van kennis van belang blijven maar zullen huidige computergebaseerde ontwikkelingen de boventoon gaan voeren. Er liggen nieuwe kansen en mogelijkheden voor de land- en tuinbouw door de ontwikkeling van informatietechnologie en de koppeling van verschillende systemen. Dit betreft zowel de beïnvloeding van de kwantitatieve en kwalitatieve opbrengsten, tegen de achtergrond van kwaliteits- of gezondheidseisen als de mogelijkheid aanvoerprognoses te verfijnen ten behoeve van de verwerkende industrie (agrologistiek). Thans reeds tekenen zich in de agrarische sector ontwikkelingen af die de verbreiding van kennis op kwantitatieve basis nodig maken:

1. de wens van individuele primaire ondernemers de opbrengst te optimaliseren tegen de achtergrond van de kwaliteitseisen van verwerkers, de financiële vergoeding die daarbij past en de milieutechnische kaders die van toepassing zijn (mogelijkheden voor teeltbeslissingsondersteunende maatregelen);
2. de wens van verwerkers om zekerheid (borging) te hebben van de kwaliteit en de verwachte aanvoer inclusief de mogelijkheden om met specifieke partijen ruimte te scheppen wat betreft bewaring en verdere logistieke optimalisatie;
3. de wens van de sector om maatschappelijk blijvend kwalitatief gewenst te zijn door goede productiekwaliteit te waarborgen
4. de technische mogelijkheden om grote hoeveelheden data van geografische en meteorologische aard te koppelen aan historische en actuele perceels-, teelt-, en ondernemersgegevens in een systeem waarmee voorspellende uitspraken kunnen worden gedaan. Het beheer van zeer grote databestanden en berekeningen ermee zijn door de grote vorderingen in de informatie-technologie geen belemmering meer.

Het doel van het voorliggende onderzoek- en ontwikkelingsproject is het verkennen van alle mogelijkheden van de verschillende agrarische en informatie-technologie sectoren om de kennisoverdracht in de

teelt van zetmeelaardappel met behulp van zelflerende systemen een significante kwantitatieve meerwaarde te geven. De ontwikkeling van een geëigend instrumentarium is voorzien in het vervolgtraject na de pilot van het eerste jaar. De voorgestelde aanpak is bedoeld voor de hele akkerbouwsector, de akkerbouwmatig geteelde vollegrondsgroenten en de ruwvoedervervoorziening. De pilot start met de zetmeelaardappel die daarmee een kennis- en ontwikkelingsvoorsprong opbouwt.

## 2. Aanpak

De opbrengsten in veel open teelten stagneren en de teelt wordt gekenmerkt door een grote variatie in opbrengsten tussen percelen en bedrijven. Belangrijke initiatieven op het terrein van onderzoek liggen besloten in onderzoekprogramma's van kennisinstellingen (Plant Research International en PPO).

Industriële partijen werken ook aan kennisoverdracht van bestaande (historische kennis gebaseerd op onderzoek en factoranalyse) kennis en nieuw te genereren kennis. Een hulpmiddel daarbij is het verzamelen van teeltregistratiegegevens (voorbeelden zijn de verwerkende industrieën zetmeelaardappel, diepgevroren aardappelproducten en suiker). De inspanningen (deels op korte, andere op langere termijn) zijn gericht op:

1. het verhogen van de opbrengsten daar waar die nog ver van de haalbare af staan
2. het sturen van de kwaliteit (inhoudsstoffen en bewaarbaarheid)
3. het optimaal benutten van hulpbronnen (mede bepaald door wensen van het beleid)
4. het certificeren van bedrijven waarmee aan door industrie en beleid gewenste normen wordt voldaan

De nieuwste ontwikkelingen op het gebied van kennisintegratie en -overdracht - om bovenstaande doelstellingen te bereiken worden binnen een onderzoek en ontwikkelingsproject gekenmerkt door:

1. het gericht verzamelen van kwantitatieve teeltgegevens
2. het inbrengen van deze gegevens in een database als basis voor interpretatie
3. het interactief (tussen teler en 'het systeem) uitwisselen van gegevens waarbij gebruik gemaakt wordt van reeds bestaande teeltbegeleidingssystemen
4. het zodanig opzetten van het systeem dat informatie die wordt ingevoerd, wordt toegevoegd aan reeds bestaande informatie van het bedrijf/perceel om zodoende de ervaringen op te bouwen (zelflerend en te vertalen naar verwachte reacties op mogelijke acties).

### *Lopende initiatieven:*

1. Grondstofvoorzieningsplan van de AVEBE
2. Programma Innovatie zetmeelaardappelteelt (Plant Research International/PPO)
3. KwaliteitsProject Akkerbouw (LTO) (na ketenaanpak zoals agromilieukeur (AMK), MBT en IKZ)
4. Teeltregistratie en interpretatie met behulp van Informatietechnologie (vb. ingenieursbureaus zoals DLV, Groeinet, Agritect, FARM-OT)
5. internationaal: met name ADAS in het Verenigd Koninkrijk, maakt zich sterk op dit terrein
6. Teeltbegeleidingssystemen (voorbeelden: beregeningsplanner, stikstofbijbemesting, Phytophthora, en aardappelmoehheid) van groepen als HLB, DACOM en Opticrop
7. Precisielandbouw (Vertis, Landbouwniversiteit, DLO)
8. Teeltregistratie bij COSUN en CSM, BSO-VG, bloembollen, boomteelt)
9. Akkerbouw 2000 (gerichte dataverzameling op een grote groep bedrijven door DLV)

Een onderzoeks- en ontwikkelingsproject wordt modulair opgezet. In de eerste fase (die een jaar duurt) worden verkenningen uitgevoerd, criteria voor het vervolgtraject opgesteld en de projectinhoud voor de rest van de looptijd (4 jaar) beschreven.



### 3. Taken eerste jaar

1. Inventarisatie van bestaande toepassingen  
verzamelen van toepassingen van kwantitatieve systemen (voorbeelden: bedrijfscertificering, ketenzorg, teeltbegeleiding) en toepassingsmogelijkheden en betekenis (ook rendement van de kosten van dergelijke systemen) voor de zetmeelaardappelteelt
2. Inventarisatie bestaande geautomatiseerde systemen  
verzamelen, interpreteren en toepasbaar maken van generieke systemen voor de doelstellingen van het kennisoverdrachtsproject ten behoeve van de zetmeelaardappelteelt
3. Homogeniseren van definities van bestaande bestanden  
bestaande (historische) gegevensbestanden hanteren vaak verschillende definities (voorbeelden opkomst bij 50 of 90% of een bouwvoor van 25 of 30 cm). Om vergelijking mogelijk te maken moeten definities op elkaar worden afgestemd en worden geconverteerd
4. Data-acquisitie
  - 4.1 Gewasgegevens
  - 4.2 Omgevingsgegevens  
data-acquisitie voor de specifieke situatie van de meest perspectiefvolle teelten voor specifieke regio's (voorbeeld zetmeelaardappel in het noordoosten opzetten. Gegevens betreffen die van het gewas zoals poot- en oogstdata, bewerkingen, opbrengst en dergelijke, maar ook die van de omgeving zoals waterbergend vermogen, stikstofvoorraad en het weer)
5. Verkenningen met historische data  
gebruik maken van bestaande verzamelde (historische data) om de mogelijkheden tot implementatie die het zelflerende systeem biedt te verkennen, tevens verkennen welke data cruciaal zijn (dus welke opgenomen kunnen worden of juist weggelaten)
6. Pilot bij een paar bedrijven  
pilotsgewijs bij een aantal bedrijven deze data verzamelen om doenlijkheid en bewerkelijkheid te toetsen en aantonen dat het zelflerende systeem voordelen biedt
7. Risico-analyse  
ontwikkelen van een methodiek voor risico-analyse van het implementeren van teeltadviezen. Als telers generieke teeltsuggesties gaan opvolgen (bijvoorbeeld beregenen bij een bepaalde verdampingsvraag bij beregeningsbeperkingen) zal het systeem berekenen welke kans bestaat dat er voor niets beregend wordt omdat het statistisch gezien binnenkort gaat regenen
8. Overleg met partners  
overleg met verwante teelten, binnen het teeltsysteem (bv. suikerindustrie naast de zetmeel-industrie en consumptieaardappel om gezamenlijk te opereren in het kennisoverdrachtproject, tevens contacten met LTO en productschap aanhalen om alle groepen op een lijn te krijgen
9. Projectbeschrijving maken  
met partners en doelgroepen de projectinhoud voor de vervolgjaren gestalte geven (dus projectomschrijving voor 4 jaar maken). Dit resulteert uit overleg met partners en uit gezamenlijk gehouden workshop(s).

De allocatie van taken naar de partners in jaar 1 (Plant Research International en DLV) in het onderzoek en ontwikkeling is weergegeven in onderstaande tabel.

---

	Taak	Plant Research International	DLV
1	inventarisatie bestaande toepassingen	x	x
2	inventarisatie bestaande geautomatiseerde systemen		x
3	homogeniseren van definities van bestaande bestanden	x	
4	data-acquisitie:		
	- gewasgegevens		x
	- omgevingsgegevens	x	
5	verkenningen met historische data	x	
6	pilot bij bedrijven		x
7	risico-analyse	x	
8	overleg met verwante teelten	x	x
9	vervolgtraject omschrijven	x	x

---



## 4. Inventarisatie van bestaande toepassingen van kwantitatieve systemen

### 4.1 Niet interactief (tussen teler en gegevens verzamelaar) toepassingen

E. Emmens (DLV)

We kennen de volgende systemen of toepassingen:

**Betakwik;** Is een teeltbegeleidingsprogramma dat ontwikkeld is voor suikerbieten. De onderdelen zijn: rassenkeuze, bemesting, overzaaien, onkruidbestrijding, bestrijding ziekten en plagen, verloop bietecystealtjesbesmetting, tarrakosten en bietverliezen. Ontwikkeld en geëxploiteerd door de suikerindustrie/IRS.

**Bemestingsplan DLV;** Bemestingsadviesprogramma per perceel en voor het totale akkerbouwbedrijf. Een mineralenbalans, organische stofbalans, kan voor het gehele bedrijf worden berekend. Een programma die op veel bedrijven wordt toegepast in de land-en tuinbouw bij de bedrijfsbegeleiding van DLV. Ontwikkeld en geëxploiteerd door DLV.

**Farm;** Een registratie verwerkingsprogramma die binnen DLV wordt gebruikt. Programma is ontwikkeld door PAV, in samenwerking met DLV. Exploitatie door DLV, gebruik ook door PAV. Met dit programma kunnen uitgebreide technische analyses gemaakt worden van de bedrijfsvoering op milieukundig en technisch gebied.

**Bever;** Bever staat voor Bedrijfsvergelijking Akkerbouw Rapport. Dit programma kent een bedrijfseconomische ingang, geeft een analyse van de technische resultaten van het bedrijf en vergelijkt bedrijfseconomische kengetallen met gemiddelden uit de regio. Dit rapport is opgebouwd uit een inleidende tekst van de bedrijfsdeskundige met aandachtspunten en conclusies, registratie-verwerking van de teler en bedrijfsvergelijkende overzichten. Bever geeft inzicht in de gang van zaken op het akkerbouwbedrijf.

**Fertiquant;** Bemestingsadviesprogramma op basis van de analyse-rapporten van de betreffende klant. Programma is ontwikkeld door en eigendom van BLGG te Oosterbeek. Is gericht op automatische berichtgeving naast het analyse-rapport.

**NMI-nutrinorm;** Bemestingsadviesprogramma op bedrijfsniveau. Gelijkwaardig aan het bemestingsplan van DLV. Ontwikkeld door DSM.

**NMI-mineralisatie;** Programma adviseert ten aanzien van de stikstofbemesting in akkerbouwgewassen. Onderdeel is een berekening van de te verwachten stikstofmineralisatie.

**Landelijk weernet;** In het kader van het Masterplan Phytophthora komt er een landelijke meetnet voor weersgegevens. Voor 150 gulden per jaar kan eenieder toegang krijgen tot de meetgegevens. De gegevens worden door een aantal partijen gebruikt in teeltbegeleidingssystemen als GEWIS, Prophy en PlantPlus

**Unitip;** teeltregistratie van Suiker Unie (Cosun) voor hun telers. Aan de hand van de teeltregistratiegegevens worden adviezen gemaakt en resultaten van telers onderling vergeleken.

**CSM-teeltbegeleiding;** teeltregistratie van CSM voor hun telers. Aan de hand van deze gegevens worden adviezen gemaakt.

Uit bovenstaande beschrijving blijkt wie de rekenregels heeft ontwikkeld. Bij de meeste systemen zijn de rekenregels niet erg ingewikkeld en soms zelfs afwezig. Bijvoorbeeld bij het landelijk meteo-net is alleen de toegang tot de gegevens geregeld, de interpretatie ervan gebeurt door meerdere partijen. Uitsluitende voorwaarden kennen deze systemen bij mijn weten niet.

*Raakvlakken registratie per systeem of toepassing:*

Systeem of toepassing	Weer	Bodem	Teelt	Fabriek
Betakwik		X	X	X
Bemestingsplan DLV		X	X	
Farm			X	
Bever			X	
Fertiquant		X	X	
NMI-nutrinorm		X	X	
NMI-mineralisatie	X	X	X	
Landelijk weernet	X			
Unitip		X	X	X
CSM-teeltbegeleiding		X	X	X

## 4.2 Interactieve toepassingen

### J. Kamp (DLV)

1. KPA - registratiesysteem Kwaliteitsproject Akkerbouw (LTO-Nederland)
  1. Betreft een centraal registratiesysteem waarin telers gegevens voor afzetorganisaties registreren. Aanlevering van de gegevens vanuit de teler kan op 3 manieren: via koppelingen met managementsystemen (Comwaes, Dacom en Opticrop), via papieren en via een Internet interface. Afzetorganisatie kunnen de gegevens uit deze databank halen.
  2. Geregistreerde gegevens: bouwplan, bodemanalyse, gewasbeschermings- en meststoffen-gebruik. Daarnaast worden op verzoek van de afzetorganisaties een groot aantal teeltgegevens vastgelegd. Dit is ook flexibel uitbreidbaar.
  3. Verwerking van de gegevens door Groeinet (Rijswijk)
2. Comwaes - akkerbouwmanagementsysteem van Comvee (Zwolle/Deventer)
  1. Meest gebruikte registratiepakket in de akkerbouw (<2000 gebruikers).
  2. Biedt een zeer brede registratiemogelijkheid van bedrijfsgegevens.
  3. Heeft koppelingen o.a. naar KPA en boekhoudprogramma MIFAS.

3. Plant-plus - registratiesysteem van Dacom (Emmen) met daaraan gekoppeld adviesprogramma's
  1. Bestaat uit lokale software gekoppeld aan een centrale databank; biedt registratiemogelijkheid van een groot aantal bedrijfsgegevens.
  2. Biedt een aantal adviesprogramma's, als modules binnen Plant-plus (w.o. het phytophthora adviessysteem).
  3. Aan deze databank is ook een netwerk van lokale weerstations gekoppeld.
  
4. Prophy / Valse meeldauw- en bladvlekken adviessysteem van Opticrop te Vijfhuizen
  1. Bestaat uit lokale software, waarin op basis van een (nog) beperkte teeltregistratie en weersinformatie adviezen gegeven worden over phytophthora in aardappelen en valse meeldauw en bladvlekkenziekte in uien.
  2. Verzamelt ook weersinformatie en stelt deze via een elektronische postbus beschikbaar aan de teler.
  3. Wordt ook als faxservice aan telers aangeboden.
  
5. Vuurbestrijding in bollen (BOWAS) van LBO te Lisse.
  1. Adviessysteem voor geleide bestrijding van vuur in bollen.
  2. Bevat een beperkte registratiemogelijkheid voor de uitgevoerde bespuitingen
  3. Wordt ook als faxservice aan telers aangeboden.
  
6. Mycosphaerella bestrijding in spruitkool van Opticrop (MYCOS)
  1. Bestaat uit lokale software, waarin op basis van een (nog) beperkte teeltregistratie en weersinformatie adviezen gegeven worden over Mycosphaerella bestrijding in spruitkool.
  2. Verzamelt ook weersinformatie en stelt deze via een elektronische postbus beschikbaar aan de teler.
  3. Wordt ook als faxservice aan telers aangeboden.



## 5. Inventarisatie van geautomatiseerde systemen

### 5.1 Inventarisatie van systemen van teeltbegeleiding met wellicht mogelijkheden t.b.v. Zelflerende systemen

H. Brinks (DLV)

DLV heeft een inventarisatie gemaakt van bestaande teeltbeslissingen ondersteunende systemen in de landbouw. We onderscheiden drie categorieën:

1. Geautomatiseerde, interactieve systemen. Gegevensvastlegging is geautomatiseerd en er vindt uitwisseling van gegevens plaats tussen teler en software. Bijvoorbeeld een akkerbouwer levert gegevens aan en krijgt op basis hiervan een teeltadvies terug.
2. Niet interactieve geautomatiseerde systemen. In dergelijke systemen worden gegevens vastgelegd die worden (her)gebruikt voor diverse doeleinden. Voorbeeld hiervan is het DLV-Bemestingsplan.
3. Niet geautomatiseerde systemen. Geleide bestrijding van insecten en plagen vallen hieronder. Teeltbeslissingen worden ondersteund door gerichte waarnemingen en door schadedrempels te hanteren.

Per systeem is een korte beschrijving gemaakt. Verder is per systeem aangegeven op welke soort gegevens worden gebruikt.

Systeem	Weer	Bodem	Teelt	Fabriek
<b>Geleide bestrijding</b>				
Uienvlieg			+	
Koolgalmug	+		+	
Koolvlieg			+	
Witlofmineervlieg	+		+	
Rupsen in kool			+	
Wortelvlieg			+	
<b>Teeltbegeleiding</b>				
Bladanalyse			+	
Chlorophyl-meting			+	+
Crop scan			+	
NBS		+	+	
Bodempara-meters		+	+	
Aaltjes		+	+	

## 5.2 Beschrijving van niet geautomatiseerde gewasbegeleidingssystemen

Hieronder volgt een beschrijving van niet geautomatiseerde gewasbegeleidingssystemen. Kenmerk is dat gericht en meer of minder systematisch waarnemingen worden gedaan, verzameld en vastgelegd. Onderverdeeld in Weer, Bodem, Teelt en Fabriek om aan te geven waarop de verzamelde gegevens betrekking hebben.

### 5.2.1 Geleide bestrijding van insecten

1. **Uienvlieg.** Via 'vangbakken' wordt gekeken wanneer de uienvlieg actief wordt. Zodra de bestrijdingsdrempel wordt overschreden worden steriele mannetjes uitgezet. Rekenregels ontwikkeld door PAV
2. **Koolgalmug.** Op basis van weersgegevens wordt voorspeld wanneer de koolgalmug actief wordt en het bestrijdingsmoment aanstaande is. 'Rekenregels' ontwikkeld door PAV/DLV
3. **Koolvlieg.** Op basis van eilegvallen wordt waargenomen wanneer eiafzetting van de koolvlieg plaatsvindt om daarmee de bestrijdingsnoodzaak en timing te kunnen bepalen. 'Rekenregels' ontwikkeld door PAV
4. **Witlofmineervlieg.** Op basis van weersgegevens en vangbakken wordt de bestrijdingsnoodzaak en -timing bepaald. 'Rekenregels' ontwikkeld in België. In Nederland niet of nauwelijks toegepast.
5. **Rupsen in kool.** Aan de hand gerichte tellingen, determinatie van de soorten en het hanteren van schadedrempels wordt de bestrijding van rupsen uitgevoerd. 'Rekenregels' ontwikkeld door PAV
6. **Wortelvlieg.** Door middel van gele plakvallen wordt het moment van verschijnen van de wortelvlieg vastgesteld en bij het overschrijden van de schadedrempel het bestrijdingsmoment. 'Rekenregels' ontwikkeld door PAV en Groene Vlieg

### 5.2.2 Teeltbegeleiding, waarnemen en meten

1. **Bladanalyse.** In een groeiend aantal gewassen neemt men tijdens de teelt bladmonsters om te worden geanalyseerd op een reeks aan elementen. Op basis van gevonden waarde wordt besloten tot wel of geen bijbemesting. 'Rekenregels' nog in ontwikkeling, wordt aan gewerkt bij DLV en BLGG.
2. **Chlorophylmeting.** In een paar gewassen wordt m.b.v. een meter een maat bepaald voor de stikstofstatus van het gewas. Dit gebeurt door individuele bladeren te meten. In zomergerst is men hiermee relatief ver. De gevonden waarden worden gebruikt als basis voor een eventueel bijmestadvies maar ook voor een voorspelling van de brouwkwaliteit van de gerst. 'Rekenregels' ontwikkeld door PAV/ACM/Hydro Agri
3. **Crop-scan.** Deze bij AB-DLO onderzochte methode meet ook de stikstofstatus van gewassen. Op basis van de meetwaarde wordt al of niet bijgemest. De methode gaat sneller dan de chlorophylmeting en kan eventueel op werktuigen worden gemonteerd.
4. **NBS.** Bijmesten van gewassen op basis van een N-min bepaling. In een aantal vollegrondsgroentegewassen en in aardappelen wordt dit toegepast. 'Rekenregels' ontwikkeld door PAV/BLGG
5. **Bodemparameters.** De grond wordt regelmatig geanalyseerd op gehalten aan mineralen, pH, organische stof en lutum. De uitkomsten dienen als basis voor de bemestingsplannen.
6. **Aaltjesmonsters.** In toenemend mate vindt bemonstering van grond op diverse aaltjes plaats. De gegevens dienen als input voor bouwplanaanpassingen, gerichte rassenkeuze e.d. 'Rekenregels' ontwikkeld door PAV/IRS/BLGG

## 6. Teeltregistratie

R.J.F. van Haren en J. Begeman (Plant Research International)

De basis van zelflerende systemen wordt gevormd door de data van de teler. De mate van registratie is afhankelijk van het doel van registreren. Hieronder volgt een aanzet voor een generieke registratie en een uitwerking van een specifieke registratie welke nodig is voor de pilot studie zelflerende systemen.

### 6.1 Generieke registratie

#### 1. Teler gegevens

- 1.1 Naam
  - 1.1.1 Proefnummer
  - 1.1.2 Adres
  - 1.1.3 Plaats
  - 1.1.4 Postcode
  - 1.1.5 Telefoon
  - 1.1.6 Fax
  - 1.1.7 E-Mail
  - 1.1.8 Afnemer-leverancier nummers:
    - 1.1.1.1 AVEBE
    - 1.1.1.2 Suiker-unie
    - 1.1.1.3 ACM
    - 1.1.1.4 TBM
    - 1.1.1.5 KPA
    - 1.1.1.6 Waterschap
    - 1.1.1.7 Zuivedngsschap
    - 1.1.1.8 Provincie
    - 1.1.1.9 BRS laser relatie nummer
    - 1.1.1.10 Mest nummer MINAS)

#### 2. Bedrijfsgegevens

- 2.1 Kadastrale grootte
  - 2.1.1 Grond in eigendom
  - 2.1.2 Grond in pacht
  - 2.1.3 Grond in zakelijk gebruik
  - 2.1.4 Grond in huur
- 2.2 Grondsoorten
- 2.3 Ligging van percelen
- 2.4 Rotatie en vruchtopvolging
- 2.5 Leveringsplicht, quota, contracten, aandelen voor gewassen in tonnage
- 2.6 Perceelruil, bijvoorbeeld aardappel tegen maïs
- 2.7 Personeelsbezetting
  - 2.7.1 Ondernemer percentage bezetting op bedrijf
  - 2.7.2 Werkzaamheden in eigen beheer
  - 2.7.3 Werkzaamheden door loonwerker
- 2.8 Faciliteiten mestopslag
- 2.9 Faciliteiten bewaring
  - 2.9.1 Type bewaring voor welk gewas

- 2.10 Quota vergunning beregenen
  - 2.10.1 Oppervlaktewater
  - 2.10.2 Grondwater
- 3. Bedrijfsperceelgegevens
  - 3.1 Laser-nummer
  - 3.2 Kadastrale en gemeten maten perceel
  - 3.3 Blokken indeling perceel
    - 3.3.1 Naamnummer blokken gedefinieerd vanaf vooraf gekozen referentie Macsharry nummer
    - 3.3.2 Gewas, per blok
    - 3.3.3 Voorvruchten per blok
  - 3.4 Bemestingstoestand per perceel: (BLGG gegevens,Vlaminx,Agrolab)
    - 3.4.1 Nmin N-N03 + N-NH4
    - 3.4.2 Pw P-P205
    - 3.4.3 K-getal K20
    - 3.4.4 Org.stof %gloeiverlies
    - 3.4.5 Mg
    - 3.4.6 B
    - 3.4.7 Ca
    - 3.4.8 Mn
    - 3.4.9 pH
    - 3.4.10 K-HCI
    - 3.4.11 Zeeffracties
      - 3.4.11.1 % lutum
      - 3.4.11.2 % afslibbaar
  - 3.5 Ziekte/onkruid druk per perceel (PD gegevens, HLB, Groene Vlieg)
    - 3.5.1 Nematoden
      - 3.5.1.1 ACA Aardappeleysteeltjes
      - 3.5.1.2 BCA Bietecysteeltjes
      - 3.5.1.3 vrijlevende aaltjes
    - 3.5.2 Schimmel/bacterie ziekten
    - 3.5.3 Onkruiden
      - 3.5.3.1 Oliehoudende
      - 3.5.3.2 Wortel
      - 3.5.3.3 Rest
  - 3.6 Structuur van perceel
  - 3.7 Stufgevoeligheid perceel
- 4. Teeltgegevens per blok
  - 4.1 Voorjaar
    - 4.1.1 Voorjaarbewerking
    - 4.1.2 Kalk toediening
    - 4.1.3 Bewerkingen
      - 4.1.3.1 Datum diep ploegen
      - 4.1.3.2 Datum spitten
      - 4.1.3.3 Datum vaste tand cultivator
    - 4.1.4 Basis bemestingen
      - 4.1.4.1 Organische mest
        - 4.1.4.1.1 Soort mest
        - 4.1.4.1.2 Organisch stof gehalte
          - 4.1.4.1.2.1 Mineralisatiesnelheden per fractie
        - 4.1.4.1.3 Bemestingswaarde N
        - 4.1.4.1.4 Bemestingswaarde P
        - 4.1.4.1.5 Bemestingswaarde K



- 4.1.4.2 Kunstmest
  - 4.1.4.2.1 Merknaam en hoeveelheden
- 4.1.5 Zaaibedbereiding
- 4.1.6 Rassen gewas
- 4.1.7 Herkomst zaaizaad/pootgoed
  - 4.1.7.1 Eigen vemeerdering
  - 4.1.7.2 NAK-nummer
  - 4.1.7.3 Herkomstnummers zaad
- 4.1.8 Kwaliteit en klasse zaaizaad/pootgoed
- 4.1.9 Bewaring zaaizaad/pootgoed
- 4.1.10 Voorbehandeling zaaizaad/pootgoed
  - 4.1.10.1 Ontsmetten zaaizaad/pootgoed
  - 4.1.10.2 Sortering pootgoed
- 4.2 Seizoen
  - 4.2.1 Pootdatum/zaaidatum
  - 4.2.2 Pootafstand/zaaiastand
  - 4.2.3 Poot/zaaidiepte
  - 4.2.4 Rijafstand
  - 4.2.5 Opkomstdatum zaaizaad/pootgoed (datum 50% opkomst gewas)
  - 4.2.6 Datern en wijze onkruidbestrijding
    - 4.2.6.1 Mechanisch
    - 4.2.6.2 Chemisch
      - 4.2.6.2.1 Middel
      - 4.2.6.2.2 Hoeveelheden
  - 4.2.7 Datum en wijze gewasverpleging
    - 4.2.7.1 Aardappel, suikerbiet
      - 4.2.7.1.1 Frezen
      - 4.2.7.1.2 Schoffelen
      - 4.2.7.1.3 Aanaarden
    - 4.2.7.2 Graan
    - 4.2.7.3 Eggen
  - 4.2.8 Bijmestingen
    - 4.2.8.1 Op basis van advies ja/nee
      - 4.2.8.1.1 Bladsteel
      - 4.2.8.1.2 Nmin NBS
    - 4.2.8.2 Datum
    - 4.2.8.3 Wijze
    - 4.2.8.4 Soort
    - 4.2.8.5 Hoeveelheden
  - 4.2.9 Beregingen
    - 4.2.9.1 Datum
    - 4.2.9.2 Wijze
    - 4.2.9.3 Bron
    - 4.2.9.4 Duur
    - 4.2.9.5 Hoeveelheid
  - 4.2.10 Hoeveelheden neerslag gemeten op bedrijf
  - 4.2.11 Datum en wijze schimmelbestrijding
    - 4.2.11.1 Datum
    - 4.2.11.2 Middel
    - 4.2.11.3 Dosering
    - 4.2.11.4 Aantal liters water
    - 4.2.11.5 Dopkeuze
    - 4.2.11.6 Omstandigheden tijdens spuiten

- 4.2.12 Datum en wijze insectenbestrijding
  - 4.2.12.1 Datum
  - 4.2.12.2 Middel
  - 4.2.12.3 Dosering
  - 4.2.12.4 Aantal liters water
  - 4.2.12.5 Dopkeuze
  - 4.2.12.6 Omstandigheden tijdens spuiten
- 4.2.13 Loofdoding
  - 4.2.13.1 Mechanisch
    - 4.2.13.1.1 Datum
  - 4.2.13.2 Chemisch
    - 4.2.13.2.1 Datum
    - 4.2.13.2.2 Middel
  - 4.2.13.3 Dosering
- 4.2.14 Eind oogstdatum
  - 4.2.14.1 Oogstomstandigheden
  - 4.2.14.2 Oogstwijze
  - 4.2.14.3 Rooidiepte
  - 4.2.14.4 Rooisnelheid
  - 4.2.14.5 Beschadiging
  - 4.2.14.6 Bewaring jalnee
- 4.2.15 Opbrengst
  - 4.2.15.1 Kwantitatief
  - 4.2.15.2 Kwalitatief
    - 4.2.15.2.1 Kwaliteitsgegevens van verwerker, klant
    - 4.2.15.2.2 Tarra
    - 4.2.15.2.3 Beschadiging
    - 4.2.15.2.4 Etc.
- 4.3 Stoppelperiode
  - 4.3.1 Grondbewerking na eind oogst
  - 4.3.2 Bemestingen na eind oogst (datum en hoeveelheden) 4.3.2. L. Mest
    - 4.3.2.1 Slib
    - 4.3.2.2 GFT
    - 4.3.2.3 Kalk
  - 4.3.3 Grondontsmetting
  - 4.3.4 Voorvrucht
  - 4.3.5 Restproduct voorvrucht (stro, bietenblad)
    - 4.3.5.1 Afgevoerd
    - 4.3.5.2 Ingewerkt
    - 4.2.5.3 N-bijmesting voor omzetting stro
  - 4.3.6 Groenbemester
  - 4.3.7 Stuifdek
  - 4.3.8 Organische mest
    - 4.3.8.1 Bemestingswaarde N
    - 4.3.8.2 Bemestingswaarde P
    - 4.3.8.3 Bemestingswaarde K

## 6.2 Specifieke registratie het MDS formulier

De specifieke registratie is het data-verzamelformulier dat gebruikt wordt in de pilot-studie Zelflerende Systemen. Hiertoe is de **Minimale Data Set** ontwikkeld, het MDS-formulier. Deze opzet is gekozen vanwege het:

1. formaat (max 1 A4)
2. geen overbodige data registratie
3. betrouwbaarheid van verzamelde gegevens: additioneel doet de voorlichter c.q. onderzoeker nog een aantal waarnemingen en bepalingen in het veld. De voornaamste bepalingen zijn:
  - 3.1. plantafstand
  - 3.2. proefrooiing vlak voor eind oogst met volgende bepalingen
    - 3.2.1. veldgewicht
    - 3.2.2. droge stof gewicht
    - 3.2.3. onderwater gewicht
    - 3.2.4. basis gewicht (uitbetalingsgewicht)

Het MDS formulier is zodanig van opzet dat op basis hiervan zelflerende adviezen voor iedere deelnemende teler gegenereerd kunnen worden.

Gegevens ten behoeve van simulatiemodellen voor aardappelgroei 2001.

Naam en Voorletters:		
Adres:		
Plaats:		
Postcode:	Provincie: Gr/Dr/Ov.	
Telefoonnummer:	evt. Mobiel	
Macsharrynummer perceel		
Perceelscodering:	8002.02	(voorbeeld 9898.98)
Kaartbladzijde:	.....	Coord.: X:.....; Y: .....

Bouwplan:	.....
Perceelsnaam:	.....
Voorvrucht :	.....
Restproduct afgevoerd:	.....
Groenbemester, gewas:	.....
Aardappelras:	.....
Aangekocht:	jaar:..... klasse: .....
Voorgekiemd :	.....
Ingestelde pootafstand :	cm
Rijafstand :	75 cm

Pootdatum:	.....
Datum 50% opkomst :	.....
Datum eerste herbicidebestrijding:	.....middel:
Datum laatste herbicidebestrijding:	.....middel:
Datum aanaarden:	.....
Wijze loofdoding:	.....
Datum loofdoding:	.....
Datum eind oogst:	.....

Grondmonster onderzoek:	JA/NEE	datum:.....	
N-Nitraat	.....	mg/l extract.	K-getal:.....
N-Ammonium	.....	mg/l extract.	Pw-getal:.....
Beschikbare voorraad N		kg/ha,	datum:.....
Organisch stof%	.....%	(humus elementair)	datum:.....
Zuurgraad	.....	pH-KCl,	datum:.....

## Bemesting

Voor seizoen	produkt	Datum, tijdstip.	N-gift, kg/ha	Kgbeschik baar N/ha	P2O5k g/ha	K2O kg/ha	Produkt Kg/ha
Dierlijke mest:							
Anders :							
Kunstmest							
<b>Tijdens seizoen:</b>							
bijbemesting							
Bladbemesting:							
Rijbemesting:							

Beregend	JA/NEE*	kanon...../spuitboom...../anders.....*
Bron	oppervlaktewater...../grondwater...*	
Tijdstip berekening:	datum	hoeveelheid, mm
	datum	hoeveelheid, mm
	datum	hoeveelheid, mm
	datum	hoeveelheid, mm

Grondsoort	proefplek
Code grondsoort-GWT	proefplek

## 7. Gegevens

R.J.F. van Haren (Plant Research International)

Gegevens zijn te onderscheiden in generieke en specifieke gegevens. Generieke gegevens zijn gegevens die algemeen geldig zijn en/of te verkrijgen via publieke en/of private data-bestanden. Specifieke gegevens hebben betrekking op een situatie die kenmerkend is voor bijvoorbeeld een teler of groepen van telers. In deze studie worden de specifieke gegevens verzameld via de voorlichter/onderzoeker met behulp van de MDS formulieren.

De generieke gegevens dienen een tijdruimte data structuur te hebben (zie Voorbeeld in Figuur 7.1). Een en ander kan het beste via Geografische Informatie Systemen benaderd worden.

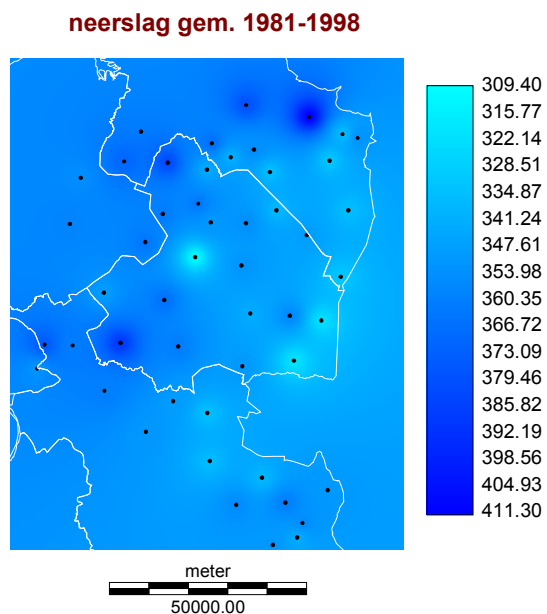
### 7.1 Generieke databestanden

Generieke databestanden zijn in principe voor iedereen, wel/niet tegen betaling, toegankelijk. De eerste vier databestanden zijn essentieel voor de Zelflerende systemen terwijl de laatste twee bestanden op termijn een belangrijke verbetering kunnen betekenen. De volgende generieke data-bestanden zijn bekend:

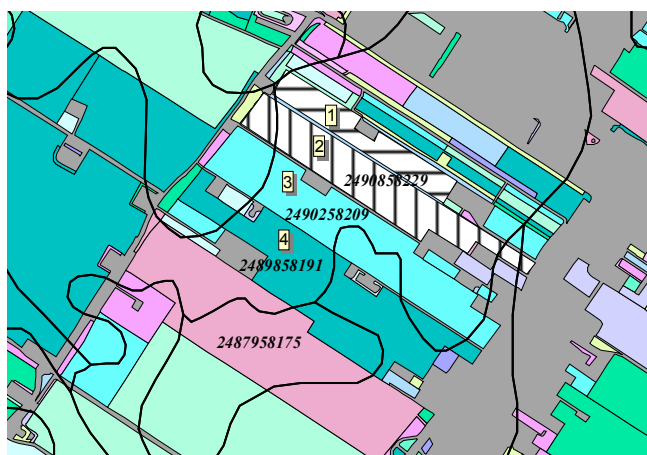
1. Dagelijks weer
  - 1.1. Dagelijkse globale straling
  - 1.2. Minimum temperatuur
  - 1.3. Maximum temperatuur
  - 1.4. Relatieve vochtigheid
  - 1.5. Neerslag
  - 1.6. Windsnelheid
2. Bodem
3. Grondwater
4. Perceelgrenzen en perceelidentificatie
5. Hoogte
6. Remote-sensing

Naast deze bestanden kan men ook nog bestanden van private organisaties in de analyse betrekken zoals PD, NAK, BLGG, HLB.

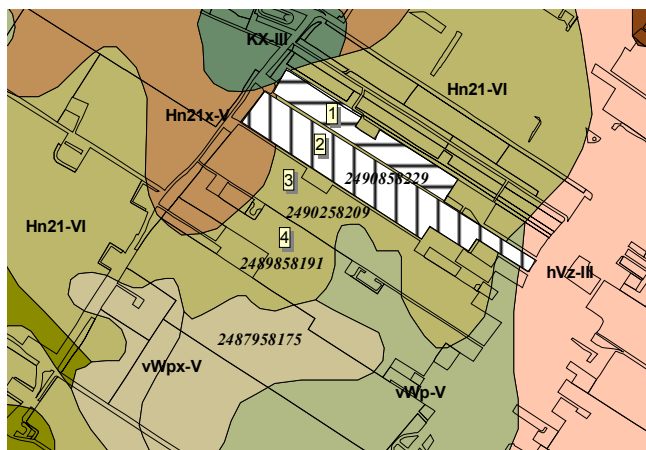
Bij de koppeling van gegevens via Geografische Informatie Systemen is de perceels-informatie beschikbaar via het perceels-registratie nummer. Dit is een 10-cijferige code die specifiek is voor een bepaald perceel. Projectie van de ruimtelijke perceelsinformatie over de landsdekkende bodemkaart van Nederland 1: 50 000 (Figuur 7.2), geeft direct toegang tot de grondsoorten en grondwatertrappen van het betreffende perceel (Figuur 7.3). In het kader van Agrobiokon-1 zijn 315 verschillende profielen beschreven die gekoppeld zijn aan eenheden van de bodemkaart. Deze eenheden beslaan een oppervlak van 2 570 000 ha. Dit is 83% van de totale oppervlakte van Nederland. Tot 120 cm –mv is de laagopbouw gekarakteriseerd met modale, minimum- en maximum waarden voor het organisch stofgehalte, lutum gehalte, leemgehalte, M50 de pH en nog een aantal andere variabelen.



*Figuur 7.1. Gemiddelde neerslag (mm) tijdens teeltseizoen (mei-sept) over de jaren 1981-1998 in NO-Nederland. De neerslag-gegevens zijn afkomstig van de KNMI neerslagstations en vervolgens mbv een GIS geïnterpoleerd tussen de verschillende neerslagstations.*



*Figuur 7.2. Laser perceel indeling geprojecteerd op bodemkaart.*



*Figuur 7.3. Eenheden van de bodemkaart gecombineerd met de Laser perceelscode.*

## 8. Verkenningen met historische data: auto-kalibrerende modellen

Autokalibrerende modellen zijn simulatie modellen die zich zelf kunnen kalibreren op

- 1) meetgegevens van eerdere groeiseizoenen en
- 2) meetgegevens tijdens het groeiseizoen

Kalibratie is het zoeken en vinden van de juiste instelwaarden van het simulatie model. In het kader van zelflerende systemen betekent dit dat de instelwaarden teler en perceel-specifiek zijn. Er zijn twee methoden onderzocht waarmee modellen autokalibrerend worden. Deze methoden zijn gebaseerd op Set-theoretische en Bayesiaanse statistiek of op optimalisatie met behulp van genetische algoritmen.

### 8.1 Set-Theoretische en Bayesiaanse benaderingen

K. Metselaar (Plant Research International)

Hieronder volgt een korte beschrijving van deze benaderingen. In sectie 13 wordt er uitgebreider op ingegaan.

#### 8.1.1 Set-Theoretische benadering

In de set-theoretische benadering worden beschikbare praktijk adviesregels gecombineerd met het management van het specifieke perceel en beschreven in termen van 'sets'. Een set definieert een bereik (waarden) van mogelijke parameterwaarden. Als alle parameters binnen bepaalde waarden vallen dan zijn deze parameters element van een set, vallen ze daarbuiten dan is/zijn de parameter(s) geen element van de set. Of een parameter wel/niet tot een bepaalde set behoort wordt beschreven door een lidmaatschapsfunctie ('membership function') welke twee waarden kan aannemen: 0 en 1.

De parameterwaarden van de advies regel van Neeteson:

$$N_{gift} = 275 - 1.8 * N_{min}(laag 0-30)$$

kunnen geïnterpreteerd worden alsof ze een set beschrijven. De parameter waarden welke de relatie vastleggen tussen  $N_{gift}$  en aardappelopbrengst beschrijven een andere set. De procedure is nu het vinden van die parameterwaarden vinden die beide sets gemeenschappelijk hebben (Tabel 8.1).

Toepassing van deze benadering op bestaande datasets toonde aan dat

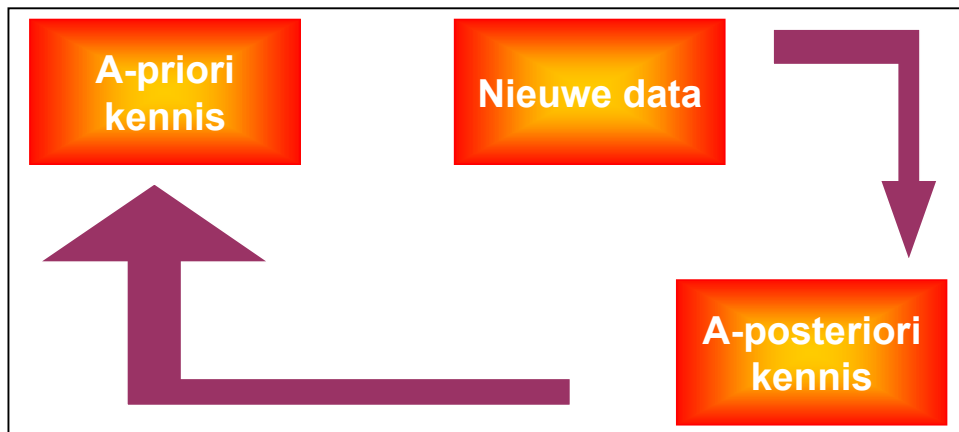
- 1) Deze procedure leidt tot adviezen van economische N-giften
- 2) Dat deze procedure erg gevoelig is voor de kwaliteit van de invoergegevens en van de beginwaarden van de sets.
- 3) De geadviseerde economische N-giften hoog zijn ten opzichte van de in de praktijk toegediende giften (zie tabel 8.1).
- 4) Procedure verder verfijnd kan worden om reële praktijkadviezen te genereren.

Tabel 8.1. De set-theoretische berekeningen die bepalen of een toevalstrekkings van een parameter-set wel of niet acceptabel is volgens de vooraf vastgestelde mogelijke waarden van die parameterset en feitelijk mogelijke aardappelopbrengsten.

		berekende aardappel opbrengst, volgens een toevalstrekkings van parameterwaarden	
		acceptabel omdat alle waarden van de parameters binnen bepaalde waarden zijn ( $S_x=1$ )	niet-acceptabel ( $S_x=0$ )
Berekende aardappel opbrengst, volgens gemeten opbrengsten	acceptabel, omdat berekende opbrengsten binnen de waarden van gemeten opbrengsten zijn ( $S_y=1$ )	$S_x * S_y = 1$	$S_x * S_y = 0$
	niet acceptabel ( $S_y=0$ )	$S_x * S_y = 0$	$S_x * S_y = 0$

### 8.1.2 Bayesiaanse benadering

Als de sets uit de set-theoretische benadering vervangen worden door waarschijnlijkheidsverdelingen en de berekende opbrengsten door kansen dan is er sprake van een Bayesiaanse benadering. De beschikbare informatie wordt de prior genoemd en de veranderde kansverdeling gebaseerd op oude en nieuwe informatie de posterior. vervolgens kan in een volgende cyclus de posterior gebruikt worden als prior voor het genereren van een nieuw advies (Figuur 8.1)

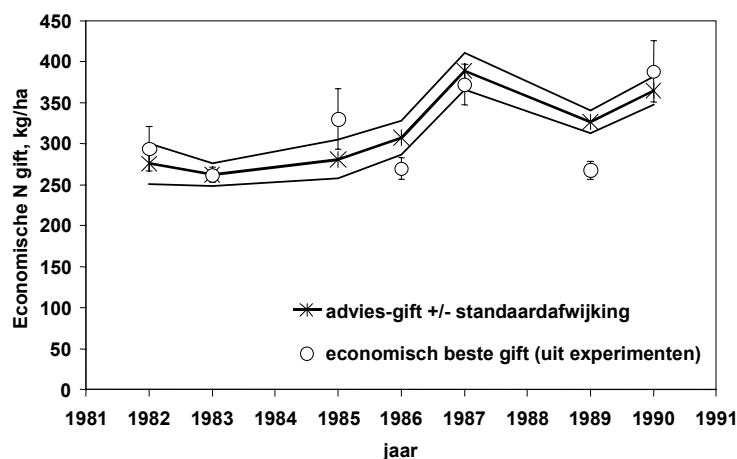


Figuur 8.1. Cyclus in de Bayesiaanse benadering waar 'oude' (A-priori) kennis samen met nieuwe data leidt tot 'nieuwe' (A-posteriori) kennis die daarna weer gebruikt kan worden als 'oude' kennis om te combineren met nog nieuwere data.

Toepassing van deze benadering op bestaande datasets toonde aan dat

- 1) deze procedure leidt tot adviezen van economische N-giften (Figuur 8.2)
- 2) dat deze procedure erg gevoelig is voor de kwaliteit van de invoergegevens
- 3) de geadviseerde economische N-giften hoog zijn ten opzichte van de praktijk toegediende giften (Tabel 8.2).
- 4) procedure verder verfijnd kan worden om reële praktijkadviezen te genereren.
- 5) de bayesiaanse benadering voorkeur verdient boven de set-theoretische benadering





Figuur 8.2. Geadviseerde N-giften in jaar  $\times$  gebaseerd op de experimentele gegevens van gegevens van het de voorgaande jaren.

Tabel 8.2. Feitelijke gegeven N-giften en de geadviseerde giften volgens set-theoretische en Bayesiaanse benadering

		1976	1977	1978	1979
gemeten	opbrengst, t/ha	43,4	46,2	53,1	75,4
	Ngift, kgN/ha	200	200	200	250
Set-theoretische benadering	opbrengst, voorspeld t/ha	57,2	56,5	56,7	57,1
	Ngift, kgN/ha	418	477	456	455
Bayesiaanse benadering	opbrengst, voorspeld t/ha	56,4	56,1	55,2	56,0
	Ngift, kgN/ha	333	461	529	476

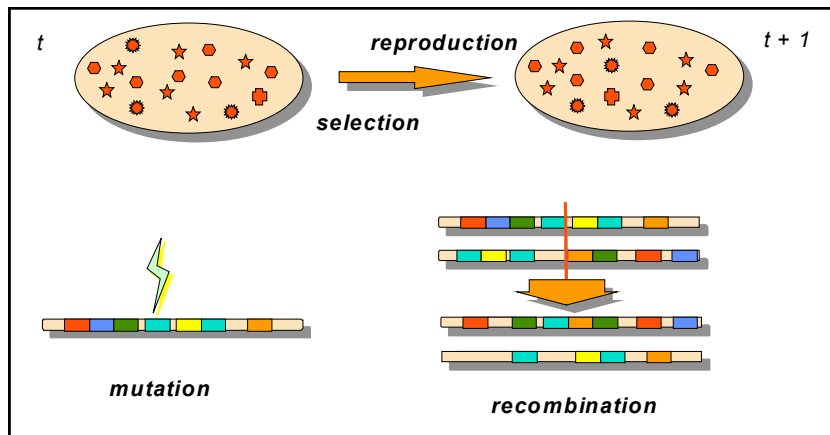
## 8.2 Autokalibrerende simulatiemodellen

D.M. Jansen en R.J.F. van Haren (Plant Research International)

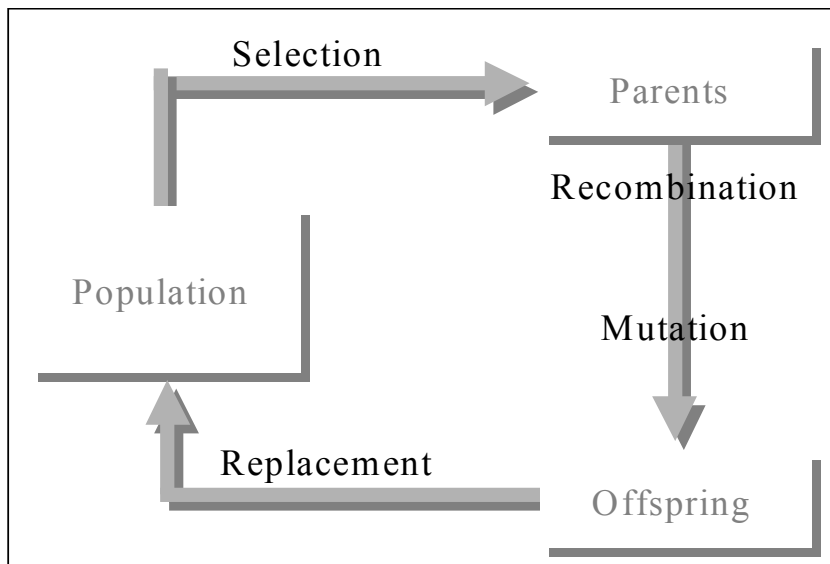
Autokalibrerende modellen zijn toegepast op perceel specifieke beregeningsgegevens van consumptie-aardappelen en vervolgens zijn deze instelwaarden gebruikt voor het voorspellen van de optimale seizoensprogressieve beregeningsschema voor dat specifiek perceel. Uit deze optimalisatie is gebleken dat:

- 1) het beregeningsschema voor een bepaalde periode (10 daagse weersvoorspelling) kan aangeven of er wel of niet in die periode beregend moet worden met het doel een bepaalde opbrengst te behalen
- 2) er een maximum aan de hoeveelheid beregening kan worden toegekend en het model het moment en de hoeveelheid beregening aangeeft, gegeven de totale maximale hoeveelheid per groeiseizoen.

De autokalibratie van modellen gebeurt met behulp van optimalisatie technieken volgens genetische algoritmen. Hierbij evolueert een populatie van mogelijke oplossingen naar een optimum door telkens de best passende oplossing te selecteren en deze selectief te laten muteren, recombineren en reproduceren (Figuur 8.3 en 8.4)



*Figuur 8.3. Schema van genereren van nieuwe set van oplossingsmogelijkheden (voor  $t+1$ ) op basis van mutaties op en recombinaties van geselecteerde eerdere oplossingen (van stap  $t$ ) zoals gebruikt in de genetische algoritmen optimalisatiemethode.*



*Figuur 8.4. Schema van genereren van nieuwe oplossingsmogelijkheden ('Offspring'), het vervangen van een deel van de eerdere oplossingsmogelijkheden ('Population') en het, na evaluatie van de geschiktheid van de nieuwe oplossingsmogelijkheden, selecteren van een nieuwe set van meest geschikte oplossingsmogelijkheden ('Parents') op basis waarvan een volgende set van oplossingsmogelijkheden wordt gegenereerd.*

Hieronder worden twee voorbeelden gegeven van toepassing van autokalibrerende modellen. In beide gevallen is hetzelfde simulatiemodel gebruikt waarvan de gewasparameters gekalibreerd waren op gewasgroei en –productiegegevens van een groot aantal proeven die in eerdere jaren hebben plaatsgevonden in het noorden van Nederland. In de voorbeelden vindt de autocalibratie plaats op parameters die in het model de timing en hoeveelheid van de giften van stikstof en water reguleren, om zo goed mogelijk een productiedoelstelling te bereiken (in de voorbeelden een zo hoog mogelijke productie van droge stof in de knollen) binnen een set van randvoorwaarden (zoals maximaal aantal N-giften, maximale totale hoeveelheid watergift). De door het model gegenereerde sequentie van tijdstippen en hoeveelheden van N en watergiften vormt dan het advies waarmee de gestelde doelstelling volgens het model zo goed mogelijk bereikt zou kunnen worden.

In de voorbeelden wordt een onderscheid gemaakt tussen 'Strategische' en 'Operationele' advisering. Strategische advisering vindt plaats voorafgaande aan de start van het groeiseizoen, dus voordat er acti-

viteiten op het betreffende perceel hebben plaatsgevonden. Wel wordt er vanuit gegaan de bekend is voor welk perceel er een advies uitgebracht moet worden, welke cultivar er gepoot zal worden, wat het teeltdoel is (zoals gezegd hier is aangenomen een zo hoog mogelijke biosfysische productie) en welke randvoorwaarden er gesteld worden aan de inzet van stikstof en water. Het model berekent voor een set van 30 jaren historische weersgegevens welke sequentie en hoeveelheden van N en watergiften gemiddeld genomen het beste resultaat zal geven.

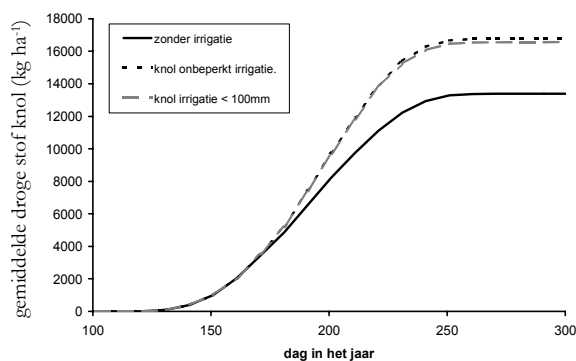
Operationele advisering vindt plaats gedurende het groeiseizoen, wanneer er al activiteiten (zoals bemesting) op het perceel hebben plaatsgevonden en er al jaarspecifieke weersgegevens (en eventueel weersverwachtingen voor een aantal dagen) bekend zijn. Het model rekent tot aan de laatst datum met waargenomen weersgegevens uit hoe het gewas groeit onder invloed van dit weer en het door de landbouwer toegepaste management. Daarna rekent het model voor een op te geven aantal dagen met een weersvoorspelling (die voor alle dagen in de voorspelperiode een schatting geeft van de waarde van benodigde weersgegevens), waarbij het model de stikstofgift en beregening in die periode optimaliseert. Ná de voorspelperiode wordt verder gerekend met 30 jaar historische weersgegevens, als schatting voor de mogelijke variabiliteit van het weer. Ook het management ná de voorspelperiode wordt dan geoptimaliseerd zodat de bereikte opbrengst voor al die jaren gemiddeld het beste aan het doel beantwoord.

### 8.2.1 Strategische advisering met behulp van zelflerende systemen

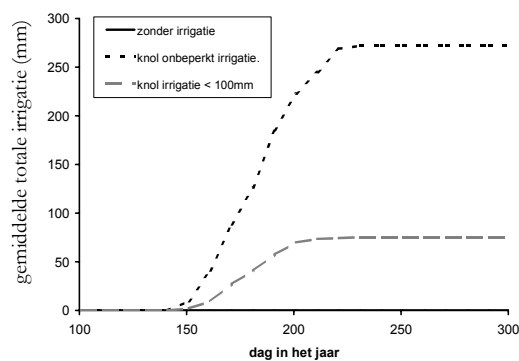
Als voorbeeld van strategische advisering is het model gerund met als doelstelling een zo hoog mogelijke opbrengst aan droge stof in de knol voor cultivar Seresta op een perceel met een eerdgrond (bodemtype Hn21), voor 3 randvoorwaarden ten aanzien van beregening:

- geen beregening mogelijk
- onbepaalde beregening (zowel wat betreft totale hoeveelheid, hoeveelheid per beregening als het aantal malen dat beregend mag worden)
- totale beregening in het seizoen mag niet groter zijn dan 100 mm (met een vrije keuze in hoeveelheid per beregening als het aantal malen dat beregend mag worden)

In alle drie de gevallen geldt een randvoorwaarde van maximaal 350 kg N als gift in maximaal 3 splits. De gemiddelde opbrengst was naar verwachting het hoogst wanneer er onbepaald beregend mocht worden met ongeveer 4 ton droge stof meer opbrengst dan wanneer beregening niet mogelijk (Figuur 8.5), hoewel er niet veel verschil was met de situatie waarin maximaal 100 mm beregend mocht worden.



Figuur 8.5. Geschatte gemiddelde droge stof productie in de knol bij de scenario's 'zonder beregening', 'onbepaalde beregening' en 'maximaal 100 mm beregening' (zie tekst)

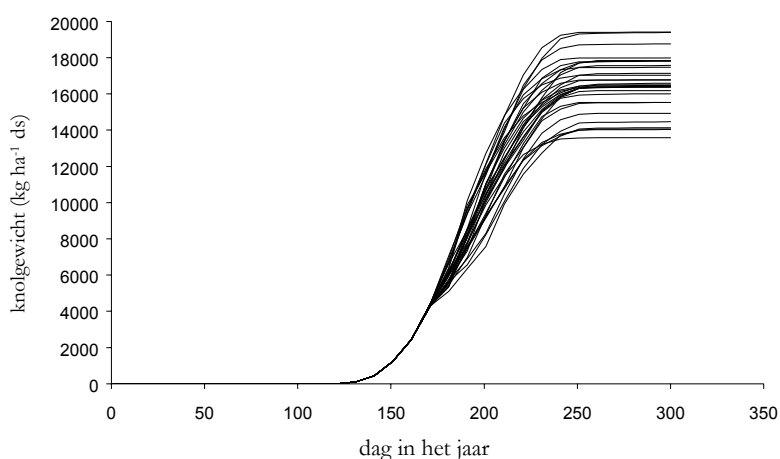


Figuur 8.6 Gemiddelde totale seizoensberegening geschat voor de scenario's 'onbepaalde beregening' (irrigatie) en 'maximaal 100 mm' om een zo hoog mogelijke droge stof productie in de knol te behalen (zie tekst).

## 8.2.2 Operationele advisering met Zelflerende systemen

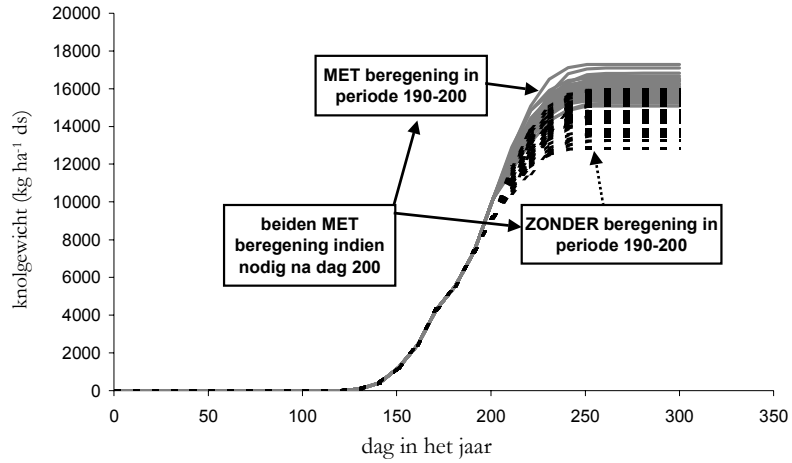
Als voorbeeld voor operationele advisering is gekeken naar de effecten van al dan niet beregenen in een 10-daagse voorspelperiode vanaf verschillende ‘beslisdatums’ in een bepaald jaar. De weersgegevens van dat jaar waren bekend tot aan elk van die datums, waarna de gemeten gegevens voor de daarop volgende 10 dagen werden gebruikt als weersvoorspelling (een ‘perfecte’ voorspelling dus). Voor de periode ná de weersvoorspelling werd het model gerund met data van 30 jaar historische weersgegevens. Pootdatum, cultivarkeuze en activiteiten en inputs betreffende bemesting en beregening waren die zoals geregistreerd door een teler in het noordelijke zetmeelaardappel gebied in het betreffende jaar. Voor elke ‘beslisdatum’ geldt dat in het model alleen die management gegevens bekend waren die golden voor de periode voorafgaande aan die ‘beslissingsdatum’. De totale bemesting had plaatsgevonden vóór de eerste ‘beslisdatum’. Ná de voorspelperiode mocht in het model beregend worden indien dit nodig gevonden werd.

Voor beslisdatum 160 (9 juni) bleek het niet nodig te zijn om te beregenen in de eropvolgende 10 daagse voorspelperiode. De verwachte eindoogst (het gemiddelde van de berekeningen met 30 jaar weersgegevens) was voor de situatie waarin beregenen in de voorspelperiode niet toegestaan was hetzelfde als die wanneer beregenen wel toegestaan was. Het bleek dat gesimuleerde groei van het knolgewicht na de voorspelperiode sterk afhangt van het weer (zie de verschillende lijnen in Figuur 8.7) en dat beregenen in de voorspelperiode niets bijdroeg aan het verminderen van variabiliteit van de opbrengst.

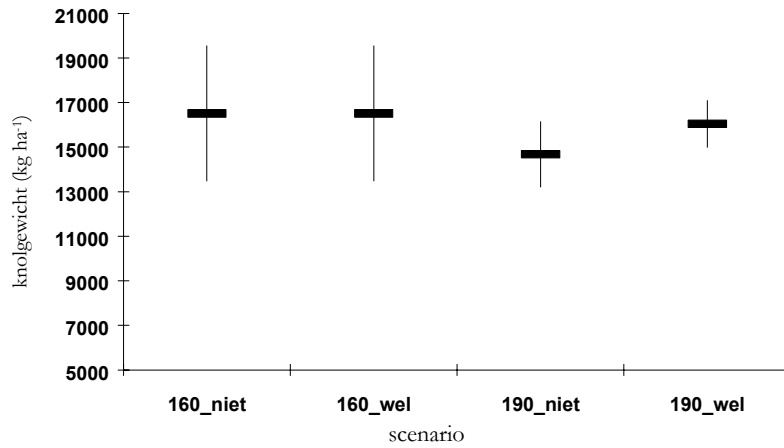


Figuur 8.7. Gesimuleerde toename van droge stof in de knollen voor beslisdag 160 (zie tekst).

Voor beslisdag 190 (9 juli), gold dat het mogelijk wel zinvol was om in de voorspelperiode te beregenen (Figuur 8.8). Indien in die periode beregend werd was de gemiddeld verwachte oogst ongeveer 2 ton hoger dan wanneer er niet beregend mocht worden. Bovendien werd mét beregening de bandbreedte van de gesimuleerde oogsten voor de 30 jaar weersgegevens smaller, hetgeen erop duidt dat, naast een verhoging van de gemiddelde oogst, beregening in de voorspelperiode ook resulteerde in een verlaging van het risico van ‘slechte’ weersjaren.



Figuur 8.8. Gesimuleerde toename van droge stof in de knollen voor beslisdag 190 (zie tekst).



Figuur 8.9. Vergelijking van de scenario's niet of wel mogen beregenen in de 10 daagse voorspelperiode na beslisdag 160 en dag 190. De horizontale (dikke) lijnen geven het gemiddelde van de gesimuleerde oogsten en de verticale (dunne) lijnen het 90% betrouwbaarheids interval.

## 8.3 Blauwdruk voor Zelflerende systemen

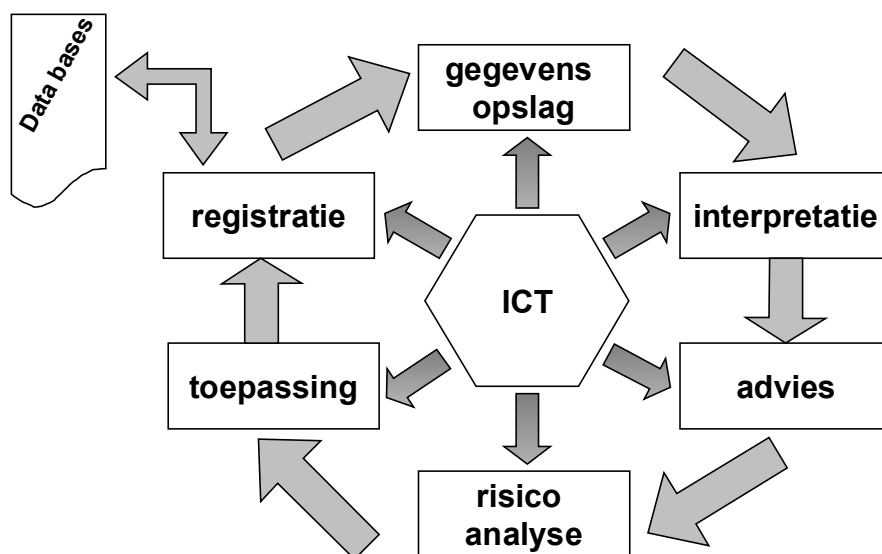
R.J.F. van Haren en D.M. Jansen (Plant Research International)

### 8.3.1 Cyclische teeltinnovatie

De procedure voor de cyclische teeltinnovatie is weergegeven in figuur 8.10. Dit figuur toont de belangrijkste aspecten van zelflerende systemen:

1. registratie
  - 1.1. generiek
  - 1.2. specifiek
2. gegevensopslag
3. gegevens-analyse
4. gegevens interpretatie
5. genereren adviezen
6. vaststellen risico van implementatie adviezen
7. implementatie adviezen
8. opnieuw registreren

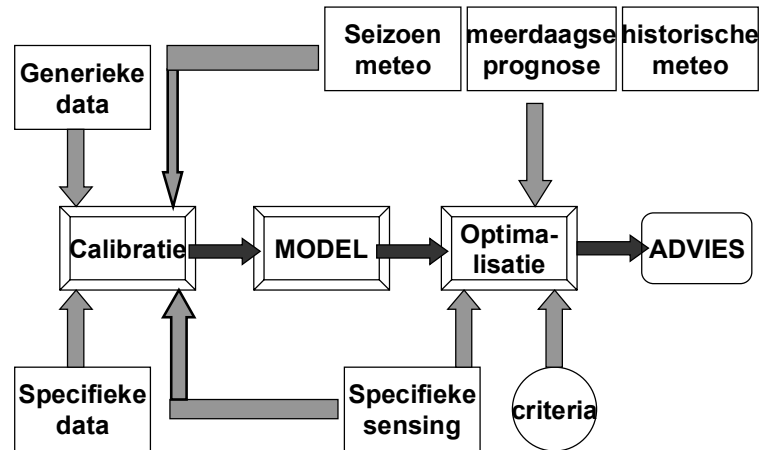
Agro-ICT infrastructuren spelen een grote rol in het gehele proces.



*Figuur 8.10. Informatie en Communicatie Technologie (ICT) speelt een centrale rol bij het proces van cyclische teeltinnovatie.*

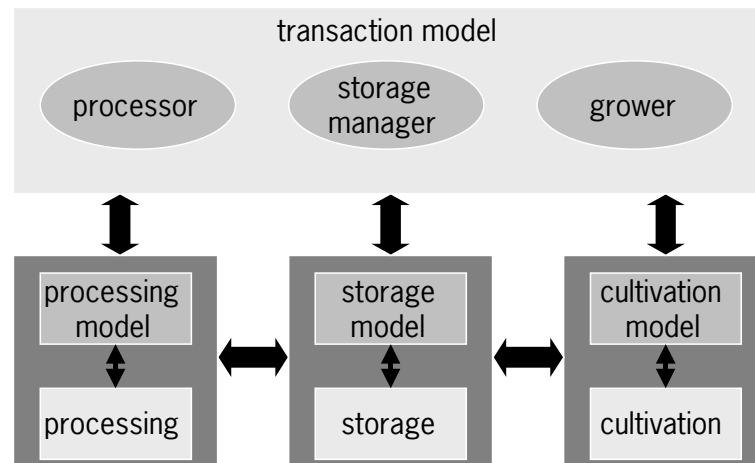
### 8.3.2 ICT format voor zelflerende systemen

Bij de inzet van rekenregels en optimalisatie technieken is er onderstaand ICT-format (Figuur 8.11) nodig voor het genereren van de correcte data-stroom.



Figuur 8.11. Data, beslisriteria en functionele onderdelen van zelflerende systemen om tactische en/of operationele adviezen te genereren.

### 8.3.3 Data-uitwisseling voor zelflerende systemen productieketen



Figuur 8.12. Schema van uitwisseling van gegevens in een productieketen

Het reeds besproken ICT format is niet alleen toepasbaar per bedrijf maar kan ook ingezet worden in de hele agro-productie keten. Hieronder is een schema gegeven hoe de data-stroom in een productieketen gebruikt kan worden (Figuur 8.12).





## 9. Pilot bij bedrijven

D.M. Jansen en R.J.F. van Haren (Plant Research International)

De procedures die in hoofdstuk 8 zijn beschreven zijn vervolgens toegepast op twee situaties. Ingegaan wordt op mogelijke teeltverbetering bij individuele telers en een casus voor een studiegroep rond poten en poters.

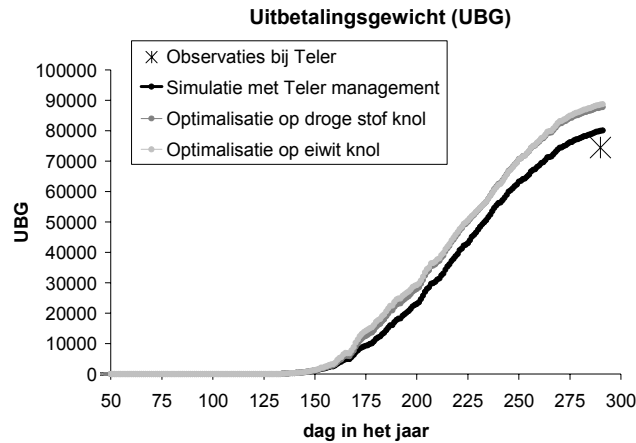
### 9.1 Teler met gemiddeld opbrengstniveau

Op basis van gegevens over de in voorgaande jaren gerealiseerde productie van zetmeelaardappelen per teler, is een teler geselecteerd die een gemiddeld opbrengstniveau voor het geibed had. Voor een specifiek jaar waarin door de teler geregistreerde management gegevens bekend waren is bekeken of er voor deze teler, als vertegenwoordiger van de groep 'gemiddelde' telers, perspectief is voor een verhoging van de opbrengst. Hiertoe zijn vijf scenario's doorgerekend, allen met de weersgegevens van betreffende jaar:

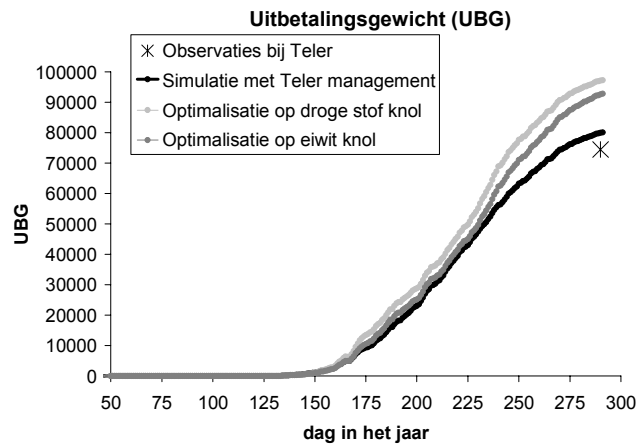
- 1) het door de teler opgegeven management (timing en hoeveelheid van mestgiften en beregening); hierbij vond geen optimalisatie plaats
- 2) optimalisatie van de productie van droge stof in de knol door eventuele veranderingen timing en/of hoeveelheid stikstofbemesting waarbij
  - a) géén beregening mogelijk was
  - b) beregening tot 120 mm per seizoen mogelijk was
- 3) optimalisatie van de productie van eiwit in de knol door eventuele veranderingen timing en/of hoeveelheid stikstofbemesting waarbij
  - a) géén beregening mogelijk was
  - b) beregening tot 120 mm per seizoen mogelijk was

Het gesimuleerde uitbestalingsgewicht (UBG) voor scenario 1 (teler management) bleek dicht bij de waargenomen productie te liggen (Figuur 9.1). Wanneer beregening niet mogelijk zou zijn, bleek door een verbeterde stikstofbemesting voor scenario 2a (maximaal droge stof) en 3a (maximaal eiwit) een verhoging van het UBG met ongeveer 8 ton (ofwel 10% van scenario 1) bereikt te kunnen worden.

Was beregening wel mogelijk, dan was deze verhoging 12 (scenario 2b) of 17 ton (scenario 3b).



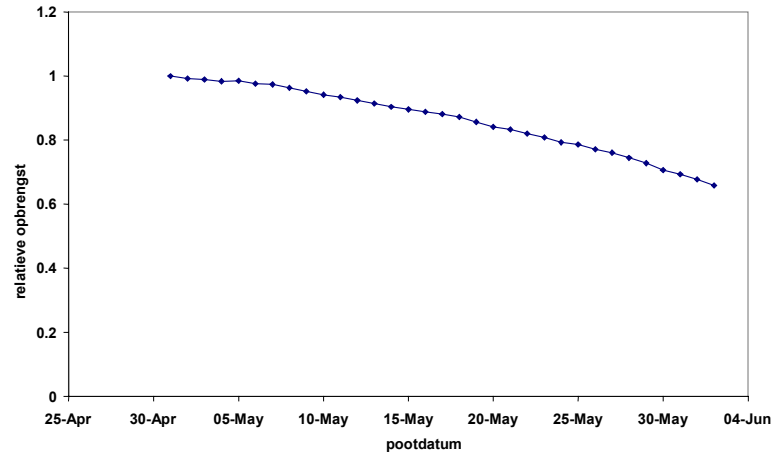
*Figuur 9.1. Gesimuleerde toename van het uitbetalingsgewicht in het groeiseizoen bij scenario's 1, 2a en 2b, in vergelijking met de observatie bij de teler (zie tekst)*



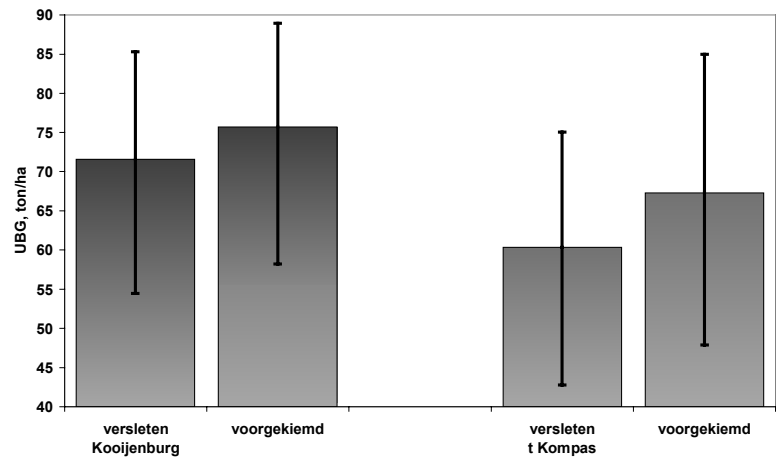
*Figuur 9.2. Gesimuleerde toename van het uitbetalingsgewicht in het groeiseizoen bij scenario's 1, 2b en 3b, in vergelijking met de observatie bij de teler (zie tekst)*

## 9.2 Leer-casus: effecten van laat poten en slecht pootgoed

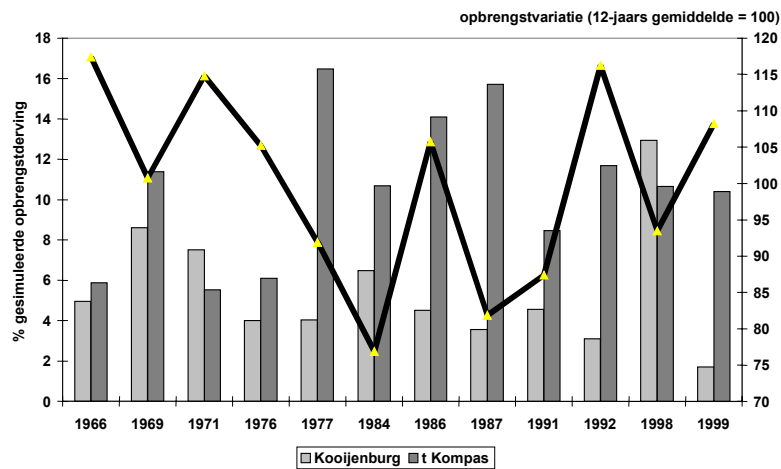
Laat poten en/of slecht pootgoed leidt tot een verlate opkomst. Hierdoor loopt de teler opbrengst mis. Onderstaande figuren zijn op telerbijekomsten en open dagen gepresenteerd en hebben geleid tot een discussie over de effecten van kwaliteit van het pootgoed en de effecten van vroeg/laat poten.



Figuur 9.3. Effect van pootdatum op de relatieve opbrengst. Hoogste opbrengst is op 1 gesteld.



Figuur 9.4. Gesimuleerd effect van versleten en voorgekiemd 'goed' pootgoed op het langjarig gemiddelde UBG (staven) en de jaarlijkse variabiliteit (90% betrouwbaarheidsinterval; lijnen) in Kooijenburg en 't Kompas (cultivar Seresta).



Figuur 9.5. Gesimuleerde opbrengstderving door versleten pootgoed (staven) en de productiviteit (uitgedrukt in % van het 12 jaars gemiddelde; lijn) voor een geselecteerd aantal jaren (x-as) in Kooijenburg en 't Kompas (cultivar Seresta).



## 10. Overleg met partners: de workshop

Op 9 maart 2000 is de workshop Zelflerende Systemen geweest. De sprekers waren:

- 1) N.G Hoogenboom (Plant Research International)  
Opening
- 2) R.J.F. van Haren (Plant Research International)  
Wat zijn Zelflerende systemen
- 3) J. Bartelds (LTO-Nederland)  
Behoeftte vanuit de praktijk
- 4) A.S.M. Tabak (LNV Directie Landbouw)  
Eisen van beleid, mogelijkheden voor stimulering
- 5) A.H. Ipema (IMAG)  
Kansen voor zelflerende systemen in de melkveehouderij
- 6) F.J.G. Tijink (IRS)  
Registratie, kansen voor meerwaarde in de bietsuikerketen
- 7) G. Beers (Wageningen UR)  
Forumdiscussie en dagvoorzitter

Er waren voor de workshop 170 relaties uitgenodigd, waarvan er zich 75 hadden ingeschreven voor deelname. Uiteindelijk hebben er 70 personen aan de workshop deelgenomen.

De lezingen verliepen goed. Gedurende de middag ontstond vanuit de verschillende invalshoeken een breed beeld waaraan management informatie systemen in de akkerbouw aan moeten voldoen. De lezingen waren positief kritisch over zelflerende systemen; aansluiten bij bestaande ontwikkelingen (kwaliteitsplan akkerbouw), gebruikers de regie laten nemen (LNV) en eenvoudig beginnen om afbreukrisico's te voorkomen (IRS). De lezing van Ipema (IMAG) was vrij technisch en procesmatig van aard, viel achteraf gezien wat uit de toon. Gezien de interactie tussen sprekers en publiek, de één/tweetjes tussen sprekers en publiek, was duidelijk dat we de belangrijkste spelers uit de akkerbouw-sector; primaire sector, LNV, industrie en DLV bijeen hadden. De discussie kwam door tijdgebrek niet goed uit de verf, vier in plaats van vijf sprekers was beter geweest.

De presentatie van het project Zelflerende Systemen was goed, er was misschien iets teveel nadruk op de wetenschappelijke achtergronden. Zowel vanuit de sprekers als bij de deelnemers hoor je regelmatig de vraag waar de grootste voordelen in het management te behalen zijn; binnen of buiten de teelt? Onderzoek dient uit te wijzen waar de grootste meerwaarde te behalen is.

### 10.1 Lezing N. Hoogenboom workshop

Kennisoverdracht in de land- en tuinbouw vindt nog voornamelijk plaats doordat telers informeel met elkaar praten, door demonstraties van het praktijkonderzoek, cursussen en individuele advisering door toeleverings- en voorlichtingsbedrijven. bestaande kennis en ervaring worden zo verbreed. Nu weten we immers nog vaak wel waar de grootste doorbraak is te verwachten als het gaat om het verbetering van de kwaliteit, opbrengst en rendement. Ook over een paar jaar is directe kennis- overdracht nog steeds belangrijk maar gaan computergebaseerde ontwikkelingen - ook in de Open teelten- de boven- toon voeren. Er ontstaat een continuüm van waarneming en interpretatie voor verbeterde adviezen door het gebruik van digitale gegevens bestanden van telers en agro- industrie, voorlichtende instanties

en het onderzoek Data gaan niet meer verloren Maar gaan heen en weer tussen genoemde groepen en dragen alle bij aan de verbetering van de teel in een zelf- lerend systeem.

Een teler van gewassen in de open lucht neemt veel waar. Voor het poten of zaaien is na bemonstering en analyse de mineralentoestand van de grond bepaald. Op basis daarvan wordt een bemestingsadvies gegeven. Bij aardappel zijn bepalingen van aardappelmoetheid verricht zodat de raskeuze wordt bepaald. Per perceel wordt tevens opgeschreven wat de voorvrucht was, wat de kwaliteit van het uitgangsmateriaal was en wanneer gezaaid is. Sommige telers nemen waar wanneer de opkomst is en hoe vaak er tegen ziektes is gespoten. Is er berekend zo ja hoeveel en wanneer ?, wanneer en hoeveel stikstof is er bijbemest ? Sommige boeren gaan nog verder, vaak in verband van een studieclub en doen proefoogsten en opbrengsten en prijzen worden opgeslagen. Deze lijst is nog niet compleet maar het is duidelijk dat per perceel tientallen gegevens worden waargenomen en veelal ook opgeschreven en bewaard.

Er zijn ook vele gegevens die niet door de boer worden waargenomen maar wel degelijk zijn vastgelegd. De meteorologische diensten houden het weer dagelijks bij, de waterschappen de grondwaterstand en per perceel zijn vaak ook de grondsoort en bodemeigenschappen zoals het profiel bekend. Nadat het product het bedrijf verlaat worden ook nog vele zaken waargenomen door de afnemer zoals de sortering, tarra, het drogestofgehalte. Afhankelijk van de bestemming vindt vaak nog chemische analyse plaats voor het vaststellen van het suikergehalte zetmeelgehalte, de bakkleur van chips of frites of de brouwkwalke. Daar waar het voor de uitbetaling van belang zoals het tarragehalte of het drogestofgehalte krijgt de teler nog wat getallen toegestuurd maar heel veel getallen verdwijnen in computers van de industrie en worden niet meer in verband gebracht met het perceel waar het materiaal vandaan komt.

De teler staat bij het verzamelen van de grote hoeveelheid gegevens steeds minder alleen. Als gezegd, bodemlaboratoria, meteodiensten en afnemende bedrijven nemen veel waar maar steeds meer telers laten zich bijstaan door professionele raadgevende bedrijven. Deze bedrijven helpen via gerichte waarneming en automatisering bij het maken beslissingen als het gaat om bijvoorbeeld stikstofbijbemesting, beregeningsplanning en gewasbeschermingsmaatregelen. Initiatieven rond certificering van teelten en bedrijven zoals het kwaliteitsplan akkerbouw leveren nog meer teeltregistratiegegevens op, met name rond zaken die met het milieu verband houden zoals bemesting, bespuitingen en het gebruik van water en energie.

# 11. Project-beschrijving: Teeltinnovatie in de (zetmeel)aardappelproductiekolom

R.J.F. van Haren (Plant Research International), J. Dogterom (DLV), A. Veerman (PPO)

## 11.1 Samenvatting

### 11.1.1 Doel

Het doel van dit project is het verhogen van de kwaliteitsprestatie van de aardappelproductieketen bij telers door het onderling afstemmen van pootgoedteelt, pootgoedbewaring, inzet van pootgoed, mestgiften en gewasbeschermingsmiddelen bij de hoofdteelt. Hierdoor worden productiekosten en milieubelasting van deze agroproductieketen verminderd en wordt de kwaliteit van het product van de hoofdteelt verbeterd. Hiervoor wordt een geïntegreerde aanpak voorgesteld waarbij multi-disciplinaire teams systematisch keten elementen afzonderlijk en in samenhang analyseren (weer, bodem-perceel, ras,...). Kernelementen zijn traceerbaarheid en ketenoptimalisatie.

Een groot aantal kwalitatieve en kwantitatieve aspecten van de aardappelteelt zijn reeds onderzocht. De bedoeling is deze kennis te benutten en tot meerwaarde te brengen bij de teler op het bedrijf. De zetmeelaardappelproductiekolom is gekozen als implementatie voorbeeld omdat in het kader van Agrobiokon hier reeds de ketenbenadering is geïntroduceerd. De resultaten van de implementatie door het onderhavige project, dienen vervolgens als leidraad voor een sectorbrede aanpak van innovatie aardappelproductiekolom.

### 11.1.2 Middel

Actieve en participerende Kennis Overdracht worden ingezet als middel om praktijk en wetenschappelijke informatie op bedrijfsniveau bij een select aantal telers via een aantal leercycli toe te passen. Het innovatie-proces bestaat uit de volgende fasen:

- 1) registreren bestaande teler specifieke situatie
- 2) analyseren bestaande teler specifieke situatie
- 3) signaleren knelpunten in teler specifieke situatie
- 4) implementeren knelpunt oplossingen.

Het innovatie proces is cyclisch door het weer registreren van de verbeterde situatie. Door de cyclische teelt innovatie wordt een opwaartse verbeterings-spiraal gecreëerd.

## 11.2 Inleiding

De aardappelproductie kolom of keten is in Nederland en wereldwijd sterk afhankelijk van de beschikbaarheid van passend, gezond en vitaal pootgoed. Verschillende instanties in Nederland hebben hun zorgen geuit (poters voor morgen, risico-analyse aardappelkolom) over de toekomstige beschikbaarheid van kwalitatief hoogwaardig pootgoed. Bedreigingen ten aanzien van (quarantaine) ziekten en plagen, variatie in raskenmerken en vitaliteit van pootgoed vormen een risico voor de aardappelproductiekolom. De directe aanleiding is de uitbraak van de bruinrot ziekte in 1995 geweest, die de kwetsbaarheid van de productieketen als geheel aantoonde.

De aardappelproductieketen bestaat uit een groot aantal ketenelementen die naadloos in elkaar overgaan. De volgende fasen zijn daarin te onderscheiden:

- 1) veredelingsfase
- 2) vermeerderingsfase
- 3) laatste vermeerderingsfase
- 4) pootgoedbewaring
- 5) teeltfase
- 6) verwerkingsfase

Bij overdracht van materiaal (partijen) tussen opeenvolgende ketenelementen is kennis omtrent de conditie en herkomst van het over te dragen materiaal (kwaliteitscriteria) van belang zodat het volgende ketenelement tijdig anticipeert en eventueel mogelijke nadelige effecten remedieert. De keten kan op deze wijze in zijn geheel beter functioneren en producten van constante hoge kwaliteit afleveren waardoor een competitief voordeel ontstaat bij partijen die deze werkwijze toepassen.

### 11.3 Toekomstperspectief voor teler en keten

Het proces van cyclische teeltinnovatie leidt tot een verbeterde kwaliteitsprestatie van de aardappelproductie keten. Voor een individuele teler ziet de toekomst er als volgt uit.

De teler ontvangt in het seizoen van de laatste vermeerderingsfase reeds automatisch van de vermeerderaar via internet rasadviezen en periodiek ververste gegevens van de toekomstige toestand van een aantal geschikte pootgoedpartijen en daaraan gekoppelde adviezen omtrent pootgoedbewaring, voorkiemen en uitpoten alsmede grondsoort, grondwaterstand en bemestingsadviezen. De rassen en partijen zijn reeds voorgeselecteerd op basis van criteria die gelden voor het betreffende bedrijf van de teler zoals wel/niet beregenen, ziektedruk en teeltdoel. De teler beslist op een gegeven moment welke partij pootgoed voor zijn bedrijf het meest geschikt is en richt vervolgens zijn bewaring en bewaringshulpmiddelen hierop in. De partij pootgoed wordt vervolgens geleverd en direct volgens de reeds geconditioneerde omstandigheden in de bewaring gebracht. Het perceel waar de betreffende partij pootgoed in het voorjaar uitgepoot wordt, wordt reeds in datzelfde najaar in gereedheid gebracht door bijvoorbeeld de najaarsbemesting en groenbemester af te stemmen op de te verwachten vitaliteit van het pootgoed. De partij pootgoed wordt gedurende de bewaring gevolgd en zonodig wordt de bewaartemperatuur bijgesteld om op de gewenste pootdatum de juiste kiemkracht te bereiken. De voorjaarsbemesting wordt afgestemd op de te verwachten vitaliteit, kiemkracht, oogstopbrengst en teeltdoel van pootgoed en teelt. Na het poten is de opkomst snel, gelijkmatig en met een constant stengeltal. Hierdoor zijn er minder herbiciden noodzakelijk, is er een uniforme knolgrootte verdeling en kan het loof waarschijnlijk op het juiste moment gedood worden waardoor er goed afgerijpte knollen met de juiste kwaliteitseigenschappen en hoge productie geogst worden.

De voordelen voor de productieketen zijn het afstemmen van vraag en aanbod waardoor pootgoedtelers kunnen anticiperen op een verwachte vraag van telers en een verbeterde opbrengst en kwaliteit van de hoofdteelt-productie.

### 11.4 Werkwijze

Dit project richt zich in eerste instantie op de zetmeelaardappelproductieketen omdat voor deze keten in het kader van Agrobiokon reeds een aantal innovaties beschikbaar zijn. Het doel is deze innovaties in de praktijk te implementeren volgens de uitgangspunten van integrale ketenbenadering.

In deze studie worden drie opeenvolgende ketenelementen in beschouwing genomen voor het inhoudelijk en projectmatig beheersbaar houden van het project. De ketenelementen zijn:

- 1) laatste vermeerderingsfase
- 2) pootgoedbewaring
- 3) aardappelteelt tot en met de opkomstfase



De studie richt zich op het kwantificeren van stuurbare en volgbare parameters die de kwaliteit van deze drie ketenelementen beschrijven.

Deze drie elementen zijn gekozen omdat ze kritisch zijn voor de hele keten en omdat er relatief veel over bekend is, (er zijn reeds kwantitatieve modellen beschikbaar voor de zetmeelaardappelteelt). Opkomstproblemen van het gewas bij de hoofdteelt leiden snel tot opbrengstdervingen. Simulaties laten zien dat vertraagde opkomst kan resulteren in opbrengstdervingen van ongeveer 30%.

Het principe van cyclische teelt innovatie (zelflerende systemen) wordt hier toegepast:

- 1) registreren bestaande teler specifieke situatie
- 2) analyseren bestaande teler specifieke situatie
- 3) signaleren knelpunten in teler specifieke situatie
- 4) implementeren knelpuntoplossingen.

Per teler worden de stuurbare en volgbare parameters geregistreerd en geanalyseerd. Op basis hiervan worden de knelpunten gesignaleerd en kan verbetering doorgevoerd worden door het implementeren van de juiste stuurfactoren. Tabel 11.1 geeft een aantal volgbare en stuurbare parameters en stuurfactoren. Tijdens het project wordt deze tabel verder uitgebreid.

Tabel 11.1

Fase	Volgbare parameters	Stuurbare kengetallen	Sturende factoren	Doel
Laatste vermeerderings fase	Macsharry nummer perceel			Traceerbaarheid en teeltcondities
	NAK nummer			Vaststellen ziekten
	TBM nummer			
	Bemesting Ras Pootdatum			
	Rooiomstandigheden	Ziektegevoeligheid	Calciumgehalte knol	Indicatie rooibeschadiging
	Rooidatum Sortering			
Pootgoed bewaring		Groeikracht, kieming, koudegevoeligheid, vitaliteit, fysiologische ouderdom, ziekte-aantasting	Ziektenbehandeling, drogen, temperatuur, bewaarduur, ventilatie, pootgoedbehandeling	
Opkomst		Opkomst%, uitval%, hetrogeniteit	N-gift, berekening, , pootafstand, ziekte-behandeling	

Het basis idee van de volgbare parameters is dat eenvoudige gegevens zoals het Macsharry nummer, te herleiden zijn tot complexe gegevens zoals de fysische en chemische karakteristieken van de bodemprofielen in het perceel en het dagelijkse weer. Deze herleiding vindt plaat met behulp van kwantitatieve methoden zoals Geografische Informatie Systemen, simulatie modellen etc.

Per cyclusonderdeel worden specifieke activiteiten georganiseerd:

- 1) Registreren bestaande teler specifieke situatie  
Voorlichtingsdeskundigen registreren in samenwerking met praktijkdeskundigen de situatie zoals deze bij een teler op een bepaald moment aanwezig is. De te registreren variabelen zijn in ieder geval de 'stuurbare parameters' en de mogelijkheden van de teler om deze eventueel te remediëren met behulp van de 'sturende factoren'.
- 2) en 3) Analyseren bestaande teler specifieke situatie en signaleren knelpunten in teler specifieke situatie  
De geregistreerde variabelen uit 1) worden ingevoerd in een analytisch ketenmodel dat bestaat uit gekoppelde simulatie modellen van pootgoed bewaring en teelt. Op basis hiervan worden er per teler, via gevoeligheids analyse en optimalisatie technieken, een aantal sturende factoren geselecteerd die veelbelovend zijn om in de praktijk te implementeren.
- 4) Implementeren knelpunt oplossingen  
Praktijk en voorlichtingsdeskundigen implementeren de gesuggereerde sturende factoren bij de teler en registreren daar het effect van waarna de cyclus weer overnieuw kan beginnen.

### 11.4.1 Additionele kennisvragen

In het bovenstaande zijn een aantal zaken genoemd die op dit moment nog niet volledig operationeel zijn. De volgende onderdelen dienen nog nader onderzocht te worden voordat de cyclische teelt innovatie volledig operationeel kan zijn.

#### 11.4.1.1 Vitaliteit pootgoed

Het vermogen van de poter om eenmaal in de grond vlot te kiemen en snel uit te groeien tot een krachtige plant wordt bepaald door de vitaliteit. Ras, bewaarduur en -temperatuur bepalen of een poter te jong, geschikt of te oud is om met optimale vitaliteit gepoot te worden op het gewenste moment in het gewenste land. Incidenteel kunnen herbiciden of verkeerde loofdoding ook tot een verminderde vitaliteit leiden. Ziekten zoals rhizoctonia of fusarium beïnvloeden de vitaliteit ook maar hiervoor is een andere toets nodig dan voor het bepalen van de biochemische/fysiologische toestand die gekoppeld is aan de vitaliteit.

Het nodige onderzoek inventariseert eerst welke fysiologische en biochemische factoren een relatie hebben tot vitaliteit. Bij het bewaaronderzoek (onder andere ouderdomsverzoeting en stootblauw) zijn reeds enkele chemische factoren en hun effecten aangetoond. In het voorgestelde vitaliteitsonderzoek wordt genetisch/biochemisch onderzoek uitgevoerd om aan te tonen welke genen betrokken zijn bij knolontwikkeling en kieming, wanneer ze tot expressie komen en hoe hieruit een toets voor vitaliteit (door middel van kiemprouven) kan worden ontwikkeld. Voor dat laatste zullen kiemprouven van verschillende rassen met pootgoed van verschillende leeftijd tot kieming worden gebracht en verbanden met biochemische en moleculair-genetische factoren worden gelegd. Ook de invloed van bijvoorbeeld herbiciden, doodspuitmiddelen en calciumgebrek moeten uit de vitaliteitstoets blijken.

Tijdens knolontwikkeling en kieming komt een groot aantal genen tot activiteit. Deze genen bepalen de snelheid, homogeniteit en kwaliteit van de kieming en kunnen gebruikt worden om een vitaliteitstoets te ontwikkelen. Tot nu toe zijn maar een beperkt aantal genen beschreven die tot expressie komen tijdens knolontwikkeling en kieming, maar nieuwe technieken maken het mogelijk een enorme versneling aan het onderzoek en de toepassingsmogelijkheden te geven. Met behulp van de zogenaamde DNA-microarray technologie (Functionele Genomica) is het mogelijk de actie van duizenden genen tegelijk te traceren en deze genactiviteit direct te koppelen aan de kwaliteit van de knolontwikkeling en kieming. De DNA-expressie kan vervolgens biochemisch worden gevolgd met behulp van eiwittechnologieën. Met behulp van nieuwe eiwittechnieken (Proteomica) kunnen eiwitten die tijdens knolontwik-

keling en kieming tot expressie komen snel en effectief worden geanalyseerd. De combinatie van DNA-arrays en proteomics maakt het mogelijk de individuele genen en de eiwitten te traceren die direct gerelateerd zijn met de kwaliteitskenmerken. Vervolgens kunnen DNA-chips of Eiwit-markers gemaakt worden die op een snelle en kosteffectieve wijze de kwaliteitskenmerken in de praktijk aantonen. Alle kennis en methoden die nodig zijn om de markers te ontwikkelen zijn beschikbaar.

Het product van het vitaliteitsonderzoek bestaat uit:

- Vermeerderde kennis over de fysiologische en biochemische regulatie en kenmerken van fysiologische ontwikkeling
- Meet-protocollen voor het kwantificeren van pootgoed vitaliteit
- Lijst van stuurbare factoren die pootgoed kwaliteit beïnvloeden
- Een toets om de vitaliteit te bepalen
- Een traject voor exploitatie van de kennis voor brede praktijktoepassing

#### **11.4.1.2 Model pootgoedbewaring**

Ontwikkelen kwantitatief model voor pootgoed bewaring met stuurfactoren als input en stuurbare factoren als output. Hierbij worden bestaande aardappelbewaarmodellen aangepast voor dit specifieke doel. Reeds aanwezige data van rassen en bewaarcondities worden zoveel mogelijk hergebruikt voor het ontwikkelen, kalibreren en valideren van de modellen.

Het pootgoedbewaringsmodel wordt gekoppeld aan het fysiologisch gewasgroeimodel zoals dat in Agrobiokon-1 is ontwikkeld. Het doel van de koppeling is uiteindelijk de optimalisatie van pootgoed-teeltfactoren die leiden tot een specifieke conditie van het pootgoed en de bewaarbaarheid daarvan. Bijvoorbeeld, de gecumuleerde temperatuursom van het pootgoed (= leeftijd) is een mogelijke factor die bepalend is voor zowel de bewaarbaarheid als vitaliteit van het pootgoed.

## **11.5 Fasering**

Het project heeft een doorlooptijd van vier jaar en kent twee onderdelen die onafhankelijk van elkaar kunnen functioneren, echter in combinatie wordt er een meerwaarde gecreëerd die de som van de afzonderlijke onderdelen overstijgt. De onderdelen zijn implementatie en additioneel onderzoek

Onderdelen:

1. Implementatie
  - 1.1. Opzetten keten en teelt registratie
  - 1.2. Opzetten keten en teelt analyse en optimalisatie systeem
  - 1.3. Implementatie op praktijkbedrijven
    - 1.3.1. Registreren bestaande teler specifieke situatie
    - 1.3.2. Analyseren bestaande teler specifieke situatie
    - 1.3.3. Signaleren knelpunten in teler specifieke situatie
    - 1.3.4. Implementeren knelpunt oplossingen.
  - 1.4. Evaluatie verbetering ketenprestatie
2. Additioneel onderzoek, toegepast en fundamenteel:
  - 2.1. Vitaliteits en fysiologisch ouderdom onderzoek
  - 2.2. Modelontwikkeling pootgoedbewaring

Noot: parallel aan het toegepaste onderzoek worden er bronnen aangeboord voor het verder verdiepende pre-competitieve fundamentele onderzoek. Het parallelle onderzoek wordt in samenwerking met de Landbouw Universiteit uitgevoerd.

Taken	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 4	mond
1.1 Opzetten keten en teeltregistratie systeem	x	x	X		12
1.2 Opzetten teelt analyse en ketenoptimalisatie-systeem	x	X			12
1.3 Implementatie op praktijkbedrijven	x	x	X	x	12
1.3.1 Registreren situatie	x	x	X		6
1.3.2 Analyseren situatie		x	X		6
1.3.3 Signaleren knelpunten situatie		x	X	x	6
1.3.4 Implementeren verbeteringen situatie			X	x	6
1.4 Evaluatie verbetering ketenprestatie				x	3
<b>Totaal</b>					<b>63</b>
2.1 Vitaliteitsonderzoek	x	x	X		18
2.2 Ontwikkelen en valideren pootgoed bewaarmodel	x				6

## 11.6 Verwachte resultaten

De resultaten zijn:

### 1. Implementatie

- 1.1 Opzetten keten en teelt registratie  
resultaat: operationeel keten en teeltregistratie systeem
- 1.2 Opzetten keten en teelt analyse en optimalisatie systeem  
resultaat: operationeel keten en teelt optimalisatiesysteem
- 1.3 Implementatie op praktijkbedrijven
  - 1.3.1 Registreren bestaande teler specifieke situatie  
resultaat: bij een 50 tal telers een 3-jarige registratie van de bestaande en verbeterde situatie
  - 1.3.2 Analyseren bestaande teler specifieke situatie  
resultaat: bij een 50-tal telers een 3-jarige analyse van de bestaande en verbeterde situatie
  - 1.3.3 Signaleren knelpunten in teler specifieke situatie  
resultaat: bij een 50-tal telers een overzicht van knelpunten en oplossingsrichtingen voor verbeteren van deze knelpunten
  - 1.3.4 Implementeren knelpunt oplossingen.  
Resultaat: geïmplementeerde knelpunt oplossingen
  - 1.3.5 Evaluatie verbetering ketenprestatie  
resultaat: analyse van optreden van kwaliteitsverbetering door keten en teelt registratie/optimalisatie systeem

### 2. Additioneel onderzoek:

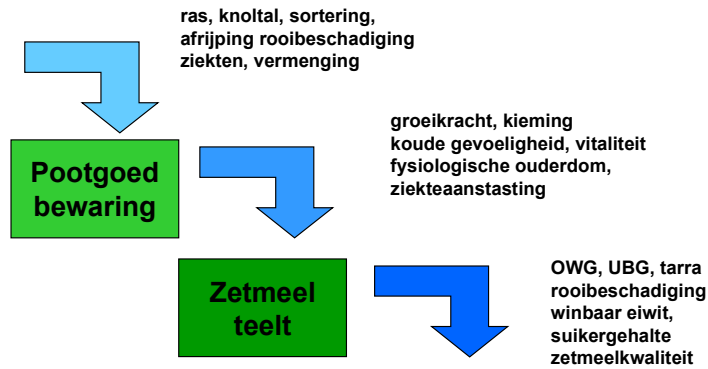
- 2.1 Vitaliteits en fysiologisch ouderdom onderzoek  
resultaat: criteria voor het bepalen van pootgoed vitaliteit
- 2.2 Modelontwikkeling pootgoedbewaring  
resultaat: kwantitief model voor pootgoedbewaring in relatie tot beheersbare factoren

Naast deze resultaten per onderdeel zijn ook de volgende doelstellingen behaald:

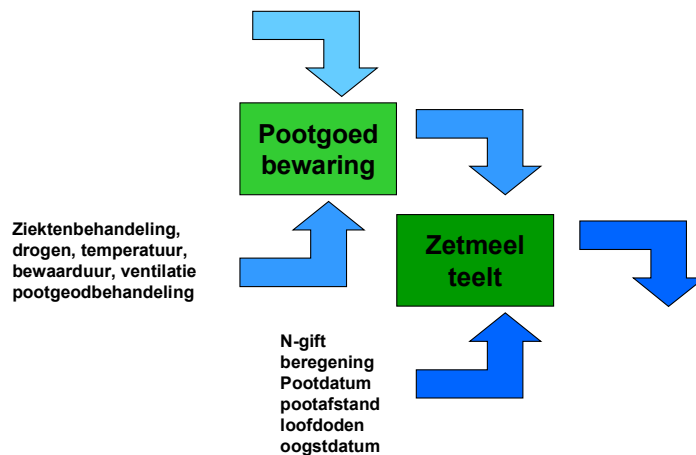
1. in de praktijk bij een aantal telers geïmplementeerd cyclisch teeltinnovatie plan met kwantificeerbare kwaliteitsverbetering sinds aanvang project
2. operationeel cyclisch teeltinnovatie protocol met bijbehorende kwantitatieve instrumenten. Deze instrumenten zijn operationeel in een gebruikersvriendelijke omgeving waarbij cursusmateriaal beschikbaar is.

3. Geprototypeerd tracing en tracking systeem voor de aardappelproductieketen op basis van bestaande identificaties (NAK nummers, MacSharry nummers)
4. Bijlagen met kengetallen voor kwantitatieve informatie overdracht tussen keten-elementen ten behoeve van kwaliteitsverbetering

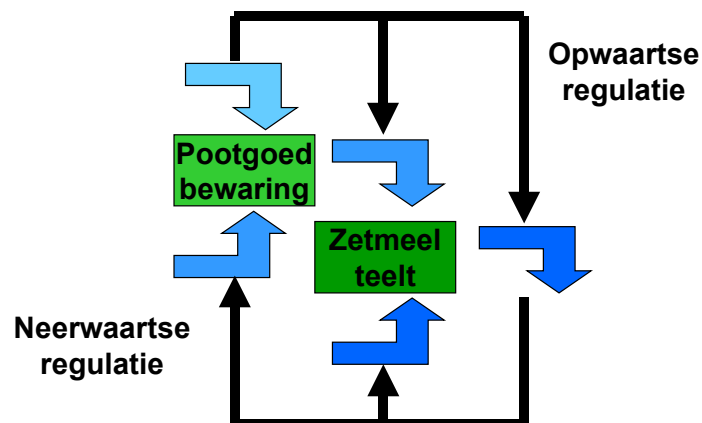
## Bijlage



Figuur 11.1. Gedeelte van aardappelproductieketen met keten-elementen pootgoedbewaring en zetmeelaardappelteelt. Per element zijn de belangrijkste stuurbare parameters (kwaliteitskenmerken) genoemd.



Figuur 11.2. Gedeelte van aardappelproductieketen met keten-elementen pootgoedbewaring en zetmeelaardappelteelt. Per element zijn de belangrijkste stuurfactoren genoemd die de kwaliteitskenmerken in figuur 11.1 beïnvloeden.



Figuur 11.3. Keten regulatie en optimalisatie



## 12. Conclusie

De conclusie van deze pilot-studie is kort samen te vatten:

- 1) Teeltregistratie is essentiële voorwaarde voor Zelflerende Systemen
- 2) Generieke databestanden zijn in principe beschikbaar en geschikt voor toepassing binnen Zelflerende systemen
- 3) Zelflerende Systemen zijn technisch mogelijk
- 4) Verschillende partijen dienen eerst samen te werken op het gebied van (uniforme) teeltregistratie voordat er zinvol zelflerende systemen ontwikkeld kunnen worden





## 13. Appendix: Self-learning decision support in nitrogen recommendation:

### A preliminary study of a set-theoretic and a Bayesian approach.

Klaas Metselaar, Michiel Jansen, Kor Zwart en Rob van Haren

(Report, to be published as a paper by KM, MJW en RvH)

#### 13.1 Introduction

This short study was initiated by a cryptic remark by Jansen (1997): 'It is noted that Bayesian methods provide an excellent starting point for uncertainty analysis and decision support.' In this preliminary study two approaches, the Bayesian approach, and a much simpler set-theoretic approach, are applied to a decision support system which is widely used in dutch conditions: fertilizer recommendation rules for nitrogen application in potatoes.

##### 13.1.1 The case

If on-farm information is used to modify quantitative scientific tools, if the modification is achieved using a formal procedure, and if the combination of tool and modifying procedure serves practical on-farm purposes, we will refer to approaches meeting these three conditions as a self-learning approach. Examples for scientific tools which are intended for on-farm use are decision support systems. A very simple decision support system are the nitrogen recommendation rules used in the Netherlands. For the Netherlands the recommendation rule for potatoes is based on a number of field trials under different conditions. It is based on a single measurement, that of mineral nitrogen in the toplayer (0-30 or 0-60 cm), and uses a linear relation between that measurement and the economically optimal gift, assuming a fixed exchange value of potatoes for nitrogen. Actual recommendations for potatoes are the following (e.g. Neeteson et al., 1984):

$$N_e = 285 - 1.1N_{0060} \quad (a)$$

$$N_e = 300 - 1.8N_{0030} \quad (b)$$

$$N_e = 275 - 1.8N_{0030} \quad (c)$$

where *a* refers to ware potatoes on clay and loam; *b*: ware potatoes on sand; *c*: industrial potatoes, often on sand. The indices refer to the relevant depths.

The question is how to extend these recommendations to a self-learning tool.

Assuming the structure of the recommendations to be correct, we would have to formulate a procedure which allows to re-estimate the recommendations for each 'site', where a site could be a field, or a farm, or multiple farms on the same soil. The most straightforward way to do that is to execute on-site trials for a number of years and analyse the results. This is not practical, and inefficient, as we also throw away the information already available. The most straightforward alternative with minimal effort is to regard on-farm practice as an experiment, which is repeated from year to year. How can the

information from this experiment and the information already available be used as efficiently as possible?

### 13.1.2 The available information

A theoretical re-analysis of the data underlying these recommendations (Neeteson, 1989) showed that the relation between yield and nitrogen for potatoes was best described by an asymptotic exponential with three arguments: nitrogen fertilizer, mineral nitrogen between 0-30 cm, and mineral nitrogen between 30-60 cm. Neeteson presents a 5 parameter equation with three input variables, based on 98 field trials in the period 1973-1982:

$$y = b + c \cdot e^{a(N_f + dN_{0030} + eN_{3060})}$$

where  $N_{3060}$ , is the mineral nitrogen in the layer 30-60 cm;  $N_{0030}$  is that in 0-30 cm, and  $N_f$  is the amount of anorganic fertilizer, all in ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Mineral nitrogen is determined in spring (beginning of march). The response  $y$  is fresh potato tuber yield ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Additionally, the mathematical conditions for a response curve are that  $b > 0$ , and  $c$  and  $a$  always negative ( $c, a < 0$ ).

According to Neeteson, the economically optimal nitrogen gift  $N_e$  corrected for nitrogen available in the profile, can be estimated as

$$N_e = \frac{1}{a} \ln\left(\frac{P}{ac}\right) - (dN_{0030} + eN_{3060})$$

where  $P$  is the exchange value, the price ratio of fertilizer cost  $F$  over potato price  $p$  as  $F/p$  ( $\text{Dfl}\cdot\text{kg}(\text{N})^{-1}$ ) ( $\text{Dfl}\cdot\text{t}(\text{potatoes})^{-1}$ ). The associated yield  $y_e$  depends on the base yield, the nitrogen response, and the exchange value  $P$ :

$$y_e = b + \frac{1}{a} P$$

The price ratio used in the actual fertilizer recommendations is 0.01.

Neeteson distinguishes 6 different cases for which parameters are available: three soil types (sand-loam-clay) and the application of organic manure within each soil type class (yes-no). He estimated  $d$  and  $e$ , but fixed their values at 0.67 and 0.33 resp, thus reducing the equation to a three parameter function. His estimates are given in the following table:

Soil type	Organic manures	b ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	c ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	a ( $\text{ha}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
Sand	no	59.0±0.76	-19.7±1.09	-0.0086±0.0013
	yes	57.2±0.58	-13.2±0.97	-0.0084±0.0015
Loam	no	57.7±0.32	-18.9±0.67	-0.0119±0.0010
	yes	56.6±0.25	-17.3±0.79	-0.0149±0.0015
Clay	no	57.0±0.90	-14.7±1.78	-0.0115±0.0036
	yes	56.2±0.52	-13.4±1.59	-0.0117±0.0027

To summarize:

The model described by Neeteson summarizes historical information on the relation between fresh tuber yield  $y$ , nitrogen gift  $N_f$ , mineral nitrogen  $N_{0030}$  and  $N_{3060}$  in spring, soil class, and application of organic manure in terms of a mathematical equation and its parameters.

These parameter estimates and their variation reflect our basic knowledge regarding the response to N for all dutch potato fields.

### 13.1.3 The new information

A small set of results (Pannebakker and Vertregt, 1984) of experiments with potato cultivar Prominent on a sandy soil, no organic manure, can be used to illustrate the procedure. This set is used for illustration purposes only. We have assumed that yield can be estimated with a c.v. of 5%, and that  $N_{min}$  is 0.

	1976 200 kg N.ha <sup>-1</sup>	1977 200 kgN.ha <sup>-1</sup>	1978 200 kgN .ha <sup>-1</sup>	1979 250 kgN.ha <sup>-1</sup>
Prominent, fresh tuber yield (t.ha <sup>-1</sup> )	43.4±2.2	46.2±2.3	53.1±2.6	75.4±3.8

## 13.2 A set-theoretic approach to learning

At first we will describe a procedure in which the combination of the available recommendation model and the on-farm information is described in terms of sets.

A set defines a range of possible parameter values. If all parameter values fall within their respective ranges, that value is a member of the set; if outside the range it is not a member. Membership is described by a membership-function, say  $S$ , which has two values: 1 or 0.

The parameter values given by Neeteson can be interpreted as if they describe a set. The parameter values which allow to calculate measured potato yield for a specific nitrogen gift on a site constitute another set. What we can do is try and find those parameter values which these two sets have in common.

The thoughts leading to a feasible procedure can be presented as follows:

If we randomly draw a parameter vector, the vector and its associated yield can be acceptable or unacceptable given the information regarding the parameter ranges. The calculated yield can be unacceptable or acceptable, given the range of the yield measurement.

This yields the following table (where  $S_x$  and  $S_y$  are the values of the membership function).

Table 1. The set-theoretic operations required to determine whether a random parameter vector is acceptable, given the parameter ranges, and the range of the yield measurement.

		Calculated yield, given random parameter vector	
		acceptable ( $S_x=1$ ), because all values in parameter vector within known ranges	unacceptable ( $S_x=0$ )
Calculated yield, given range of measured yield	acceptable, because calculated yield 'within range of' measured yield ( $S_y=1$ )	$S_x * S_y = 1 * 1 = 1$	$S_x * S_y = 0 * 1 = 0$
	unacceptable ( $S_y=0$ )	$S_x * S_y = 1 * 0 = 0$	$S_x * S_y = 0 * 0 = 0$

This suggests a very simple procedure: we calculate values of tuber yield using acceptable parameter values. The only thing we then have to check is whether the calculated yield is acceptable given measured yield. If we have sufficient new, acceptable parameter vectors, these parameter vectors we calculate new ranges, and we have combined old and new information. This procedure can be repeated for each new year on the same site. The procedure is described in the box

- 1) Choose a single factor  $f$  which defines the bounds of the measurement- and the parameter set as  $avg \pm f * stderror$ . In this example we choose integer values of  $f$ .
- 2) Generate a large number ( $n$ ) of parameter vectors, where each parameter is uniformly distributed within its bounds.
- 3) Calculate yield using the chosen response function
- 4) Accept the parameter vector if it generates a yield value which falls within the bounds generated for the measurement.
- 5) Calculate the minimum and the maximum values for all accepted parameter values. These are the new parameter ranges.
- 6) Repeat steps 2-5 for a new measurement. If no acceptable parameters can be found, increase the parameter  $f$ , and repeat the procedure for all measurements.

### 13.2.1 Results

The information available is shown in Figure 1 using assumed set ranges on measurements and parameters ( $f=4$ ). The question asked is whether parameter combinations exist which allow to combine all available information. If all N-gifts were identical, the range common to all ranges of measured yield defines the condition the parameter vectors have to meet.

The parameter  $f$  had to be increased to 3 to allow to determine parameter ranges for the first dataset, and failed for the last parameter set. Increasing the parameter  $f$  to 4 allowed to define parameter ranges for all four datasets. The parameter ranges and the optimal N-gift and yield changed as presented in Table 2.

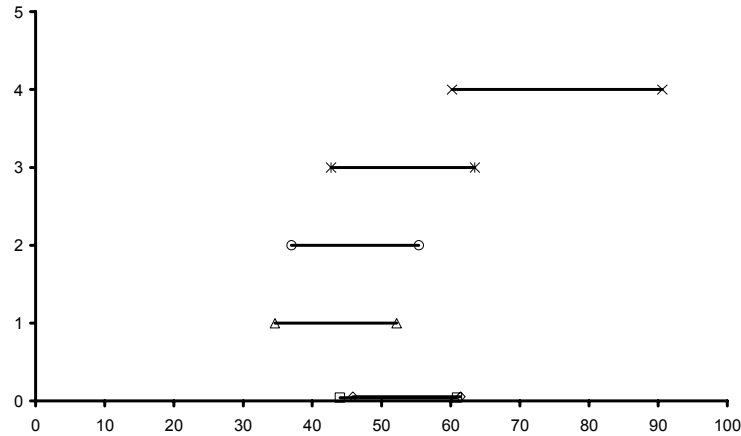


Figure 1. The information available in the illustrative dataset expressed in terms of set bounds for yield, with  $f=4$ . The prior is at level 0; the subsequent years are plotted a unit higher

Table 2. Results of the set-theoretic approach. They would be used as recommendation for the next year.

	initial	1976	1977	1978	1979
Optimal N-gift and associated yield					
min(Ne)	222	339	298	296	296
max(Ne)	613	614	614	614	303
min(Ye)	53,1	53,2	53,0	53,2	60,8
max(Ye)	61,3	59,7	60,4	60,9	60,9
Characteristics procedure ( $n=1,000,000$ ; $f=4$ )					
success rate	-	0,19	0,81	1,00	34,E-6
Parameter ranges					
min(b)	55,96	55,96	55,96	55,96	61,9
max(b)	62,04	62,03	62,03	62,03	62,0
min(c)	-24,06	-24,06	-24,06	-24,06	-16,44
max(c)	-15,34	-15,36	-15,36	-15,37	-15,37
min(a)	-0,01380	-0,008857	-0,008856	-0,008856	-0,008850
max(a)	-0,003400	-0,003400	-0,003401	-0,003401	-0,008593

The success rate is the fraction of accepted yield values out of the total of 1,000,000 random parameter vectors. The success rates show that 1976, but especially 1979 are the most restrictive in terms of acceptable parameter values.

As reflected in table 5, changing  $f$  to 5 increases the success rate, but decreases the influence of each year on the parameter values. If we change  $f$ , we say that our information is less precise, and the effect on our parameter ranges (cf 1979) decreases. In this approach the effects of parameter- and yield bounds are very important: they determine the results to a large extent

Table 3. Same as Table 2, but with set bounds wider ( $f=5$ )

	initial	1976	1977	1978	1979
Optimal N-gift and associated yield					
min(Ne)	204	218	206	205	206
max(Ne)	783	785	780	782	480
min(Ye)	50,7	50,7	50,6	50,6	56,1
max(Ye)	62,1	60,8	61,4	62,1	62,1
Characteristics procedure ( $n=1,000,000$ , $f=5$ )					
succes rate	-	0,45	0,77	1,00	0,45
Parameter ranges					
min(b)	55,20	55,20	55,20	55,20	56,13
max(b)	62,80	62,80	62,80	62,80	62,12
min(c)	-25,15	-25,15	-25,15	-25,15	-25,14
max(c)	-14,25	-14,25	-14,25	-14,25	-14,25
min(a)	-0,01510	-0,01506	-0,01506	-0,01506	-0,01506
max(a)	-0,002100	-0,002101	-0,002102	-0,002103	-0,003611

### 13.3 A Bayesian approach to learning

The approach illustrated above is straightforward, but the information given by Neeteson was not given in terms of a set, but in terms of probability distributions of parameters. How can we reformulate the approach in terms of probability distributions?

Table 4 is similar to Table 1; however, we have consistently replaced sets by probability distribution functions: the distribution of calculated yield given the parameter distributions, and the distributions of measured yield given their measurement error. The acceptability of calculated yield (and of its associated parameters) is defined in terms of its probability. The acceptability of calculated yield given the distribution of measured yield is expressed in terms of its likelihood. The analogy to the set-theoretic approach is quite clear: however, instead of multiplying values of the membership function, we multiply probability and likelihood.

Table 4. The operations required to determine whether a random parameter vector is acceptable, given the parameter distributions, and the distribution of the yield measurement.

		Calculated yield, given random parameter vector from joint probability distribution of parameter values.	
		calculated yield acceptable with probability $p_x$ ,	calculated yield unacceptable ( $p_x=0$ ), because based on unacceptable parameter vector
Calculated yield, given probability distribution of yield measurement	acceptable with likelihood $l_y$ , because calculated yield 'close to' measured yield	$p_x * l_y > 0$	$p_x * l_y = 0$
	unacceptable ( $l_y=0$ )	$p_x * l_y = 0$	$p_x * l_y = 0$

The formal basis for this approach is Bayes theorem, which allows to calculate the probability distribution of the acceptable parameter vectors, given measurement distribution  $y$  as:

$$p(x|y) = \frac{p_x * l_y}{\int_D p_x * l_y}$$

This equation can be interpreted as follows: the numerator, the product of probability  $p_x$  and likelihood  $l_y$ , yields a measure of the acceptability of a parameter vector. This product is not a probability (a probability distribution has the property that over all acceptable values of its argument the integral (or sum) of the associated probabilities is defined as 1). The nominator in Bayes theorem ensures that the product becomes a probability for all values of calculated yield  $x$ , where  $D$  is the domain of acceptable parameter values. This is a very simple sketch of a procedure which is known as Bayesian learning or updating. The available information (yield calculated from parameter values) is known as the prior; the modified distribution combining old and new information is known as the posterior. This posterior is used as long as no new information is available.

A close analogy to the procedure used in the set-theoretic approach is rejection sampling. The basic procedure is described in the box.

- 1) A parameter vector is randomly drawn from the prior;
  - 2) Yield is calculated
  - 3) The relative likelihood of calculated yield is calculated, given
    - a) the yield measurement and its error, and
    - b) an estimate of the maximum likelihood
  - 4) The parameter vector and its associated yield is accepted, if the relative likelihood is higher than a random number from a uniform distribution.
- Steps 1-4 are repeated for a next vector, until the sample of accepted parameter vectors is sufficiently large.

### 13.3.1 Results

The information available is presented in Figure 2. The approach used sequentially combines the different distributions

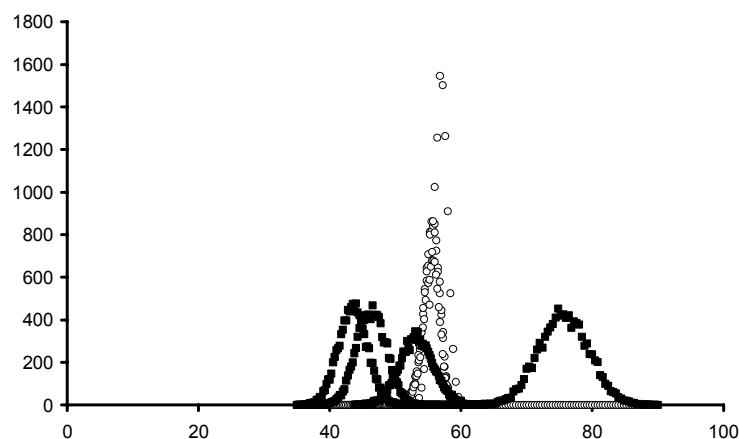


Figure 2. The information available in the illustrative dataset expressed in terms of normal distributions. The prior is in open circles, the subsequent years are in filled squares.

To keep the procedure simple, the parameters and the measurements were assumed to be normally distributed. The parameters in the prior were assumed and not to be correlated. The posterior was summarized in terms of a normal, uncorrelated distribution. The result for the value of Ne (kgN.ha<sup>-1</sup>) of a Bayesian rejection sampling method for the dataset (n=1,000,000) is shown in Table 5. The sampling was stopped if more than 1000 vectors were accepted. The parameter ranges in Table 5 are calculated as average  $\pm 4$ \*standarderror. When thinking in terms of probability distributions we see that the last year is problematical: given the model and the previous data it is very difficult to find parameter vectors which allow to combine all available information. Increasing the measurement error from 5% to 10% yields the results presented in Table 6. This shows that in this approach a measurement error is something to be taken seriously: depending on the measurement error a year may be incompatible (Table 5) or compatible (Table 6).

Table 5. *Posterior results for the dataset used for illustration. These results would be used as the recommendation for the next year.*

	initial	1976	1977	1978	1979
Optimal N-gift and associated yield					
min(Ne)	197	179	248	282	282
max(Ne)	469	743	809	669	669
min(Ye)	50,7	52,6	51,3	50,6	50,6
max(Ye)	62,1	59,4	59,0	62,1	62,1
Characteristics procedure (n=1,000,000)					
success rate	-	0,000045	0,24	0,32	0
Parameter ranges					
min(b)	55,96	55,00	54,72	52,73	52,73
max(b)	62,04	61,04	60,81	59,04	59,04
min(c)	-24,06	-25,34	-25,55	-25,37	-25,37
max(c)	-15,34	-15,67	-15,94	-15,67	-15,67
min(a)	-0,01380	-0,01043	-0,008292	-0,008258	-0,008258
max(a)	-0,003400	-0,0001165	0,00002285	-0,001527	-0,001527

Table 6. *The same as Table 5, but with a relative measurement error of 10% for 1979. These results would be used as the recommendation for the next year, i.e. initial for 1976 and so on.*

	initial	1976	1977	1978	1979
Optimal N-gift and associated yield					
min(Ne)	197	192	271	296	299
max(Ne)	469	748	813	681	630
min(Ye)	50,7	52,3	51,2	52,7	53,1
max(Ye)	62,1	59,8	59,1	59,3	59,7
Characteristics procedure (n=1,000,000)					
success rate	-	0,000036	0,28	0,29	0,0093
Parameter ranges					
min(b)	55,96	55,13	54,80	55,20	55,48
max(b)	62,04	61,22	61,08	61,22	61,45
min(c)	-24,06	-24,36	-24,47	-24,10	-23,87
max(c)	-15,34	-16,14	-16,34	-16,43	-16,33
min(a)	-0,01380	-0,01037	-0,007800	-0,007844	-0,008018
max(a)	-0,003400	0,0002440	0,00005721	-0,001410	-0,002006



## 13.4 Comparison of set-theoretic and Bayesian approach

### 13.4.1 Nitrogen recommendation

The results for both procedures are compared in table 6. The initial recommendation is higher for the set-theoretic approach. As can be seen the gift increases after two years with low yield, and decreases with increasing yields. The overall level of the average economically optimal gift is very high, almost double the standard recommendation not corrected for mineral nitrogen present in the profile (300 kg.ha<sup>-1</sup>).

Table 7. Comparison of the economically optimal N-gift (Ne in kg.ha<sup>-1</sup>), based on Tables 2 and 5. The N-gift is presented with its standard deviation. For the set-theoretic approach, the bounds on both measurements and parameters has been set at 4 times the standard deviation. For the set theoretic approach the standard deviation in Ne has been roughly estimated as range divided by 8.

	initial	1976	1977	1978	1979
measured yield		43.4 ± 2.2	46.2 ± 2.3	53.1 ± 2.6	75.4 ± 3.8
set	418 ± 49	477 ± 34	456 ± 40	455 ± 40	300 ± 1
bayes	333 ± 34	461 ± 71	529 ± 70	476 ± 48	476 ± 48

### 13.4.2 Characterization of both approaches: a 'learning curve'

After these preliminary results, both methods were applied to analyze the shift in the recommendation for constant yield. The analysis was based on an artificial dataset, which consisted of 100 repetitions of the year 1978. The results are shown in Figures 3a and b. The result presented in terms of the recommended nitrogen gift, is the learning curve.

To establish that learning does occur in a set-theoretic context, the value of  $f$  had to be varied over a number of values: the data had no effect at  $f=0.52$ , had maximum effect at 0.53, and had minimal effect at  $f=1.0$  (cf. Figure 4). The difference between the Bayesian approach (Figure 3a) and the set-theoretic approach (Figure 3b) is striking: set-theoretic learning is instantaneous: it learns once and then never again. The Bayesian approach also learns from repetition: whereas the recommended gift remains about the same, its standard deviation decreases.

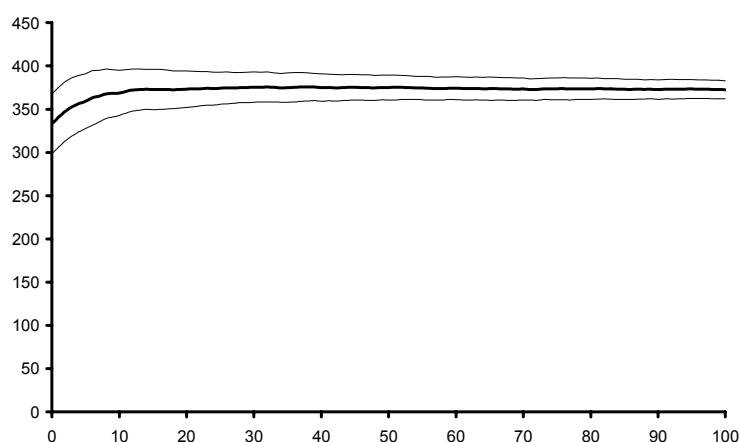


Figure 3a. The learning curve for the Bayesian updating system: what happens to the calculated optimal nitrogen gift if the measured yield is the same for 100 years.

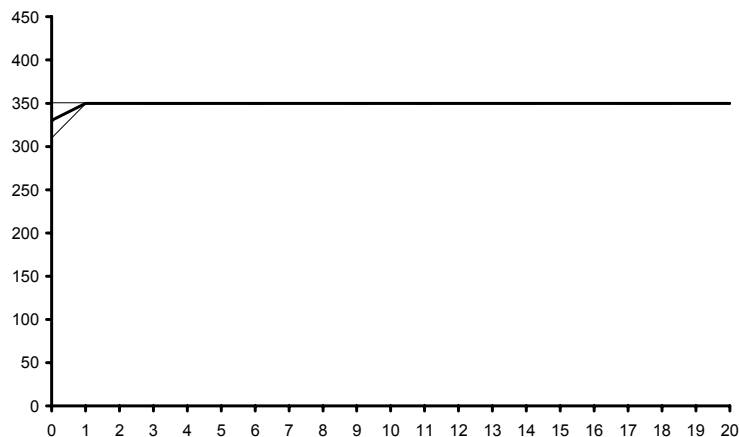


Figure 3b. The learning curve for the set-theoretic updating system: what happens to the calculated optimal nitrogen gift if the measured yield is the same for first 20 years.

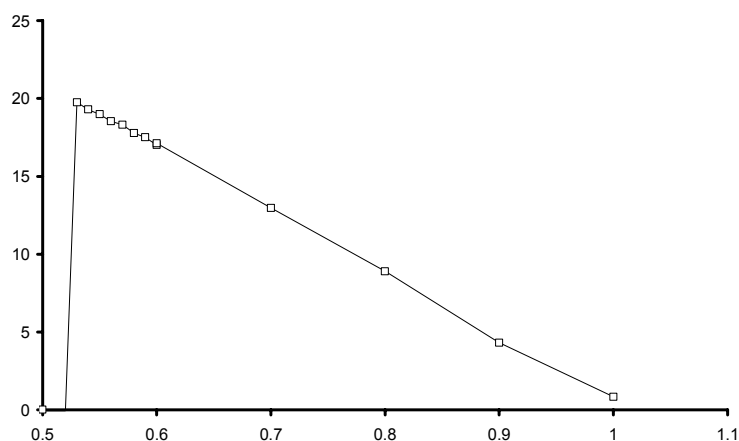


Figure 4. The change in recommended gift from prior to the next year for different values of  $f$ .

## 13.5 Application to other datasets

Two other (unpublished; Zwart, 2000) datasets from experimental work at the Lovinkhoeve were used for analysis. They consisted of two sets of seven years, for which fresh potato yield, mineral nitrogen in early spring, and the actual nitrogen gift (0 and 400 kgN.ha<sup>-1</sup>) were available.

### 13.5.1 Results

#### The set-theoretic approach

In the set-theoretic approach we varied the factor  $f$  from 1 to 6 and present the results regarding the economically optimal nitrogen gift  $N_e$  in Figure 5a and b. These figures show that the prior  $N_e$  is a function of the parameter bounds: it increases with  $f$ . The less we know, the more nitrogen we give. For  $f=1$ , it is impossible to generate calculated yield within the range of measured yield:  $N_e$  does not respond to the data.

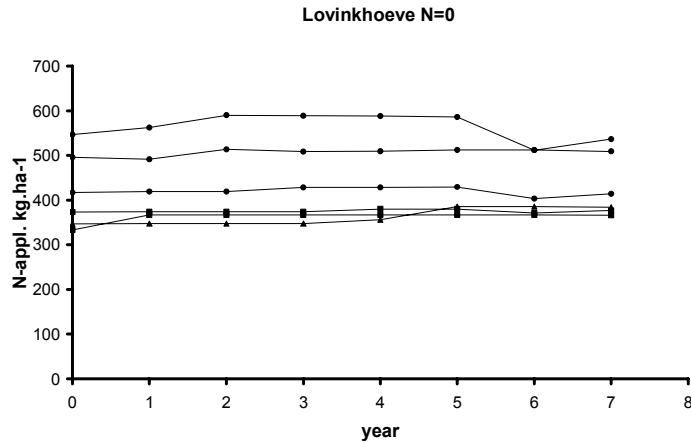


Figure 5a. The recommended nitrogen gift for the dataset from the Lovinkhoeve (0 kgN/ha) in the set-theoretic context with different values of the set bounds  $f$ .

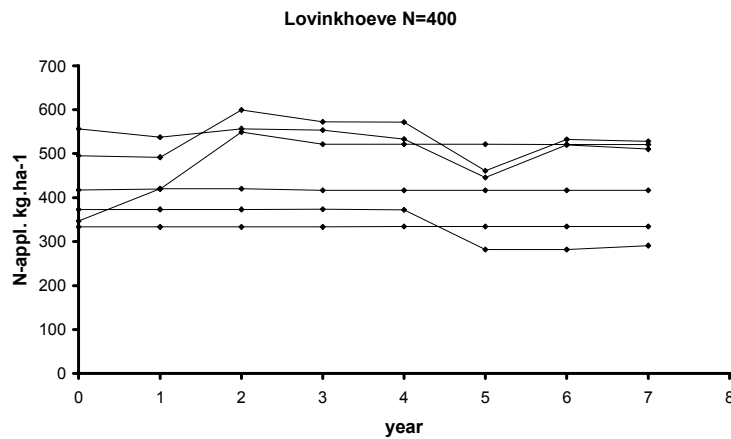


Figure 5b. The recommended nitrogen gift for the dataset from the Lovinkhoeve (400 kgN/ha) in the set-theoretic context with different values of the set bounds  $f$ .

### The distribution based approach

The rejection sampling approach yields the results presented in Figure 6a and b. The results show that a single measurement suggests that the farmer should double the nitrogen gift.

The combination of both approaches are presented in Figures 7a and b. They suggest that the correspondence between the distribution based approach and the set-theoretic approach is not closest at one single value of  $f$ , but depends on the dataset.

## 13.6 Discussion

There are a number of aspects to be discussed with respect to the methods presented, and some regarding the agronomic problem.

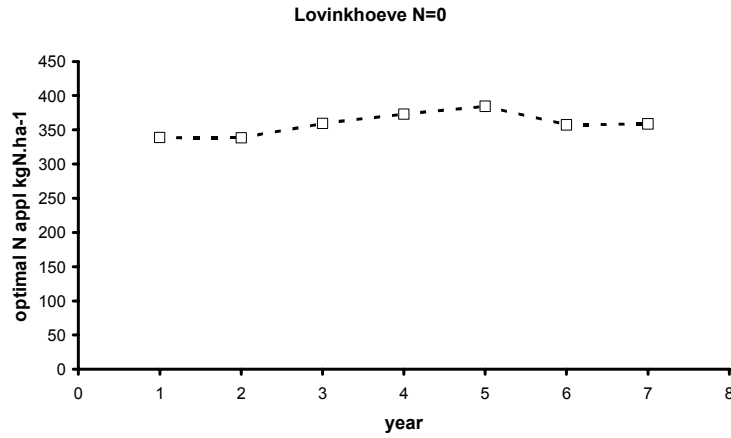


Figure 6a. The recommended nitrogen gift for the dataset from the Lovinkhoeve (0 kgN/ha) in the Bayesian context with different values of the set bounds  $f$ .

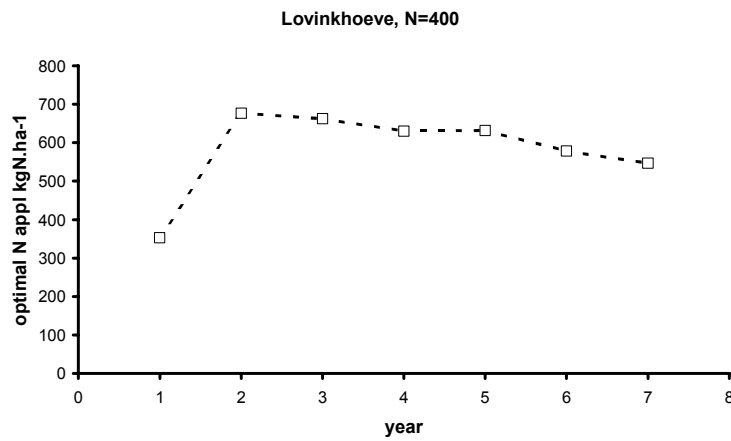


Figure 6b. The recommended nitrogen gift for the dataset from the Lovinkhoeve (400 kgN/ha) in the Bayesian context with different values of the set bounds  $f$ .

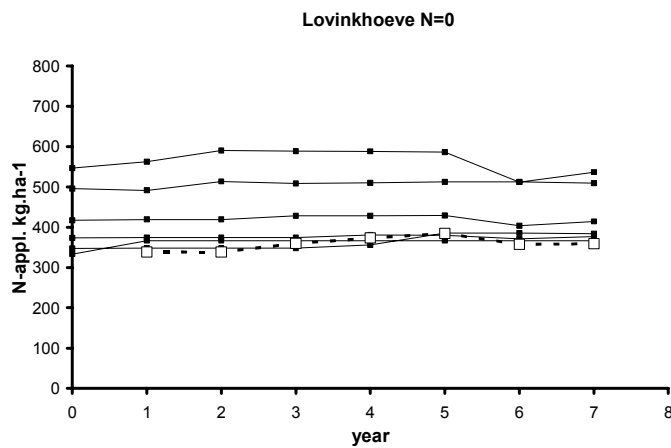


Figure 7a. Comparison of the recommended nitrogen gift for the dataset from the Lovinkhoeve (0 kgN/ha) in both the Bayesian and the set-theoretic context.

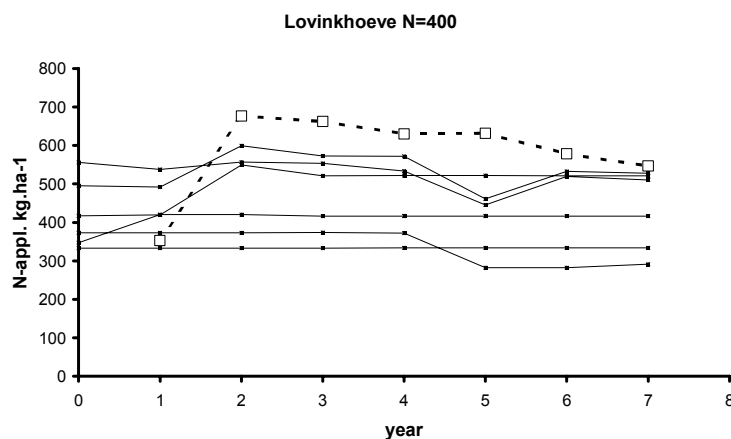


Figure 7b. Comparison of the recommended nitrogen gift for the dataset from the Lovinkhoeve (0 kgN/ha) in both the Bayesian and the set-theoretic context.

### Set-theoretical approach.

By now, it has become quite clear that the choice of the parameter - and data bounds is critical to the result of a set-theoretical approach. We have shown that given the parameter  $f$ , one learns from the data, or not. Learning is instantaneous, and only new data allow the procedure to learn. For the simple model investigated, changes in parameter-bounds have the effect that the N-gift based on the prior increases. Furthermore, analysis of the results in comparison to the Bayesian procedure show that the effect of the parameter  $f$  depends on the dataset. The obvious conclusion is that the set-theoretic approach has to be executed in such a way that the recommendations are independent of the parameter  $f$ . How to do this is not clear. At present, one of the properties of the set-theoretic approach implemented in this report is that parameter ranges can not shift and can only become smaller: parameter vectors outside the very first prior are not possible.

### Bayesian approach.

In contrast to the set-theoretic approach, the Bayesian approach is 'slower on the uptake' for an artificial dataset: it is more conservative. However, it is not conservative enough. In the first test case it is ridiculous that the very dry year 1976 would have had the consequence that farmers would give more nitrogen the next year. The third dataset shows that in the Bayesian approach presented a relatively low, but relatively precise measurement almost doubles the nitrogen gift. This is highly suspect from a practical point of view. Both instances serve to illustrate an important advantage of simple recommendation rules: As they are based on longterm experiments, they are 'implicitly conditioned' for expected (average) stresses, such as temperature and radiation, water shortage and disease pressure, but also on management practice. This makes the recommendation rules relatively robust. In contrast, adapting the model using data in which yield is best explained by factors other than nitrogen will yield curious or downright erroneous results, especially if measurement error is underestimated. In fact the approach used is overly simple: we should somehow take into account that this situation can occur, without having to say that one can only use the recommendation rule after a large number of years. One way to look at it is to say that the measurements are somehow too precise. This reduces their influence on the posterior. This same argumentation holds for the set-theoretic approach: the range for the measurement has to be corrected for some 'unseen' variation. This idea is easily tested, but which correction is the right one from a theoretical point of view? One way to do this, and this has to be discussed, is to use Neeteson's equation to predict on-site yield. The predicted yield and measured yield are used to estimate the yield distribution which is compatible with both knowledge and measurement. This 'corrected measurement' is then used to update the prior.

Another way to look at this problem is that the model used is incorrect. This is in fact the approach Neeteson took: to be able to generate site-specific recommendations he proposed and tested a dynamic simulation model.

An important factor which has to be taken into account and has not been discussed until now is the sampling intensity. The rejection probability in the Bayesian approach is high. As long as the runtimes are short, this is not a problem. It will however put a practical limit on the applicability of the procedure.

### **Agronomical**

The problem tackled in this report is not the easiest one, nor is it necessarily the most relevant one from the point of view of a decision support system. It is not easy, because potato yield response to nitrogen does not have a very clearcut optimum. In contrast to other crops the results presented by Neeteson do not show a decrease in yield after a specific nitrogen gift. The fact that water and disease are important factors in reducing yield does not make it any easier. Lastly, the agronomic problem has become more complex, as optimizing yield, while minimizing leaching of nitrogen is regarded as the more relevant problem. However, the problem serves to illustrate two simple self-learning procedures with all their methodological problems and potential advantages.

## **13.7 Conclusions**

When comparing both approaches it is quite clear that neither of them - as implemented at the moment - is operational. However, both approaches are strikingly simple, in terms of model and data required. The set-theoretic approach may serve as a useful illustration of basic principles. Of the two approaches the Bayesian approach is certainly the most promising one, and should be the subject of further study, in which problems of data correction should be addressed.

## **13.8 Literature**

Jansen, M.J.W., 1992.

Data use and Bayesian statistics for model calibration. Chapter 2.2 in Stein, A., F.W.T Penning de Vries, and J.W. Schut (Eds): Data in action. Proceedings of a seminar series 1996/1997.

Quantitative approaches in Systems analysis no. 12.

Neeteson, J.J. 1989.

Assessment of fertilizer nitrogen requirement of potatoes and sugar beet. PhD thesis, Wageningen agricultural university, 141 p.

Pannebakker, E.G. en N. Vertregt, 1984.

De invloed van stikstofbemesting op de opbrengst aan ruw eiwit en coaguleerbaar eiwit bij aardappelen. CABO-verslag nr.57.

Zwart, K., 2000.

Oral communication.