
De waarde van een gedetailleerde bodemkaart van een waterwingebied

Martin Knotters¹, Henk Vroon²

Boeren in waterwingebieden hebben recht op vergoeding van de schade aan gewassen die ontstaat door daling van de grondwaterstand als gevolg van de winning. Bij de berekening van deze schades wordt onder meer gebruik gemaakt van bodemkaarten. Meestal worden voor dit doel gedetailleerde bodemkarteringen uitgevoerd, op schaal 1 : 25.000 of 1 : 10.000. De vraag die in dit artikel centraal staat is of de investering in dergelijke gedetailleerde bodemkarteringen opweegt tegen de baten, of dat met toepassing van de landelijke bodemkaart, schaal 1 : 50.000, kan worden volstaan. Met een validatiestudie in het waterwingebied Vierlingsbeek onderzoeken we of de investering in een bodemkartering, schaal 1 : 25.000, opweegt tegen de baten in termen van toegenomen nauwkeurigheid van schadevergoedingen die voor individuele agrarische bedrijven worden berekend. Dit artikel is een vertaalde, ingekorte versie van een artikel dat wij onlangs publiceerden in het tijdschrift Geoderma Regional (Knotters en Vroon, 2015).

Inleiding

Voor hydrologen, en zeker voor agro- en ecohydrologen, vormen bodemkaarten een belangrijke bron van informatie over bodemgesteldheid en grondwaterstandsfluctuatie. De bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, gebruiken zij meestal in landelijke en regionale studies. Voor het ondersteunen van beslissingen op het niveau van agrarische bedrijven en percelen worden gedetailleerde bodemkaarten gebruikt, meestal op schaal 1 : 25.000 of schaal 1 : 10.000. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van bodemkaarten bij de berekening van vergoedingen aan boeren in waterwingebieden waar gewasschade optreedt door verlaging van de grondwaterstand.

Schadevergoedingen worden geschat op basis van tabellen die percentages reductie in gewasopbrengst geven voor verschillende combinaties van bodemtypen en grondwaterstanden. De grondwaterstanden zijn dan samengevat in gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand (GHG en GLG). Dit zijn de zogeheten HELP-tabellen (Werkgroep HELP, 1987) die zijn ontwikkeld voor landevaluatie, of de meer gedetailleerde TCGB-tabellen (Bouwmans, 1990) voor toepassing in waterwingebieden. De informatie op bodemkaarten over bodemtype en grondwaterstand wordt met deze tabellen vertaald in opbrengstdepressies.

¹ Alterra, Wageningen UR, Expertisecentrum Kwaliteit van Ruimtelijke Data (martin.knotters@wur.nl)

² Alterra, Wageningen UR (henk.vroon@wur.nl)

Tot nu toe werd verondersteld dat de kosten van een gedetailleerde bodemkartering zich verhielden tot de opbrengsten in termen van foutenreductie bij het schatten van schadevergoedingen aan boeren in waterwingebieden. Deze veronderstelling is tot nu toe echter niet geverifieerd met een kwantitatieve analyse. Als de kosten van een gedetailleerde bodemkartering veel groter zijn dan de toename in nauwkeurigheid die ermee kan worden bereikt, dan kan het bijvoorbeeld economisch aantrekkelijk zijn om een dure bodemkartering achterwege te laten en in plaats daarvan bijvoorbeeld alle boeren in een waterwingebied met recht op schadevergoeding een beetje extra compensatie voor mogelijke onderschattingen te geven.

De analyse van de economische waarde van bodemkaarten kent een lange geschiedenis. Bie en Ulph (1972) bijvoorbeeld ontwikkelden een methode om de economische waarde van een voorgenomen bodemkartering op voorhand te bepalen op basis van veronderstellingen over kaartzuiverheid (percentage correct geclassificeerd). Zij raadden aan om de bereikte kaartzuiverheid achteraf te bepalen met een steekproef. Wij gaan een stapje verder, door niet de kaartzuiverheid te valideren maar de nauwkeurigheid van berekende schades op bedrijfsniveau, in euro's per hectare. Waar andere validatiestudies de nauwkeurigheid van kaarten kwantificeren in termen van bijvoorbeeld kaartzuiverheid, kijken wij naar de consequenties van verschillende nauwkeurigheden bij de toepassing van kaarten.

Uit eerdere analyses bleek dat het gebruik van bodemkaarten van verschillende schaal tot grote verschillen in geschatte schade op bedrijfsniveau kan leiden (Knotters e.a., 2002, 2010). Onafhankelijke waarnemingen om geschatte schadevergoedingen op basis van bodemkaarten van verschillende schaal te valideren ontbraken echter tot nu toe.

Het doel van dit onderzoek is om te bepalen hoeveel nauwkeuriger schadeberekeningen worden als een gedetailleerde bodemkaart, schaal 1 : 25.000, wordt gebruikt in plaats van de landelijke bodemkaart, schaal 1 : 50.000. Deze winst in nauwkeurigheid vergelijken we vervolgens met de kosten van het vervaardigen van de gedetailleerde bodemkaart.

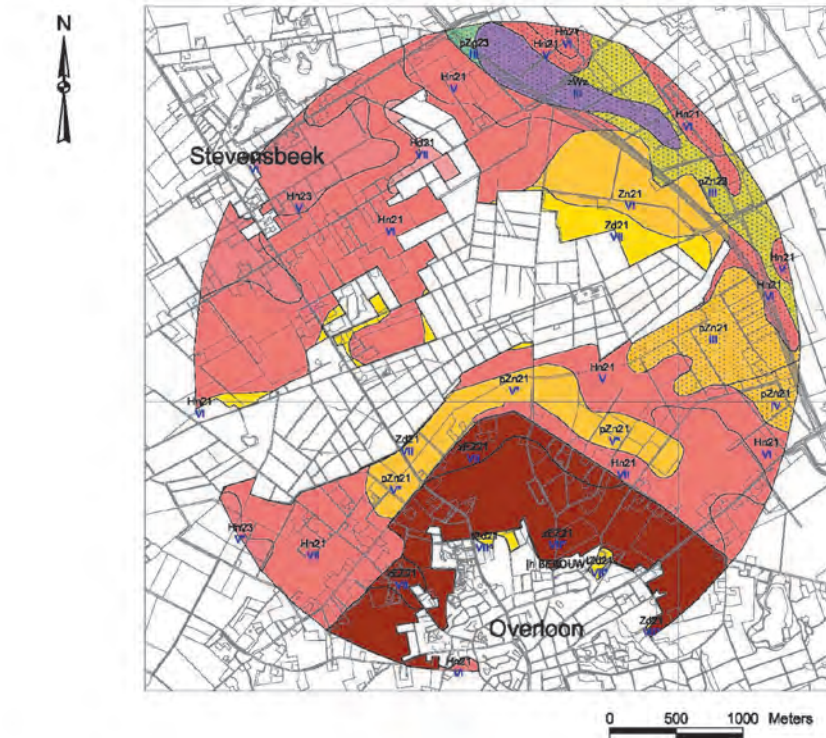
We onderzochten dit in een validatiestudie, waarbij we veertig bedrijven lootten in het waterwingebied Vierlingsbeek. Op deze bedrijven maakten we bodemkundige profielbeschrijvingen op in totaal 137 gelote locaties. Voor deze locaties konden we de 'echte' schade berekenen en deze vergelijken met de schades die werden geschat op basis van de bodemkaarten. Vervolgens vergeleken we de kosten van de gedetailleerde bodemkartering met de baten in termen van toegenomen nauwkeurigheid van berekende schades.

In dit artikel gebruiken wij het woord 'fout'. Hierbij moet worden bedacht dat wij het hebben over fouten die niet te vermijden zijn, maar wel tot op zekere hoogte te reduceren. Een bodemkaart kan alleen foutloos zijn als alle bodem foutloos is geanalyseerd. Afgezien van praktische en financiële bezwaren is een foutloze kartering niet wenselijk, omdat er daarna geen bodem meer is.

Materialen en methode

Studiegebied

Het studiegebied van 1.042 ha landbouwgebied ligt rond het grondwateronttrekkingsstation 'Vierlingsbeek'. Het gebied ligt op terrassen die door de Rijn en de Maas zijn gevormd in het vroeg- en midden-Pleistoceen. Over deze grofzandige en lemige rivierafzettingen is tijdens het laat-Pleistoceen een laag dekzand afgezet. Afbeelding 1 toont het fragment van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, voor het studiegebied, en afbeelding 2 de gedetailleerde bodemkaart, schaal 1 : 25.000, die gemaakt is om voor dit gebied schades te kunnen berekenen (Vroon en Brouwer, 2008). Beide kaarten bevatten informatie over de grondwaterstand in de vorm van grondwatertrap-



Legenda

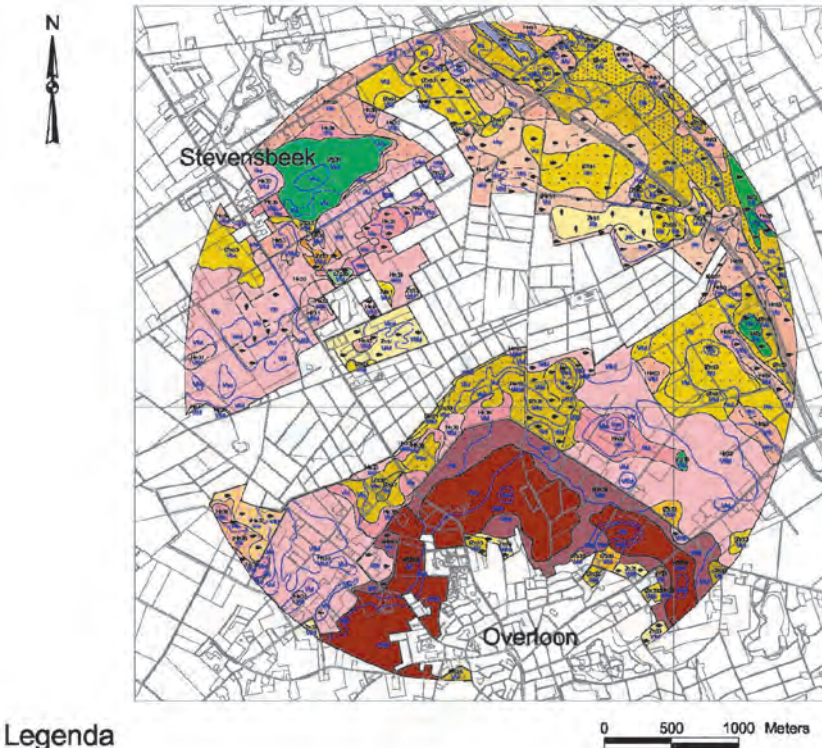
- Hn21 Veldpodzolgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand
- pZn21 Kanteerdgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand
- Zn21 Duinvaaggronden; leemarm en zwak lemig fijn zand
- z2n1 Vlakvaaggronden; leemarm en zwak lemig fijn zand
- Hn23 Veldpodzolgronden; lemig fijn zand
- Hn21 Haarpodzolgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand
- pZn21 Gooreerdgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand
- pZn23 Beekerdgronden; lemig fijn zand
- pZn23 Gooreerdgronden; lemig fijn zand
- Zn21 Hoge zwarte erkeerdgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand
- zWz21 Moerige eerdgronden met een zanddek en een moerige tussenlaag op zand
- Beboewing

Toevoegingen

- .../g; grind en/of grof zand beginnend tussen 0,40 en 1,20 cm - mv.

Afbeelding 1: Fragment van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, voor het studiegebied 'Vierlingsbeek'

pen: klassen voor de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand (GHG en GLG). Het pompstation ligt in een bos in het midden van het gebied. De omtrek van het gebied is geschat met een geohydrologisch model voor grondwaterstroming. Het land is in gebruik bij 171 agrarische bedrijven die geheel of gedeeltelijk in het



Legenda

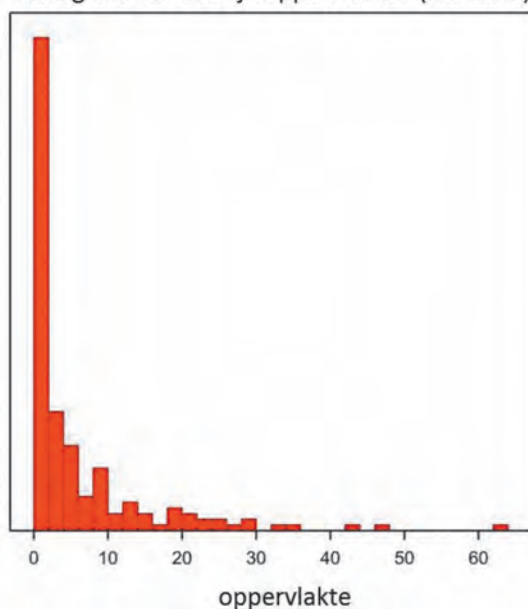
- | | | | |
|---|--|---|---|
| Broekveergronden
vwz | Kanteergronden
tzb33 | Veldpodzolgronden
Hn31
Hn33
Hn35
Hn51
Hn53
sHn51
zHn33
zHn35 | Toevoegingen
g/...
...g
...k
...t |
| Beekeergronden
ktZg
tZg35
cZg35 | Akkerveergronden
cZd33 | Laarpodzolgronden
cHn33 | Vergravingen
geegaliseerd
verwerkt
afgegraven |
| Gooreergronden
tZn33
tZn35
tZn37
tZn51
tZn53
tZn55
cZn33
cZn35 | Vlakvaaggronden
Zn31
Zn33
Zn51 | Loopodzolgronden
cY33 | |
| | Duinvaaggronden
Zd51 | Zwarte enkeergronden
zEZ33 | |



Afbeelding 2: Bodemkaart, schaal 1 : 25.000, voor het studiegebied 'Vierlingsbeek'

studiegebied liggen, met oppervlaktes van 0,1 tot 63 ha. Afbeelding 3 toont een histogram van de bedrijfsoppervlaktes. Relatief veel bedrijven hebben een oppervlakte van minder dan twee hectare binnen het studiegebied. Naast bedrijven die met het grootste deel buiten het gebied liggen zijn dit kleine bedrijven van deeltijd-agrariërs en kleine tuinbouwbedrijven met groenteteelt, zoals asperges en prei, en sierteelt, zoals buxusboompjes en rozen.

Histogram van bedrijfsoppervlakten (hectares)



Afbeelding 3: Histogram van de oppervlakten van de 171 bedrijven in het studiegebied 'Vierlingsbeek'

Berekening van schadevergoedingen

Daling van de grondwaterstand kan de gewasopbrengst negatief of positief beïnvloeden. Droogtestress kan toenemen, maar in natte uitgangssituaties kan de wortelzone beter doorlucht raken. Als de negatieve effecten groter zijn dan de positieve hebben boeren recht op vergoeding van de netto reductie in gewasopbrengst. De vergoedingen worden geschat op basis van wetenschappelijke kennis en *expert knowledge*, vastgelegd in tabellen met percentages opbrengstdepressie voor combinaties van bodemtype en GHG en GLG: de HELP-tabellen of de meer gedetailleerde TCGB-tabellen. In tegenstelling tot de HELP-tabellen wordt in de TCGB-tabellen gebruik gemaakt van informatie over de ondergrond dieper dan 1,2 m. Wij gebruiken in deze studie de HELP-tabellen, omdat de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, de bodem beschrijft tot 1,2 m. Bovendien zijn we, in deze studie althans, alleen geïnteresseerd in het effect van benutting van gedetailleerde informatie over ruimtelijke patronen, en nog niet in het effect van benutting van informatie over de bodem dieper dan 1,2 m.

De percentages in de HELP-tabellen geven gemiddelde percentages opbrengstdepressie voor een meteorologische periode van 30 jaar, op perceelschaal voor verschillende gewassen. De tabellen geven opbrengstdepressies als gevolg van zowel wattertekort als -teveel. Tabel 1 geeft als voorbeeld een fragment van de meest recente versie van de HELP-tabel (Werkgroep HELP, 1987; Van Bakel e.a., 2006). Het totale percentage opbrengstderving d_t wordt berekend met

$$d_t = d_w + \left(\frac{100 - d_w}{100} \right) \cdot d_d \quad (1)$$

waarin d_w en d_d de percentages opbrengstderving als gevolg van respectievelijk natte en droge omstandigheden zijn (Brouwer en Huinink, 2002).

Tabel 1: Fragment van de HELP-tabel, met percentages opbrengstderiving voor gras voor een veldpodzolgrond met zwak lemig, matig fijn zand (Werkgroep HELP, 1987; Van Bakel e.a., 2006)

GHG (cm)	GLG (cm)	Opbrengstdepressie (%)	
		door natte omstandigheden	door droge omstandigheden
30	120	3	6
30	125	3	7
30	130	3	8
⋮	⋮	⋮	⋮
35	120	2	6
35	125	2	7
35	130	2	8
⋮	⋮	⋮	⋮
40	120	2	6
40	125	1	7
40	130	1	8

De procedure om schades te berekenen is nu:

1. Ontleen informatie over de ruimtelijke variatie in bodemtypen en grondwatertrappen van de landelijke bodemkaart, schaal 1 : 50.000, of van de gedetailleerde bodemkaart, schaal 1 : 25.000, die voor 'Vierlingsbeek' is gemaakt (Vroon en Brouwer, 2008);
2. Bereken opbrengstdepressies voor de situatie met grondwateronttrekking, met de informatie over bodemtype, gemiddelde waarden voor GHG en GLG voor grondwatertrappen, de HELP-tabellen en formule (1). Beide bodemkarteringen vonden plaats na de start van de waterwinning in Vierlingsbeek;
3. Reconstrueer de GHG's en GLG's voor de situatie van vóór de start van de waterwinning. Het effect van de waterwinning op GHG en GLG is in dit gebied geschat met tijdreeksmodellering (Franssen, 2004) en opgeteld bij de GHG's en GLG's die uit de bodemkaarten zijn afgeleid;
4. Bereken opbrengstdepressies voor de situatie zonder grondwateronttrekking, analoog aan stap 2, maar nu met de GHG's en GLG's uit stap 3;
5. Bereken opbrengstdepressies als gevolg van grondwateronttrekking door de resultaten van stap 2 en 4 van elkaar af te trekken;
6. Aggregeer de resultaten van stap 5 voor bedrijven. De gemiddelde percentages opbrengstdepressie worden vermenigvuldigd met een wettelijke standaardwaarde van € 31,34 ha⁻¹jr⁻¹ (voor grasland in 2013). Negatieve waarden, dus toename van gewasopbrengst als gevolg van grondwateronttrekking, worden op nul gezet.

Validatie van berekende schadevergoedingen

Onze populatie bestaat uit de 171 bedrijven in het waterwingebied 'Vierlingsbeek'. Hiervoor willen we de twee frequentieverdelingen schatten van fouten in berekende schades, uitgedrukt in € ha⁻¹jr⁻¹, bij gebruik van de twee verschillende bodemkaarten. Deze frequentieverdelingen gebruiken we vervolgens in de kosten-batenanalyse. De aanpak is als volgt:

1. We onderscheiden negen deelgebieden (strata), op basis van textuur en bedrijfsoppervlakte, zie tabel 2 en afbeelding 4. Doel hiervan is om de nauwkeurigheid van de uitkomsten van deze validatie te verbeteren door betere spreiding van de gelote bedrijven, en om inzicht te krijgen in de samenhang tussen de nauwkeurigheid van de berekende schade enerzijds en geologische regio en bedrijfsoppervlakte anderzijds. We verwachten namelijk dat kleine bedrijven meer gevoelig zijn voor schattingsfouten dan grote bedrijven, omdat bij de laatste positieve en negatieve fouten zich uitmiddelen als de bedrijfsoppervlakte groot is in verhouding tot de ruimtelijke correlatiestructuur van de fouten (Knotters e.a., 2010);
2. We loten 40 bedrijven zonder teruglegging, proportioneel verdeeld over de negen strata, zie tabel 2;
3. Binnen elk geloot bedrijf loten we ten minste twee tot zes locaties waar we bodemkundige profielbeschrijvingen in het veld maakten, zie tabel 2. Deze beschrijvingen bevatten ook schattingen van de GHG en GLG op basis van veld- en hydromorfe profielkenmerken en open-boorgatmetingen van de grondwaterstand. Binnen de beschikbare tijd voor veldwerk konden we drie extra profielbeschrijvingen maken boven het minimum van 134 (tabel 2), zodat de nauwkeurigheid van de validatieresultaten nog kon worden verhoogd;
4. We berekenen opbrengstdepressies volgens de eerder beschreven procedure voor elk van de 137 locaties, op basis van de informatie van de bodemkaart schaal 1 : 50.000, de bodemkaart schaal 1 : 25.000 en de bodemkundige profielbeschrijvingen die in het veld waren gemaakt.
5. De percentages opbrengstdepressie op puntniveau aggregeren we tot bedrijfsniveau door middeling, de gemiddelde percentages vermenigvuldigen we met het wettelijke standaardbedrag van € 31,34 ha⁻¹jr⁻¹ (grasland, 2013), en negatieve vergoedingen stellen we op nul. Dit levert drie berekende schadevergoedingen per bedrijf $i, i=1\dots n_h$ in stratum $h, h=1\dots l$, in € ha⁻¹jr⁻¹: $c_{50,hi}$ op basis van de bodemkaart 1 : 50.000, $c_{25,hi}$ op basis van de bodemkaart 1 : 25.000, en $c_{r,hi}$ op basis van de profielbeschrijvingen in de validatieset.

Tabel 2: Stratificatie van de bedrijven in het studiegebied. N_h : aantal bedrijven in stratum h . w_h : stratumgewicht. n_h : gelote aantal bedrijven in stratum h . m_{hi} : minimum aantal locaties waar bodemkundige profielbeschrijvingen zijn gemaakt, per geloot bedrijf i in stratum h .

Stratum h	textuur	Bedrijfsoppervlakte (ha)	N_h	w_h	n_h	m_{hi}	$n_h \times m_{hi}$
1	Grof zand	<2	11	0,06	3	2	6
2	Grof zand	2-10	18	0,11	4	4	16
3	Grof zand	>10	8	0,05	2	6	12
4	Leem	<2	23	0,13	5	2	10
5	Leem	2-10	4	0,02	2	4	8
6	Leem	>10	8	0,05	2	6	12
7	Fijn dekzand	<2	53	0,31	12	2	24
8	Fijn dekzand	2-10	31	0,18	7	4	28
9	Fijn dekzand	>10	15	0,09	3	6	18
totaal			171	1	40		134



Afbeelding 4: Indeling van 'Vierlingsbeek' in negen deelgebieden (strata), zie tabel 2

Voor elk bedrijf in de validatieset berekenen we de fout in berekende schadevergoeding met:

$$e_{M,hi} = c_{M,hi} - C_{T,hi} \quad (2)$$

met $M=50,25$ wanneer de bodemkaart 1 : 50.000 of 1 : 25.000 is gebruikt. De gemiddelde fout in stratum h wordt geschat met

$$\hat{e}_{M,h} = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} e_{M,hi} \quad (3)$$

De gemiddelde fout voor de populatie van 171 bedrijven wordt geschat met

$$\hat{e}_M = \sum_{h=1}^{\ell} a_h \hat{e}_{M,h} \quad (4)$$

waarin $a_h = N_h/N$ en $N=171$. De cumulatieve frequentieverdeling berekenen we op analoge wijze, door voor elke unieke waarde uit de verdeling van $e_{M,hi}$ gemiddelden te berekenen van indicatoren $p_{hi,j}$ met waarde 1 als $e_{M,hi}$ kleiner of gelijk is aan deze unieke waarde en 0 als deze groter is.

In de kosten-batenanalyse zijn de absolute fouten relevant, want de gedetailleerde bodemkartering wordt immers uitgevoerd om zowel over- als onderschatting te reduceren. De bovenstaande procedures voor het bepalen van de gemiddelde fouten passen we daarom ook toe om het gemiddelde van de absolute fouten te bepalen.

Kosten-batenanalyse

In de kosten-batenanalyse vergelijken we de kosten van een gedetailleerde bodemkartering met de baten in termen van toegenomen nauwkeurigheid in berekende jaarlijkse schadevergoedingen. Om deze toegenomen nauwkeurigheid te kunnen vergelijken met de eenmalige kosten van een gedetailleerde bodemkartering berekenen we de contante waarde van de toename in nauwkeurigheid (reductie van fout):

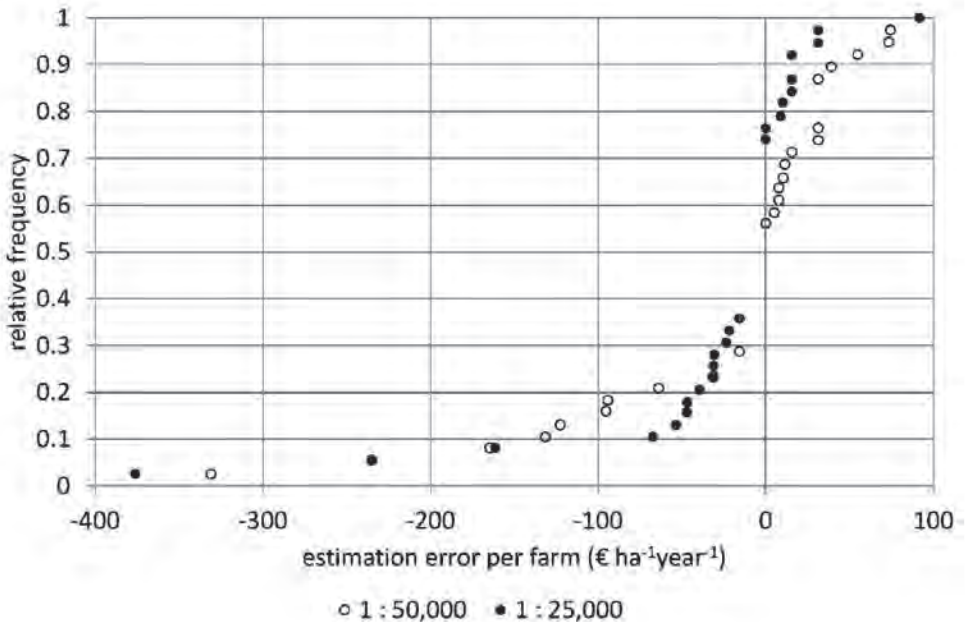
$$C = b \frac{1 - (1+r)^{-T}}{r} \quad (5)$$

waarin b de reductie in de fout in de geschatte schadevergoeding voor bedrijven is in $\text{€ ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$, T de periode is waarover vergoedingen worden uitgekeerd (zeg 30 jaar), en r is de wettelijke rente als fractie van 100 (0,03 op 1 juli 2012). Een gedetailleerde bodemkartering is economisch aantrekkelijk als de contante waarde van de foutenreductie in € ha^{-1} groter is dan de kosten per hectare van de kartering. De kosten van een bodemkartering, schaal 1 : 25.000, met een boordiepte van 1,20 m schatten we op $\text{€ } 30 \text{ ha}^{-1}$.

Resultaten en discussie

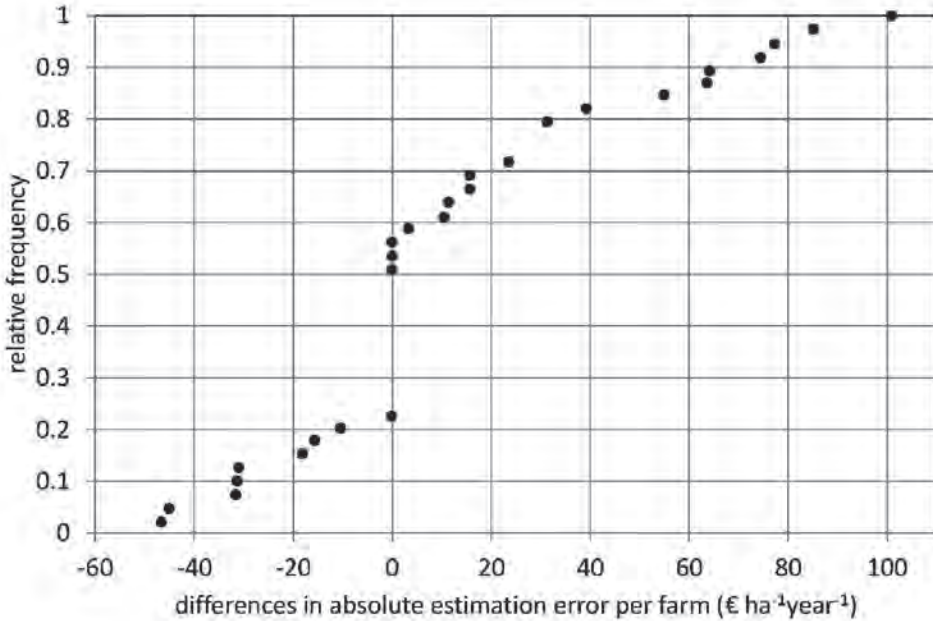
Validatieresultaten

Afbeelding 5 toont de cumulatieve frequentieverdelingen van de fouten in berekende schadevergoedingen per bedrijf, in $\text{€ ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$. De frequentieverdelingen geven aan dat fouten over het algemeen kleiner worden wanneer gebruik wordt gemaakt van een bodemkaart schaal 1 : 25.000, met enkele uitzonderingen.



Afbeelding 5: Cumulatieve frequentieverdelingen van de fouten in berekende schadevergoedingen, bij gebruik van de bodemkaart 1 : 50.000 of van de bodemkaart 1 : 25.000.

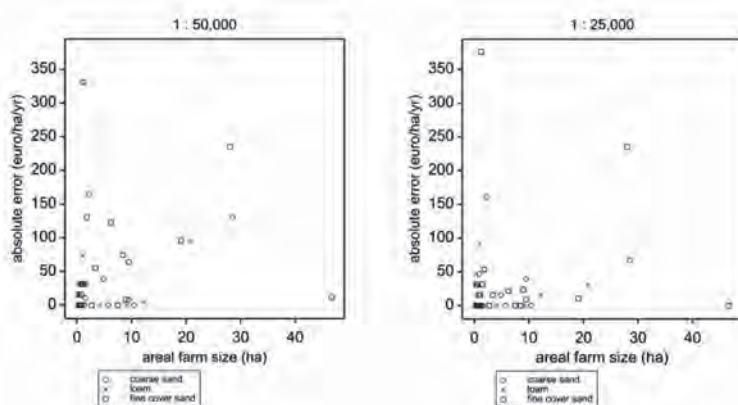
In deze studie wegen we over- en onderschatting van schadevergoeding even zwaar. Daarom richten we ons op de reductie in absolute fout. Afbeelding 6 geeft de cumulatieve frequentieverdeling van de verschillen in absolute fout (1 : 50.000 – 1 : 25.000). Een positief verschil wil zeggen dat de absolute fout is gereduceerd, een negatief verschil geeft aan dat de absolute fout is toegenomen. Afbeelding 6 laat zien dat het gebruik van een gedetailleerde bodemkaart vaker tot afname dan tot toename van de absolute fout leidt, en dat de afnames van de absolute fouten gemiddeld genomen groter zijn dan de toenames.



Afbeelding 6: Cumulatieve frequentieverdeling van de verschillen in absolute fout in berekende schadevergoedingen bij gebruik van twee verschillende bodemkaarten (bodemkaart 1 : 50.000 minus bodemkaart 1 : 25.000)

Gemiddeld genomen neemt de absolute fout af met €13,16 ha⁻¹jr⁻¹ wanneer een bodemkaart 1 : 25.000 wordt gebruikt in plaats van een bodemkaart 1 : 50.000. Deze foutenreductie is significant bij een 5%-significantieniveau ($P=0,009$, gepaarde Student's *t*-test voor een gestratificeerde aselechte steekproef, 19 effectieve vrijheidsgraden (Cochran, 1977, blz. 96)).

De grafieken in afbeelding 7 tonen het verband tussen absolute fout, bedrijfsoppervlakte en textuur van de ondergrond. De grafieken laten enig verband zien tussen grootte van de absolute fout en bedrijfsomvang, en geven aan dat bij toepassing van een gedetailleerde bodemkaart de schattingen voor kleine bedrijven vaak nauwkeuriger worden. Niet alle fouten kunnen echter worden gereduceerd door een bodemkaart 1 : 25.000 te gebruiken.



Afbeelding 7: Absolute fout in schadevergoedingen per bedrijf, uitgezet tegen bedrijfsoppervlakte

Interessant is om de validatieresultaten in termen van $\text{€ ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ schadevergoeding te vergelijken met een maat voor kaartkwaliteit: de zuiverheid of percentage correct geassocieerd. Tabel 3 geeft de kaartzuiverheden van de beide bodemkaarten, uitgaande van de classificatie in de HELP-tabellen voor bodemtype. Omdat deze validatiestudie is gericht op informatie op het niveau van bedrijven berekenen we zowel de totale kaartzuiverheid als de gemiddelde kaartzuiverheid per bedrijf. De verschillen tussen beide verklaren we uit ruimtelijke samenhang van classificatiefouten. De totale kaartzuiverheden zijn geschat met de gecombineerde ratioschatter (Cochran, 1977, blz. 165-167). Uit tabel 3 blijkt dat de bodemkaart 1 : 25.000 vooral de Gt-klassen in het studiegebied nauwkeuriger weergeeft dan de bodemkaart 1 : 50.000. Opgemerkt moet worden dat een kleine classificatiefout (bijvoorbeeld één klasse verschil) even zwaar weegt als een grote classificatiefout bij het berekenen van kaartzuiverheden, en dat het aantal te onderscheiden bodemtypen groot is. Dit is een belangrijke verklaring voor relatief lage kaartzuiverheden.

Resultaten kosten-batenanalyse

Gemiddeld is de reductie in absolute fout $\text{€ 13,16 ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ door gebruik van een bodemkaart 1 : 25.000 in plaats van een bodemkaart 1 : 50.000. De contante waarde hiervan is € 258 ha^{-1} , uitgaande van 3 % rente en jaarlijkse uitkering gedurende 30 jaar. Dit bedrag is groter dan de kosten van een bodemkartering schaal 1 : 25.000 tot een diepte van 1,20 m, namelijk € 30 ha^{-1} . Dit geeft aan dat een gedetailleerde bodemkartering de investering waard is: de kosten van het onderzoek zijn lager dan de toename in nauwkeurigheid die ermee wordt bereikt.

Tabel 3: Kaartzuiverheden (percentages correct geassocieerd) voor de bodemkaarten 1 : 50.000 en 1 : 25.000. Classificatie van bodemtypen volgens de HELP-tabellen (HELP, 1987).

	Bodemkaart 1 : 50.000		Bodemkaart 1 : 25.000	
	bodemtype	Gt-klasse	bodemtype	Gt-klasse
Gemiddelde kaartzuiverheid per bedrijf	21	36	18	71
Totale kaartzuiverheid	30	41	31	81

Conclusies en aanbevelingen

1. Met een investering in een gedetailleerde bodemkartering van € 30 ha⁻¹ neemt de nauwkeurigheid van berekende schadevergoedingen toe met € 258 ha⁻¹, in termen van gemiddelde absolute fout en gebaseerd op 30 jaar uitkering en een rente van 3 %. We concluderen daarom dat voor dit studiegebied een gedetailleerde bodemkartering de investering waard is.
2. Knotters e.a. (2010) analyseerden dat nauwkeurigheid in berekende schadevergoedingen afhangt van bedrijfsoppervlakte de ruimtelijke samenhang van classificatiefouten. Deze studie bevestigt deze analyse, en daarom concluderen we dat inzicht in de ruimtelijke samenhang van classificatiefouten nodig is bij beslissingen over het detail van bodemkarteringen bij toepassing op bedrijfsniveau.
3. In sommige gevallen kon de nauwkeurigheid van de berekende schadevergoeding niet worden vergroot door een bodemkaart 1 : 25.000 te gebruiken. Blijkbaar is deze kaart nog niet gedetailleerd genoeg om voor bedrijven met kleine oppervlakten nauwkeurige schattingen te doen. Daarom raden we aan om in gebieden met kleine bedrijfsoppervlakten zoals in dit studiegebied karteringen op schaal 1 : 10.000 of 1 : 5.000 te overwegen.
4. Deze studie richtte zich op de waarde van gedetailleerde informatie over ruimtelijke patronen. We beperkten ons tot bodemkundige informatie tot 1,20 m diepte en maakten daarom gebruik van de HELP-tabellen. TCGB-tabellen maken gebruik van informatie tot 1,80 m diepte. Een interessante vervolgstap zou kunnen zijn de waarde van een bodemkartering 1 : 25.000 tot een diepte van 1,80 m te analyseren in combinatie met gebruik van de TCGB-tabellen.
5. Wij analyseerden in deze studie de waarde van 'traditionele' bodemkaarten. Hoewel deze kaarten nog steeds veel worden gebruikt, wordt inmiddels ook Digital Soil Mapping toegepast, waarbij hulpinformatie van hoge ruimtelijke resolutie wordt gebruikt zoals digitale hoogtemodellen en remote-sensingbeelden, zie McBratney e.a. (2003) voor een overzicht. De geactualiseerde kaart van grondwaterdynamiek (Gd) is hier een voorbeeld van (Finke e.a., 2005). Het zou een interessant vervolg zijn om te analyseren wat de bijdrage van deze Gd-informatie is aan de nauwkeurigheid van de berekende vergoedingen. De model-gebaseerde, statistische informatie die DSM-producten bieden over nauwkeurigheid zou dan ook kunnen worden gevalideerd. Wij verwijzen naar Brus e.a. (2011) voor de steekproefaspecten bij validatie van DSM-producten.

Dankwoord

Dit onderzoek werd gefinancierd door het ministerie van EZ, project BO-11-002.01-021. Wij bedanken onze collega's van het team Bodem, Water en Landgebruik van Alterra voor hun assistentie en adviezen.

Literatuur

- Bakel, J. van, H. Prak, J. Huinink en M. Talsma** (2006) De verbreding van de HELP-tabellen; in: *H₂O*, vol 1, pag 33-34.
- Bie, S.W. en A. Ulph** (1972) The economic value of soil survey information; in: *Journal of Agricultural Economics*, vol 23, pag 285-297.
- Bouwmans, J.** (1990) Achtergrond en toepassing van de TCGB-tabel: een methode voor het bepalen van de opbrengstdepressie van grasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandsverlaging; Technische Commissie Grondwater Beheer, Utrecht.
- Brus, D.J., B. Kempen en G.B.M. Heuvelink** (2011) Sampling for validation of digital soil maps; in: *European Journal of Soil Science*, vol 62, pag 394-407.
- Brouwer, F. en J. Huinink** (2002) Opbrengstdervingpercentages voor combinaties van bodemtypen en grondwatertrappen. Geactualiseerde HELP-tabellen en opbrengstdepressiekaarten; Alterra-rapport 429, Wageningen.
- Cochran, W.G.** (1977) *Sampling techniques*; Wiley, New York.
- Finke, P.A., D.J. Brus, M.F.P. Bierkens, T. Hoogland, M. Knotters en F. de Vries** (2005) Kartering van de grondwaterdynamiek met behulp van geo-informatie van hoge resolutie; in: *Stromingen*, vol 11, nr 1, pag 27-41.
- Franssen, R.J.M.** (2004) Evaluatie hydrologische uitgangspunten voor de gewasscha-deregeling Vierlingsbeek; Brabant Water, Den Bosch.
- Knotters, M., H. Vroon, A. van Kekem en T. Hoogland** (2002) Hoe noodzakelijk is patroononderzoek voor een goede uitvoering van de Grondwaterwet?; in: *H₂O*, vol 35, nr 21, pag 30-32.
- Knotters, M., H. Vroon, A. van Kekem en T. Hoogland** (2010) Deciding on the detail of soil survey in estimating crop yield reduction; in: R. Devillers en H. Goodchild (red) *Spatial data quality. From process to decisions*; CRC Press, Boca Raton, pag 117-125.
- Knotters, M. en H.R.J. Vroon** (2015) The economic value of detailed soil survey in a drinking water collection area in the Netherlands; in: *Geoderma Regional*, vol 5, pag 44-53.
- McBratney, A.B., M.L. Mendonça Santos en B. Minasny** (2003) On digital soil mapping; in: *Geoderma*, vol 117, pag 3-52.
- Vroon, H.R.J. en F. Brouwer** (2008) Bodemkundig-hydrologisch onderzoek in het waterwingebied "Vierlingsbeek"; Alterra-rapport 1758, Wageningen.
- Werkgroep HELP-tabel** (1987) De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie; Mededelingen Landinrichtingsdienst 176, Utrecht.

