

Kan de efficiëntie van bodemkarteringen op schaal 1 : 10 000 worden vergroot met het Actuele Hoogtebestand Nederland?

Kan de efficiëntie van bodemkarteringen op schaal 1 : 10 000 worden vergroot met het Actuele Hoogtebestand Nederland?

D.J. Brus
E. Kiestra

Alterra-rapport 498

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2002

REFERAAT

Brus, D.J., E. Kiestra 2002. *Kan de efficiëntie van bodemkarteringen op schaal 1 : 10 000 worden vergroot met het Actuele Hoogtebestand Nederland?*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 498. 54 blz.; 2 fig.; 17 tab.; 10 ref.

In twee studiegebieden is onderzocht of de efficiëntie van een bodemkartering op schaal 1 : 10 000 kan worden vergroot door tijdens de opname in het veld gebruik te maken van het Actuele Hoogtebestand Nederland (AHN). Bepaald is bij welke boringsdichtheid een opname met AHN resulteert in bodemkaart van ongeveer dezelfde kwaliteit als die van een opname zonder AHN. Van beide gebieden zijn vier bodemkaarten gemaakt, één zonder AHN, en drie met AHN. De boringsdichtheid van de opnames met AHN neemt toe van 1 per 5 ha, via 1 per 3 ha, tot 1 per 1 ha wat ongeveer dezelfde dichtheid is als van de opname zonder AHN. In de onderzochte gebieden kon bij een opname met AHN de boringsdichtheid gereduceerd worden tot 1 per 3 ha zonder dat de gemiddelde fout en gemiddelde gekwadrateerde fout van de met de bodemkaart en representatieve profielen geschatte waarde van een groot aantal bodemkenmerken en beoordelingsfactoren op punten groter werd. Dit betekent een kostenbesparing van ongeveer 50% op het veldwerk.

Trefwoorden: bodemgeschiktheid, bodemkaart, gemiddelde gekwadrateerde fout, landevaluatie, zuiverheid

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 27,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 498. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2002 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Methode van onderzoek	13
2.1 Beschrijving experiment	13
2.2 Validatie van bodemkaarten	14
2.2.1 Bodemkenmerken en beoordelingsfactoren	14
2.2.2 Validatie met kanssteekproef	17
3 Resultaten	21
3.1 Appingedam-Delfzijl	21
3.2 Losser	24
4 Discussie	29
5 Conclusies	31
Literatuur	33
 <i>Bijlagen</i>	
1 Hoogtekaarten, bodemkaarten en Gt-kaarten Appingedam-Delfzijl	35
2 Hoogtekaarten, bodemkaarten en Gt-kaarten Losser	45

Woord vooraf

Alterra heeft veel ervaring met het maken van bodemkaarten. Kort na tweede wereldoorlog is de Stichting voor Bodemkartering (Stiboka) opgericht, met als belangrijkste taak het in kaart brengen van de bodemgesteldheid van Nederland. Het belangrijkste product van de voormalige Stiboka is de Bodemkaart van Nederland op schaal 1 : 50 000. Nog altijd worden door Alterra regelmatig bodemkaarten gemaakt, maar dan op een grotere schaal, n.l. 1 : 10 000 of zelfs 1 : 5000. De in de loop der jaren ontwikkelde methode voor het karteren van de bodem is gebaseerd op zeer veel veldwerk. De veldbodemkundige loopt door het landschap en registreert behalve de met boringen aan de pedosfeer ontfutselde profielkenmerken ook landschapskenmerken die mogelijk gecorreleerd zijn met de bodemgesteldheid zoals geomorfologische terreinvormen, landgebruik, en de vegetatie. Dit alles betekent dat er veel tijd gemoeid is met het veldwerk. De sterk toegenomen kosten van arbeid dwingen Alterra er toe om naar mogelijkheden te zoeken om de efficiëntie van de bodemkarteringsprojecten te verhogen. Het gebruik van het Actuele Hoogtebestand Nederland (AHN), waarop het reliëf van het landschap zeer gedetailleerd is weergegeven, zou zo'n mogelijkheid kunnen zijn. Dit was aanleiding voor de directie DWK van het ministerie van LNV om Alterra opdracht te geven onderzoek te doen naar de mogelijkheid om gebruikmakend van AHN de efficiëntie van gedetailleerde bodemkarteringen te verhogen. In een wat breder perspectief gezien moet dit project een bijdrage leveren aan het vergaren van kwantitatieve informatie over de prijs-kwaliteit verhouding van verschillende karteringsmethoden. Hieraan is dringend behoefte. Op dit moment ontbreken kwantitatieve gegevens over de kwaliteit van gedetailleerde bodemkaarten. Daarentegen is in de afgelopen jaren wel kwantitatieve informatie verzameld over de kwaliteit van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000, middels de Landelijke Steekproef Kaarteenheden en regionale validatiestudies.

Dank zijn we verschuldigd aan M. Pleijter, G. Thijssen en G. Stoffelsen die een deel van het veldwerk hebben verricht.

Samenvatting

Onderzocht is of de efficiëntie van bodemkarteringen op schaal 1 : 10 000 kan worden vergroot door tijdens de veldopname gebruik te maken van het Actuele Hoogtebestand Nederland (AHN). Hiertoe zijn twee studiegebieden geselecteerd, één van ruim 150 ha in het noordelijke zeekleigebied, en één van ruim 100 ha in het oostelijk dekzandgebied. Van beide gebieden zijn vier bodemkaarten gemaakt, n.l. één op de gebruikelijke wijze zonder AHN en 1 à 2 beschreven boringen per ha, en drie kaarten met AHN. De boringsdichtheid van de drie kaarten met AHN is 1 per 5 ha, 1 per 3 ha, en 1 per 1 ha. De drie kaarten met AHN zijn door een andere veldbodemkundige gemaakt dan de kaart zonder AHN.

De kwaliteit van de vier bodemkaarten is bepaald met een (gestratificeerde) tweetrapssteekproef, waarbij in de eerste trap percelen zijn geselecteerd met kansen evenredig met de oppervlakte en met teruglegging, en in de tweede trap binnen de gelote percelen punten zijn geselecteerd volgens een vierkantsgrid met een geloot startpunt. De bodemkenmerken op de gelote punten zijn opgenomen door een derde, onafhankelijke veldbodemkundige. Met de steekproefgegevens zijn geschat: 1) de gemiddelde fout (ME); 2) de variantie van de fout (VE); en 3) de gemiddelde gekwadrateerde fout (MSE) van de voorspelde waardes van een groot aantal bodemkenmerken op punten. De waarde op een punt wordt voorspeld met de waarde van het representatieve profiel van de kaartenheid waartoe het voorspelpunt behoort. Verder is de zuiverheid van de kaarten ten aanzien van bodemeenheid, GHG-klasse, GLG-klasse, grondwatertrap en een aantal beoordelingsfactoren geschat. Tot slot is ook het gemiddelde en de ruimtelijke variantie van de perceels-gemiddelde fout in het aantal aftrekpunten geschat. Omdat de geschatte ME 's, MSE 's en zuiverheid vertekend (biased) kunnen zijn tengevolge van een systematische fout in de bepaling van een bodemkenmerk op de aselecte punten, is met name gekeken naar de verschillen in kwaliteit tussen de kaarten. Met de t-toets voor duplobepalingen is getoetst of deze paarsgewijze verschillen significant afwijken van 0.

Wanneer AHN wordt gebruikt bij de veldopname kan het aantal beschreven boringen gereduceerd worden naar 1 per 3 ha zonder dat hierdoor de kwaliteit van de kaart lager wordt dan die van de kaart gemaakt zonder AHN en met 1 à 2 beschreven boringen per ha. Dit betekent dat wanneer AHN wordt gebruikt tijdens de opname in het veld, de veldwerkkosten ongestraft gehalveerd kunnen worden. De winst lijkt met name tot uitdrukking te komen bij bodemkenmerken die gerelateerd zijn aan het grondwaterstandsverloop, maar in Losser leidt gebruik van AHN ook tot een betekenisvolle en significant hogere zuiverheid ten aanzien van de bodemeenheden (kaartenheden excl. Gt). Gelet op de kwaliteit van de voorspellingen van het gemiddeld aantal aftrekpunten van percelen kan het aantal beschreven boringen gereduceerd worden naar 1 per 5 ha voor Appingedam-Delfzijl en 1 per 3 ha voor Losser.

1 Inleiding

Medewerkers van Alterra maken regelmatig gedetailleerde bodemkaarten, vaak op een schaal van 1 : 10 000. Het gaat veelal om opdrachten van de Landinrichtingsdienst die ten behoeve van herinrichtingsprojecten (of administratieve ruilverkavelingen) een ruimtelijk beeld wil van de bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid. De bodemgesteldheid wordt in kaart gebracht met de vrije karteringsmethode. Deze methode is zeer veldwerk-intensief: op veel plaatsen wordt geboord, en ook de kaarteenheden worden vaak al in het veld begrensd op basis van de beschreven boringen, tussenboringen en waarnemingen van landschapkenmerken die aan de bodem zijn gerelateerd. Voor een bodemkartering op schaal 1 : 10 000 worden ca. 1 à 2 boringen tot 1.50 m. per ha verricht, afhankelijk van de complexiteit van het gebied. Deze boringen worden beschreven. Daarnaast worden ook nog onbeschreven tussenboringen verricht, vaak niet tot 1.50 m, maar tot een diepte die nodig is om vast te stellen tot welke bodemeenheid het punt behoort. Het veldwerk vormt dan ook een belangrijk onderdeel van de totale kosten van een bodemkarteringsproject.

Recent zijn van grote delen van Nederland gedetailleerde kaarten (rasterbestanden) beschikbaar gekomen van de NAP-hoogte van het maaiveld, het Actuele Hoogtebestand Nederland (hierna aangeduid met AHN). Het doel van dit onderzoeksproject is te onderzoeken of de efficiëntie van gedetailleerde bodemkarteringen kan worden vergroot door gebruik te maken van dit AHN. Wanneer de bodemgesteldheid en de maaiveldshoogte in een te karteren gebied aan elkaar gerelateerd zijn, zou mogelijk met minder boringen een bodemkaart met dezelfde kwaliteit gemaakt kunnen worden.

Het AHN is al op grote schaal gebruikt bij het in kaart brengen van de grondwaterstandskarakteristieken zoals de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), die ook op bodemkaarten in de vorm van grondwatertrappen zijn weergegeven (Finke e.a. 1999). De door Finke e.a. gebruikte methode wijkt sterk af van de gebruikelijke, ambachtelijke methode van grondwatertrap karteringen. De kern van de nieuwe methode wordt gevormd door regressiemodellen voor de GHG en GLG, met als verklarende variabelen o.a. de maaiveldshoogte t.o.v. NAP zoals weergegeven op AHN, en de relatieve maaiveldshoogte die van het AHN wordt afgeleid. Het veldwerk in deze methode is beperkt tot het meten van grondwaterstanden op een relatief beperkt aantal punten.

De vraag die in dit onderzoek centraal staat is of het AHN ook gebruikt kan worden bij het in kaart brengen van de bodemeenheden. Besloten is om de vrije karteringsmethode niet wezenlijk te veranderen, maar om het gebruik van het AHN te integreren met deze bestaande, vrije karteringsmethode. In de nieuwe methode wordt het AHN in het veld gebruikt voor de oriëntatie in het landschap, het trekken van kaartvlakgrenzen (op basis van het reliëf), en de gerichte selectie van boorpunten.

2 Methode van onderzoek

2.1 Beschrijving experiment

We hebben twee studiegebieden geselecteerd, één in het noordelijk zeekleigebied (Appingedam-Delfzijl) en één in het oostelijk dekzandgebied (Losser). Het studiegebied Appingedam-Delfzijl is 155 ha en maakt onderdeel uit van het ruilverkavelingsgebied Appingedam-Delfzijl (Kiestra, 2001). Het studiegebied Losser is 106 ha en maakt onderdeel uit van het landinrichtingsgebied Losser-Zuid (Stoffelsen en Vroon, 1998). Van beide studiegebieden zijn vier bodemkaarten gemaakt op schaal 1 : 10 000 (tabel 1). Bodemkaart A11 van Appingedam-Delfzijl en C21 van Losser zijn gemaakt op de gebruikelijke ambachtelijke manier, zonder AHN. Het aantal beschreven boringen is ongeveer 1 per ha voor Appingedam-Delfzijl en 2 per ha voor Losser. De bodemkaart C21 van Losser is opgenomen in 1996/1997. De grondwatertrappen op deze kaart zijn geupdate, wat nodig was omdat door het stopzetten van grondwateronttrekkingen de grondwaterstand plaatselijk was gewijzigd. De Bodemkaarten B15, B13, B11, D15, D13, en D11 zijn gemaakt met de nieuwe methode, met gebruikmaking van AHN. De dichtheid van het aantal beschreven boringen is verschillend, namelijk ongeveer 1 per 1 ha voor B11 en D11, 1 per 3 ha voor B13 en D13, en 1 per 5 ha voor B15 en D15. De drie kaarten B15, B13 en B11 zijn gemaakt door dezelfde veldbodemkundige, die niet gelijk is aan de veldbodemkundige die kaart A11 heeft gemaakt. Hetzelfde geldt voor de kaarten D15, D13 en D11. Eerst is kaart B15 (D15) gemaakt, d.w.z op basis van ongeveer 1 boring per 5 ha. Daarna zijn extra boringen geplaatst zodat de dichtheid van de boringen van de eerste en tweede ronde uitkomt op ongeveer 1 per 3 ha. Op basis van deze extra boringen is kaart B15 (D15) aangepast, resulterend in kaart B13 (D13). Dit proces is nog een keer herhaald, resulterend in een boringsdichtheid van ongeveer 1 per 1 ha en kaart B11 (D11).

In bijlage 1 zijn de vier bodemkaarten en vier grondwatertrapkaarten van Appingedam-Delfzijl opgenomen, in bijlage 2 die van Losser. Het aantal kaart-eenheden en het aantal kaartvlakken neemt toe met de boringsdichtheid (tabel 2). Voor Appingedam-Delfzijl zien we dat de aantallen eenheden van de bodemkaart en gecombineerde Bodem-Gt-kaart sterk toenemen van B15 naar B11. Voor B11 is het aantal bodemeenheden en gecombineerde Bodem-Gt eenheden groter dan op kaart A11. Ook de aantallen vlakken op de bodemkaart en gecombineerde Bodem-Gt-kaart nemen sterk toe van B15 naar B11, en zijn voor kaart B11 groter dan voor kaart A11. Dit geldt overigens ook voor het aantal vlakken op de Gt-kaart. Door de boringsdichtheid te verhogen is niet het aantal onderscheiden grondwatertrappen toegenomen, maar wel de detaillering waarmee deze grondwatertrappen in kaart zijn gebracht.

Voor Losser zien we een wezenlijk ander beeld. Het aantal Gt-eenheden, bodemeenheden, en gecombineerde bodem-Gt-eenheden op alle kaarten gemaakt met AHN is kleiner dan op de kaart zonder AHN, en ook de aantallen vlakken zijn

kleiner. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat kaart C21 gebaseerd is op veel meer boringen dan kaart D11 (boringsdichtheid van kaart C21 ongeveer twee keer zo hoog).

Tot slot enkele opmerkingen over de benodigde veldwerktijd. Tabel 1 laat zien dat het aantal velwerkdagen sterk toeneemt wanneer het aantal beschreven boringen toeneemt. Wel moet opgemerkt worden dat de aantallen dagen voor de kaarten B13, B15, D13 en D15 waarschijnlijk een lichte overschatting zijn van de aantallen dagen die nodig zouden zijn geweest wanneer deze kaarten in 1 veldwerkfase zouden zijn gemaakt. Nu is immers het hele gebied twee keer (B13, D13) of zelfs drie keer (B11, D11) doorkruist.

Tabel 1 Kenmerken van de opname van de vier bodemkaarten.

Studiegebied	Gebruik AHN	Aantal velddagen	Aantal beschreven boringen	Veldbodem-kundige	Code bodemkaart
Appingedam-Delfzijl	nee	7	184	A	A11
	ja	1,5	35	B	B15
	ja	4	58	B	B13
	ja	8	167	B	B11
Losser	nee	9	214	C	C21
	ja	1	28	D	D15
	ja	2,5	42	D	D13
	ja	5	130	D	D11

Tabel 2 Aantallen eenheden en vlakken van de vier Gt-kaarten, bodemkaarten en gecombineerde bodem en Gt-kaarten.

Gebied	Kaart	Gt		Bodem		Bodem + Gt	
		eenheden	vlakken	eenheden	vlakken	eenheden	vlakken
Appingedam-Delfzijl	A11	7	29	21	43	34	64
	B15	7	19	11	18	18	26
	B13	6	29	12	21	19	39
	B11	6	41	25	46	40	83
Losser	C21	9	39	28	63	48	77
	D15	7	24	13	27	19	32
	D13	8	27	14	31	21	37
	D11	8	30	16	34	26	44

2.2 Validatie van bodemkaarten

2.2.1 Bodemkenmerken en beoordelingsfactoren

De kwaliteit van de vier bodemkaarten is met elkaar vergeleken door te kijken naar de nauwkeurigheid van de geschatte waarde van bodemkenmerken op punten. De waarde van een bodemkenmerk op een willekeurig punt is geschat met de waarde van dit bodemkenmerk van het representatieve profiel horend bij de kaartenheid waartoe dit punt behoort.

We hebben de nauwkeurigheid van de geschatte waarde van de volgende bodemkenmerken bepaald:

1. kwantitatieve, basiskkenmerken: GHG, GLG, lutumgehalte bovenste horizont, leemgehalte bovenste horizont, organischestofgehalte bovenste horizont, dikte bovengrond (dikte A-horizont), en effectieve bewortelingsdiepte;
2. kwantitatieve, afgeleide kenmerken: vochthoudend vermogen van effectieve bewortelingsdiepte, kritieke stijghoogte;
3. kwalitatieve, basiskkenmerken: GHG-klasse, GLG-klasse, grondwatertrap, bodemeenheid, groep van bodemeenheden (Losser);
4. beoordelingsfactoren: ontwateringstoestand, vochtleverend vermogen, stevigheid van de bovengrond, verkruielbaarheid, bodemvruchtbaarheid, slempgevoeligheid;
5. aftrekpunten.

Voor definities van deze bodemkenmerken, en de bepalingmethode van de afgeleide bodemkenmerken en van de klasse van de beoordelingsfactoren, verwijzen we naar ten Cate e.a., 1995.

In tabel 3 zijn alle bodemeenheden van Appingedam-Delfzijl weergegeven, in tabel 4 die van Losser. Merk op dat sommige bodemeenheden op geen van de vier bodemkaarten zijn weergegeven. Sommige bodemeenheden zijn alleen aangetroffen op de punten van de kanssteekproef (aselecte steekproef) waarmee de kwaliteit van de bodemkaarten is bepaald. Voor Losser is ook gekeken naar de kaartzuiverheid met betrekking tot groepen van bodemeenheden. In tabel 4 is weergegeven hoe de oorspronkelijke bodemeenheden zijn gegroepeerd.

In Appingedam-Delfzijl is de geschiktheid bepaald voor akkerbouw, in Losser voor grasland. In Appingedam-Delfzijl zijn de beoordelingsfactoren ontwateringstoestand, vochtleverend vermogen, stevigheid van de bovengrond, verkruielbaarheid en slempgevoeligheid in beschouwing genomen, en in Losser de beoordelingsfactoren ontwateringstoestand, vochtleverend vermogen, stevigheid van de bovengrond en bodemvruchtbaarheid.

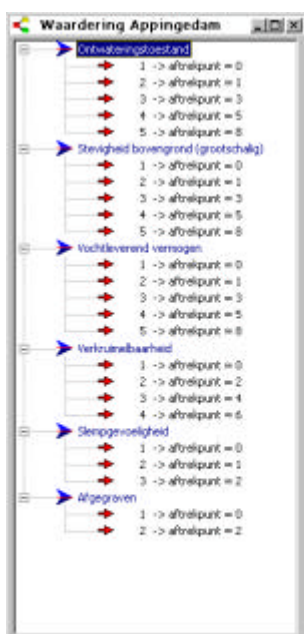
Tabel 3 Bij kartering of validatie onderscheiden bodemeenheden in Appingedam-Delfzijl

Poldervaaggronden			Nesvaag-gronden	Leekeerd-gronden	Tuineerd-gronden
Mn33C	Mn53CzG	Mn73BG	Mo70BG	pMn53C	EK55BG
Mn35B	Mn54aC	Mn73C		pMn54aC	
Mn35C	Mn55B	Mn73CG		pMn55CG	
Mn53B	Mn55BG	Mn74C		pMn55BzG	
Mn53BG	Mn55BkG	Mn74CG		pMn73B	
Mn53C	Mn55C	Mn74aC		pMn73C	
Mn53CG	Mn55CG				
Mn53Cz	Mn73B				

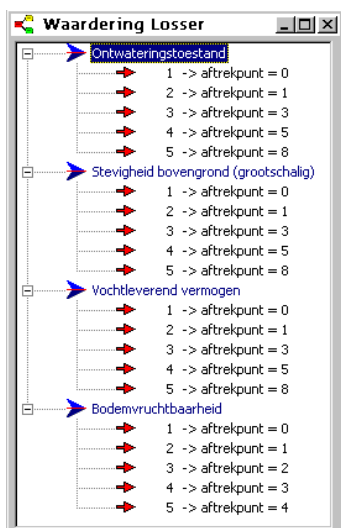
Tabel 4 Bij kartering of validatie onderscheiden bodemeenheiten in Losser. De groepen van bodemeenheiten zijn gebruikt voor de bepaling van de zuiverheid van de bodemkaarten.

Kamp-podzol-gronden	Laar-podzol-gronden	Loo-podzol-gronden	Beekeerd-gronden	Haar-podzol-gronden	Veld-podzol-gronden	Keileem-gronden	Beek-vaag-gronden	Goor-eerd-gronden	Enk-eerd-gronden
cHd51	cHn51 cHn53 cHn53x	cY53	cZg55 tZg51 tZg51g tZg51t tZg51x tZg53 tZg53g tZg53x tZg55 tZg55F tZg55x tZg55xF	Hd51	Hn51 Hn51x Hn53 Hn53g Hn53x	KX KXF tKX	kZg51g Zg51 Zg51g Zg51x Zg53x	tZn51 tZn51F tZn51t tZn51tF tZn51x tZn53 tZn53F tZn53g tZn53x tZn55 tZn55xF	zEZ53 zEZ55

De ruilwaarde van percelen wordt bepaald met het aantal aftrekpunten van de kaartenheid waartoe het perceel behoort. Wanneer meerdere kaartenheden binnen een perceel voorkomen wordt het oppervlaktegewogen gemiddelde aantal aftrekpunten van het perceel bepaald. Het aantal aftrekpunten van een kaartenheid wordt bepaald door de gradaties van de beoordelingsfactoren. In figuur 1 is de relatie tussen de gradaties van de beoordelingsfactoren en het aantal aftrekpunten weergegeven voor Appingedam-Delfzijl, in figuur 2 voor Losser. In dit onderzoek is niet alleen gekeken naar de kwaliteit van het geschatte aantal aftrekpunten op punten, maar ook naar de kwaliteit van het geschatte gemiddelde aantal aftrekpunten van percelen.



Figuur 1 Relatie tussen gradaties van beoordelingsfactoren en aantal aftrekpunten voor Appingedam-Delfzijl



Figuur 2 Relatie tussen gradaties van beoordelingsfactoren en aantal aftrekpunten voor Losser

2.2.2 Validatie met kanssteekproef

De kwaliteit van de bodemkaarten is achteraf bepaald met een kanssteekproef. In Losser zijn de validatiepunten geselecteerd door middel van een tweetrapssteekproef. In de eerste trap zijn percelen onafhankelijk van elkaar geloot met kansen evenredig met de oppervlakte, en met teruglegging. In de tweede trap zijn binnen de gelote percelen punten geselecteerd d.m.v. een systematische steekproef volgens een vierkantsrooster, met aselect startpunt en vaste oriëntatie (N-Z). De afstand tussen de punten bedraagt 75 m. Merk op dat binnen grote percelen meer punten geselecteerd worden dan binnen kleine percelen.

In Appingedam-Delfzijl zijn twee strata onderscheiden, grasland bestaande uit 42 percelen met een totaal oppervlak van 97 ha, en bouwland bestaande uit 9 percelen met een totaal oppervlak van 58 ha. Binnen de strata zijn de primaire eenheden (percelen) en secundaire eenheden (punten) op dezelfde wijze geselecteerd als in Losser. Het aantal keren dat een primaire eenheid (perceel) is geloot is voor Appingedam 17, waarvan 14 keer in het stratum grasland en 3 keer in het stratum bouwland, en ook 17 voor Losser. Merk op dat een perceel meerder keren kan worden geloot (trekking met teruglegging). In Appingedam-Delfzijl is één perceel twee keer geloot, in Losser twee percelen. Het totaal aantal gelote validatiepunten is 154 voor Appingedam-Delfzijl waarvan 73 in grasland en 81 in bouwland, en 139 in Losser.

Voor de kwantitatieve basiskennmerken en het aantal aftrekpunten zijn met de kanssteekproef de volgende doelgrootheden geschat:

$$\begin{aligned}
 ME &= \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M e_l, \\
 VE &= \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M (e_l - ME)^2, \\
 MSE &= \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M e_l^2, \\
 MME &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{1}{M_k} \sum_{l=1}^{M_k} e_l, \\
 VME &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (ME_k - MME)^2,
 \end{aligned}$$

waarin N het aantal percelen in het gebied, M het totaal aantal mogelijke steekproefpunten in het gebied (aantal punten van een fijn grid waarmee het gebied wordt gediscrèteiseerd), M_k het totaal aantal mogelijke steekproefpunten in perceel k , e_l de fout in het geschatte bodemkenmerk op punt l , e_{kl} de fout in het geschatte kenmerk op punt l in perceel k en ME_k de (werkelijke) gemiddelde fout voor perceel k is.

Merk op dat ME en MME niet gelijk zijn aan elkaar omdat de percelen niet even groot zijn. De doelgrootheid MME is alleen geschat voor het aantal aftrekpunten. Het perceelsgemiddelde van de puntsgewijze fouten in het aantal aftrekpunten is gelijk aan de fout in het geschatte gemiddelde aantal aftrekpunten van een perceel.

Voor de (ongestratificeerde) twee-traps steekproef kan de gemiddelde fout op punten (ME) geschat worden met

$$me = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} e_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n me_i,$$

waarin n het aantal primaire eenheid selecties (aantal keren dat perceel is geloot), m_i het aantal geselecteerde punten in de primaire eenheid van de i de trekking (hierna afgekort tot i de pu) en e_{ij} de fout op punt j in de i de pu is.

De gemiddelde gekwadrateerde (puntsgewijze) fout (MSE) kan geschat worden met dezelfde schatte nadat de fouten op de steekproefpunten zijn gekwadrateerd:

$$mse = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} e_{ij}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n mse_i.$$

De ruimtelijke variantie van de puntsgewijze fouten (VE) kan geschat worden met (Marsman en De Gruijter, 1986)

$$ve = mse - (me)^2 + v_p(me),$$

waarin $v_p(me)$ de geschatte steekproefvariantie van de geschatte gemiddelde fout (me) is:

$$v_p(me) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (me_i - me)^2.$$

Het gemiddelde van de perceelsgemiddelde fout (MME) kan geschat worden met (Särndal e.a., 1992, p.51)

$$mme = \frac{1}{Nn} \sum_{i=1}^n \frac{me_i}{p_i},$$

waarin p_i de kans is dat de i de primaire eenheid geselecteerd wordt per trekking. Deze trekkingskans is gelijk aan de relatieve oppervlakte van de primaire eenheid. De steekproefvariantie van dit geschatte gemiddelde kan geschat worden met

$$v_p(mme) = \frac{1}{N^2 n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{me_i}{p_i} - mme \right)^2.$$

Als de werkelijke gemiddelde fout van de percelen bekend zouden zijn, dan zou de variantie van de perceelsgemiddelde fouten (VME) geschat kunnen worden met

$$vme = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (ME_i - mme)^2.$$

De werkelijke perceelsgemiddelde fouten zijn echter onbekend en moeten geschat worden. Dit leidt tot de volgende schatter:

$$vme = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (me_i - mme)^2 - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (me_i - ME_i)^2. \quad (1)$$

De verwachtingswaarde van $(me_i - ME_i)^2$ is gelijk aan de steekproefvariantie van het gemiddelde van perceel i . De tweede term van vergelijking (1) kan daarom geschat worden met

$$\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_p(me_i),$$

waarin $v_p(me_i)$ de geschatte steekproefvariantie van de geschatte gemiddelde fout van primaire eenheid i is.

Deze steekproefvariantie kan echter niet zonder meer geschat worden omdat in de tweede trap, binnen primaire eenheden, een systematische steekproef is genomen. Wanneer we de tweede term van vergelijking (1) verwaarlozen verkrijgen we een conservatieve schatting van VME . Een onderschatting (te optimistische) schatting van VME kan verkregen worden door net te doen alsof de systematische steekproef een enkelvoudig aselechte steekproef is, en de tweede term te schatten met

$$\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{1}{m_i(m_i-1)} \sum_{j=1}^{m_i} (e_{ij} - me_i)^2.$$

Voor de gestratificeerde tweetraps steekproef van Appingedam-Delfzijl worden de hierboven beschreven schatters toegepast op het niveau van de strata. Vervolgens worden gewogen gemiddeldes van deze stratum gemiddeldes en varianties van geschatte gemiddeldes berekend. Voor de doelgrootheden me en mse zijn de gewichten gelijk aan de relatieve oppervlakte van de strata, voor mme zijn deze gelijk

aan het relatieve aantal percelen in de strata, voor $v_p(me)$ zijn deze gelijk aan de gekwadrateerde relatieve oppervlakte van de strata, en voor $v_p(mme)$ zijn de gewichten gelijk aan het gekwadrateerde relatieve aantal percelen binnen de strata.

Meer nog dan de *ME*'s en *MSE*'s zelf, zijn de paarsgewijze verschillen in *ME*'s en *MSE*'s interessant. Is de *ME* en *MSE* van een bodemkaart gemaakt met AHN kleiner dan die van de kaart gemaakt zonder AHN, en zo ja is dit verschil significant?. Om deze vraag te beantwoorden zijn voor alle bodemkenmerken de verschillen in *ME* en *MSE* geschat tussen een kaart gemaakt met AHN en de kaart zonder AHN, evenals de standaardafwijking van deze verschillen. Vervolgens is met de t-toets voor gepaarde waarnemingen getoetst of deze verschillen significant afwijken van 0. Wanneer het verschil significant afwijkt van 0, zijn de *ME*'s (*MSE*'s) significant verschillend. Het aantal vrijheidsgraden is lastig (steekproefopzet is niet enkelvoudig aselekt), maar gelet op de aantallen steekproefpunten kan bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 95% geconcludeerd worden dat het verschil significant afwijkt van 0 wanneer de absolute t-waarde groter is dan 2. Bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 10% moet de absolute t-waarde groter zijn dan ongeveer 1,6.

3 Resultaten

3.1 Appingedam-Delfzijl

De *me*'s, *ve*'s en *mse*'s voor Appingedam-Delfzijl zijn weergegeven in tabel 5. In deze tabel zijn ook de geschatte gemiddeldes voor de bodemkenmerken weergegeven, zodat de kwaliteitsmaten gerelateerd kunnen worden aan deze geschatte gebiedsgemiddeldes. Ons zijn geen studies bekend naar de kwaliteit van 1:10 000 bodem- en Gt-kaarten, waarmee de resultaten in tabel 5 kunnen worden vergeleken. De zuiverheid van alle kaarten ten aanzien van bodem+Gt is erg laag: 15 tot 25% (tabel 6). Dit is met name het gevolg van de lage zuiverheid ten aanzien van de bodemklassen. De zuiverheid ten aanzien van Gt komt voor de kaarten B13 en B11 in de buurt van de wel genoemde zuiverheid van 70% voor 1:50 000 Gt-kaarten, maar is voor de kaarten A11 en B15 duidelijk lager. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat door systematische verschillen in veldschattingen tussen de veldbodemkundige die de bodemkaart heeft gemaakt en de veldbodemkundige die de bodemkaart heeft gevalideerd, de *me*'s, *mse*'s en zuiverheden vertekend (biased) kunnen zijn. Wanneer we de *me*'s, *mse*'s en zuiverheden van de kaarten onderling met elkaar vergelijken, m.a.w. kijken naar de paarsgewijze verschillen in de kwaliteitsmaten tussen de vier kaarten, hebben we van deze eventuele systematische verschillen geen last.

Voor de bodemkenmerken GHG, GLG, vochthoudend vermogen, aftrekpunten, en organischestofgehalte zijn de *mse*'s verkregen met de kaarten B11 en B13 significant kleiner dan die met kaart A11 (tabel 7). Met andere woorden, voor deze bodemkenmerken leveren de kaarten gemaakt met AHN betere voorspellingen van de waarde op punten op (uitgedrukt in *MSE*) dan de kaart gemaakt zonder AHN, zelfs wanneer de boringsdichtheid wordt gereduceerd tot 1 beschreven boring per 3 ha. Wanneer de boringsdichtheid wordt gereduceerd naar 1 per 5 ha gaat een deel van deze 'winst' verloren. Het verschil in *mse* voor GLG is aanzienlijk kleiner geworden (-76.2 cm²) maar nog wel significant, voor GHG en organischestofgehalte zijn de verschillen niet meer significant. Bovendien is de *mse* voor het lutumgehalte significant groter dan die verkregen met kaart A11.

De zuiverheid van de kaarten B11 en B13 is significant groter dan die van kaart A11 ten aanzien van GHG-klasse, Gt, ontwateringstoestand, en vochtleverend vermogen (tabel 8). Dit zijn allemaal kwalitatieve variabelen die geheel of gedeeltelijk (vochtleverend vermogen) worden bepaald door het grondwaterstandsverloop. Wordt de boringsdichtheid gereduceerd tot 1 per 5 ha, dan betalen we een prijs ten aanzien van de zuiverheid met betrekking tot de beoordelingsfactoren stevigheid bovengrond en verkruielbaarheid. Voor deze beoordelingsfactoren heeft kaart B15 een significant lagere zuiverheid dan kaart A11. Voor de beoordelingsfactor verkruielbaarheid treedt dit verlies aan zuiverheid al op bij een boringsdichtheid van 1 per 3 ha.

Het gemiddelde van de perceelsgemiddelde fout in het aantal aftrekpunten is voor alle vier kaarten, gegeven het stratum ongeveer gelijk, n.l. ongeveer 2 voor het stratum grasland en ongeveer 0.6 voor het stratum bouwland. Ook de ruimtelijke variantie van de perceelsgemiddelde fout in het aantal aftrekpunten verschilt weinig voor de vier kaarten en de twee strata (tabel 9). De enige uitzondering is de variantie van de perceelsgemiddelde fout voor kaart A11 in het stratum grasland. Deze is beduidend hoger dan die voor de andere kaarten. Met andere woorden, de kwaliteit van de geschatte agrarische waarde van de graslandpercelen verkregen met de kaarten B11, B13 en B15 is beter dan die verkregen met kaart A11.

Tabel 5 Geschatte gemiddelde fout (me), variantie van fout (ve), en gemiddelde gekwadrateerde fout (mse) van waarde van bodemkenmerken op punten geschat met de vier bodem-Gt-kaarten van Appingedam-Delfzijl. Tussen haakjes: geschatte standaardfout. mz: geschat gebiedsgemiddelde van bodemkenmerk.

Bodemkenmerk	mz	Type fout	Bodem-Gt-kaart			
			A11	B15	B13	B11
GHG	71	me	-5.7 (2.3)	-9.8 (1.8)	-2.3 (1.6)	4.8 (1.2)
		ve	265	181	131	127
		mse	291 (55)	273 (60)	134 (21)	149 (34)
GLG	145	me	-3.8 (2.2)	-3.7 (1.9)	1.2 (1.3)	-2.5 (1.2)
		ve	238	161	121	112
		mse	248 (33)	171 (32)	121 (14)	117 (20)
Kritieke stijghoogte	53	me	-2.3 (1.9)	-1.9 (1.3)	-1.8 (2.1)	-3.3 (1.6)
		ve	316	308	345	319
		mse	317 (96)	310 (82)	344 (104)	328 (97)
Lutumgehalte	30	me	1.0 (0.56)	4.2 (0.74)	2.6 (0.68)	1.5 (0.68)
		ve	20.6	22.7	20.2	19.4
		mse	21 (5.1)	40 (9.7)	27 (6.2)	21 (7.4)
Org. stofgehalte	2.9	me	-0.62 (0.15)	-0.056 (0.18)	-0.032 (0.16)	0.063 (0.13)
		ve	0.77	0.86	0.82	0.62
		mse	1.1 (0.36)	0.83 (0.23)	0.79 (0.28)	0.61 (0.26)
Vochth. verm.	95	me	-2.0 (0.66)	-3.4 (0.73)	-1.9 (0.53)	-0.15 (0.69)
		ve	75	24	17	27
		mse	78 (24)	35 (7.4)	21 (4.3)	26 (6.6)
Aftrekpunten	7.8	me	2.1 (0.63)	1.8 (0.34)	2.1 (0.41)	1.8 (0.43)
		ve	15	6.1	7.5	8.1
		mse	19 (5.5)	9.4 (1.6)	12 (2.6)	11 (2.7)

Tabel 6 Geschatte zuiverheid (in %) van vier bodem-Gt-kaarten van Appingedam-Delfzijl voor acht bodemkenmerken.

Bodemkenmerk	Bodem-Gt-kaart			
	A11	B15	B13	B11
Bodemeenheid	35 (6.2)	27 (5.8)	37 (5.4)	35 (6.1)
Kalkverloop	82 (5.0)	84 (16)	84 (5.0)	84 (5.0)
GHG-klasse	46 (7.2)	53 (6.6)	65 (6.4)	66 (6.4)
GLG-klasse	96 (2.0)	99 (0.64)	99 (0.64)	99 (0.64)
Gt	45 (7.5)	52 (6.8)	64 (6.5)	65 (6.5)
Bodemeenheid + Gt	15 (4.6)	18 (4.4)	22 (4.7)	25 (5.8)
Ontwateringstoestand	42 (6.9)	51 (6.4)	63 (6.4)	65 (6.4)
Stevigheid bovengrond	46 (8.1)	29 (8.1)	36 (6.7)	45 (6.7)
Vochtleverend vermogen	37 (5.1)	44 (6.1)	46 (6.3)	47 (6.5)
Verkruijmelbaarheid	45 (6.5)	31 (5.1)	33 (5.4)	36 (5.4)
Slempgevoeligheid	85 (6.4)	96 (2.4)	95 (2.6)	94 (2.9)

Tabel 7 Geschat verschil in ME en MSE van bodem-Gt-kaart gemaakt met AHN (B15, B13, B11) en zonder AHN (A11) van Appingedam-Delfzijl. Tussen haakjes: geschatte standaardfout. Vet: significant afwijkend van 0 bij onbetrouwbaarheidsdrempel van 10%; Vet en cursief: idem bij onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%.

Bodemkenmerk	Type fout	Bodemkaart		
		B15	B13	B11
GHG	ME	-4.1 (1.2)	3.4 (1.6)	0.9 (1.9)
	MSE	-18.0 (35.4)	-157.5 (39.0)	-142.8 (57.2)
GLG	ME	0.047 (1.6)	5.0 (1.6)	1.2 (1.7)
	MSE	-76.2 (32.2)	-126.7 (26.4)	-130.6 (35.2)
Kritieke stijghoogte	ME	0.38 (1.4)	0.43 (0.84)	-1.1 (1.2)
	MSE	-6.9 (30.9)	27.1 (43.5)	10.9 (20.5)
Lutumgehalte	ME	3.2 (0.63)	1.6 (0.47)	0.50 (0.46)
	MSE	18.8 (7.0)	5.3 (2.6)	-0.14 (3.2)
Org. stofgehalte	ME	0.6 (0.17)	0.58 (0.13)	0.68 (0.10)
	MSE	-0.29 (0.21)	-0.33 (0.17)	-0.51 (0.18)
Vochthoudend verm.	ME	-1.4 (0.92)	0.10 (0.73)	1.9 (0.76)
	MSE	-43.9 (23.2)	-58.0 (23.1)	-52.4 (22.2)
Aftrekpunten	ME	-0.28 (0.55)	0.01 (0.42)	-0.33 (0.42)
	MSE	-9.3 (4.9)	-6.9 (3.6)	-7.6 (3.4)

Tabel 8 Geschat verschil in zuiverheid van bodem-Gt-kaart gemaakt met AHN (B15, B13, B11) en zonder AHN (A11) van Appingedam-Delfzijl. Tussen haakjes: geschatte standaardfout. Vet: significant afwijkend van 0 bij onbetrouwbaarheidsdrempel van 10%; Vet en cursief: idem bij onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%.

Bodemkenmerk	Bodem-Gt-kaart		
	B15	B13	B11
Bodemeenheid	-7.8 (5.7)	2.1 (5.2)	0.50 (6.2)
Kalkverloop	2.1 (1.6)	2.1 (1.6)	2.1 (1.6)
GHG-klasse	6.7 (7.7)	18.3 (8.9)	19.5 (8.6)
GLG-klasse	2.8 (1.9)	2.8 (1.9)	2.8 (1.9)
Gt	6.7 (7.7)	18.3 (8.9)	19.5 (8.7)
Bodemeenheid + Gt	3.5 (6.2)	7.9 (6.4)	10.0 (7.4)
Ontwateringstoestand	8.9 (7.9)	20.5 (8.9)	23.0 (8.4)
Stevigheid bovengrond	-16.9 (10.0)	-10.3 (10.1)	-0.9 (10.5)
Vochtleverend vermogen	6.7 (4.6)	8.8 (8.9)	9.4 (5.2)
Verkruijmelbaarheid	-13.7 (7.5)	-12.1 (7.4)	-8.4 (7.9)
Slempgevoeligheid	11.2 (6.0)	10.2 (6.0)	8.3 (6.3)

Tabel 9 Geschat gemiddelde van perceelsgemiddelde fout in aantal aftrekpunten (*mme*) en variantie van deze perceelsgemiddelde fout (*vme*) voor Appingedam-Delfzijl voor twee strata (grasland, bouwland). Voor *vme* is een conservatieve schatting weergegeven (*vme1*), en een optimistische schatting (*vme2*). Tussen haakjes: geschatte standaardfout.

Type fout	Stratum	Bodem-Gt-kaart			
		A11	B15	B13	B11
<i>mme</i>	grasland	2.0 (0.93)	2.3 (0.59)	2.1 (0.46)	1.7 (0.42)
	bouwland	0.57 (0.21)	0.53 (0.30)	0.71 (0.28)	0.51 (0.33)
<i>vme1</i>	grasland	14	1.9	4.4	4.7
	bouwland	1.2	2.4	2.3	2.2
<i>vme2</i>	grasland	12.4	1.06	3.52	3.46
	bouwland	0.76	2.00	1.96	1.83

3.2 Losser

De resultaten voor Losser staan in de tabellen 10-14. Voor de bodemkenmerken GHG, GLG, lutumgehalte, leemgehalte, organischestofgehalte, en vochthoudend vermogen zijn de *mse*'s verkregen met de kaarten D11, D13 en D15 significant kleiner dan die met kaart C21 (tabel 12). Met andere woorden, voor deze bodemkenmerken leveren alle kaarten gemaakt met AHN betere voorspellingen op punten op (uitgedrukt in *MSE*) dan de kaart gemaakt zonder AHN, zelfs wanneer de boringsdichtheid wordt gereduceerd tot 1 beschreven boring per 5 ha. Voor de bodemkenmerken kritieke stijghoogte en aantal aftrekpunten levert kaart D15 wel significant slechtere 'puntvoorspellingen' op; voor de kritieke stijghoogte is dit zelfs al het geval bij een boringsdichtheid van 1 per 3 ha.

De zuiverheid van alle drie kaarten gemaakt met AHN is significant groter dan die van de kaart gemaakt zonder AHN ten aanzien van bodemklasse (indeling A), GHG-klasse, Gt, bodem+Gt, en bodemvruchtbaarheid (tabel 13). Merk op dat in tegenstelling tot Appingedam-Delfzijl de zuiverheid van de kaarten gemaakt met AHN niet alleen groter is voor bodemkenmerken gerelateerd aan het grondwaterstandsverloop maar ook voor de bodemklasse.

Het gemiddelde van de perceelsgemiddelde fout in het aantal aftrekpunten is voor de kaarten D11, D13 en D15 iets groter dan voor kaart C21 (tabel 14). Daarentegen is de ruimtelijke variantie van de perceelsgemiddelde fout in het aantal aftrekpunten voor de kaarten gemaakt met AHN iets kleiner dan voor kaart C21, behalve voor kaart D15.

Tabel 10 Geschatte gemiddelde fout (me), variantie van fout (ve), en gemiddelde gekwadrateerde fout (mse) van waarde van bodemkenmerken op punten geschat met de vier bodem-Gt-kaarten van Losser. Tussen haakjes: geschatte standaardfout. mz: geschat gebiedsgemiddelde van bodemkenmerk.

Bodemkenmerk	mz	Type fout	Bodem-Gt-kaart			
			C21	D15	D13	D11
GHG	53	me	-9.9 (2.0)	-9.5 (2.2)	-10.3 (2.0)	-10.3 (2.3)
		ve	566	402	383	403
		mse	661 (136)	486 (82)	486 (84)	505 (100)
GLG	156	me	2.8 (4.0)	-1.7 (2.8)	-2.7 (3.3)	-3.1 (3.4)
		ve	989	517	579	560
		mse	981 (214)	511 (100)	576 (111)	557 (86)
Ef. bewort. diepte	28	me	1.7 (0.66)	-0.43 (0.43)	0.17 (0.54)	0.63 (0.58)
		ve	29	21	24	25
		mse	31 (6.1)	21 (7.5)	24 (7.7)	26 (7.9)
Kritieke stijgh.	76	me	5.1 (2.1)	20.2 (4.1)	2.5 (3.1)	7.3 (2.6)
		ve	282	520	469	303
		mse	303 (66)	910 (206)	465 (94)	350 (70)
Lutumgehalte	5.2	me	-0.4 (1.0)	-1.3 (0.72)	-2.2 (0.47)	-1.4 (0.70)
		ve	29	20	13	19
		mse	28 (5.2)	22 (4.5)	18 (4.4)	20 (4.1)
Leemgehalte	15	me	5.8 (0.59)	2.1 (0.80)	1.6 (1.0)	1.1 (1.0)
		ve	40	43	51	49
		mse	73 (9.8)	47 (9.2)	52 (8.8)	50 (8.4)
Org. stofgehalte	2.6	me	1.7 (0.13)	1.4 (0.15)	1.3 (0.12)	1.2 (0.13)
		ve	1.0	1.0	0.95	0.82
		mse	3.8 (0.46)	3.0 (0.51)	2.6 (0.39)	2.2 (0.47)
Vochthoud. verm.	52	me	8.5 (1.2)	3.3 (0.87)	4.6 (0.97)	5.4 (1.2)
		ve	135	92.2	100	117
		mse	207 (33)	103 (25)	121 (30)	145 (31)
Dikte bovengrond	27	me	3.5 (0.63)	1.1 (0.57)	1.9 (0.48)	2.7 (0.79)
		ve	54	66	63	65
		mse	66 (27)	67 (32)	67 (31)	72 (26)
Aftrekpunten	11	me	0.63 (0.59)	1.3 (0.63)	1.0 (0.54)	0.99 (0.55)
		ve	13	13	12	12
		mse	13 (2.4)	15 (3.1)	12 (2.9)	13 (3.0)

Tabel 12 Geschat verschil in ME en MSE van bodem-Gt-kaart gemaakt met AHN (D15, D13, D11) en zonder AHN (C21) van Losser. Tussen haakjes: geschatte standaardfout. Vet: significant afwijkend van 0 bij onbetrouwbaarheidsgrenspijl van 10%; Vet en cursief: idem bij onbetrouwbaarheidsgrenspijl van 5%.

Bodemkenmerk	Type fout	Bodem-Gt-kaart		
		D15	D13	D11
GHG	ME	0.48 (1.5)	-0.38 (1.7)	-0.41 (1.6)
	MSE	-174.8 (89.2)	-175.1 (89.3)	-155.3 (80.7)
GLG	ME	-4.5 (3.2)	-5.5 (3.4)	-5.9 (4.2)
	MSE	-469.7 (142.2)	-405.5 (148.0)	-423.3 (176.2)
Ef. bewort. diepte	ME	-2.1 (0.65)	-1.5 (0.65)	-1.1 (0.80)
	MSE	-10.5 (5.3)	-7.1 (5.1)	-5.5 (5.2)
Kritieke stijgh.	ME	15.1 (5.0)	-2.6 (2.4)	2.2 (1.7)
	MSE	607.4 (214.8)	162.3 (61.8)	46.8 (47.8)
Lutumgehalte	ME	-0.87 (0.55)	-1.7 (0.72)	-0.95 (0.43)
	MSE	-6.7 (2.6)	-10.1 (3.9)	-7.5 (3.8)
Leemgehalte	ME	-3.7 (0.66)	-4.3 (0.81)	-4.7 (0.69)
	MSE	-26.2 (9.8)	-21.1 (10.5)	-23.7 (9.8)
Org. stofgehalte	ME	-0.28 (0.16)	-0.37 (0.15)	-0.51 (0.15)
	MSE	-0.9 (0.5)	-1.2 (0.44)	-1.65 (0.56)
Vochthoudend verm.	ME	-5.2 (1.2)	-3.9 (1.3)	-3.1 (1.7)
	MSE	-104.2 (24.8)	-86.1 (28.3)	-61.3 (33.7)
Dikte bovengrond	ME	-2.5 (0.68)	-1.6 (0.57)	-0.79 (1.1)
	MSE	0.7 (26.2)	0.60 (27.2)	5.7 (25.1)
Aftrekpunten	ME	0.69 (0.22)	0.40 (0.32)	0.36 (0.24)
	MSE	2.0 (1.2)	-0.36 (1.41)	0.31 (1.6)

Tabel 11 Geschatte zuiverheid (in %) van vier bodem-Gt-kaarten van Losser voor 11 bodemkenmerken. Tussen haakjes: geschatte standaardfout

Bodemkenmerk/ beoordelingsfactor	Bodem-Gt-kaart			
	C21	D15	D13	D11
Bodemeenheid A	9.7 (3.8)	17 (5.4)	18 (5.4)	19 (4.8)
Bodemeenheid B	62 (6.1)	62 (6.3)	62 (6.3)	68 (5.1)
GHG-klasse	30 (5.6)	40 (6.6)	41 (6.0)	39 (5.1)
GLG-klasse	70 (8.0)	79 (5.8)	66 (7.3)	70 (6.0)
Gt	20 (4.9)	33 (5.8)	30 (5.9)	32 (5.3)
Bodemeenheid A + Gt	0.04 (0.37)	5.9 (2.8)	6.2 (2.8)	4.6 (2.2)
Ontwateringstoestand	32 (5.8)	41 (6.9)	41 (6.3)	39 (5.7)
Stevigheid bovengrond	32 (9.2)	41 (8.6)	40 (8.4)	32 (7.6)
Vochtleverend vermogen	49 (8.2)	53 (8.3)	46 (8.3)	54 (8.0)
Bodemvruchtbaarheid	8.8 (3.5)	16 (4.6)	15 (4.0)	14 (4.1)

Tabel 13 Geschat verschil in zuiverheid (in %) van bodem-Gt-kaart gemaakt met AHN (D15, D13, D11) en zonder AHN (C21) van Losser. Tussen haakjes: geschatte standaardfout. Vet: significant afwijkend van 0 bij onbetrouwbaarheidsdrempel van 10%; Vet en cursief: idem bij onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%.

Bodemkenmerk/ beoordelingsfactor	Bodem-Gt-kaart		
	D15	D13	D11
Bodemeenheid A	7.6 (4.0)	8.0 (3.9)	8.9 (4.1)
Bodemeenheid B	0.4 (3.9)	0.4 (3.9)	6.7 (3.3)
GHG-klasse	9.8 (5.0)	11.0 (6.6)	9.3 (5.3)
GLG-klasse	9.5 (5.6)	-3.7 (6.6)	0.5 (9.0)
Gt	12.9 (5.4)	10.0 (5.0)	11.3 (5.1)
Bodemeenheid A + Gt	5.5 (2.9)	5.8 (2.8)	4.2 (2.2)
Ontwateringstoestand	8.8 (5.0)	8.8 (6.3)	7.1 (5.1)
Stevigheid bovengrond	9.2 (6.8)	7.4 (4.8)	0.1 (4.7)
Vochtleverend vermogen	3.5 (5.3)	3.3 (5.6)	5.0 (3.4)
Bodemvruchtbaarheid	7.5 (3.6)	5.9 (2.5)	5.4 (3.4)

Tabel 14 Geschat gemiddelde van perceelsgemiddelde fout in aantal aftrekpunten (mme) en variantie van deze perceelsgemiddelde fout (vme) voor Losser. Voor vme is een conservatieve schatting weergegeven (vme1), en een optimistische schatting (vme2). Tussen haakjes: geschatte standaardfout.

Type fout	Bodemkaart			
	C21	D15	D13	D11
mme	1.7 (1.3)	2.6 (1.5)	2.3 (1.4)	2.4 (1.4)
vme1	7.2	8.5	6.7	7.0
vme2	5.5	6.7	4.9	4.8

4 Discussie

Tot nu toe zijn de beschreven boringen buiten beschouwing gelaten. Er is alleen gekeken naar de kwaliteit van de bodemkaart en de bijbehorende representatieve profielen van de kaarteenheden. Een hogere boringsdichtheid levert echter niet alleen een meer gedetailleerde kaart op, maar ook een groter bestand met beschreven boringen. In de hierboven beschreven methode voor het schatten van de waarde van bodemkenmerken op punten en het gemiddelde van percelen is geen direct gebruik gemaakt van deze beschreven boringen, hoogstens indirect bij de beschrijving van de representatieve profielen behorend bij de kaarteenheden. De waarde van een bodemkenmerk of beoordelingsfactor op een punt wordt geschat met de waarde van dit bodemkenmerk of deze beoordelingsfactor in het representatieve profiel van de kaarteenheden waartoe het punt behoort. Een alternatief is deze waarde te schatten met het gemiddelde van dit kenmerk op de punten met een beschreven boring (voor kwantitatieve kenmerken), of, in geval van kwalitatieve kenmerken zoals de beoordelingsfactoren, met de meest voorkomende klasse op deze punten.

De kwaliteit van de vier bodemkaarten en de bijbehorende sets met beschreven boringen is met elkaar vergeleken voor het aantal aftrekpunten. Voor Appingedam-Delfzijl geldt dat, wanneer het aantal aftrekpunten op een punt wordt geschat met het gemiddelde aantal aftrekpunten van alle beschreven boringen in de kaarteenheden waartoe het punt behoort, de kwaliteit van alle drie bodem-Gt-kaarten gemaakt met AHN groter is dan die van de kaart gemaakt zonder AHN (tabel 15). Voor kaart B13 is het verschil in *MSE* klein, en niet significant (tabel 17). Voor Losser zijn de verschillen in kwaliteit uitgedrukt in *ME* en *MSE* voor alle drie kaarten erg klein en niet significant (tabellen 16 en 17).

Tabel 15 Geschatte gemiddelde fout (me), variantie van fout (ve), gemiddelde gekwadrateerde fout (mse), gemiddelde van perceelsgemiddelde fout (mme), en variantie van deze perceelsgemiddelde fout (vme) van aantal aftrekpunten, voor Appingedam-Delfzijl. Het aantal aftrekpunten op een punt is geschat met het gemiddelde aantal aftrekpunten van alle beschreven boringen binnen de kaarteenheden waartoe dit punt behoort. Tussen haakjes: geschatte standaardfout.

Type fout	Stratum	Bodem-Gt-kaart			
		A11	B15	B13	B11
<i>me</i>	grasland + bouwland	2.1 (0.51)	1.4 (0.41)	1.9 (0.56)	1.6 (0.48)
<i>ve</i>	grasland + bouwland	11	7.4	11	9.1
<i>mse</i>	grasland + bouwland	15 (4.1)	9.1 (2.1)	14 (4.3)	11 (3.4)
<i>mme</i>	grasland	2.1 (0.73)	1.7 (0.39)	2.1 (0.58)	1.7 (0.42)
	bouwland	0.66 (0.16)	0.14 (0.37)	0.29 (0.30)	0.27 (0.30)
<i>vme1</i>	grasland	8.7	3.5	9.4	6.7
	bouwland	1.5	1.8	1.4	1.3
<i>vme2</i>	grasland	7.7	2.9	8.7	5.8
	bouwland	1.0	1.4	1.1	1.0

Tabel 16 Geschatte gemiddelde fout (*me*), variantie van fout (*ve*), gemiddelde gekwadrateerde fout (*mse*), gemiddelde van percelsgemiddelde fout (*mme*), en variantie van deze percelsgemiddelde fout (*vme*) van aantal aftrekpunten voor Losser. Het aantal aftrekpunten op een punt is geschat met het gemiddelde aantal aftrekpunten van alle beschreven boringen binnen de kaarteenheden waartoe dit punt behoort. Tussen haakjes: geschatte standaardfout.

Type fout	Bodem-Gt-kaart			
	A11	B15	B13	B11
<i>me</i>	0.74 (0.53)	-0.24 (0.38)	0.52 (0.48)	0.74 (0.50)
<i>ve</i>	11	10	11	12
<i>mse</i>	11 (2.2)	9.9 (2.0)	11 (2.2)	12 (2.8)
<i>mme</i>	1.9 (1.2)	0.51 (0.80)	1.6 (1.1)	2.0 (1.3)
<i>vme1</i>	6.2	3.1	5.1	6.0
<i>vme2</i>	4.2	0.78	2.8	3.3

Tabel 17 Geschat verschil in *ME* en *MSE* van aantal aftrekpunten. Het aantal aftrekpunten op een punt is geschat met het gemiddelde aantal aftrekpunten van alle beschreven boringen van de kaarteenheden waartoe het punt behoort. De *ME* (*MSE*) van een bodemkaart gemaakt met AHN is verminderd met de *ME* (*MSE*) van de bodemkaart gemaakt zonder AHN. Tussen haakjes: geschatte standaardfout. *Vet*: significant afwijkend van 0 bij onbetrouwbaarheidsdrempel van 10%; *Vet* en cursief: idem bij onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%.

Gebied	Type fout	Bodem-Gt-kaart		
		B15, D15	B13, D13	B11, D11
Appingedam-Delfzijl	<i>ME</i>	-0.73 (0.26)	-0.20 (0.18)	-0.52 (0.19)
	<i>MSE</i>	-6.2 (2.3)	-1.1 (1.0)	-3.9 (1.2)
Losser	<i>ME</i>	-0.98 (0.28)	-0.22 (0.32)	0.0023 (0.22)
	<i>MSE</i>	-1.4 (1.2)	-0.06 (0.80)	1.0 (1.3)

5 Conclusies

De efficiëntie van gedetailleerde bodemopnames lijkt te kunnen worden verhoogd wanneer tijdens de opname in het veld gebruik gemaakt wordt van het Actuele Hoogtebestand Nederland. Het aantal beschreven boringen kon in beide gebieden ongestraft worden gereduceerd naar 1 per 3 ha. Hierdoor kon het aantal veldwerkdagen gereduceerd worden naar ongeveer de helft van het aantal nodig voor een opname zonder AHN en 1 tot 2 beschreven boringen per ha. De winst lijkt met name tot uitdrukking te komen bij bodemkenmerken die gerelateerd zijn aan het grondwaterstandsverloop, maar in Losser leidt gebruik van AHN ook tot een betekenisvolle en significant hogere zuiverheid ten aanzien van de bodemeenheden (kaarteenheden excl. Gt). Gelet op de kwaliteit van de voorspellingen van het gemiddeld aantal aftrekpunten van percelen kan voor Appingedam-Delfzijl het aantal beschreven boringen gereduceerd worden naar 1 per 5 ha, en 1 per 3 ha voor Losser.

Literatuur

Boogaard, H.J. en E. Kiestra, 1999. *Waarderen van gronden met BODEGA*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 678.

Boogaard, H.J. en A.J. Otjens, 2000. *Gebruikershandleiding BODEGA 2.1/1.0*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 008.

Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. *Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Richtlijnen en voorschriften. Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technisch Document 19D.

Cochran, W.G., 1977. *Sampling techniques*. Wiley, New York.

Finke, P.A., D.J. Brus, T. Hoogland, J. Oude Voshaar, F. de Vries en D. Walvoort, 1999. *Actuele grondwaterinformatie schaal 1 : 10 000 in de Waterschappen Wold en Wieden en Meppelerdiep. Gebruik van digitale maaiveldhoogten bij de kartering van GHG, GVG en GLG*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 633.

Kiestra, E., 2001. *Bodemkundig-hydrologisch onderzoek voor de waardebeoordeling van de gronden in het ruilverkavelingsgebied Appingedam-Delfzijl*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Alterra-Rapport 252.

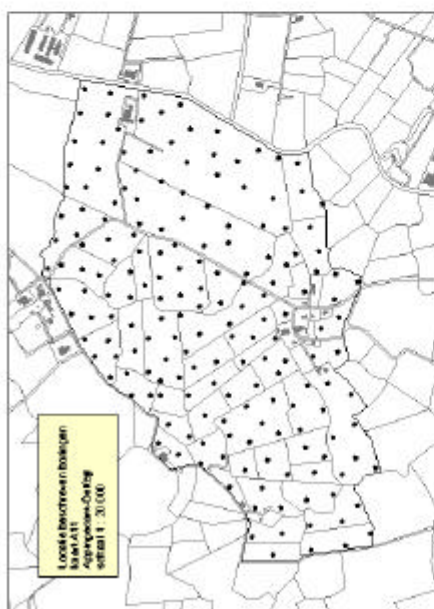
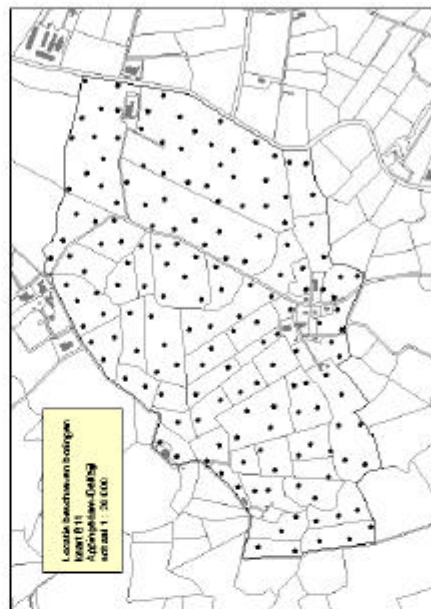
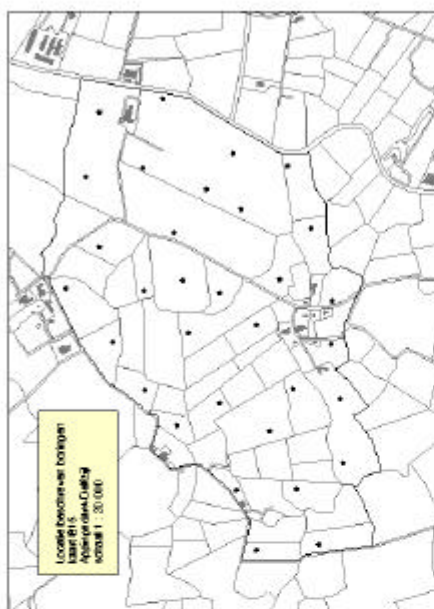
Marsman, B.A. en J.J. de Gruijter, 1986. *Quality of soil maps. A comparison of soil survey methods in a sandy area*. Soil Survey Institute. Wageningen, the Netherlands. Soil Survey Papers, 15.

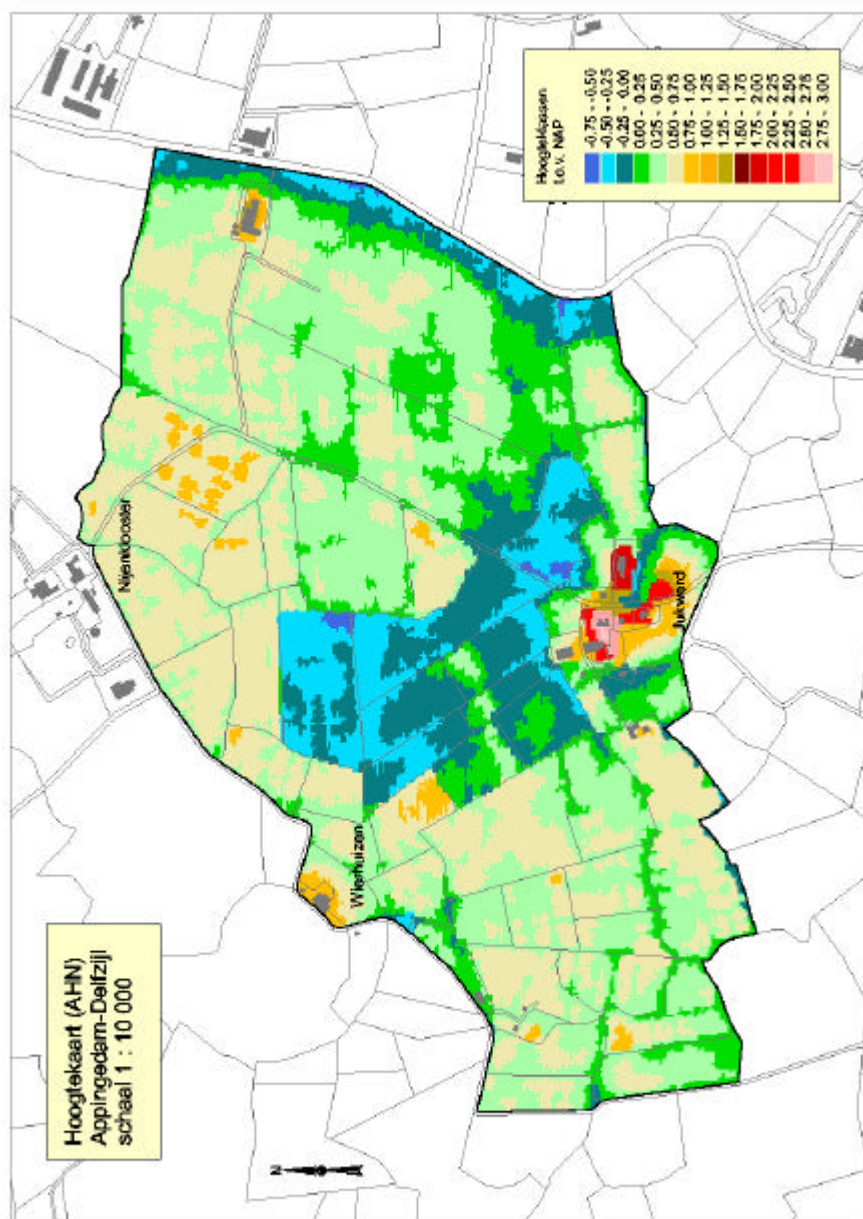
Särndal, C.E., B. Swensson en J. Wretman, 1992. *Model Assisted Survey Sampling*. Springer-Verlag, New York.

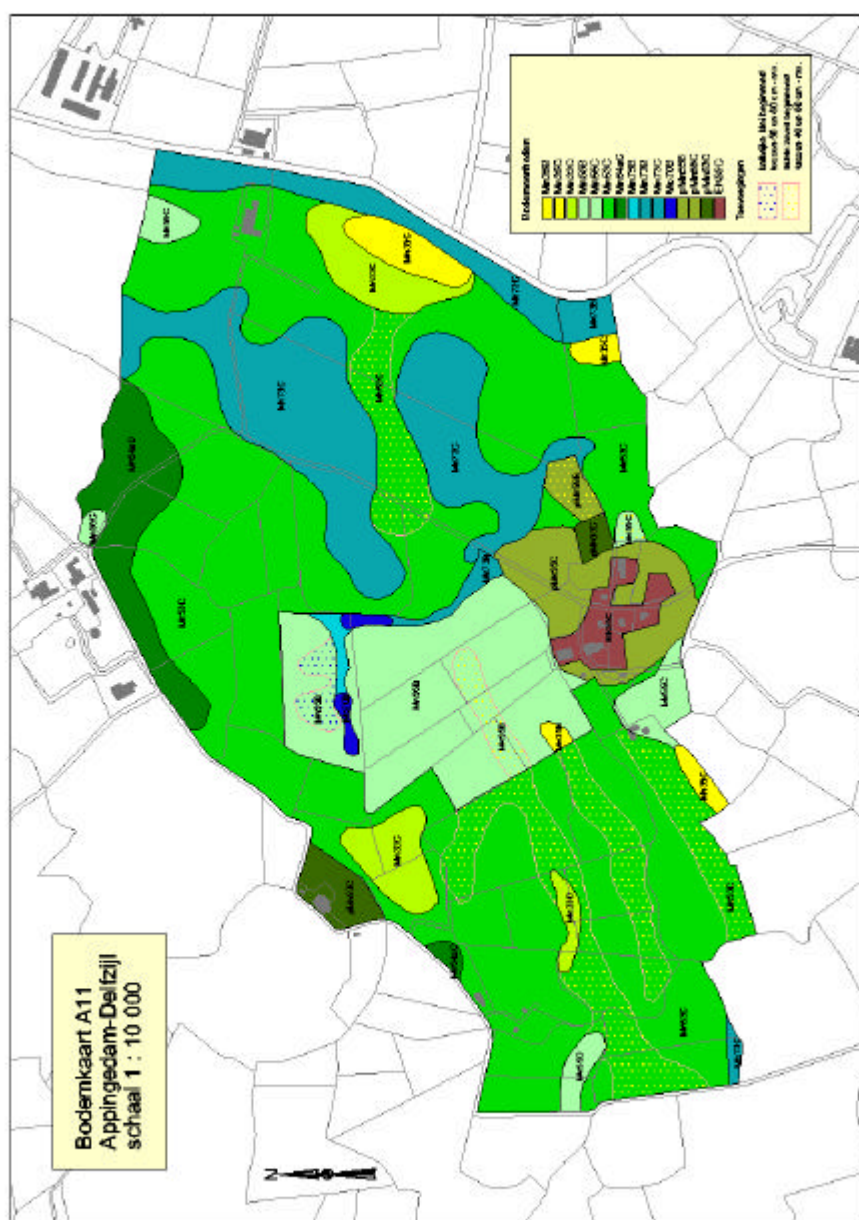
Stoffelsen, G.H. en H.J.R. Vroon, 1998. *De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Losser-Zuid. Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 55.

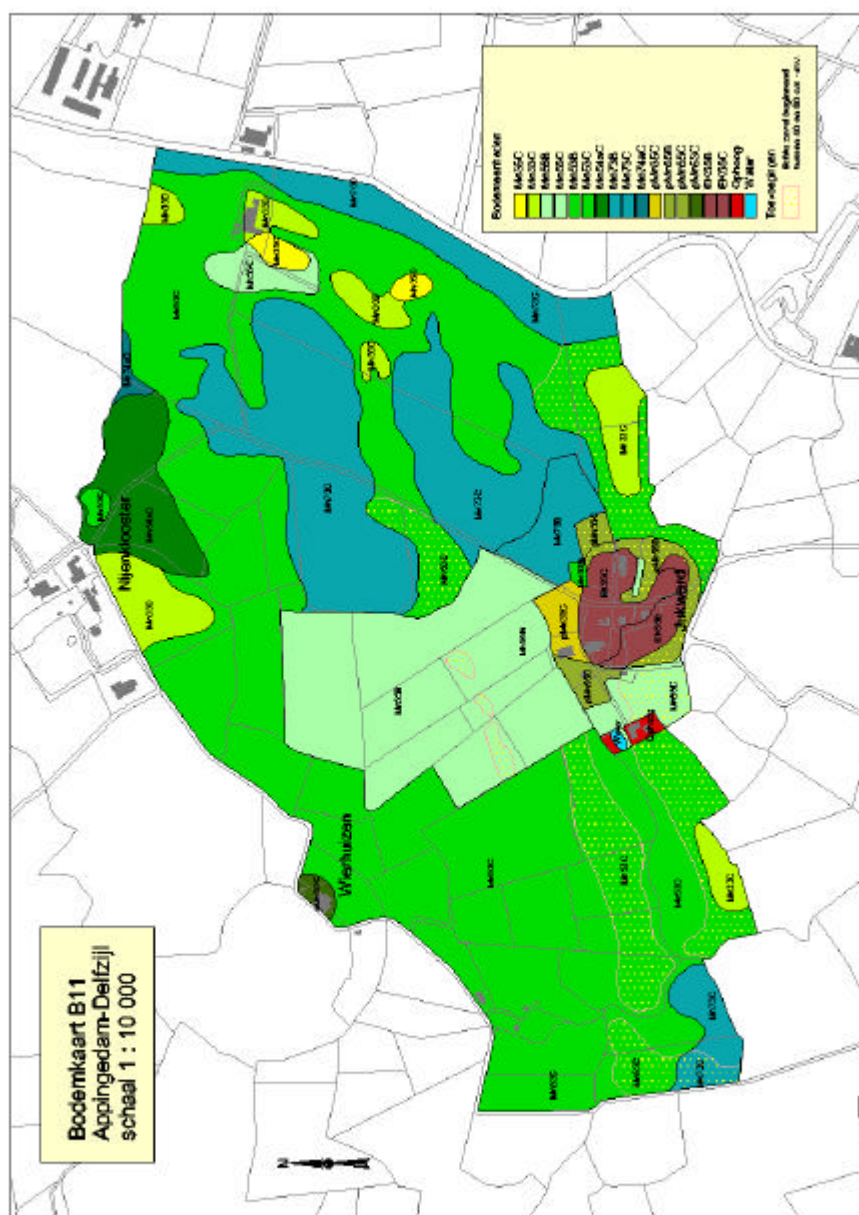
Vries, F. de, 1999. *Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 654.

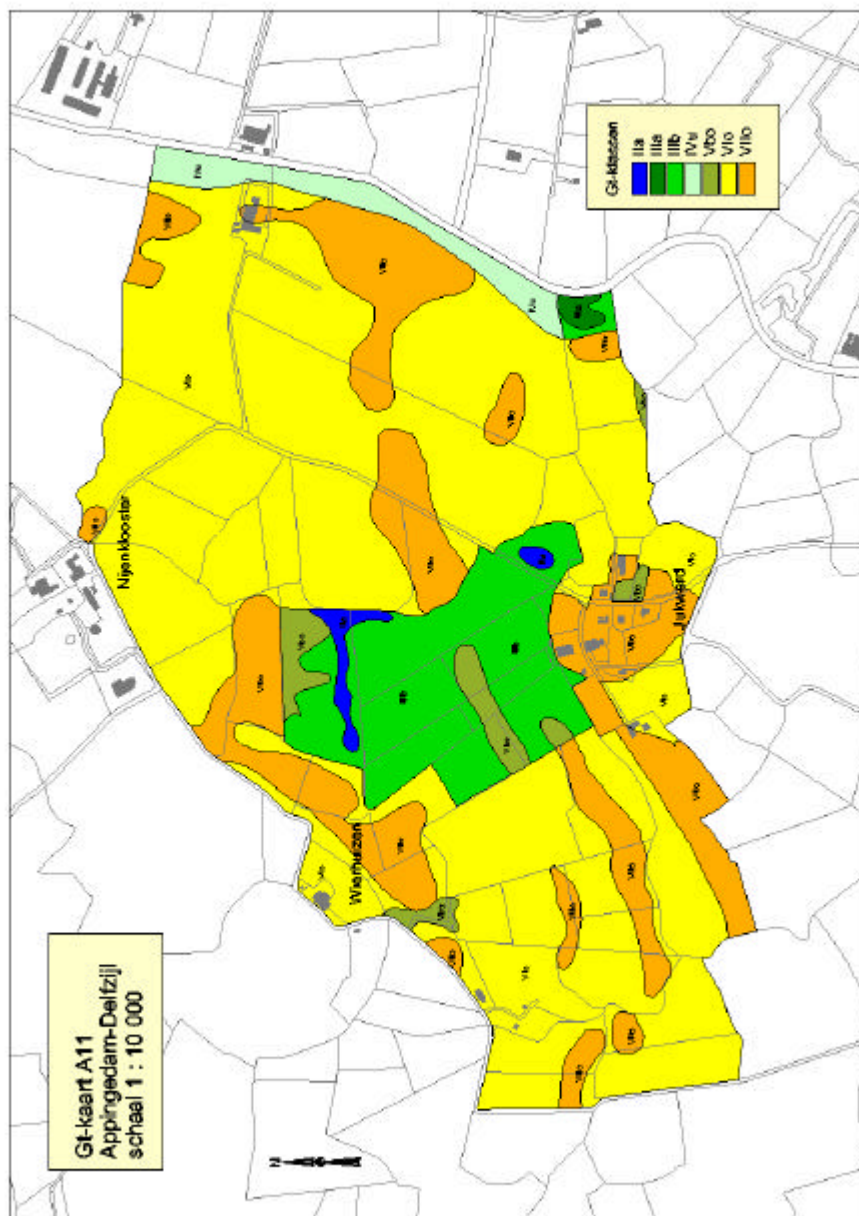
Bijlage 1 Hoogtekaarten, bodemkaarten en Gt-kaarten Appingedam-Delfzijl

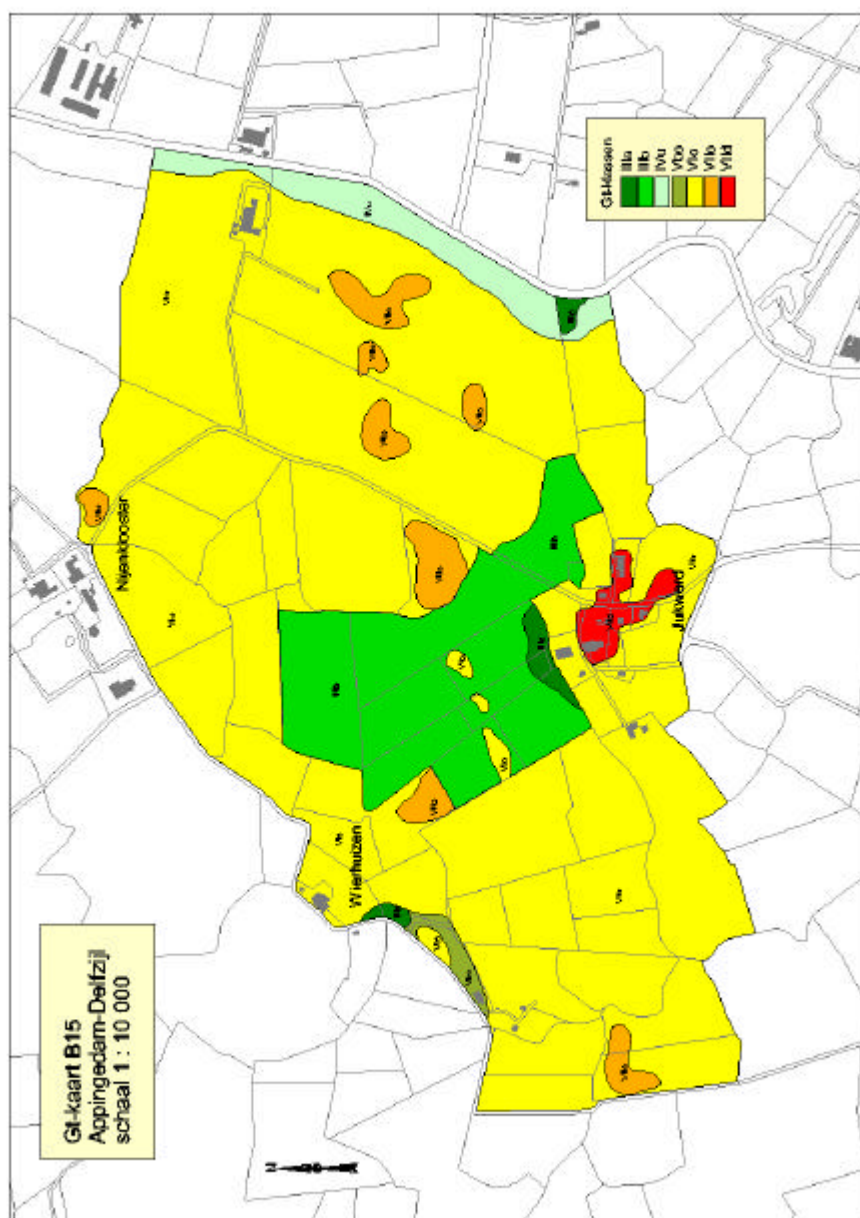


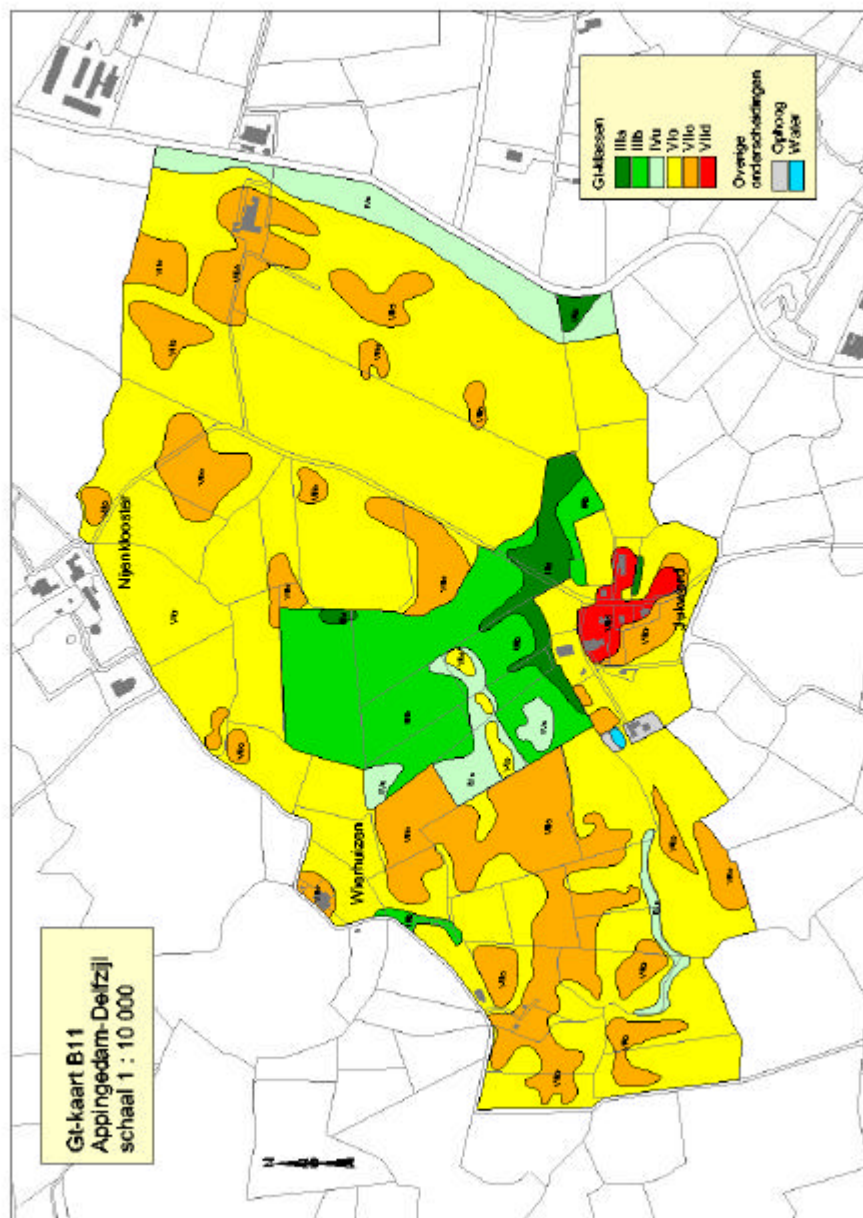












Bijlage 2 Hoogtekaarten, bodemkaarten en Gt-kaarten Losser

