

De opbouw van een bodemdatabase voor precisielandbouw: informatica-aspecten

Dr. P.A. Finke,

DLO- Staring Centrum

Postbus 125, 6700 AC Wageningen

telefoon (0317) 474258, telefax (0317) 424812

e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Ing. H.W.G. Booltink

LUW-Bodemkunde en Geologie

Duivendaal 10, 6701 AR Wageningen

telefoon (0317) 472422, telefax (0317) 472419

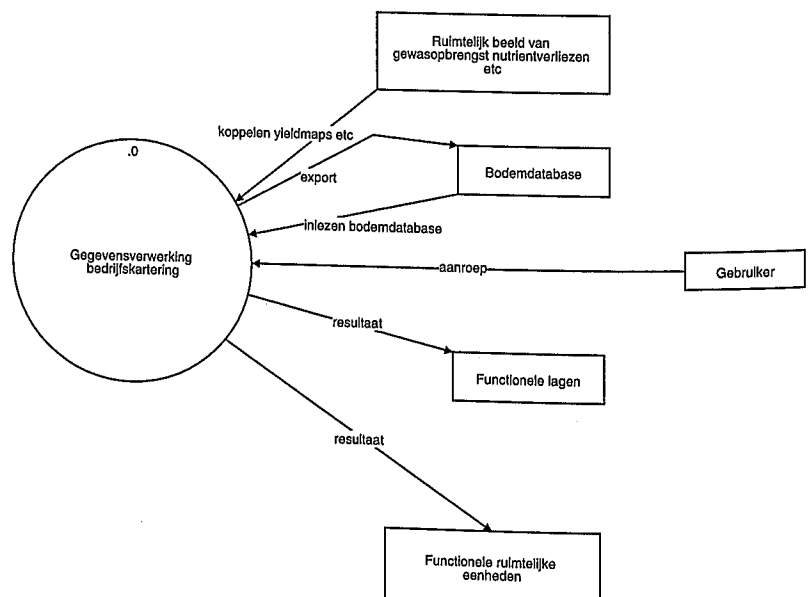
Precisielandbouw is een kennisintensieve vorm van landbouw. In dit artikel brengen we de kennis- en gegevensstromen en de aansturende processen met betrekking tot de bodemkundige gegevensverzameling in kaart vanuit een IT-perspectief. Het blijkt, dat de processen die dicht tegen het veldwerk aan liggen, de hoogste implementatiegraad kennen. Processen die te maken hebben met het definiëren van ruimtelijke bewerkingseenheden, uitmondend in behandelingskaarten, verkeren nog in het ontwikkelingsstadium. We definiëren deze processen op een globale manier, en formuleren een aantal functionaliteitseisen. Bij de implementatie van precisielandbouw is sterke behoefte aan beslissingsondersteunende systemen, die kunnen leren van eerder bereikte resultaten.

Precisielandbouw kan niet zonder ruimtelijk gedetailleerde basisgegevens over de bodemopbouw en ontwateringstoestand binnen het bedrijf. Omdat precisielandbouw in Nederland nog in een experimenteel stadium verkeert, is er nog relatief weinig aandacht besteed aan het stroomlijnen van acquisitie en opslag van data. In dit verhaal analyseren we aan de hand van een uitgevoerde bodeminventarisatie op een bedrijf in Voorne-Putten (Finke, 1997) de procesgang van veldwerk tot een eerste

definitie van managementseenheden uit functionele verschillen in bodemeenheden. Ook gaan we in op de mate waarin de pro-

cessen met de huidige hard- en software zijn gerealiseerd, en waar de leemtes liggen.

Bij het in kaart brengen van de essentiële processen en de datastromen die tussen de processen plaatsvinden gebruiken we een hiërarchisch opgebouwd stelsel van data stroom-diagrammen (DFD's). In DFD's worden processen aangegeven met cirkels, zijn tijdelijke bestanden aangegeven met twee horizontale lijnen, en zijn bestanden en resultaten die ook buiten het systeem benaderbaar moeten zijn aangegeven met rechthoeken. Op het hoogste hiërarchische niveau geeft een context diagram aan in welke omgeving we het systeem plaatsen, en wat we van het systeem verwachten.



Figuur 1 – Context diagram

De output van het systeem moet zijn: een database met bodemgegevens, een definitie van bodemlagen met uniek gedrag (functionele lagen) en een definitie van ruimtelijke eenheden die zich uniek gedragen, en daarvoor geschikt zijn als basis voor de definitie van managements-eenheden. Verder stellen we als eis, dat empirische kennis in de vorm van oogstoplegkaarten, kaarten van nutriëntverliezen etc. in het systeem kan worden gebruikt om de definitie van managementseenheden bij te stellen. Bovendien moet het systeem interactie met de gebruiker toelaten.

De procesgang van veldwerk tot de definitie van functionele ruimtelijke eenheden is op het tweede hiërarchische niveau opgesplitst in 3 hoofdprocessen: bodemdata-acquisitie, definitie functionele lagen en definitie functionele ruimtelijke eenheden. De belangrijkste redenen voor deze driedeling zijn (i) het zijn verschillende expertisegebieden (veldbodemkunde, bodemfysica en landevaluatie respectievelijk), en (ii) de datastromen zijn verschillend van omvang en complexiteit. Deze 3 hoofdprocessen zullen hieronder worden toegelicht. In de discussie komen de realisatie en de bijbehorende problemen aan de orde.

Bodeminventarisatie en -interpretatie als IT-proces

Hoofdproces 0.1 'bodemdata-acquisitie'

Dit proces heeft als doel het aanleggen van een extern toegankelijke database met de bodemkundige basisgegevens op punt-schaal (boringen) en de bijbehorende lokatiecoördinaten. We onderscheiden 4 deelprocessen (figuur 2). Alhoewel het proces wordt gekenmerkt door intensieve input van personen (invoer), is de mate van automatisering hoog.

In chronologische volgorde:

0.1.1

Op gemarkeerde lokaties worden de bodemopbouw en laaigeenschappen vastgesteld en ingevoerd in een HUSKY-velddatabase, binnen het programma BS-DOS.exe. Alhoewel de HUSKY een

bedrijfszekere veldcomputer is, worden de opgeslagen data uit veiligheidsoverwegingen tussentijds toch regelmatig geëxporteerd naar het VAX-platform. De maximale opslagcapaciteit ligt op het moment in de ordergrootte van 200 profielen. Dit is minder groot dan vereist bij de kartering van een flink bedrijf.

0.1.2

Vervolgens worden de geëxporteerde deelbestanden gecombineerd tot 1 gesorteerd bestand (SORTKEY.exe, VAX), en wordt dit bestand gecontroleerd op plausibiliteit van de ingevoerde gegevens (CON-TBOORS.exe, VAX). Daarna worden de data naar PC-platform overgezet, en naar een handzamer ASCII-formaat omgezet (HUSK2ASC.exe).

0.1.3

Tijdens de veldwerkperiode worden de boorlokaties vastgelegd met behulp van een Kinematisch Differentieel Globaal Positionerings Systeem (KDGPS). Metingen verkregen met dit type GPS worden gecorrigeerd voor externe drift van het meetsignaal door middel van een differentieel FM-radio signaal. Intern in de KDGPS worden de gemeten posities via een projectie systeem (WGS84) getransformeerd tot het Rijks Driehoek Meetnet (RDM). Uitvoer via ASCII bestanden bevat de geometrische karakterisering van de boorpunten (RDM X- en Y-coördinaten met een afwijking van minder dan 0.01 m en hoogte metingen met

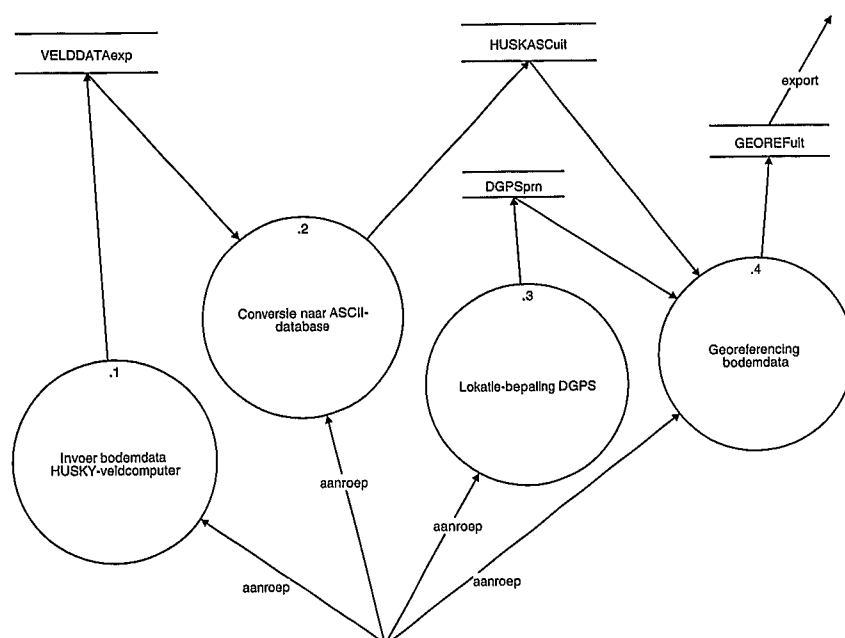
een afwijking van minder dan 0.02 m). Via een DBMS worden geometrische waarnemingen aan thematische waarnemingen van de boorlokaties gekoppeld.

0.1.4

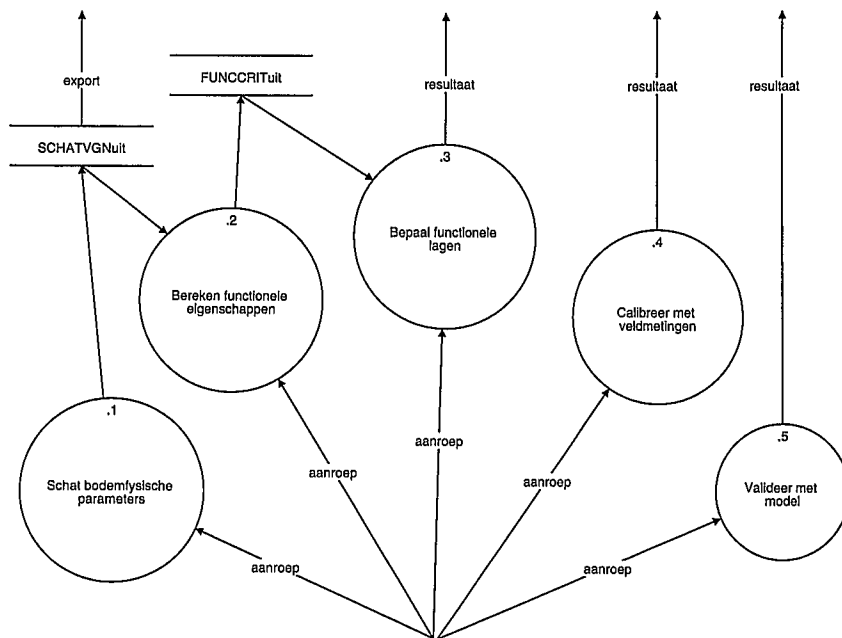
Tenslotte worden de bodemgegevens voorzien van (X,Y)-coördinaten. Dit gebeurt via de sleutelvelden veld en boorpuntnummer welke in zowel de bodemdatabase en D-GPS-uitvoer aanwezig zijn (GEOREF.exe). Bovendien worden de geschatte textuurgegevens van de veldopname bijgesteld met ijkcurves welke zijn gemaakt door regressie van textuur-analyses met schattingen. Ook wordt elke bodemlaag bodemfysisch geclassificeerd met de Staringreeks (Wösten *et al.*, 1994). Het resultaat wordt weggeschreven naar geformatteerde ASCII-files, welke eenvoudig met een DBMS zijn in te lezen.

Hoofdproces 0.2 'definitie functionele lagen'

Dit proces heeft als resultaat een vertaling van elke bodemlaag naar een functionele laag, dwz een laag met uniek bodemfysisch gedrag. Deze vertaalslag is nodig, om in latere stadia toepassing simulatiemodellen voor vocht- en nutriënttransport mogelijk te maken. Een deel van het proces is vrijwel volledig geautomatiseerd, een deel wordt tot op heden gekenmerkt door hoge input van niet geformaliseerde expertkennis. We doen hieronder een voorstel om e.e.a. te formaliseren. Binnen het proces onderscheiden we 5 subprocessen (figuur 3).



Figuur 2 – DFD bodemdata-acquisitie



Figuur 3 – DFD definitie functionele lagen

In chronologische volgorde worden doorlopen:

0.2.1

Elk van de lagen in de bodemdatabase wordt geclassificeerd in een bouwsteen met behulp van in het veld herkenbare klassen van textuur, organischestofgehalte, horizontcode en moedermateriaalcode. Ook wordt de laag voorzien van bodemfysische parameters die de waterretentie en doorlatendheid beschrijven als functie van de drukhoogte (SCHATVGN.exe). Bij klei- en zandgronden worden hierbij continue vertaalfuncties gebruikt om de Van Genuchten parameters te schatten (Wösten *et al.*, 1995), bij veengronden wordt de Staringreeks toegepast. Het resultaat wordt weggeschreven in een geformatteerde ASCII-file met de sleutelvelden veld, boorpuntnummer en laagcode, welke aan een DBMS kan worden gekoppeld.

0.2.2

Elk van de bodemlagen wordt gekarakteriseerd met een aantal functionele hydrologische eigenschappen (Finke en Bosma, 1993), welke worden berekend met een simpel model, gebruikmakend van de geschatte Van Genuchten parameters en een aantal hydrologische randvoorwaarden (FUNCCRIT.exe). Het resultaat wordt weggeschreven naar een ASCII-file.

0.2.3

Alle bouwstenen worden paarsgewijs getoetst op verschillen in functionele eigenschappen. Hiertoe wordt de uitvoer van het vorige proces in een spreadsheet opgesplitst in 1 file per bouwsteen, en wordt het programma TTOETS.exe voor alle combinaties van bouwstenen toegepast. Het resultaat is een groepering van bouwstenen op basis van het hydrologisch gedrag.

0.2.4

Met het bovenbeschreven resultaat kan worden volstaan. Een nadeel kan dan zijn, dat de toegepaste vertaalfuncties met landsdekkende gegevens zijn geconstrueerd, en lokaal worden toegepast. Beter zou het zijn, met lokale gegevens te werken, maar de verzameling hiervan is duur. We stellen daarom een proces 'Calibratie met veldmetingen' voor, waarin de continue vertaalfuncties worden bijgesteld met een klein aantal lokale bodemfysische metingen. De aanpak zou kunnen bestaan uit het met regressie schatten van de Van Genuchten parameters uit textuur, bulkdichtheid en organischestof waarbij als afhankelijke set zowel de lokaal gemeten parameters als de resultaten van de oorspronkelijke vertaalfuncties worden gebruikt. Metingen zouden hierbij wel een hoger gewicht moeten krijgen. Bijgestelde vertaalfuncties zouden weer in proces 0.2.2 moeten worden ingebracht, zodat de definitie van functionele lagen eventueel kan worden bijgesteld.

0.2.5

Indien de vertaalfuncties worden bijgesteld, is het zinvol om het resultaat te valideren. Hiertoe kan een agrohydrologisch model op puntschaal worden toegepast met zowel oorspronkelijke als bijgestelde vertaalfuncties, en kan worden getoetst met welke vertaalfuncties de modelresultaten het meest plausibel zijn. Eventueel kan kwantitatieve toetsing aan veldwaarnemingen (vochtgehaltenes, drukhoogten) plaatsvinden.

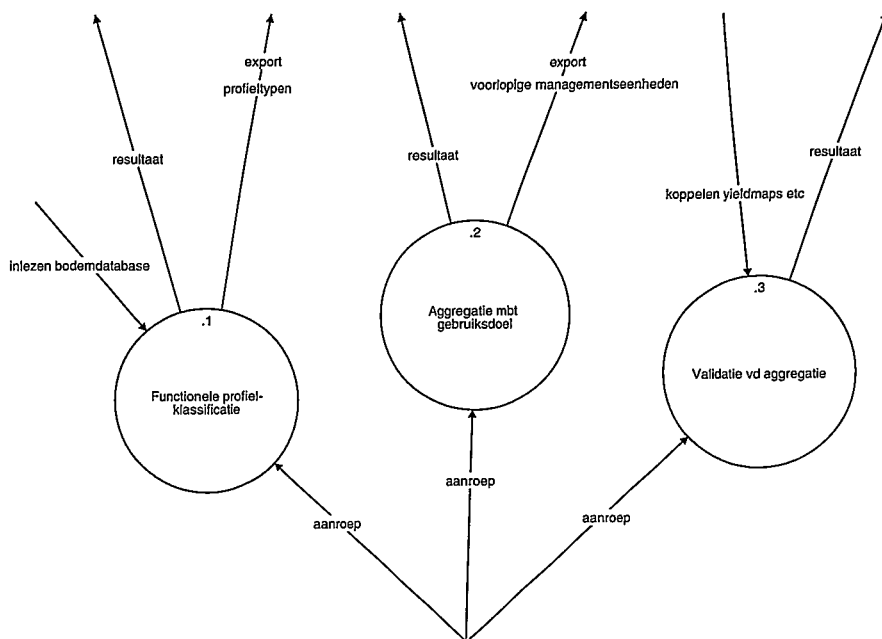
Hoofdproces 0.3 'definitie functionele ruimtelijke eenheden'

De grote data behoefte van precisie landbouw maakt het noodzakelijk dat aggregatie plaatsvindt. Met name de jaarlijks terugkerende metingen zoals N-mineraal bemonsteringen ten behoeve van het bemestingsadvies vormen een belangrijke kostenpost op de precisie landbouw begroting. Het doel van dit onderdeel is daarom om de vele gegevens zoals bodemkarakteristieken, remote sensing opnamen, opbrengstkaarten (yield maps) en andere veldmetingen te integreren met als resultaat de definitie van ruimtelijke management eenheden die al naar gelang het gebruikersdoel intern als homogeen kunnen worden beschouwd. Het moet hierbij vermeld dat dit onderdeel nog in ontwikkeling is en binnenkort getest zal worden met gegevens van het bedrijf in Voorne Putten. Het proces van aggregatie kan worden onderverdeeld in *ruimtelijke aggregatie* en *data aggregatie*. In figuur 4 is het aggregatie proces alsmede de validatie hiervan schematisch weergegeven.

0.3.1

De ruimtelijke aggregatie methode (functionele profiel classificatie) in deze studie maakt gebruik van kwalitatieve en kwantitatieve methoden. Kwalitatieve methoden kunnen worden gebruikt indien kwantitatieve gegevens ontbreken of indien profielkarakteristieken niet of moeilijk kwantitatief zijn uit te drukken. Een voorbeeld van een dergelijke kwalitatieve ruimtelijke aggregatie wordt gegeven door Finke *et al.* (in druk). Zij definiëren Land Use

Figuur 4 – DFD definitie functionele ruimtelijke eenheden



Requirements (LUR) die relevant zijn voor een type landgebruik (bijv. stikstof mineralisatie capaciteit of de drainage status van een bodemprofiel). Deze LUR's worden vervolgens geïntegreerd middels toegekende ratings.

Voor het verkrijgen van kwantitatieve profielkarakteristieken worden simulatiemodellen gebruikt (Verhagen, 1997) die gewasgroei, water- en nutriëntentransport beschrijven. In deze studie wordt het model WAVE (Vanclouster *et al.*, 1994) gebruikt om deze processen te simuleren. Resultaten van een dergelijke simulatie studie leveren voorspellingen op van gewasopbrengsten, of nitraatuitspoeling.

0.3.2

Zowel de kwalitatieve als kwantitatieve profielkarakteristieken maken het mogelijk om bodemprofielen van verschillende samenstelling, al naar gelang van gebruikersdoel, met elkaar te vergelijken en om ruimtelijke eenheden (management units) te vormen. Ten behoeve van de ontwikkeling van management scenario's kunnen representatieve data sets met bodemgegevens worden ontwikkeld in een DBMS (data aggregatie). Als gebruikersdoelen kunnen de volgende hoofdgroepen worden onderscheiden:

- vochtleverend vermogen van een bodemtype
- bodemvruchtbaarheidstoestand
- gevoeligheid voor ziekten en plagen

0.3.3

De laatste stap in de definitie van functionele ruimtelijke eenheden is de validatie van de onderscheiden management units. Hiertoe dient externe, onafhankelijke informatie te worden gebruikt. Yieldmaps vormen een zeer belangrijk validatie gegeven alle geïntegreerde processen zoals klimaat, water, bemesting, ziekten en plagen worden hierin samengevat. Ook remote sensing opnamen geven een dergelijk geïntegreerd beeld van de status van een gewas met dit verschil dat meerdere opnamen gedurende het groeiseizoen mogelijk zijn.

Gewasgroei simulatie modellen spelen ook hier een belangrijke rol. Verhagen (1997) gebruikt, tot ruimtelijke eenheden geïnterpoleerde, simulatie resultaten voor verschillende bodemprofielen over een tijdreeks van 30 jaar voor het ontwikkelen van kaarten van gesimuleerde gewasopbrengsten en nitraatuitspoelingskansen. Deze kaarten van gesimuleerde karakteristieken geven de mogelijkheid om de effecten van weer en bemesting op bodem en gewas snel en adequaat weer te geven. Met behulp van GIS en patroonherkenningstechnieken (Van Uffelen *et al.*, 1997) kunnen de verschillende patronen met elkaar worden vergeleken en kan een validatie van de onderscheiden eenheden plaatsvinden.

Discussie

Systeemkarakteristieken

In tabel 1 zijn per deelproces een aantal karakteristieken van het bovengeschetste systeem samengevat. Wat opvalt, is dat de hoofdprocessen die het dichtst bij het veldwerk staan (Bodemdata-acquisitie en Definitie functionele lagen), het meest zijn gestandaardiseerd en geautomatiseerd. De reden hiervoor is, dat de hierbij benodigde methoden reeds werden toegepast voordat het thema precisielandbouw actueel werd.

In het proces "bodemdata-acquisitie" zijn nog verbeteringen aan te brengen in het

aantal hardware-platforms waarop wordt gewerkt. Het gebruik van het VAX-platform is een onpraktisch relict, en kan eenvoudig worden voorkomen door de software om te zetten naar PC-platform. Het proces 'definitie functionele lagen' is voor een deel (calibratie en validatie) nog in het definitiestadium. Een aantal experimentele methoden zijn ontwikkeld en toegepast (zie o.a. Finke en Bosma, 1993), maar deze zijn erg bewerkelijk. Met name het inzetten van simulatiemodellen bij de validatie van functionele lagen is vanwege de grote inputbehoefte van deze modellen waarschijnlijk slechts voorbehouden aan onderzoeks- en niet aan praktijksituaties.

Het proces 'definitie functionele ruimtelijke eenheden' bevindt zich nog in het definitiestadium. Er is reeds het nodig onderzoek gedaan aan het gebruik van simulatiemodellen om oorzaken van ruimtelijke patronen in oogstopbrengst te identificeren, en over een reeks van jaren te vergelijken (Van Uffelen *et al.*, 1997; Lark and Stafford, in press). Deze methoden zijn alle echter zeer bewerkelijk vanwege de grote inputbehoefte van de modellen. We stellen daarom voor, dit deel van het systeem op te zetten als een set beslisregels welke worden geformuleerd uit ervaringskennis, en welke direct aangrijpen op de bodemdatabase en overige relevante bestanden, bijvoorbeeld yieldmaps.

Tabel 1 – Karakteristieken van processen binnen het systeem

Proces	Datacomponenten		Benodigde hardware	Beschikbare software	Ontwikkelaar
	Geometrische gegevens	Thematische gegevens			
0.1 Bodemdata-acquisitie					
0.1.1 Invoer bodemdata in HUSKY-veldcomputer		ASCII-files	HUSKY-Hunter	BS-DOS.exe	SC-DLO
0.1.2 Conversie naar ASCII-database	ASCII-files	VAX	SORTKEY.exe VAX PC-MSDOS	SC-DLO CONTBOORS.exe HUSK2ASC.exe	SC-DLO SC-DLO SC-DLO
0.1.3 Lokatiebepaling met D-GPS	ACCESS-database	ASCII-files Spreadsheet	Veldcomputer PC	(div. conversies) LOTUS, EXCEL	TRIMBLE LUW-PE
0.1.4 Georeferencing bodemdata	ACCESS-database	ASCII-files	PC-MSDOS	GEOREF.exe	SC-DLO
0.2 Definitie functionele lagen					
0.2.1 Schat bodemfysische parameters		ASCII-files	PC-MSDOS	SCHATVGN.exe	SC-DLO
0.2.2 Bereken functionele eigenschappen		ASCII-files	PC-MSDOS	FUNCCRIT.exe	SC-DLO
0.2.3 Bepaal functionele lagen		Spreadsheet	PC	LOTUS, EXCEL	SC-DLO
		ASCII-files	PC-MSDOS	TTOETS.exe	SC-DLO
0.2.4 Calibreer met veldmetingen		ASCII-files	PC	RETC.exe	US-EPA
			PC	SPSS/GENSTAT	SPSS/GENSTAT
0.2.5 Valideer met model		ASCII-files	PC	WAVE.exe	Kath. Univ. Leuven
0.3 Definitie functionele ruimtelijke eenheden					
0.3.1 Functionele profiel-klassificatie	ACCESS-database	ASCII-files	PC-MSDOS	ALES.exe (beslisregels)	Cornell University SC-DLO, LUW-PE
0.3.2 Aggregatie mbt gebruiksdoel	! ACCESS-database ! ARC-INFO-GIS ! raster-GIS met LAI/ biomassaschattingen uit remote sensing	ASCII-files PC	PC PC PC software leidend	(beslisregels, krigingprogramma, GIS-pakket, LUW-PE tot yieldmaps)	LUW-PE, SC-DLO LUW-PE, SC-DLO LUW-PE, SC-DLO
0.3.3 Validatie van de aggregatie	! ACCESS-database ! ARC-INFO	ASCII-files	PC	(software leidend tot yieldmaps)	LUW-PE

Rol GIS en databases

Het bovengeschetste systeem levert primair een database van puntgegevens op. Deze puntgegevens worden in het laatste proces 'definitie functionele ruimtelijke eenheden' vlakdekkend geïnterpreteerd, door het bevragen van de database en geografische overlay met externe ruimtelijke bestanden zoals yieldmaps. GIS-functionaliteit is dus essentieel, maar niet voldoende. Het identificeren van vlakken uit puntgegevens vraagt bijvoorbeeld in bepaalde gevallen om interpolatiesoftware, bijvoorbeeld een kriging-programma.

Binnen het systeem is om redenen van eenvoud vaak gewerkt met ASCII-bestanden waarin de informatie in sequentiële vorm is opgeslagen in plaats van direct-access relationele databases. Als de bodemdatabase is gevuld, is omzetting in een DBMS noodzakelijk om een flexibele bevraging en koppeling met andere bedrijfsgegevens (bodem-

bemonsteringen, behandelingen) mogelijk te maken. De opslag van de bodemgegevens is geen bottleneck, want de bestanden zijn niet groot. Alleen de opslagmogelijkheden van de HUSKY bleken nog iets te gering voor een veldwerk van de omvang als die in Voorne-Putten. Dit is niet als probleem ervaren, omdat uit veiligheidsoverwegingen de veldcomputer toch reeds regelmatig werd geleegd.

Inbrengen van expert- en ervaringskennis

Kijkend naar de ontwikkeling van precisie-landbouw valt het op, dat de ontwikkelingen zijn gestart vanuit de techniek (precisie-bemesting, yieldmapping etc) en vanuit de veldbodembodemkunde. De verwerking van gegevens die vanuit deze expertises worden aangereikt is dan ook het best geformaliseerd en geautomatiseerd. Onderdelen van precisie-landbouw die zich bezighouden met het

definiëren van managementseenheden en de terugkoppeling van resultaten (oogsten, milieubelasting) naar het management zijn nog niet uitontwikkeld. Om deze reden lijkt het verstandig een systeem op te zetten, waar verworven expertise naar believen kan worden toegevoegd. Dit systeem zou dan ook de mogelijkheid moeten hebben, om beslisregels te formuleren, deze toe te passen op de database en de resultaten te bekijken of verder bewerken in een GIS. Voordeel van een dergelijk systeem boven een set onderling samenhangende simulatiemodellen is, dat omzetten naar een praktijk-systeem eenvoudiger zal zijn. Desalniettemin vormen de gewasgroei simulatiemodellen een belangrijk aspect bij de ontwikkeling van decision support systemen voor precisie landbouw. Deze zijn in staat om de verschillende geïntegreerde informatiebronnen te ontrafelen in deelprocessen en kunnen daarom gebruikt worden om yield-

maps en remote sensing opnamen van dit jaar te vertalen in management ingrepen voor het komende jaar.

Inbrengen van beslissystemen is op twee plaatsen in het systeem denkbaar:

1. Vóór het begin van het bodeminventariserend veldwerk, om aan de hand van vóórkennis omtrent de bodemvariabiliteit de bemonsteringsdichtheid en te bemonsteren lokaties te kunnen optimaliseren. Tot nu toe gebeurt dit door inzetten van expertkennis (Finke, 1997), maar er zijn initiatieven voor het opzetten van een DSS-bodemmonitoring (SAMPLE). Een ander moment is bij het uitvoeren van periodiek herhaalde bemonsteringen (N,P,K etc).

2. Bij de definitie van functionele ruimtelijke eenheden, om het gedrag (opbrengstvorming, nutriëntenverliezen, gevoeligheid voor plagen) van bodemprofielen in te schatten. Bij het op deze wijze classificeren en groeperen van gronden kan gebruik worden gemaakt van technieken en beslismomen uit de kwalitatieve landevaluatie. Een voorbeeld is de geschiktheitsbeoordeling van Nederlandse bodems (WIBC), welke werd geïmplementeerd in het systeem KLASSE (Hendriks *et al.*, in prep) met het beslissingsprogramma ALES (Rossiter, 1990). Een ander voorbeeld is het toepassen van ALES om bodemprofielinformatie om te zetten in gevoeligheidsklassen voor N- en P-uitspoeling (Finke *et al.*, in druk). Beide voorbeelden houden geen rekening met de lokatie van de profielgegevens en de vertaling van punt naar vlak. Een DSS-definitie functionele ruimtelijke eenheden heeft als functionaliteit ten minste nodig:

a. De mogelijkheid tot classificatie van puntgegevens (bodemprofielen) in relevante landhoedanigheden zoals vochtleverend vermogen, N-mineralisatiecapaciteit, fosfaatbindend vermogen,

denitrificatiecapaciteit etc;

- b. De mogelijkheid tot interactieve combinatie van deze landhoedanigheden tot 'behandelingsklassen' voor een bepaald gebruiksdoel (berekening, preventieve plagenbestrijding, bemesting);
- c. De mogelijkheid tot het omzetten van een puntenbestand met behandelingsklassen tot een ruimtelijk beeld - bijvoorbeeld via indicatorkriging- in een GIS;
- d. Mogelijkheden om eenvoudig nieuwe kennis te kunnen opnemen en gebruiken bij het aanpassen van de definitie van behandelingsklassen. Nieuwe kennis is bijvoorbeeld opbrengstmetingen, remote sensing beelden van biomassa, bodemvruchtbaarheids-bemonsteringen en resultaten van simulaties van gewasgroes en nutriëntenverliezen.

Literatuur

- Finke, P.A. 1997. Bodeminventarisatie op bedrijfsniveau voor precisielandbouw. *Verslag NVTL-Studiedag over Techniek: Energie en Milieu (11 maart 1997)*. pp.20-24.
- Finke, P.A. and W.J.P. Bosma. 1993. Obtaining basic simulation data for a heterogeneous field with stratified marine soils. *Hydrological Processes* 7: 63-75.
- Finke, P.A., W.J.M. de Groot, M.J.D. Hack-ten Broeke, Y. van Randen, J.H. Oude Voshaar and F. de Vries. in press. Linking digital soil maps and databases to simulation models: functional soil map generalization in The Netherlands. In: Jones *et al.* (eds.) *Land-Information systems. Developments for planning the sustainable use of land resources. Hannover, 20-23 november 1996*.

Hendriks, C.M.A., M.J.D. Hack-ten Broeke en G.A. van Soesbergen. in prep. Een kennissysteem voor landevaluatie. Ontwikkeling. *DLO-Staring Centrum, rapport 395*.

Lark, R.M. and J V Stafford. in press. Information on within-field variability from sequences of yield maps: multivariate classification as a first step of interpretation. *Nutrient cycling in agroecosystems, in press*.

Rossiter, D.G. 1990. ALES: a framework for land evaluation using a microcomputer. *Soil Use and Manag.* 6:7-20.

van Uffelen, C.G.R., J. Verhagen and J. Bouma. 1997. Comparison of simulated crop yield patterns for site specific management. *Agricultural Systems* 54: 207-222.

Vanclooster, M., Viane, P. J. Diels and K. Christiaens. 1994. WAVE a mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and vadose environment - Reference & User's manual (release 2.0) Institute for Land and Water Management, Leuven, Belgium.

Verhagen, J., 1997. Spatial soil variability as a guiding principle in nitrogen management. PhD-thesis Wageningen Agric. Univ. pp. 107

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte. 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en gronden in nederland: de Staringreeks*. Technisch document 18, SC-DLO.

Wösten, J.H.M., P.A. Finke and M.J.W. Jansen. 1995. Comparison of class- and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma* 66: 227-237. @