



Selectie van inwinningstechnieken voor bodemdata

Selecteren vanuit de (onderzoeks)vraag

M. Knotters & F.M. van Egmond

| WOt-technical report 144



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Selectie van inwinningstechnieken voor bodemdata

Dit Technical report is gemaakt conform het Kwaliteitsmanagementsysteem (KMS) van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen University & Research.

De WOT Natuur & Milieu voert wettelijke onderzoekstaken uit op het beleidsterrein natuur en milieu. Deze taken worden uitgevoerd om een wettelijke verantwoordelijkheid van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) te ondersteunen. We zorgen voor rapportages en data voor (inter)nationale verplichtingen op het gebied van agromilieu, biodiversiteit en bodeminformatie, en werken mee aan producten van het Planbureau voor de Leefomgeving zoals de Balans van de Leefomgeving.

Disclaimer WOt-publicaties

De reeks 'WOt-technical reports' bevat onderzoeksresultaten van projecten die kennisorganisaties voor de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu hebben uitgevoerd.

WOt-technical report 144 is het resultaat van een onderzoeksopdracht van en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

Selectie van inwinningstechnieken voor bodemdata

Selecteren vanuit de (onderzoeks)vraag

M. Knotters & F.M. van Egmond

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, december 2018

WOt-technical report 144

ISSN 2352-2739

DOI: 10.18174/469160

Referaat

Knotters, M. & F.M. van Egmond (2018). *Selectie van inwinningstechnieken voor bodemdata; Selecteren vanuit de (onderzoeks)vraag*. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WUR. WOT-technical report 144. 40 blz.; 33 ref.

Een systematiek is ontwikkeld om vast te stellen of gebiedsdekkende bodemkundige informatie in de BRO voldoet aan de eisen die de gebruiker stelt voor de nauwkeurigheid en ruimtelijk detail, en om de meest efficiënte aanvullende karteermethode te selecteren om aan die eisen te voldoen. Een afweging tussen kosten en nauwkeurigheid blijkt bij enkelvoudige toepassingen eenvoudiger te zijn dan bij meervoudige toepassingen. In het laatste geval wordt vaak een nauwkeurigheid verondersteld van 70% kaartzuiverheid. Dit criterium dient echter nauwkeuriger te worden gedefinieerd en te worden onderbouwd en eventueel te worden bijgesteld aan de hand van resultaten van risicoanalyses. Voorts dient te worden gemonitord waar en voor welke bodemeigenschappen de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 aan dit kwaliteitscriterium voldoet.

Trefwoorden: bodemkaart, kaartzuiverheid, proximal soil sensing, geostatistiek, digital soil mapping, upgrading, kosten-batenanalyse, value of information

Abstract

Knotters, M. & F.M. van Egmond (2018). *Selection of Soil Data Collection Techniques based on the research question*. Wageningen, Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment (WOT Natuur & Milieu), WUR. WOT-technical report 144. 40 p.; 33 refs..

A procedure has been developed to establish whether or not area-wide soil information in the Key Register of the Subsurface (BRO) meets the requirements of the user with regard to accuracy and spatial detail, and to select the most efficient additional mapping method to meet these requirements. A trade-off between costs and accuracy appears to be easier in simple applications than in multiple applications. In the latter case, accuracy is often assumed to be 70% map purity. However, this criterion needs to be more accurately defined and substantiated and, if necessary, adjusted on the basis of the results of risk analyses. Furthermore, it is necessary to monitor where and for which soil characteristics the Soil Map of the Netherlands, scale 1 : 50,000, meets this quality criterion.

Keywords: soil map, map purity, proximal soil sensing, geostatistics, digital soil mapping, upgrading, cost-benefit analysis, value of information

Foto omslag: Marte Hofsteenge

© 2018 **Wageningen Environmental Research**

Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 48 07 00; e-mail: martin.knotters@wur.nl / fenny.vanegmond@wur.nl

De reeks WOT-technical reports is een uitgave van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen University & Research. Dit technical report is verkrijgbaar bij het secretariaat. De publicatie is ook te downloaden via www.wur.nl/wotnatuurenmilieu.

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 48 54 71; e-mail: info.wnm@wur.nl; Internet: www.wur.nl/wotnatuurenmilieu.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Woord vooraf

Dit rapport is ontstaan vanuit de behoefte om onderbouwde beslissingen te kunnen nemen in situaties waarin de bodemkundige informatie in de Basisregistratie Ondergrond (BRO) niet toereikend is om in de informatiebehoefte te voorzien. Bij deze beslissingen is niet alleen kennis over de bodem en over inventarisatiemethoden nodig, maar ook over statistiek en risico- en onzekerheidsanalyse. Al schrijvende werd duidelijk dat de waarde van een bodemkaart ver uitstijgt boven de kosten ervan. Dit gegeven verdient grotere bekendheid en wij hopen hier met dit rapport aan bij te kunnen dragen. Het schrijven van dit rapport was een interessant en leerzaam proces. Wij hopen dat dit ook voor het lezen zal gelden.

Wij bedanken onze collega's Joop Okx en Dennis Walvoort voor hun gedegen commentaar bij het concept van dit rapport.

Martin Knotters en Fenny van Egmond

Wageningen, december 2018

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	9
Summary	13
1 Inleiding	17
2 Gebiedsdekkende bodemkundige informatie	19
2.1 Informatiebehoefte	19
2.2 Informatiebehoefte versus informatieaanbod BRO	20
2.2.1 Discrepanties	20
2.2.2 Remedies	20
2.2.3 Efficiëntie	21
2.2.4 Value of information	21
3 Methoden voor aanvullende inventarisaties	23
3.1 Vrije of landschappelijke bodemkartering	23
3.2 Geostatistische bodemkartering	23
3.3 Digitale bodemkartering	23
3.4 Upgrading van bodemkaarten	23
3.5 Waarnemingen van (hulp)variabelen	24
3.5.1 Sensoren	24
3.5.2 Satellieten	24
4 Uitwerking voor case 'Veenactualisatie Utrecht'	25
4.1 Informatiebehoefte	25
4.2 Informatiebehoefte versus informatieaanbod BRO	27
4.2.1 Discrepanties	27
4.2.2 Remedies	28
4.2.3 Efficiëntie	29
4.2.4 Value of information	29
4.3 Aanpak voor veenactualisatie Utrecht	29
5 Uitwerking voor case 'Perceel in Peel'	31
5.1 Inleiding	31
5.2 Informatiebehoefte	31
5.3 Informatiebehoefte versus informatieaanbod	32
5.3.1 Discrepanties	32
5.3.2 Remedies	32
5.3.3 Efficiëntie	32
6 Conclusies en aanbevelingen	33
Literatuur	35
Verantwoording	37

Samenvatting

Inleiding

De Basisregistratie Ondergrond (BRO) biedt onder meer de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000. Deze kaart wordt geraadpleegd om allerlei keuzes en beslissingen op het gebied van landbouw, milieu, natuur en infrastructuur te ondersteunen. Er is behoefte aan een gestructureerde procedure om discrepanties tussen informatiebehoefte en informatieaanbod vast te stellen en om methoden van aanvullende data-inwinning te selecteren waarmee deze discrepanties kunnen worden weggenomen.

Doel van dit rapport is om de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Hoe stel je vast of gebiedsdekkende bodemkundige informatie in de BRO voldoet aan de eisen die de gebruiker stelt ten aanzien van nauwkeurigheid en ruimtelijk detail?
2. Hoe selecteer je de meest efficiënte aanvullende karteermethode om gebiedsdekkende bodemkundige informatie in de BRO aan de eisen te laten voldoen die de gebruiker stelt ten aanzien van nauwkeurigheid en ruimtelijk detail?

Dit onderzoek richt zich op het kwaliteitsaspect nauwkeurigheid, dat gedefinieerd is als de mate van overeenstemming tussen informatie en werkelijkheid. Dit rapport gaat niet in op de vraag welke aanvullende inventarisaties tot de verantwoordelijkheid van de BRO behoren en welke tot die van de gebruiker.

Gebiedsdekkende bodemkundige informatie

De verschillende behoeften en eisen van gebruikers van gebiedsdekkende bodemkundige informatie kunnen als volgt worden beschreven:

1. Gedetailleerde omschrijving van de informatiebehoefte: doeluniversum (doelgebied en –periode, *target universe*), interessedomein(en) (deelgebieden en –periodes waarvoor informatie vereist is, *domain(s) of interest*), doelvariabele(n) waarover informatie is gewenst (*target variable(s)*), doelparameter(s) (het type statistiek dat is gewenst, *target parameter(s)*), doelgrootte (*target quantity*, de combinatie van een *domain*, *target variable* en *target parameter*), type resultaat (kwalitatief of kwantitatief, *type of result*).
2. Nauwkeurigheidsmaat: bij kwantitatieve informatie bijvoorbeeld standaardfouten of betrouwbaarheidsintervallen, bij kwalitatieve informatie bijvoorbeeld een percentage correct geclassificeerd en entropie (een maat voor wanorde).
3. Nauwkeurigheidseis: bij kwantitatieve informatie bijvoorbeeld een maximum voor de standaardfout, bij kwalitatieve informatie bijvoorbeeld een minimaal percentage correct geclassificeerd.

Voor discrepanties die zich kunnen voordoen tussen informatiebehoefte en informatieaanbod zijn de volgende remedies denkbaar: aanvullende inventarisatie om het doelgebied en de doelperiode te dekken, (geo-)statistische neerschaling van informatie in de BRO naar interessedomeinen, aanvullende inventarisatie van de doelvariabele, statistische bewerking van de informatie in de BRO of van informatie uit aanvullende inventarisaties naar de gewenste statistiek, of combinaties van deze remedies. Als kwalitatieve informatie gewenst is terwijl de BRO kwantitatieve informatie bevat dan moet er classificatie, toetsing of detectie plaatsvinden. Als kwantitatieve informatie gewenst is terwijl de BRO alleen kwalitatieve informatie bevat dan moet een vorm van neerschaling plaatsvinden, eventueel met behulp van een aanvullende inventarisatie.

Als de informatie in de BRO niet aan de nauwkeurigheidseis voldoet moet een aanvullende inventarisatie plaatsvinden. Als de nauwkeurigheid van de informatie in de BRO niet bekend is moet deze met een validatie worden vastgesteld. Onder 'inventarisatie' wordt hier behalve het verrichten van veldwaarnemingen ook het exploreren van datasets (*data mining*) bedoeld. De meest efficiënte remedie is die waarbij informatie wordt aangevuld en verbeterd tegen de laagst mogelijke kosten, en waarbij de kosten van het aanvullen en verbeteren van informatie niet hoger zijn dan de opbrengsten

in termen van toegenomen *value of information*: de opbrengst van aanvulling en verbetering van informatie. Dit is moeilijk vast te stellen voor bodemkaarten die voor langere tijd voor meerdere doeleinden wordt toegepast. Uit enkele studies blijkt dat de kosten van deze kaarten ruimschoots opwegen tegen de baten (kosten-batenverhoudingen van 1 : 46 tot 1 : 123 bij een levensduur van de kaart van 20 à 25 jaar).

Methoden voor aanvullende inventarisaties

- Bij een *vrije of landschappelijke bodemkartering* brengt een bodemgeograaf in het veld bodemkundige patronen in kaart, op basis van boringen, landschappelijke kenmerken die in het veld zichtbaar zijn en allerlei hulpinformatie. De keuzes en beslissingen die een bodemgeograaf maakt om vlakken af te grenzen zijn niet te reproduceren en hangen af van het inzicht van de bodemgeograaf.
- Bij *geostatistische karteringen* wordt gebruik gemaakt van interpolatiealgoritmes zoals kriging, waarbij veldwaarnemingen als invoer dienen. Wanneer de interpolatiealgoritmes zijn beschreven dan kan het resultaat van een geostatistische bodemkartering worden gereproduceerd. De keuzes die gemaakt worden bij het modelleren van de ruimtelijke structuur zullen van expert tot expert verschillen, wat geostatistische bodemkartering niet geheel objectief maakt.
- Bij *digital soil mapping* of digitale bodemkartering wordt kennis van bodemvorming gecombineerd met onder meer geostatistische technieken en technieken uit de *machine learning*, om met behulp van gebiedsdekkende hulpinformatie bodemkaarten te maken.
- *Upgrading* van een bestaande bodemkaart betekent dat de actuele inhoud van de kaarteenheden op die kaart wordt beschreven aan de hand van de resultaten van nieuwe kanssteekproeven die binnen die kaarteenheden zijn uitgevoerd. De kaarteenheden worden dus niet opnieuw afgegrensd.
- Er zijn diverse sensortechnieken ontwikkeld om bodemvariabelen ruimtelijk te inventariseren door metingen boven het maaiveld te verrichten (*proximal soil sensing*): meting van elektrisch geleidings-vermogen met behulp van elektrische weerstand of elektromagnetische inductie, VIS/NIR spectro-scopie, gamma-ray spectrometrie, grondradar, magnetometrie, bodemvocht- en pH-sensoren. De keuze voor een techniek hangt onder meer af van de doelvariabele.
- *Satellietbeelden* met optische, thermische en radarinformatie kunnen als hulpvariabele in digitale bodemkartering worden gebruikt of de spectrale informatie kan direct worden gebruikt voor bodem-kartering. Multi-spectrale satellieten zijn beter beschikbaar en komen vaker over hetzelfde gebied. Hyperspectrale beelden leveren betere nauwkeurigheden. Voor beide geldt dat samengestelde beelden worden gemaakt om zoveel mogelijk bodem in kaart te kunnen brengen en te onderscheiden van reflectie/absorptie van vegetatie en wolken.

Uitwerking voor 'Veenactualisatie Utrecht'

Er is behoefte aan een bodemkaart, schaal 1 : 50.000, die de verspreiding van veen- en moerige gronden in de provincie Utrecht in 2018 weergeeft met een percentage correct geclassificeerd van ten minste 70 % per gekarteerde bodemeigenschap. Als de Bodemkaart Veengebieden provincie Utrecht, schaal 1 : 25.000, (BvU) wordt 'ingeplugd' in de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, dan zal een kaartzuiverheid van 70% voor bodemtype op hoofdgroep-, groep- en subgroepniveau nog steeds niet worden gehaald. De BvU kan dus alleen als hulpinformatie worden gebruikt. Een aanvullende inventarisatie is daarom nodig om aan de nagestreefde actuele kaartzuiverheid voor het kenmerk bodemtype op hoofdgroep-, groep- en subgroepniveau te voldoen. Een *pilot*-kartering wordt voorgesteld om vast te stellen of elektromagnetische-inductie (EMI) of grondradarmetingen aan de efficiëntie van de aanvullende inventarisatie kunnen bijdragen bij welke waarnemingsdichtheden van boringen en EMI-metingen een kaartzuiverheid van 70% per gekarteerde bodemeigenschap kan worden gehaald.

Uitwerking voor case 'Perceel in Peel'

Voor een perceel in de Peel is onderzoek gedaan naar de doeltreffendheid van een genomen maatregel (drainage) die de natschade teniet zou moeten doen die zou zijn ontstaan door verandering van de hydrologische inrichting van een aangrenzend hoogveengebied. Hierbij is gebruik gemaakt van boringen en grondradar om de nauwkeurigheid in het bepalen van het effect van de maatregel en van de schadeberekening te vergroten. De vraag is of de kosten van het aanvullende onderzoek met grondradar hebben opgewogen tegen de opbrengsten in termen van een nauwkeuriger schade-berekening en nauwkeuriger inschatting van de effecten van compenserende maatregelen. Om deze

vraag te beantwoorden is de volgende informatie nodig: bodemkaarten en kaarten met gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden (of grondwatertrappen) vóór en na de ingreep, gemaakt met de conventionele methode (boringen) en met grondradar; een risico-inschatting en overwegingen om over te gaan tot nader onderzoek; de kosten van de inventarisatie met boringen; de kosten van de inventarisatie met grondradar; de tabel die de vertaling geeft van bodem- en grondwaterstands-informatie naar opbrengstdepressies; de monetaire waarde van een percentage opbrengstdepressie; de periode waarvoor de schade wordt berekend (bijvoorbeeld 30 jaar) en de interne rentevoet die is gehanteerd.

Conclusies en aanbevelingen

De volgende conclusies kunnen uit deze studie worden getrokken:

1. Het gehanteerde schema brengt gedetailleerd en volledig aan het licht waar het informatieaanbod van de BRO niet aansluit op de informatiebehoefte.
2. Uit de *case* van de veenactualisatie voor de provincie Utrecht blijkt dat er geen expliciete nauwkeurigheidseis is, die is gebaseerd op een risicoanalyse. De *value of information* in termen van toegenomen nauwkeurigheid en daarmee reductie van risico's kan daarom niet worden berekend.
3. Uit de *case* van de schadeberekening voor een perceel in de Peel blijkt dat voor toepassingen met een enkelvoudige toepassing het mogelijk is een nauwkeurigheidseis te stellen en de kosten van dataverzameling af te wegen tegen de opbrengsten in termen van verminderde financiële risico's.

Uit deze studie volgen de volgende aanbevelingen:

1. Als er geen expliciete nauwkeurigheidseis is, zoals bij bodemkaarten die voor uiteenlopende, nog onbekende, doeleinden worden gebruikt, is het aan te bevelen een kwaliteitscriterium na te streven zoals de historisch gegroeide 70% kaartzuiverheid, mits een dergelijk criterium nauwkeurig is gedefinieerd. De methode van data-inwinning dient dan te worden geselecteerd waarmee tegen zo laag mogelijke kosten aan dit kwaliteitscriterium kan worden voldaan.
2. Het is aan te bevelen om het historisch gegroeide kwaliteitscriterium van 70% kaartzuiverheid voor bodemkaarten nauwkeurig te definiëren. Momenteel zijn de volgende, uiteenlopende, interpretaties van dit criterium mogelijk:
 - a. 70% strikte kaartzuiverheid: op 70% van de kaart zijn alle bodemeigenschappen correct geclassificeerd. Dit wordt in de praktijk zelden gehaald, zie Marsman en De Gruijter (1986);
 - b. voor elke bodemeigenschap afzonderlijk geldt dat deze op 70 % van de kaart correct is geclassificeerd;
 - c. gemiddeld over alle bodemeigenschappen zijn deze op 70% van de kaart correct geclassificeerd. Dit sluit aan bij bevindingen van Marsman en De Gruijter (1986), maar kan betekenen dat sommige eigenschappen veel minder nauwkeurig zijn gekarteerd dan andere. Wij bevelen aan om definitie b. te hanteren.
3. Het is aan te bevelen om het kwaliteitscriterium van 70% kaartzuiverheid te onderbouwen met risicoanalyses en indien nodig bij te stellen.
4. Het is aan te bevelen om te monitoren waar en voor welke bodemeigenschappen de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, voldoet aan het kwaliteitscriterium van 70 % kaartzuiverheid.

Summary

Introduction

The Dutch Key Register of the Subsurface (BRO) contains, among other things, the Soil Map of the Netherlands, scale 1 : 50,000. This map is consulted to inform all kinds of choices and decisions on agriculture, the environment, nature conservation and infrastructure. There is a need for a structured procedure to identify discrepancies between information needs and information availability and to select methods for additional data collection with which these discrepancies can be eliminated. The purpose of this report is to answer the following research questions:

1. How do you establish whether or not area-wide soil information in the BRO meets the requirements that the user sets with regard to accuracy and spatial detail?
2. How do you select the most efficient additional mapping method to allow area-wide soil information in the BRO to meet the requirements set by the user with regard to accuracy and spatial detail?

This research focuses on the quality aspect of accuracy, which is defined as the degree of correspondence between information and reality. This report does not answer the question of whether the BRO or the user is responsible for additional inventories.

Soil information

The different needs and requirements of users of area-wide soil information can be described as follows:

1. Detailed description of the information requirement: *target universe* (target area and period), *domain or domains of interest* (sub-areas and periods for which information is required), *target variables* (variables for which information is desired), *target parameters* (the type of statistic that is desired), *target quantity* (the combination of a domain, target variable and target parameter), *type of result* (quantitative or qualitative).
2. Accuracy measure: for quantitative information, e.g. standard errors or confidence intervals; for qualitative information, e.g. a percentage correctly classified.
3. Accuracy requirement: for quantitative information, e.g. a maximum for the standard error; for qualitative information, e.g. a minimum percentage that is correctly classified.

The following remedies are conceivable for discrepancies that may arise between information requirements and information availability: additional inventory to cover the *target universe*, geostatistical downscaling of information in the BRO to *domains of interest*, additional inventory of the *target variable*, statistical processing of the information in the BRO or information from additional inventories for the desired *target parameter*, or combinations of these remedies. If qualitative information is required where the BRO contains quantitative information, classification, testing or detection must take place. If quantitative information is required where the BRO only contains qualitative information, a form of downscaling must take place, possibly with the aid of an additional inventory. If the information in the BRO does not meet the accuracy requirement, an additional inventory must take place. If the accuracy of the information in the BRO is not known, it must be determined with a validation. In addition to carrying out field observations, 'inventory' also means the exploration of datasets. The most efficient remedy is to supplement and improve the information at the lowest possible cost, where the costs of supplementing and improving information are not higher than the revenues in terms of the increased *value of information*. This gain from supplementing and improving information is difficult to determine for soil maps that are used for a longer period for multiple purposes. A few studies show that the costs of these maps far outweigh the benefits (cost-benefit ratios of 1 : 46 to 1 : 123 with a map life of 20 to 25 years).

Methods for additional soil data inventories

- In *landscape based soil mapping*, a soil geographer maps soil patterns in the field based on augerings, landscape features that are visible in the field and all kinds of additional information such as covariates. The choices and decisions on unit boundaries made by the soil geographer cannot be reproduced and depend on the knowledge and insight of the geographer.

- *Geostatistic surveys* use interpolation algorithms, such as kriging, with field observations serving as input. When the interpolation algorithms have been described, the result of a geostatistical soil mapping can be reproduced. The choices that are made when modelling the spatial correlation or structure (variogram) will vary from expert to expert, which means that geostatistical soil mapping can never be entirely objective.
- In *digital soil mapping*, geostatistical techniques and machine learning techniques are used to make soil maps, drawing on exhaustive sources of area-wide supporting information.
- *Upgrading* an existing soil map means that the current content in the map units is described using the results of new probability samples performed within those map units. Various sensor techniques have been developed to map soil variables spatially by performing measurements above ground (*proximal soil sensing*): measurement of electrical conductivity using electrical resistance or electromagnetic induction (EMI), VIS/NIR spectroscopy, gamma-ray spectrometry, ground penetrating radar, magnetometry, soil moisture and pH sensors. The choice of a particular technique depends, among other things, on the target variable.
- *Satellite images* with optical, thermal and radar information can be used as an auxiliary variable in digital soil surveys or the spectral information can be used directly for soil mapping. Multi-spectral satellites have a better availability and shorter return times. Hyperspectral images provide better accuracies. For both, composite images are made in order to map as much soil as possible and to distinguish soil reflections from reflections of vegetation and clouds.

Example: 'Peat soil update Utrecht'

For the province of Utrecht there is a need for a soil map, scale 1 : 50,000, which shows the distribution of peat and organic rich soils in 2018, with a correctly classified percentage of at least 70% per mapped soil property. If the Peat Soil Map of the Province of Utrecht, scale 1 : 25,000 (BvU) is 'plugged in' to the Soil Map of the Netherlands, scale 1: 50,000, then a map purity of 70% for soil type at main group, group and subgroup level will still not be met and the BvU can only be used as auxiliary information. An additional inventory is therefore necessary to meet the desired purity and timeliness for the soil type characteristic at the main group, group and subgroup level. A mapping pilot is proposed to determine whether electromagnetic (EMI) or ground penetrating radar measurements can improve the efficiency of the supplementary inventory and which observation densities of augerings and measurements are needed to obtain a map purity of 70% for each soil property.

Example: 'Field in Peel region'

For a plot in the Peel region, research was carried out into the effectiveness of a measure taken (drainage) to nullify the damage to crop yield from excessive soil moisture that could be caused by a change in the hydrological structure of an adjacent raised bog area. Augerings and measurements with ground penetrating radar (GPR) were carried out to increase the accuracy the effect of the measure and the calculation of the damage. The question is whether the costs of the additional GPR research are worthwhile compared with the benefits of a more accurate calculation of the damage and a more accurate estimate of the effects of compensatory measures. To answer this question, the following information is required: soil maps and maps with average highest and lowest water tables (or water table classes) before and after the intervention, compiled in the conventional way (augerings) and with GPR; a risk assessment and considerations for further investigation; the costs of the inventory with drilling; the costs of the inventory with GPR; a table to convert soil and groundwater level information to yield depressions; the monetary value of a percentage of revenue depression; the period for which the damage is calculated (for example 30 years) and the internal interest rate that has been used.

Conclusions and recommendations

The following conclusions can be drawn from this study:

1. The scheme used gives a detailed and complete picture of where the information offered by the BRO does not match the information requirement.
2. The case of the peat soil update for the province of Utrecht shows that there is no explicit accuracy requirement; it is based on a risk analysis. The value of increased accuracy of information and the associated reduction in risks can therefore not be calculated.
3. The damage calculation for a parcel of land in the Peel region shows that for single applications it is possible to impose an accuracy requirement and to weigh the costs of data collection against the revenues in terms of reduced financial risks.

The following recommendations follow from this study:

1. If there is no explicit accuracy requirement, as for soil maps used for various purposes, aim for a quality criterion such as the commonly accepted 70% map purity, provided that this criterion is precisely defined. The method of data collection must then be selected in such a way that this quality criterion can be achieved at the lowest possible cost.
2. Accurately define the commonly accepted quality criterion of 70% map purity for soil maps. Different interpretations of this criterion are possible:
 - a. 70% strict map purity: on 70% of the map all soil properties are correctly classified. This is seldom achieved in practice, see Marsman and De Gruijter (1986);
 - b. Each separate soil property is correctly classified on 70% of the map;
 - c. On average, all soil properties are classified correctly on 70% of the map. This is in line with findings by Marsman and De Gruijter (1986), but may mean that some features are much less accurate than others.We recommend adopting option b.
3. Substantiate the quality criterion of 70% map purity with risk analyses and adjust if necessary.
4. Monitor where and for which soil characteristics the Soil Map of the Netherlands, scale 1: 50,000, meets the quality criterion of 70% map purity.

1 Inleiding

Achtergrond en probleemstelling

De Basisregistratie Ondergrond (BRO) biedt informatie over onder meer de bodemgesteldheid, zoals de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000. Deze informatie wordt geraadpleegd om allerlei keuzes en beslissingen bij vraagstukken op het gebied van landbouw, milieu, natuur en infrastructuur te ondersteunen. Voorafgaand daaraan dient te worden vastgesteld of de informatie in de BRO voldoet aan de wensen en eisen die het betreffende vraagstuk met zich meebrengt. Vervolgens dient te worden bepaald welke inspanningen nodig zijn om informatie uit de BRO aan te vullen en uit te breiden om aan deze wensen en eisen te kunnen voldoen. Er is behoefte aan een gestructureerde procedure om discrepanties tussen informatiebehoefte en informatieaanbod vast te stellen en om methoden van aanvullende data-inwinning te selecteren waarmee deze discrepanties kunnen worden weggenomen.

Doel

Doel van dit rapport is om de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Hoe stel je vast of gebiedsdekkende bodemkundige informatie in de BRO voldoet aan de eisen die de gebruiker stelt voor nauwkeurigheid en ruimtelijk detail?
2. Hoe selecteer je de meest efficiënte aanvullende karteermethode om gebiedsdekkende bodemkundige informatie in de BRO aan de eisen te laten voldoen die de gebruiker stelt ten aanzien van nauwkeurigheid en ruimtelijk detail?

Beide vragen zullen verkennend worden beantwoord op basis van literatuurstudie en een uitwerking van enkele *cases*, te weten de actualisatie van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, voor de provincie Utrecht, en schadeberekeningen voor een perceel in de Peel.

Afbakening

Dit onderzoek richt zich op één kwaliteitsaspect, namelijk **nauwkeurigheid**. Nauwkeurigheid definiëren we als de mate van overeenstemming tussen informatie en werkelijkheid. De volgende maten voor nauwkeurigheid zullen worden gehanteerd:

1. Bij kaarten met kwalitatieve variabelen: percentage correct geclassificeerd per klasse per variabele (user's accuracy en producer's accuracy), totaal percentage correct geclassificeerd per variabele en over alle variabelen (gemiddelde en strikte kaartzuiverheid).
2. Bij kaarten die de uitkomst van een hypothesetoets weergeven (bijvoorbeeld wel/niet uitspoelingsgevoelig): error rates, i.e. α (kans op type-I-fout, het ten onrechte verwerpen van de nulhypothese) en β (kans op type-II-fout, het ten onrechte *niet* verwerpen van de nulhypothese). Dit kan worden gezien als een bijzonder geval van kaarten met kwalitatieve variabelen (zie punt 1).
3. Bij kaarten met kwantitatieve variabelen: parameters van de verdeling van afwijkingen tussen kaart en werkelijkheid (fouten): gemiddelde, standaardafwijking, RMSE (root mean squared error), percentielen zoals mediaan van de absolute afwijkingen etc.

In dit onderzoek beperken we ons in eerste instantie tot de afweging tussen nauwkeurigheid en kosten, cf. Nijbroek *et al.* (2018). Indien mogelijk wordt in een *case* nauwkeurigheid vertaald in inkomsten, bijvoorbeeld in termen van verminderd financieel risico bij toepassing van bodemkundige informatie. Hiervoor zou een *case* van toepassing van bodemkundige informatie bij schadeberekeningen tot voorbeeld kunnen dienen, zie bijvoorbeeld Knotters en Vroon (2015). De *cases* 'Utrecht' en 'Peel' beperken zich tot de inzet van boringen en sensortechnieken bij het aanvullen van bodemkundige informatie. Dit rapport gaat niet in op de vraag welke aanvullende inventarisaties tot de verantwoordelijkheid van de BRO behoren en welke tot die van de gebruiker.

Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 2 worden de diverse typen gebiedsdekkende bodemkundige informatie gedefinieerd (cf. De Gruijter *et al.*, 2006): globaal (domeinen), lokaal (punten, pixels), kwalitatief/kwantitatief, uitkomst hypothesetoets, etc., en worden verschillende nauwkeurigheidsmaten en -eisen onder-

scheiden. Op basis van het schema uit De Gruijter *et al.* (2006) worden de mogelijke discrepanties tussen informatiebehoefte en –aanbod opgesomd en de remedies hierop aangegeven. Hoofdstuk 3 geeft een beknopt overzicht van methoden voor het inwinnen van aanvullende data. In hoofdstuk 4 wordt het schema dat in hoofdstuk 2 is gepresenteerd toegepast op de *case* van de veenactualisatie voor de bodemkaart van de provincie Utrecht. In hoofdstuk 5 wordt het schema toegepast op een *case* van een landbouwperceel in de Peel, waar compensatiemaatregelen zijn getroffen nadat een aangrenzend natuurgebied werd vernat, en waar aanvullend onderzoek met grondradar heeft plaatsgevonden om de effecten van de compensatiemaatregelen te beoordelen en opbrengstdepressies te kunnen berekenen.

2 Gebiedsdekkende bodemkundige informatie

2.1 Informatiebehoefte

Gebruikers van de BRO kunnen behoefte hebben aan uiteenlopende typen gebiedsdekkende informatie en aan deze informatie kunnen zij uiteenlopende eisen stellen. Analoog aan een deel uit het schema dat De Gruijter *et al.* (2006) geven voor het ontwerpen van een monitoringopzet, kunnen de verschillende behoeften en eisen van gebruikers van gebiedsdekkende bodemkundige informatie als volgt worden beschreven.

1. Gedetailleerde omschrijving van de informatiebehoefte

- a. *Doeluniversum (target universe)*: de grenzen van het gebied waarvoor bodemkundige informatie is gewenst, het begin en eind van de periode waarover bodemkundige informatie is gewenst.
- b. *Interessedomein(en) (domain(s) of interest)*: de grenzen van de eventuele delen van het doelgebied en -periode waarvoor afzonderlijk informatie is gewenst. De mogelijke interessedomeinen variëren van punten of tijdstippen via deelgebieden of deelperioden tot één interessedomein dat samenvalt met het doelgebied en -periode.
- c. *Doelvariabele(n) (target variable(s))*: de variabele(n) waarover informatie is gewenst. De doelvariabelen kunnen verder worden onderverdeeld in
 - i. Kwantitatieve variabelen, zoals het gehalte aan organische stof, het lutumgehalte, de pH, etc.
 - ii. Kwalitatieve variabelen:
 - Nominale variabelen, zoals bodemsubgroepen, veensoorten etc.
 - Ordinale variabelen, zoals textuurklassen, grondwatertrappen, bodemgeschiktheids-categorieën etc.
- d. *Doelparameter(s) (target parameter(s))*: het type statistiek dat is gewenst, gegeven de doelvariabele(n) en de interessedomeinen. Bijvoorbeeld: de meest voorkomende grondwatertrap (modus), de verandering in koolstofvoorraad en de standaardfout waarmee deze verandering is geschat.
- e. *Doelgrootheid (target quantity)*: de combinatie van een *domain*, *target variable* en *target parameter*. Bijvoorbeeld: de meest voorkomende actuele grondwatertrap (modus) in een kaartenheid van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, de verandering in de koolstofvoorraad en de standaardfout waarmee deze verandering is geschat voor akkerbouwgebieden.
- f. *Type resultaat (type of result (information))*: kwantitatief of kwalitatief.
 - i. Kwantitatieve informatie wordt verkregen uit schattingen of voorspellingen.
 - ii. Kwalitatieve informatie wordt verkregen uit classificatie, toetsing of detectie.

2. Nauwkeurighedsmaat

- a. Kwantitatieve informatie: bijvoorbeeld standaardfouten of betrouwbaarheidsintervallen.
- b. Kwalitatieve informatie:
 - i. Bij classificatie kan de nauwkeurigheid worden uitgedrukt met bijvoorbeeld een percentage correct geclassificeerd (ook wel zuiverheid genoemd). Dit kan worden gedefinieerd als een totaal over alle klassen, of per klasse. Per klasse kan onderscheid worden gemaakt tussen *user's accuracy* (het percentage van de kaart dat overeenstemt met de werkelijkheid) en *producer's accuracy* (het percentage van de werkelijkheid dat als zodanig is gekarteerd).
 - ii. Bij toetsing volgens het paradigma van Neyman en Pearson (toetsen om beslissingen te nemen, Hubbard (2004)) wordt de nauwkeurigheid uitgedrukt met *error rates*: de kans op een type-I-fout of *false positive* (α) en de kans op een type-II-fout of *false negative* (β).
 - iii. Detectie van aan- of afwezigheid is een bijzonder geval van toetsing waarbij de kans op een type-I-fout gelijk aan 0 is. De nauwkeurighedsmaat is de kans op een type-II-fout.

3. Nauwkeurigheidseis:

- a. Kwantitatieve informatie: bijvoorbeeld een maximum voor de standaardfout, een maximum voor de breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval.
- b. Kwalitatieve informatie:
 - i. bij classificatie bijvoorbeeld een minimaal percentage correct geclassificeerd (percentage zuiverheid), een minimale *user's accuracy* of een minimale *producer's accuracy*.
 - ii. Bij toetsing bijvoorbeeld het onderscheidingsvermogen $1-\beta$, gegeven een kans op een type-I-fout α en een kleinste relevant geachte afwijking van de H_0 -hypothese.
 - iii. Bij detectie de kans op een type-II-fout β of het onderscheidingsvermogen $1-\beta$.

2.2 Informatiebehoefte versus informatieaanbod BRO

2.2.1 Discrepanties

Uit de vorige paragraaf kan worden afgeleid dat de volgende discrepanties zich kunnen voordoen tussen informatiebehoefte en informatieaanbod:

1. De informatie in de BRO dekt niet het gehele doelgebied en/of de gehele doelperiode.
2. Voor niet elke interessedomein afzonderlijk bevat de BRO informatie.
3. De BRO bevat geen informatie over de doelvariabele.
4. De gewenste informatie over de doelvariabele is niet samengevat in de gewenste doelparameter (bijvoorbeeld: BRO geeft gemiddelden, terwijl medianen gewenst zijn).
5. De doelgrootte is niet af te leiden uit de informatie in de BRO (gevolg van discrepantie 2, 3 en/of 4).
6. De BRO bevat niet het gewenste type resultaat (bijvoorbeeld: kwalitatieve informatie terwijl kwantitatieve informatie is gewenst, bijvoorbeeld ordinale schaal in plaats van continue schaal).
7. De informatie in de BRO voldoet niet aan de nauwkeurigheidseis.
8. De nauwkeurigheid van de informatie in de BRO is niet bekend.

2.2.2 Remedies

Voor de acht discrepanties die in paragraaf 2.2.1 zijn opgesomd zijn respectievelijk de volgende remedies denkbaar:

1. Aanvullende inventarisatie om het doelgebied te dekken. Dit is alleen in de ruimtedimensie mogelijk, niet in de tijddimensie (doelperiode), je kunt de geschiedenis niet overdoen. Wel zouden tijdreeksen kunnen worden verlengd tot de gewenste lengte door gebruik te maken van de samenhang tussen variabelen, zoals bijvoorbeeld de samenhang tussen neerslagoverschot en grondwaterstand (Knotters, 2001).
2. (Geo-)statistische neerschaling (*downscaling*) van informatie in de BRO naar interessedomeinen.
3. Aanvullende inventarisatie van de doelvariabele.
4. Statistische bewerking van de informatie in de BRO naar de gewenste doelparameter. Indien dit niet mogelijk is: aanvullende inventarisatie van de doelvariabele en statistische verwerking tot de gewenste doelparameter.
5. Combinatie van remedies 2, 3 en/of 4.
6. Als kwalitatieve informatie gewenst is terwijl de BRO kwantitatieve informatie bevat dan moet er classificatie, toetsing of detectie plaatsvinden. Als kwantitatieve informatie gewenst is terwijl de BRO alleen kwalitatieve informatie bevat dan moet een vorm van neerschaling plaatsvinden, eventueel met behulp van een aanvullende inventarisatie (bijvoorbeeld een steekproef binnen kaartenheden van de bodemkaart).
7. Aanvullende inventarisatie om informatie aan de nauwkeurigheidseis te laten voldoen.
8. Validatie om nauwkeurigheid van de informatie in de BRO vast te stellen.

Onder 'inventarisatie' wordt hier behalve het verrichten van veldwaarnemingen ook het exploreren van datasets (*data mining*) bedoeld.

2.2.3 Efficiëntie

Bij een vraag om gebiedsdekkende bodemkundige informatie uit de BRO moet worden vastgesteld in hoeverre het aanbod van de BRO voldoet aan de behoeften en eisen van de gebruiker. Als het informatieaanbod niet aan deze behoeften en eisen voldoet, dan moet de meest efficiënte remedie worden gevonden om de informatie uit de BRO aan te vullen en te verbeteren. Efficiëntie betekent:

- informatie wordt aangevuld en verbeterd tegen de laagst mogelijke kosten.
- de kosten van het aanvullen en verbeteren van informatie zijn niet hoger dan de opbrengsten in termen van toegenomen *value of information*.

2.2.4 Value of information

De opbrengst van aanvulling en verbetering van informatie definiëren we als de *value of information* (Morgan *et al.*, 1990). Als een bodemkaart voor langere tijd voor meer doeleinden wordt toegepast dan is een nauwkeurige kosten-batenberekening gecompliceerd. Uit diverse studies blijkt echter dat de kosten van deze kaarten ruimschoots opwegen tegen de baten. Klingebiel (1966) beargumenteerde dat de kosten van een bodemkaart die voor meer doeleinden wordt gebruikt zich in het eerste jaar al terugbetalen. Hij schatte de kosten-batenverhouding bij een 'levensduur' van de bodemkaart van 25 jaar op 1 : 46 voor extensief gebruikt land zoals bossen, 1 : 61 voor gematigd intensief gebruikte gebieden met gemengde landbouw die voor circa de helft uit bouwland bestaan en 1 : 123 voor intensief gebruikte gebieden die voor ongeveer een kwart zijn geurbaniseerd en waar het bebouwde oppervlak snel groeit.

Uit onderzoeksresultaten van Giasson *et al.* (2000) kan worden berekend dat voor een landbouwregio de kosten-batenverhouding van een 1 : 50.000 bodemkaart 1 : 122 is, wanneer de opbrengsten over een periode van 20 jaar plaatsvinden en een rente van 3% wordt gehanteerd. Dit komt overeen met de kosten-batenverhouding die Klingebiel (1966) berekende voor een intensief gebruikte, urbaniserende regio.

De waarde van gebiedsdekkende bodemkundige informatie is voor één gerichte toepassing eenvoudiger in monetaire waarden uit te drukken dan voor meerdere voor algemene gebruik. Voorbeelden zijn de berekeningen van gewasschade door grondwateronttrekking (Knotters en Vroon, 2015) en voorspelling van gewasopbrengsten (Bie en Ulph, 1972; Dent en Young, 1981; Giasson *et al.*, 2000). Op het gebied van de precisielandbouw wordt onderzoek gedaan naar de meerwaarde van gedetailleerde bodemkundige informatie, zie bijvoorbeeld Cook en Bramley (2000).

De studie van Knotters en Vroon (2015) is voor zover bekend de enige analyse van de *value of information* van een bodemkaart die is gebaseerd op een validatie. In deze studie werden schade-uitkeringen aan boeren in een gebied met grondwateronttrekking berekend op basis van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 en op basis van een gedetailleerde aanvullende kartering, schaal 1 : 25.000. Uit de validatie bleek dat de kosten van een gedetailleerde kartering zich ten opzichte van de baten in termen van gereduceerde fout in schade-uitkering aan boeren verhielden als 1 : 8, uitgaande van een rente van 3% en een uitkeringsperiode van 30 jaar.

3 Methoden voor aanvullende inventarisaties

3.1 Vrije of landschappelijke bodemkartering

Bij een vrije of landschappelijke bodemkartering brengt een bodemgeograaf in het veld bodemkundige patronen in kaart (Ten Cate *et al.*, 1995a,b,c). De bodemgeograaf grenst vlakken van de bodemkaart af op basis van boringen, landschappelijke kenmerken die in het veld zichtbaar zijn en hulpinformatie zoals het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en kaarten van historische topografie en landgebruik. Schattingen van textuur, gehalte aan organische stof en dergelijke worden geïkt aan de analyseresultaten van bemonsterde profielen. Grondwaterstandskarakteristieken (grondwatertrappen, gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden) worden gekarteerd aan de hand van hydromorfe profielkenmerken, landschappelijke kenmerken, gerichte opnamen van grondwaterstanden en correlaties met karakteristieken die voor peilbuislocaties uit tijdreeksen zijn berekend. De keuzes en beslissingen die een bodemgeograaf maakt om vlakken af te grenzen zijn niet te reproduceren en hangen af van het inzicht van de bodemgeograaf.

3.2 Geostatistische bodemkartering

Bij geostatistische karteringen wordt gebruik gemaakt van interpolatiealgoritmes zoals kriging (Goovaerts, 1997). Veldwaarnemingen dienen als invoer van deze algoritmes. Om de interpolatiefouten zo klein mogelijk te maken zal bij het verzamelen van waarnemingen een zo goed mogelijke spreiding in de geografische ruimte worden nagestreefd.

Wanneer de interpolatiealgoritmes zijn beschreven dan kan het resultaat van een geostatistische bodemkartering worden gereproduceerd. Een belangrijk onderdeel van geostatistische interpolatie is het vaststellen van een model dat de ruimtelijke samenhang beschrijft, zoals een semivariogram. De keuzes die gemaakt worden om een semivariogram vast te stellen, zullen van expert tot expert verschillen (Englund, 1990). Dit maakt geostatistische bodemkartering niet geheel objectief.

3.3 Digitale bodemkartering

Bij digitale bodemkartering ofwel digital soil mapping (McBratney *et al.*, 2003; Kempen, 2011) wordt kennis van bodemvorming gecombineerd met onder meer geostatistische technieken en technieken uit de *machine learning*, zoals Random Forest (Breiman, 2001; Hastie *et al.*, 2009), om met behulp van bronnen van gebiedsdekkende hulpinformatie bodemkaarten te maken. Voorbeelden van dergelijke bronnen van hulpinformatie zijn onder meer het AHN, eerdere bodemkaarten en de Landelijke Grondgebruikskaart van Nederland (LGN).

3.4 Upgrading van bodemkaarten

Brus *et al.* (1992) introduceerden de term '*upgrading*' om de inhoud van kaartenheden van bodemkaarten te actualiseren zonder daarbij de grenzen van die kaartenheden aan te passen. Bij *upgrading* wordt de actuele inhoud van een kaartenheid bijvoorbeeld beschreven aan de hand van de resultaten van een kanssteekproef die binnen die kaartenheid is uitgevoerd. Een recent voorbeeld is de actualisatie van de grondwatertrappenkaart van laag Nederland (Hoogland *et al.*, 2014). Hierbij werden 59 deelgebieden (strata) onderscheiden, op basis van grondwatertrap op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, bodemtype en regio. Voor elk van deze 59 deelgebieden werd de actuele verdeling van grondwatertrappen en gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden vastgesteld met behulp van kanssteekproeven.

3.5 Waarnemingen van (hulp)variabelen

3.5.1 Sensoren

Met technieken voor *proximal soil sensing* kunnen in korte tijd veel metingen worden verricht aan de bodem, zonder dat er gaten hoeven te worden geboord. De metingen zijn proxies (bijvoorbeeld hoeveelheid reflectie in een bepaald deel van het elektromagnetisch spectrum) en worden met behulp van profielbeschrijvingen of bodemmonsters omgerekend naar de doelvariabele (bijvoorbeeld organische-stof-, kleigehalte of profielopbouw). Knotters *et al.* (2017) geven een overzicht van sensortechnieken om bodemfysische variabelen ruimtelijk te inventariseren door boven het maaiveld te meten. Van Evert *et al.* (2018) geven een overzicht van sensortechnieken voor ruimtelijke inventarisatie van bodemvariabelen ten behoeve van precisielandbouw. Sensortechnieken waarmee bodemvariabelen ruimtelijk kunnen worden geïnventariseerd zijn:

- meting van elektrisch geleidingsvermogen met behulp van elektrische weerstand of elektromagnetische inductie (EMI);
- VIS/NIR spectroscopie;
- gamma-ray spectrometrie;
- grondradar;
- magnetometrie;
- pH-sensoren (en andere Ion Specific Field Effect Transistors, ISFETs);
- bodemvochtsensoren.

Welke techniek het meest geschikt is hangt onder meer af van de doelvariabele en de gebiedseigenschappen. Knotters *et al.* (2017) en Van Evert *et al.* (2018) geven op basis van de beschikbare literatuur een overzicht van de nauwkeurigheden waarmee met *proximal-soil-sensing*-technieken bodemvariabelen kunnen worden voorspeld. Van Evert *et al.* (2018) geven ook aan welke technieken in welke omstandigheden geschikt of ongeschikt zijn en waar op te letten bij de keuze voor een techniek of specifieke sensor en bijbehorend platform voor een specifieke (informatie)vraag.

3.5.2 Satellieten

Diverse soorten satellietbeelden kunnen gebruikt worden voor het maken van bodemkaarten. Dan kan het of gaan om het gebruik van optische, radar en thermische beelden als hulpvariabele in digitale bodemkartering of de informatie in verschillende spectrale banden kan gebruikt worden als *proxy*, vergelijkbaar met VIS/NIR spectroscopie in *proximal soil sensing*. Verschillende satellieten hebben verschillende karakteristieken in ruimtelijke resolutie (pixelgrootte) en spectrale resolutie (reflectiebanden). Satellieten die worden gebruikt voor het maken van bodemkaarten zijn onder andere Landsat 5, 7, of 8 (30 m resolutie (100 m thermisch)), Sentinel 2 met 10, 20 of 60 m resolutie afhankelijk van de band, ASTER met 15 m resolutie en MODIS met 250-500 m resolutie, RapidEye met 5 m resolutie (Mulder *et al.*, 2011, Forkuor *et al.*, 2017). De meeste satellieten zijn multi-spectraal, wat aangeeft dat ze verschillende banden hebben (typisch 4 tot 16) in het zichtbare (VIS) en infrarode (NIR, SWIR, TIR) deel van het spectrum. De banden in het VIS-, NIR-, SWIR-deel van het spectrum kunnen verschillen in mineralogische en organische bodemeigenschappen detecteren (Mulder *et al.*, 2011). Thermische banden (TIR) zijn geschikt voor het meten van verschillen in bodemvocht (door temperatuurverschillen van natte en droge bodem).

Naast multi-spectrale satellieten zullen in de toekomst steeds meer hyperspectrale satellieten beschikbaar komen (ENMAP, HISUI, PRISMA). Hiervan wordt verwacht dat zij beter in staat zijn bodemvariabelen (zoals klei, organische stof, zandgehalte) te meten (Castaldi *et al.*, 2014, Yu *et al.*, 2018) al zal de herhalingsfrequentie en de globale dekking een stuk minder zijn. Satellieten met radarbanden (zoals de C-, L-banden) worden, naast voor o.a. biomassa, ook gebruikt om bodemvocht te meten (Sentinel 1, SRTM, Radarsat, SMOS).

Een uitdaging voor het gebruik van satellietdata voor bodeminventarisatie in een gematigd klimaat als Nederland is de aanwezigheid van vegetatie of bewolking op de beelden. Daarom worden steeds meer tools ontwikkeld voor het maken van composite images waarbij van een grote hoeveelheid beelden de kale bodempixels worden geselecteerd waarna met bijvoorbeeld *spectral-unmixing*-technieken de bijdrage van gewasresten/droge vegetatie wordt verwijderd. Dit vergroot de mogelijkheden voor toepassing (Rogge *et al.*, 2018; Gallo *et al.*, 2018).

4 Uitwerking voor case 'Veenactualisatie Utrecht'

In hoofdstuk 2 is een schema gepresenteerd om de discrepanties tussen informatiebehoefte en informatieaanbod in de BRO vast te stellen. In dit hoofdstuk wordt dit schema uitgewerkt voor een concrete case: de actualisatie van de informatie over de verspreiding van veen- en moerige gronden in de provincie Utrecht.

4.1 Informatiebehoefte

1a. Doeluniversum

Voor de provincie Utrecht is behoefte aan actuele informatie over de ruimtelijke verspreiding van veen- en moerige gronden, onder andere om beleid op het gebied van CO₂-emissie en maaiveldddaling te ondersteunen. Verondersteld mag worden dat sinds de opname van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, voor de kaartbladen van Utrecht het areaal veen- en moerige gronden niet is toegenomen maar is afgenomen. Het *target universe* is dus in de ruimte de oppervlakte veen- en moerige gronden volgens de huidige Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 in de provincie Utrecht. Het *target universe* in de tijd is 2018.

1b. Domain(s) of interest

Binnen de provincie Utrecht liggen twee grote gebieden met veen- en moerige gronden: het veenweidegebied ten westen van de Utrechtse Heuvelrug en het Eemland ten oosten daarvan. Verder kunnen verspreid over het gebied van Gelderse Vallei en Utrechtse Heuvelrug kleine arealen met veen- en moerige gronden voorkomen, alsook in het rivierengebied van Kromme Rijn en Vijfheerenlanden. Vooralsnog is er geen reden om deze gebieden afzonderlijk als *domains of interest* te beschouwen.

1c. Target variable(s)

Doelvariabelen zijn:

1. Bodemsubgroep volgens het Systeem van Bodemclassificatie.
2. Alle verdere informatie die op een boorstaat wordt ingevuld (horizontcodering, textuur, organische-stofgehalte, kalkklasse, geologische code, etc.).

1d. Target parameter(s)

Doelparameter is het bodemtype volgens de legenda van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000, dus een classificatie op basis van de doelvariabelen.

1e. Target quantity

Bodemtype volgens de legenda van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000, voor het areaal veen- en moerige gronden in de provincie Utrecht volgens de vigerende Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000, voor het jaar 2018.

1f. Type of result

Kwalitatief, namelijk bodemtypen volgens een classificatie.

2. Nauwkeurighedsmaat

Het percentage correct geclassificeerd (kaartzuiverheid).

3. Nauwkeurigheidseis

Er zijn geen resultaten van een kosten-batenanalyse waaruit een nauwkeurigheidseis voor een actuele kaart van veen- en moerige gronden in de provincie Utrecht kan worden afgeleid. De volgende risico's zijn verbonden aan onnauwkeurige en verouderde informatie over het voorkomen van veen- en moerige gronden (gebaseerd op WOt-interne notitie 121, Knotters *et al.*, 2015b).

1. Juridische risico's:

- a. Veranderingen in de koolstofvoorraad die daadwerkelijk zijn opgetreden worden niet aangetoond en dus niet vermeld in de verplichte rapportages voor het Kyoto-protocol. Hierdoor kan Nederland extra maatregelen opgelegd krijgen die niet nodig waren geweest, of maatregelen die nodig waren geweest worden niet tijdig opgelegd waardoor in de toekomst verdergaande maatregelen nodig zijn.
- b. Aanvraag voor een uitzondering (derogatie) op de gebruiksnormen van de Nitraatrichtlijn wordt niet gehonoreerd omdat de bodemkaart niet nauwkeurig genoeg wordt geacht.
- c. Als Nederland maatregelen voor de Kaderrichtlijn Water baseert op onnauwkeurige bodemkaarten neemt het risico toe dat Nederland niet aan de waterkwaliteitsnormen voldoet en zijn boetes het gevolg.
- d. Met onnauwkeurige bodemkaarten kan niet goed worden voldaan aan de eisen die de Europese Verordening Nr. 1107/2009 stelt voor het op de markt brengen van gewasbeschermingsmiddelen. De beoordeling door het Ctgb is immers mede gebaseerd op de (uitspoelings-)modellen PEARL en GeoPEARL, die gebruik maken van gegevens die rechtstreeks worden afgeleid van de Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000.
- e. Als de actualiteit van de bodemkaart van Nederland achterblijft bij die van andere Europese landen kan dat tot problemen leiden bij het voldoen aan de INSPIRE-richtlijn. Een boete kan het gevolg zijn.
- f. Onnauwkeurigheid in de bodemkaart werkt door in de aanwijzing van beschermingszones die worden aangewezen om te voldoen aan de verplichtingen voor de Habitatrichtlijn: het risico bestaat dat instandhouding wordt nagestreefd op locaties waar dit volgens nauwkeurige informatie niet mogelijk is. Dit leidt tot het juridische risico dat Europa boetes oplegt omdat niet aan instandhoudingsverplichtingen wordt voldaan.
- g. De agrarische ruilwaarde van gronden kan veranderen doordat bijvoorbeeld veen verdwijnt of doordat bodems worden vergraven. Bij transacties van gronden, zoals voor de Wet inrichting landelijk gebied (Wilg) kan de waarde daarom niet worden afgeleid van een verouderde bodemkaart en zijn actuele kaarten nodig.
- h. Verouderde bodemkaarten zijn niet geschikt om als basis te dienen voor de berekening van schade-uitkeringen voor de Waterwet aan bijvoorbeeld agrariërs in waterwingebieden die schade ondervinden als gevolg van verlaagde grondwaterstanden. Verdwijnen van veen en vergraving van profielen leidt immers tot andere bodemfysische eigenschappen en andere relaties tussen bodem, grondwaterstand en gewasopbrengst. Toepassing van verouderde bodemkaarten voor dit doel kan leiden tot bezwaren en juridische procedures.

2. Politiek-bestuurlijke risico's: het vertrouwen in beleid en regelgeving dat is gebaseerd op verouderde bodemkaarten neemt af. Dit zal vooral het geval zijn bij het nutriëntenbeleid, omdat het vóórkomen van veen onderscheidend is bij de aanwijzing van uitspoelingsgevoelige gronden en de informatie hierover op de bodemkaart snel blijkt te verouderen (Kwakernaak *et al.*, 2010; Knotters *et al.*, 2015a).

3. Maatschappelijke risico's:

- a. als bodemkaarten verouderd zijn ontstaan op het gebied van voedselvoorziening maatschappelijke risico's, omdat land- en tuinbouw dan niet optimaal afgestemd kunnen zijn op de bodemgesteldheid waardoor minder voedsel wordt geproduceerd dan in potentie mogelijk is en de kans op misoogsten toeneemt.
- b. Bij het in kaart brengen van de chemische kwaliteit van de bodem zijn bodemkaarten een belangrijk hulpmiddel. Als er geen actuele bodemkaarten zijn dan is er geen betrouwbaar ruimtelijk beeld van de chemische bodemkwaliteit, waardoor beleid om milieu- en gezondheidsrisico's te beperken niet goed kan worden onderbouwd. Dit kan leiden tot voortbestaan of toenemen van milieu- en gezondheidsrisico's in de samenleving, onder meer voor voedselkwaliteit.

4. Economische risico's: de studie van Knotters en Vroon (2015) is tot nu toe de enige studie waarbij de economische waarde van verbetering van de nauwkeurigheid van een bodemkaart objectief en onafhankelijk is gevalideerd met behulp van een additionele kanssteekproef. Zij concludeerden voor hun case dat de baten groter zijn dan de kosten en verbetering van de

nauwkeurigheid dus economische waarde heeft (kosten-batenverhouding 1:8). De case is gebaseerd op gewasopbrengsten. Ook op ander gebied, zoals natuurbeheer, infrastructuur en woningbouw, kunnen economische risico's optreden in termen van kosten die vermijdbaar waren geweest.

5. Risico's voor het kennisstelsel: verouderde bodemkaarten zijn niet goed bruikbaar in het onderwijs omdat deze niet het gewenste inzicht in de ruimtelijke verspreiding van bodemtypen en -eigenschappen geven. Ook de bijdrage aan het vakgebied van bodemkunde maar ook bijvoorbeeld fysische geografie, productie-ecologie, historische geografie, archeologie, geologie, landschapsecologie, vegetatiekunde, planologie en hydrologie zal geringer zijn. Bodemkundige informatie wordt voor een grote hoeveelheid systemen en modellen als invoer gebruikt. Deze modellen worden gebruikt voor toekomstverkenningen en het voorspellen van effecten van maatregelen op hydrologie, voedselproductie, natuurwaarden, emissies naar het milieu et cetera. Als de invoer voor de modellen niet deugt, deugt de uitvoer ook niet.

De bovenstaande risico's zijn op dit moment nog niet vertaald in een kwaliteitseis voor de bodemkaart. Daarom gaan wij voorlopig uit van een percentage correct geclassificeerd (kaartzuiverheid) van ten minste 70% *per kenmerk*. Een kaartzuiverheid van 70% wordt sinds lang nagestreefd bij de bodemkartering in Nederland (Buringh *et al.*, 1962; Bie en Ulph, 1972). Uit een studie van Marsman en De Gruijter (1986) blijkt dat dit percentage eerder betrekking zal hebben op zuiverheid van afzonderlijke bodemeigenschappen dan op correcte classificatie van elke bodemeigenschap, ook wel strikte kaartzuiverheid genoemd. De kaartzuiverheid van 70% is doorgaans een veronderstelde kaartzuiverheid: een kenmerk wordt verondersteld 70% zuiver te zijn gekarteerd, tenzij uit validatie het tegendeel blijkt.

4.2 Informatiebehoefte versus informatieaanbod BRO

4.2.1 Discrepanties

Het *target universe* in de tijd, 2018, wordt niet gedekt door de beschikbare informatie. De betreffende kaartbladen van de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, zijn verouderd:

1. 25 Oost, opname 1960-1963.
2. 26 West, opname 1959-1960.
3. 31 West, opname 1959-1964.
4. 31 Oost, opname 1963-1966.
5. 32 West, opname 1959-1960.
6. 32 Oost, herziening ca. 1995.
7. 38 West, opname ca. 1980.
8. 38 Oost, opname 1975-1976.
9. 39 West, opname 1960-1964.
10. 39 Oost, opname 1960-1964.

Daarnaast zijn er de volgende detailkarteringen van de bodem, gekarteerd met het systeem van bodemclassificatie van Nederland:

1. Grondwaterbeschermingsgebied Groenekan, 1:10.000, jaar van opname 1990.
2. Grondwaterbeschermingsgebieden Beerschoten en Zeist, 1: 10.000, jaar van opname 1990.
3. Grondwaterbeschermingsgebieden Leersum en Lage Vuursche, 1:10.000, jaar van opname 1990.
4. Gemeente Baarn, 1:10.000, opname 1985-1986, Stiboka rapportnr. 1888
5. Groenraven-Oost, 1:10.000, opname 1992, DLO-Staring Centrum rapportnr. 249
6. Boswachterij Leersum, 1:25.000, opname 1965-1966, Stiboka rapportnr. onbekend.
7. Boswachterij Leersum, 1:10.000, opname ca. 1987, Stiboka rapportnr. 1973
8. Uitbreiding militair oefenterrein Leusderheide, 1:25.000, opname ca. 1990, DLO-Staring Centrum rapportnr. 136
9. Waterwingebied Nieuw-Loosdrecht, 1:10.000, opname 1986, Stiboka rapportnr. 1952
10. Waterwingebied Maartensdijk, 1:10.000, opname 1985-1986, Stiboka rapportnr. 1934
11. Herinrichting Noorderpark, 1:10.000, opname 1985, Stiboka rapportnr. 1887

-
12. Ruilverkaveling Lopikerwaard, 1:10.000, opname 1968-1970, Stiboka rapportnr. 922
 13. Ruilverkaveling Schalkwijk, 1:25.000, opname 1978, Stiboka rapportnr. 1390
 14. Ruilverkaveling Eemland, 1:25.000, opname 1977, Stiboka rapportnr. onbekend.

Detailkarteringen van kleine, inmiddels verstedelijkte oppervlakten en studiekarteringen waarbij het huidige systeem van bodemkartering niet is gehanteerd zijn in het bovenstaande overzicht buiten beschouwing gelaten.

Naast de bovenstaande bodemkarteringen zijn de volgende karteringen van belang:

1. Bodemkaart Veengebieden provincie Utrecht (BvU), schaal 1 : 25.000 (Stouthamer *et al.*, 2008);
2. Geomorfogenetische kaart van Zuid-Utrecht, 1 : 25.000 (zie Berendsen, 1982).

Kempen *et al.* (2011) valideerden de Bodemkaart Veengebieden provincie Utrecht, schaal 1 : 25.000, om de bruikbaarheid ervan vast te stellen voor de actualisatie van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000. Hieruit blijkt dat de nagestreefde 70% kaartzuiverheid niet wordt bereikt voor het kenmerk 'bodems subgroup', 'groep' of 'hoofdgroep'. Dit geldt zowel voor de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, als voor de Bodemkaart Veengebieden provincie Utrecht (Stouthamer *et al.*, 2008).

Samengevat: er is geen bodemkaart, schaal 1 : 50.000, die de verspreiding van veen- en moerige gronden in de provincie Utrecht in 2018 weergeeft met een percentage correct geclassificeerd van ten minste 70% per gekarteerde bodemeigenschap.

4.2.2 Remedies

Kempen *et al.* (2011) bevelen aan om delen van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, (BvN) te actualiseren door de Bodemkaart Veengebieden provincie Utrecht, schaal 1 : 25.000, (BvU) 'in te pluggen', omdat voor deze delen de BvU nauwkeuriger is dan de BvN. Een kaartzuiverheid van 70% voor bodemtype op hoofdgroep-, groep- en subgroupniveau wordt dan echter nog steeds niet gehaald. De BvU kan dus alleen als hulpinformatie worden gebruikt en niet zonder meer worden 'ingeplugd'. Een aanvullende inventarisatie is daarom nodig om aan de nagestreefde kaartzuiverheid voor het kenmerk bodemtype op hoofdgroep-, groep- en subgroupniveau te voldoen. De volgende aanpakken zijn hierbij mogelijk.

1. Vrije of landschappelijke bodemkartering door bodemgeografen, in het gebied dat bestaat uit de veen- en moerige gronden op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000. Eén beschreven boring per 25 hectare (komt overeen met 1 cm² kaartblad). BvN, BvU, AHN, Geomorfogenetische kaart en detailkarteringen die jonger zijn dan BvN worden als hulpinformatie gebruikt door de veldbodemkundigen. Eventueel kunnen in gebieden met ondiep pleistoceen materiaal EMI-metingen (elektromagnetische inductie, Vitharana *et al.*, 2008; Saey *et al.*, 2009) of grondradarwaarnemingen worden verricht om voorinformatie te verzamelen over de diepte van het Pleistoceen. Dit zijn proximal soil sensing-technieken. Vervolgens moet met een aanvullende validatiesteekproef worden vastgesteld of aan de kwaliteitseis van 70% correct geclassificeerd (kaartzuiverheid) wordt voldaan.
2. Beperkte bodemkartering door veldbodemkundigen, in het gebied dat bestaat uit de veen- en moerige gronden op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000:
 - a. De BvU wordt 'ingeplugd': het gedeelte van de BvN dat afwijkt van de BvU wordt vervangen door de BvU.
 - b. Gerichte kartering van de bovengronden om de actuele verbreiding van koop-, weide-, waard- en eventueel aarveengronden vast te stellen.
 - c. Gerichte kartering van gebieden met ondiep pleistoceen materiaal om de reductie van veen- en moerige gronden vast te stellen. Hierbij kunnen eventueel EMI-metingen (Vitharana *et al.*, 2008; Saey *et al.*, 2009) of grondradarwaarnemingen worden verricht.
 - d. Met een aanvullende validatiesteekproef bepalen of aan de kwaliteitseis van 70% correct geclassificeerd (kaartzuiverheid) wordt voldaan.

-
3. Random-Forestmodellering van legenda-eenheden op basis van de 9000 boringen van de BvU (als die tenminste digitaal beschikbaar zijn), aangevuld met de 240 boringen uit Kempen *et al.* (2011), het AHN, de geomorfogenetische kaart, de BvN en eventuele andere gebiedsdekkende hulp-informatie (LGN, satellietbeelden en afgeleide gegevens zoals NDVI (groenmonitor etc.)). Op basis van de out-of-bagdata kunnen percentages correct geclassificeerd worden geschat. Eventueel is een aanvullende validatiesteekproef nodig. Opmerking: het resultaat van deze procedure geeft de situatie weer van 2008, niet van 2018.

4.2.3 Efficiëntie

Efficiëntie betekent in dit geval om met zo min mogelijk kosten te voldoen aan de kwaliteitseis van ten minste 70% correct geclassificeerd per bodemkenmerk. Bij aanpak 1 en 2 uit de vorige paragraaf is na een aanvullende validatiestudie vast te stellen of aan de kwaliteitseis wordt voldaan. De kosten van de validatiestudie moeten meegerekend worden. Bij aanpak 3 kan uit de out-of-bag-gegevens worden beoordeeld of aan de kwaliteitseis wordt voldaan. Omdat aanpak 3 geen veldwerk kent zal deze waarschijnlijk de laagste kosten hebben. Het levert echter een kaart op die de situatie van 2008 weergeeft en niet van 2018.

4.2.4 Value of information

Zolang de nauwkeurigheidseis niet is onderbouwd met een economische kosten-batenanalyse is weinig te zeggen over de *value of information*. Kosten van aanvullende dataverzameling kunnen immers niet worden afgewogen tegen toegenomen *value of information*.

De volgende gevolgen van het ontbreken van actuele informatie over de verspreiding van veen- en moerige gronden in de provincie Utrecht zouden in geld kunnen worden uitgedrukt:

1. Europese boetes door het niet-voldoen aan normen en verplichtingen op het gebied van nitraat, gewasbeschermingsmiddelen en vastlegging koolstof, zie paragraaf 4.1.
2. Verkeerde investeringen in de waterhuishouding.
3. Opbrengstdepressies in de landbouw door verkeerde investeringen in de waterhuishouding of door het uitblijven van investeringen.

Daarnaast zijn er gevolgen die niet of moeilijk in monetaire waarden zijn uit te drukken:

1. Derogatie wordt niet verlengd omdat het areaal uitspoelingsgevoelige gronden wordt onderschat.
2. Kennis over het veenweidegebied raakt verouderd, geen goed inzicht in historische ontwikkeling van dit gebied, wat nadelig is bij planvorming.
3. Effect op voedselvoorziening omdat watervoorziening voor landbouw niet op actuele bodemkundige toestand is afgestemd.
4. Effect op kwaliteit van natuur en landschap omdat beleid niet op actuele informatie is gebaseerd.

Zoals beschreven in paragraaf 2.2.4 blijkt uit verschillende studies dat de kosten van bodemkartering ruimschoots in verhouding tot de baten staan, zowel bij bodemkaarten die voor verschillende doeleinden worden gebruikt als bij aanvullende karteringen voor specifieke doeleinden. Als de kosten van karteringen kunnen worden verlaagd door de inzet van sensortechnieken of satellieten zullen de kosten-batenverhoudingen alleen maar gunstiger worden.

4.3 Aanpak voor veenactualisatie Utrecht

Zoals in paragraaf 4.2.1 is beschreven, is een aanvullende kartering nodig om de bodemkaart, schaal 1 : 50.000, van de provincie Utrecht te actualiseren wat betreft het voorkomen van veen- en moerige gronden. Om vast te stellen hoe kostenefficiënt kan worden voldaan aan de kwaliteitseis van 70 % correct geclassificeerd per bodemeigenschap zal eerst een pilot worden uitgevoerd. De opzet hiervan wordt hierna beschreven.

Pilot EMI en kaartzuiverheid

In een pilot in het Eemland wordt onderzocht of elektrisch geleidingsvermogen in de vorm van elektromagnetische inductie of grondradar bruikbare hulpinformatie geeft bij de afgrenzing van de overgangen tussen minerale gronden, moerige gronden en veengronden. Op basis van de werkingsprincipes van deze instrumenten (weergave van di-elektrische constante in het bodemprofiel) wordt verwacht dat zij informatie over textuurovergangen in de bodem kunnen geven.

1. Selectie van een pilotgebied

Een gebied met een overgang van zandgebied naar veengebied, in het Eemland. In dit gebied wordt EMI en grondradar gebruikt.

2. Selectie van een EMI-instrument

Op basis van boringen wordt een vereiste meetdiepte vastgesteld. Het instrument moet deze meetdiepte kunnen bestrijken en moet met weinig bodembelasting kunnen worden uitgevoerd. Vervolgens wordt gekozen voor een state-of-the-art techniek, bijvoorbeeld EM38DD, CMD of Dualem, mede afhankelijk van het aanbod in Nederland.

3. Opzet interpolatiemetnet

In het pilotgebied wordt gemeten met de geselecteerde instrumenten, bijvoorbeeld in raaien met een onderlinge afstand van 50 m, met metingen in de raai om de 10 m. De raaien zullen zo veel mogelijk de overgang mineraal-moerig-venig volgen.

4. Kartering

Van het pilotgebied worden ten minste vier kaarten gemaakt:

- een kaart met Digital Soil Mapping en aanvullende boringen, zonder EMI- en grondradarmetingen als aanvullende informatie (de voorgenomen aanpak voor veenactualisatie);
- een kaart met Digital Soil Mapping en aanvullende boringen, maar nu met EMI-metingen als aanvullende informatie, waarbij de locaties van de aanvullende boringen zijn geselecteerd op basis van de patronen in de EMI-metingen;
- een kaart met Digital Soil Mapping en aanvullende boringen, maar nu met grondradarmetingen als aanvullende informatie, waarbij de locaties van de aanvullende boringen zijn geselecteerd op basis van de patronen in de grondradar-metingen;
- een kaart met Digital Soil Mapping, aanvullende boringen en EMI- en/of grondradarmetingen, waarbij het net van aanvullende boringen zodanig is uitgedund dat de kostenbesparing hiervan gelijk is aan de kosten van de proximal-soil-sensingmetingen.

Deze vier kaarten kunnen eventueel nog worden aangevuld met kaarten uit verschillende verhoudingen tussen aantal boringen en aantal EMI-metingen.

5. Opzet validatiemetnet

In het pilotgebied wordt een validatiesteekproef uitgevoerd: gestratificeerd naar minerale, moerige en veengrond, met als doel het percentage correct geclassificeerd vast te stellen. Het aantal validatiepunten bedraagt 30, namelijk twee in elk van de 15 geostrata.

6. Beoordeling kaartzuiverheid en bruikbaarheid EMI

De verschillende kaarten worden met elkaar vergeleken op basis van de kosten en de volgende kwaliteitscriteria: percentage correct geclassificeerd (kaartzuiverheid) per gekarteerde bodemeigenschap, *median error*, *median absolute error* van gekarteerde veendikte. Als een kaartzuiverheid van ten minste 70% per bodemeigenschap niet wordt behaald, dan worden stap 4 en 6 herhaald met grotere dichtheden van boringen en metingen.

Aanpak aanvullende kartering

Uit de resultaten van de pilot volgt een dichtheid van boringen en eventueel een dichtheid van aanvullende EMI-metingen, waarmee kostenefficiënt een kartering kan worden uitgevoerd die een kaart op kan leveren met een zuiverheid van ten minste 70% per bodemeigenschap. Met deze waarnemingsdichtheden wordt vervolgens de veenactualisatie in de provincie Utrecht uitgevoerd.

5 Uitwerking voor case 'Perceel in Peel'

5.1 Inleiding

Als een boer schade ondervindt doordat zijn land natter of droger is geworden als gevolg van een ingreep in de waterhuishouding, dan heeft hij recht op schadevergoeding en/of compenserende maatregelen. De hoogte van deze vergoeding wordt berekend met tabellen die opbrengstdervingspercentages geven voor een groot aantal combinaties van bodemtype, gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand (de HELP-tabellen of de meer gedetailleerde TCGB-tabellen, maar vooral de recent gepubliceerde waterwijzerlandbouw.wur.nl).

Informatie over bodemtype en gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand vooraf en achteraf is dus nodig om de hoogte van de schadevergoeding en kosten van compensatiemaatregelen te kunnen berekenen. Voor elke gebieds- of inrichtingsvraag is bij de beoordeling de vraag hoeveel geïnvesteerd moet worden in vergroting van de nauwkeurigheid van de informatie. De kosten van het onderzoek moeten immers in balans zijn met de reductie van de fout in de schadevergoeding of het beperken van het risico op een verkeerd ingeschatte maatregel of schadevergoeding.

Voor een perceel in de Peel is onderzoek verricht om de doeltreffendheid van een genomen maatregel (drainage) te verifiëren die de natschade teniet zou moeten doen die zou zijn ontstaan door verandering van de hydrologische inrichting van een aangrenzend hoogveengebied. Hierbij is gebruik gemaakt van boringen en vervolgens grondradar om de nauwkeurigheid in het bepalen van de juiste werking van de maatregel en dus van de schadeberekening te vergroten. De resultaten zijn van invloed op het al dan niet aanpassen van de compenserende inrichtingsmaatregel en/of de schadevergoeding voor de landgebruiker.

De vraag die moet worden beantwoord is of de kosten van het aanvullende onderzoek met grondradar hebben opgewogen tegen de opbrengsten in termen van een nauwkeuriger schadeberekening en nauwkeuriger inschatting van de effecten van compenserende maatregelen.

5.2 Informatiebehoefte

1a. Target universe

Het doelgebied is een perceel in de Peel, grenzend aan een natuurgebied waar het grondwaterpeil is verhoogd. Er zijn twee doelperiodes: de periode voordat de ingreep plaatsvond en de periode nadat de ingreep plaatsvond en op het perceel compenserende maatregelen werden getroffen.

1b. Domain(s) of interest

De periodes vóór en na de ingreep zijn interessedomijnen. Voor beide periodes zullen percentages opbrengstdepressies worden berekend en deze zullen met elkaar worden vergeleken.

1c. Target variable(s)

Bodemvariabelen die onderscheidend zijn voor bodemsubgroepen; bodemsubgroepen; grondwaterstanden; gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden; grondwatertrappen.

1d. Target parameter(s)

Opbrengstdepressiepercentages.

1e. Target quantity

Schade in euro's per hectare per jaar voor het perceel vóór en na de ingreep.

1f. Type of result

Kwantitatief.

2. Nauwkeurighedsmaat

Standaardfout.

3. Nauwkeurigheidseis

Er is geen nauwkeurigheidseis bekend waaraan een schadeberekening moet voldoen, maar deze is wel te stellen op basis van een economische risicoanalyse.

5.3 Informatiebehoefte versus informatieaanbod

5.3.1 Discrepanties

De BRO bevat geen bodemkundige en grondwaterstands informatie die toepasbaar is voor nauwkeurige berekening van schade op perceelsniveau. Bovendien bevat de BRO geen actuele informatie voor de periode na de ingreep. Hoewel er geen nauwkeurigheidseis is kan worden gesteld dat enerzijds de nauwkeurigheid hoog moet zijn en dat anderzijds de kosten van het onderzoek in balans moeten zijn met de hoogte van de schade-uitkering.

5.3.2 Remedies

In deze *case* is al een aanvullende kartering uitgevoerd, eerst alleen met boringen, daarna is ook gebruik gemaakt van grondradar.

5.3.3 Efficiëntie

Wegen de kosten van het plaatsen van boringen en vervolgens het gebruik van grondradar op tegen de opbrengsten in termen van gereduceerde fout (toegenomen nauwkeurigheid) in beoordeling van de werking van de compensatiemaatregel en de berekende benodigde aanvullende schade-uitkering/ maatregelen?

Deze vraag kan worden beantwoord als de volgende informatie beschikbaar is:

1. Bodemkaart (opbouw, type) en kaart met GLG's en GHG's (of Gt's) vóór de ingreep.
2. Bodemkaart en kaart met GLG's en GHG's (of Gt's) na de ingreep, gemaakt met de conventionele karteermethode (boringen).
3. Bodemkaart en kaart met GLG's en GHG's (of Gt's) na de ingreep, gemaakt met grondradar.
4. Risico-inschatting en overwegingen om over te gaan tot nader onderzoek en waarom wanneer werd besloten dat niet of wel voldoende informatie beschikbaar is.
5. De kosten van de inventarisatie met boringen door veldwerker en veldbodemkundige.
6. De kosten van de inventarisatie met grondradar, en eventuele organisatiekosten die hiervoor zijn gemaakt.
7. De gehanteerde tabel die de vertaling geeft van bodem- en grondwaterstands informatie naar opbrengstdepressies.
8. De gehanteerde monetaire waarde van een percentage opbrengstdepressie.
9. Periode waarvoor de schade wordt berekend (bijvoorbeeld 30 jaar) en de interne rentevoet die is gehanteerd.

Opmerkingen

1. 'Bodemkaart en kaart met GLG's en GLG's (of Gt's)' mag in deze *case* met andere informatie over bodem en grondwaterstand worden ingevuld, zolang er maar een tabel is die deze informatie vertaalt in percentages opbrengstdepressie.
2. Bij 7, 8 en 9 mag ook worden gelezen: de tabel, monetaire waarde en periode en interne rentevoet die op dit moment gelden. Het gaat immers niet om deze *case* zelf, maar om de waarde die het gebruik van grondradar eventueel kan toevoegen bij vergelijkbare cases in de toekomst.

De bovengenoemde informatie is beschikbaar en opvraagbaar, dus in deze *case* zijn de kosten van aanvullende dataverzameling af te wegen tegen de opbrengsten in termen van verminderde financiële risico's. Dit zal in 2019 worden gerapporteerd.

6 Conclusies en aanbevelingen

Deze studie had tot doel om de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Hoe stel je vast of gebiedsdekkende bodemkundige informatie in de BRO voldoet aan de eisen die de gebruiker stelt voor nauwkeurigheid en ruimtelijk detail?
2. Hoe selecteer je de meest efficiënte aanvullende karteermethode om gebiedsdekkende bodemkundige informatie in de BRO aan de eisen te laten voldoen die de gebruiker stelt voor nauwkeurigheid en ruimtelijk detail?

Om de eerste vraag te beantwoorden, zijn informatiebehoefte, informatievraag en discrepanties daartussen systematisch geanalyseerd aan de hand van het schema dat De Gruijter *et al.* (2006) presenteren voor de planning van dataverzameling bij surveys en monitoring. Het schema werd toegepast in twee cases, te weten de veenactualisatie in de provincie Utrecht en een schadeberekening voor een perceel in de Peel.

De volgende conclusies kunnen uit deze studie worden getrokken:

1. Het schema uit De Gruijter *et al.* (2006) brengt gedetailleerd en volledig aan het licht waar het informatieaanbod van de BRO niet aansluit op de informatiebehoefte.
2. Uit de case van de veenactualisatie voor de provincie Utrecht blijkt dat er geen expliciete nauwkeurigheidseis is, die is gebaseerd op een risicoanalyse. De *value of information* in termen toegenomen nauwkeurigheid en daarmee reductie van risico's kan daarom niet worden berekend.
3. Uit de case van de schadeberekening voor een perceel in de Peel blijkt dat voor toepassingen met een enkelvoudige toepassing het mogelijk is een nauwkeurigheidseis te stellen en de kosten van dataverzameling af te wegen tegen de opbrengsten in termen van verminderde financiële risico's, zie ook Knotters en Vroon (2015).

Uit deze studie volgen de volgende aanbevelingen:

1. Als er geen expliciete nauwkeurigheidseis is, zoals bij bodemkaarten die voor uiteenlopende, nog onbekende, doeleinden worden gebruikt, is het aan te bevelen een kwaliteitscriterium na te streven zoals de historisch gegroeide 70% kaartzuiverheid, mits een dergelijk criterium nauwkeurig is gedefinieerd. De methode van data-inwinning dient dan te worden geselecteerd waarmee tegen zo laag mogelijke kosten aan dit kwaliteitscriterium kan worden voldaan.
2. Het is aan te bevelen om het historisch gegroeide kwaliteitscriterium van 70% kaartzuiverheid voor bodemkaarten nauwkeurig te definiëren. Momenteel zijn namelijk de volgende, uiteenlopende, interpretaties van dit criterium mogelijk:
 - a. 70% strikte kaartzuiverheid: op 70% van de kaart zijn alle bodemeigenschappen correct geclassificeerd. Dit wordt in de praktijk zelden gehaald, zie Marsman en De Gruijter (1986);
 - b. Voor elke bodemeigenschap afzonderlijk geldt dat deze op 70 % van de kaart correct is geclassificeerd;
 - c. Gemiddeld over alle bodemeigenschappen zijn deze op 70% van de kaart correct geclassificeerd. Dit sluit aan bij bevindingen van Marsman en De Gruijter (1986), maar kan betekenen dat sommige eigenschappen veel minder nauwkeurig zijn gekarteerd dan andere. Wij bevelen aan om definitie b. te hanteren. Gebruikers van de bodemkaart zullen namelijk per toepassing in één of enkele kenmerken geïnteresseerd zijn en verwachten dat die kenmerken met een bepaalde nauwkeurigheid in kaart zijn gebracht.
3. Het is aan te bevelen om het kwaliteitscriterium van 70% kaartzuiverheid te onderbouwen met risicoanalyses en indien nodig bij te stellen.
4. Het is aan te bevelen om te monitoren waar en voor welke bodemeigenschappen de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, voldoet aan het kwaliteitscriterium van 70% kaartzuiverheid.

Literatuur

- Berendsen, H.J.A. (1982). De genese van het landschap in het zuiden van de provincie Utrecht, een fysisch-geografische studie. *Dissertatie, Utrechtse Geografische Studies* 25.
- Bie, S.W. en A. Ulph (1972). The economic value of soil survey information. *Journal of Agricultural Economics* 23: 285-297.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning* 45: 5-32.
- Buringh, P., G.G.L. Steur en A.P.A. Vink (1962). Some techniques and methods of soil survey in the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 10(2): 157-172.
- Castaldi F., R. Casa, A. Castrignano, A. Pascucci, A. Palombo, S. Pignatti (2014). Estimation of soil properties at the field scale from satellite data: a comparison between spatial and non-spatial techniques. *European Journal of Soil Science* 65: 842-851
- Cate, J.A.M. ten, A. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp (1995a). Handleiding bodemgeografisch onderzoek; deel A, Bodem. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technisch Document 19A.
- Cate, J.A.M. ten, A. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp (1995b). Handleiding bodemgeografisch onderzoek; deel B, Grondwater. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technisch Document 19B.
- Cate, J.A.M. ten, A. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp (1995c). Handleiding bodemgeografisch onderzoek; deel C, Kaart tekenen, rapporteren en samenstellen digitale bestanden. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technisch Document 19C.
- Cook, S.E. and R.G.V. Bramley (2000). Coping with variability in agricultural production –implications for soil testing and fertiliser management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31: 11-14, 1531-1551, DOI: 10.1080/00103620009370524.
- Dent, D. en A. Young (1981). *Soil survey and land evaluation*. George Allen & Unwin, London.
- Englund, E.J. (1990). A variance of geostatisticians. *Mathematical Geology* 22(4): 417-454.
- Evert, F.K. van, S. Wolters, K. van Boheemen en C. van Dijk (2018). Final report on research results, research projects and industry solutions. SmartAKIS, Report D1.6.
- Forkuor, G., O.K. L. Hounkpatin, G. Welp, M. Thiel (2017). High Resolution Mapping of Soil Properties Using Remote Sensing Variables in South-Western Burkina Faso: A Comparison of Machine Learning and Multiple Linear Regression Models. *PLoS ONE* 12(1): e0170478. doi:10.1371/journal.pone.0170478
- Gallo, B.C., J.A.M. Demattê, R. Rizzo, J.L. Safanelli, W. de S. Mendes, I.F. Lepsch, M.V. Sato, D.J. Romero, M.P.C. Lacerda (2018). Multi-Temporal Satellite Images on Topsoil Attribute Quantification and the Relationship with Soil Classes and Geology. *Remote Sensing* 10, 1571; doi:10.3390/rs10101571
- Giasson, E., C. van Es, A. van Wambeke en R.B. Bryant (2000). Assessing the economic value of soil information using decision analysis techniques. *Soil Science* 165: 971-978.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press; Applied Geostatistics Series.
- Gruijter, J.J. de, D.J. Brus, M.F.P. Bierkens en M. Kotters (2006). *Sampling for Natural Resource Monitoring*. Springer, Berlin, 332 pp.
- Hastie, T., R. Tibshirani en J. Friedman (2009). *The elements of statistical learning. Data mining, inference, and prediction*. Second Edition. New York, Springer.
- Hoogland, T., M. Kotters, M. Pleijter en D.J.J. Walvoort (2014). Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van holoceen Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2612.
- Hubbard, R. (2004). Alphabet Soup. Blurring the distinctions between p's and a's in psychological research. *Theory & Psychology* 14(3): 295-327.
- Kempen, B. (2011). *Updating soil information with digital soil mapping*. Wageningen, Proefschrift Wageningen Universiteit.

-
- Kempen, B., F. Brouwer, D.J. Brus, M. Pleijter en F. de Vries (2011). Validatie Bodemkaart Veengebieden provincie Utrecht, schaal 1 : 25 000. Wageningen, Alterra, rapport 2252.
- Klingebiel, A. (1966). Costs and returns of soil surveys. *Soil Conservation* 32: 3-6.
- Knotters, M. (2001). Regionalised time series models for water table depths. Wageningen, Proefschrift Wageningen Universiteit.
- Knotters, M. en H.R.J. Vroon (2015). The economic value of detailed soil survey in a drinking water collection area in the Netherlands. *Geoderma Regional* 5: 44-53.
- Knotters, M., J. Okx, M. Hack en F. de Vries (2015a). Bodem in beweging: BIS Nederland informeert. *Bodem* 25(3): 11-13.
- Knotters, M., F. van Egmond, G. Bakker, D. Walvoort en F. Brouwer (2017). A selection of sensing techniques for mapping soil hydraulic properties. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Report 2853.
- Kwakernaak, C., J.J.H. van den Akker, E.M. Veenendaal, J.C. van Huissteden en P. Kroon (2010). Veenweiden en klimaat. *Bodem* 2010(6): 6-8.
- Marsman, B.A. en J.J. de Gruijter (1986). Quality of soil maps. Wageningen, Soil Survey Papers 15.
- McBratney, A.B., M.L. Mendonça Santos en B. Minasny (2003). On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3-52.
- Morgan, M.G., M. Henrion en M. Small (1990). *Uncertainty: a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Mulder, V.L., S. de Bruin, M.E. Schaepman, T.R. Mayr (2011). The use of remote sensing in soil and terrain mapping — A review. *Geoderma* 162: 1-19
- Nijbroek, R., K. Piikki, M. Söderström, B. Kempen, K.G. Turner, S. Hengari en J. Mutua (2018). Soil organic carbon baselines for land degradation neutrality: map accuracy and cost tradeoffs with respect to complexity in Otjozondjupa, Namibia. *Sustainability* 2018, 10, 1610; doi:10.3390/su10051610.
- Rogge, R., A. Bauer, J. Zeidler, A. Mueller, T. Esch, U. Heiden (2018). Building an exposed soil composite processor (SCMaP) for mapping spatial and temporal characteristics of soils with Landsat imagery (1984-2014). *Remote Sensing of Environment* 205: 1-17
- Saey, T., D. Simpson, H. Vermeersch, L. Cockx en M. van Meirvenne (2009). Comparing the EM38DD and DUALEM-21S sensors for depth-to-clay mapping. *Soil Science Society of America Journal* 73(1):7-12.
- Stouthamer, E., H.J.A. Berendsen, J. Peeters en M.T.I.J. Bouman (2008). Toelichting Bodemkaart Veengebieden provincie Utrecht. Provincie Utrecht.
- Vitharana, U.W.A., T. Saey, L. Cockx, D. Simpson, H. Vermeersch en M. van Meirvenne, 2008. Upgrading a 1/20,000 soil map with an apparent electrical conductivity survey. *Geoderma* 148: 107-112.
- Yu, Huan, Bo Kong, Guangxing Wang, Rongxiang Du, Guangping Qie (2018). Prediction of soil properties using a hyperspectral remote sensing method. *Archives of agronomy and soil science* 64(4): 546-559 doi.org/10.1080/03650340.2017.1359416

Niet gepubliceerde bronnen

- Knotters, M., M.J.D. Hack, P.J.W. Hinssen, J.W.H. van der Kolk en J.P. Okx (2015b). Betekenis van BRO/BIS Nederland voor WOT Natuur & Milieu. Een risicoanalyse. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, Wageningen UR, WOT-interne notitie 121.

Verantwoording

Dit project werd begeleid door dr. J.P. Okx van Wageningen Environmental Research (WENR), met wie ook de werkwijze werd afgestemd. Het rapport is gereviewd door Dennis Walvoort (WENR) en Joop Okx. Dit onderzoek zal komend jaar worden voortgezet. De cases worden dan indien mogelijk verder uitgewerkt.

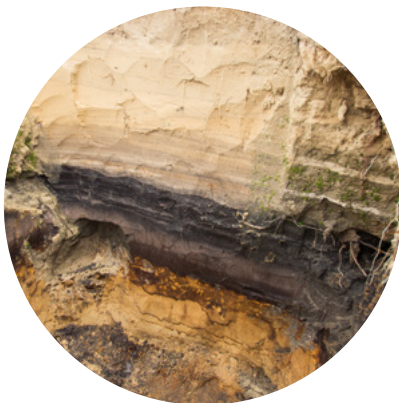
De auteurs bedanken allen voor hun bijdrage aan het tot stand komen van deze rapportage.

Verschenen documenten in de reeks Technical reports van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu vanaf 2017

WOT-technical reports zijn verkrijgbaar bij het secretariaat van Unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu te Wageningen. T 0317 – 48 54 71; E info.wnm@wur.nl
 WOT-technical reports zijn ook te downloaden via de website www.wur.nl/wotnatuurenmilieu

88	Mol-Dijkstra, J.P. & G.J. Reinds (2017). <i>Technical documentation of the soil model VSD+; Status A</i>	101	Daamen, W.P., A.P.P.M. Clerkx & M.J. Schelhaas (2017). <i>Veldinstructie Zevende Nederlandse Bosinventarisatie (2017-2021)</i> .
89	Arets, E.J.M.M., J.W.H. van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2017). <i>Greenhouse gas reporting for the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2016</i>	102	Boer, T.A. de & F.L. Langers (2017). <i>Maatschappelijk draagvlak voor natuurbeleid en betrokkenheid bij natuur in 2017</i>
90	Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2017). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw in 2014. Berekeningen met het model NEMA</i>	103	Buijs, A.E., B.H.M. Elands & C.S.A. van Koppen (2017) <i>Vijfentwintig jaar burgerbetrokkenheid in het natuurbeleid. Analyse van beleidsdiscoursen en publiek draagvlak</i>
91	Os van, J., M.G.T.M. Bartholomeus, L.J.J. Jeurissen & C.G. van Reenen (2017). <i>Rekenregels rundvee voor de landbouwtelling. Verantwoording van het gebruik van I&R gegevens voor de landbouwtelling</i>	104	Cremer, J.S.M., S.M.J.M. Brasseur., A. Meijboom, J. Schop & J.P. Verdaat (2017). <i>Monitoring van gewone en grijze zeehonden in de Nederlandse Waddenzee, 2002-2017</i>
92	Haas, W. de, R.J. Fontein & M. Pleijte (2017). <i>Is eenvoudig beter? Twee essays natuur en landschap in het nieuwe omgevingsbeleid</i>	105	Glorius, S.T., A. Meijboom, J.T. van der Wal & J.S.M. Cremer (2017). <i>Ontwikkeling van enkele mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee, situatie 2016</i>
93	Schuilings, C., A.M. Schmidt, I.J. La Rivière & R.A. Smidt (2017). <i>Beschermde gebiedenregister; Technische documentatie, Status A.</i>	106	Hennekens, S.M., W.A. Ozinga & J.H.J. Schaminée (2017). <i>BioScore 3 – Plants. Background and pre-processing of distribution data</i>
94	Henkens, R.J.H.G., M.M.P. van Oorschot en J. Ganzevles (2017). <i>Bijdrage van Green Deals aan de beleidsdoelen voor natuur en biodiversiteit</i>	107	Melman, Th.C.P., M.H.C. van Adrichem, M. Broekmeyer, J. Clement, R. Jochem, H.A.M. Meeuwssen, F.G.W.A. Ottburg, A.G.M. Schotman & T. Visser (2017). <i>Natuurcombinaties en Europese natuurdoelen; Ontwikkeling van een methode om natuurdoelen te realiseren buiten het Natuurnetwerk Nederland</i>
95	Arets, E.J.M.M., J.W.H. van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2017). <i>Greenhouse gas reporting for the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2017</i>	108	Vries, S. de, W. Nieuwenhuizen & J.M.J. Farjon (2017) <i>HappyHier: hoe gelukkig is men waar?; Gegevensverzameling en bepaling van de invloed van het type grondgebruik - deel I.</i>
96	IJsseldijk, L.L., M.J.L. Kik, L. Solé & A. Gröne (2017). <i>Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2016.</i>	109	Overbeek, M.M.M., E. Smeets & D. Verhoog (2017). <i>Biobased materialen, circulaire economie en natuurlijk kapitaal.</i>
97	Verburg, R.W., W.H.G.J. Hennen, L.F. Puister, R. Michels & K. van Duijvendijk (2017). <i>Estimating costs of nature management in the European Union; Exploration modelling for PBL's Nature Outlook</i>	110	Pouwels, R., G.W.W. Wamelink, M.H.C. van Adrichem, R. Jochem, R.M.A. Wegman en B. de Knegt. (2017). <i>MetaNatuurplanner v4.0 - Status A; Toepassing voor Evaluatie Natuurpact</i>
98	Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2017). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw in 2015. Berekeningen met het model NEMA</i>	111	Commissie Deskundigen Meststoffenwet (2017). <i>Advies Mestverwerkingspercentages 2018.</i>
99	Kuiters, A.T., G.A. de Groot, D.R. Lammertsma, H.A.H. Jansman & J. Bovenschen (2017). <i>Genetische monitoring van de Nederlandse otterpopulatie; Ontwikkeling van populatieomvang en genetische status 2016/2017</i>	112	Koffijberg K., J.S.M. Cremer, P. de Boer, J. Nienhuis, H. Schekkerman, J. Postma & K. Oosterbeek (2017). <i>Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee. Resultaten 2015-2016 en trends in broedsucces in 2005-2016.</i>
100	Adriaanse, P.I. & W.H.J. Beltman (2017) <i>Comparison of pesticide concentrations at drinking water abstraction points in The Netherlands simulated by DROPLET version 1.2 and 1.3.2 model suites</i>	113	Arets, E.J.M.M., J.W.H. van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2018). <i>Greenhouse gas reporting for the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2018</i>
		114	Bos-Groenendijk, G.I. en C.A.M. van Swaay (2018). <i>Standaard Data Formulieren Natura 2000-gebieden;</i>

	<i>Aanvullingen vanwege wijzigingen in Natura 2000-aanwijzingsbesluiten</i>		
115	Vonk, J. , S.M. van der Sluis, A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J.W.H. van der Kolk, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar & G.L. Velthof (2018.) <i>Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands – update 2018. Calculations of CH4, NH3, N2O, NOx, PM10, PM2.5 and CO2 with the National Emission Model for Agriculture (NEMA)</i>	128	Langers, F. (2018). <i>Recreatie in groenblauwe gebieden; Actualisatie van CLO-indicator 1258 (Bezoek aan groenblauwe gebieden) op basis van data van het Continu Vrijetijdsonderzoek uit 2015</i>
116	IJsseldijk, L.L., M.J.L. Kik, & A. Gröne (2018). <i>Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2017. Biologische gegevens, gezondheidsstatus en doodsoorzaken.</i>	129	Glorius, S.T., I.Y.M. Tulp, A. Meijboom, L.J. Bolle and C. Chen (2018). <i>Developments in benthos and fish in gullies in an area closed for human use in the Wadden Sea; 2002-2016</i>
117	Mattijssen, T.J.M. & I.J. Terluin (2018). <i>Ecologische citizen science; een weg naar grotere maatschappelijke betrokkenheid bij de natuur?</i>	130	Kamphorst, D.A & T.J.M. Mattijssen (2018). <i>Scopingstudie Vermaatschappelijking van natuur. Een overzicht van onderzoek bij Wageningen Universiteit & Research voor het Planbureau voor de Leefomgeving en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit</i>
118	Aalbers, C.B.E.M., D. A. Kamphorst & F. Langers (2018). <i>Bedrijfs- en burgerinitiatieven in stedelijke natuur. Hun succesfactoren en knelpunten en hoe de lokale overheid ze kan helpen slagen.</i>	131	Breman, B.C., T.J.M. Mattijssen & T.M. Stevens (2018). <i>Natuur 2.0. Het natuurdebat op social media.</i>
119	Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk (2018). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw in 2016. Berekeningen met het model NEMA</i>	132	Vries, S. de & W. Nieuwenhuizen (2018) <i>HappyHier: hoe gelukkig is men waar?; Gegevensverzameling en bepaling van de invloed van het type grondgebruik, deel II</i>
120	Sanders, M.E., F. Langers, R.J.H.G. Henkens, J.L.M. Donders, R.I. van Dam, T.J.M. Mattijssen & A.E. Buijs (2018). <i>Maatschappelijke initiatieven voor natuur en biodiversiteit; Een schets van de reikwijdte en ecologische effecten en potenties van maatschappelijke initiatieven voor natuur in feiten en cijfers</i>	133	Kistenkas, F.H., W. Nieuwenhuizen, D.A. Kamphorst & M.E.A. Broekmeyer (2018). <i>Natuur- en landschap in de Omgevingswet.</i>
121	Farjon, J.M.J., A.L. Gerritsen, J.L.M. Donders, F. Langers & W. Nieuwenhuizen (2018). <i>Conditie voor natuurinclusief handelen. Analyse van vier praktijken van natuurinclusief ondernemen</i>	135	Sanders, M.E. (2018). <i>Voortgang realisatie natuurnetwerk. Technische achtergronden bij de digitale Balans van de Leefomgeving 2018</i>
122	Gerritsen, A.L., D.A. Kamphorst & W. Nieuwenhuizen (2018). <i>Instrumenten voor maatschappelijke betrokkenheid. Overzicht en analyse van vier cases</i>	136	Koffijberg K., J.S.M. Cremer, P. de Boer, J. Nienhuis, K. Oosterbeek & J. Postma (2018). <i>Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee in 2017</i>
123	Vullings, L.A.E., A.E. Buijs, J.L.M. Donders, D.A. Kamphorst, H. Kramer & S. de Vries (2018). <i>Monitoring van groene burgerinitiatieven; Analyse van de resultaten van een pilot en nulmeting in vier gemeenten</i>	137	Egmond, F.M. van, S. van der Veeke, M. Knotters, R.L. Koomans, D. Walvoort, J. Limburg (2018). <i>Mapping soil texture with a gamma-ray spectrometer: comparison between UAV and proximal measurements and traditional sampling; Validation study</i>
124	Boonstra, F.G., Th.C.P. Melman, W. Nieuwenhuizen & A. Gerritsen (2018). <i>Aanpak evaluatie stelselvernieuwing agrarisch natuurbeheer; Uitgangspunten en opties voor een beleidsevaluatie</i>	138	Glorius, S.T., A. Meijboom, J.T. Wal van der, J.S.M. Cremer (2018). <i>Ontwikkeling van enkele droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee; situatie 2017.</i>
125	Vullings, L.A.E., A.E. Buijs, J.L.M. Donders & D.A. Kamphorst (2018). <i>Monitoring van groene burgerinitiatieven; Methodiek, indicatoren en ervaring met pilot en nulmeting.</i>	139	Berg, F. van den, A. Tiktak, D.W.G. van Kraalingen, J.G. Groenwold & J.J.T.I. Boesten (2018). <i>User manual for GeoPEARL version 4.4.4.</i>
126	Beltman, W.H.J., M.M.S. ter Horst, P.I. Adriaanse & A. de Jong (2018). <i>Manual for FOCUS_TOXSWA v5.5.3 and for expert use of TOXSWA kernel v3.3; User's Guide version 5</i>	140	Kuiters, A.T., G.A. de Groot, D.R. Lammertsma, H.A.H. Jansman & J. Bovenschen (2018). <i>Genetische monitoring van de Nederlandse otterpopulatie; Ontwikkeling van populatieomvang en genetische status 2017/2018</i>
127	Van der Heide, C.M. & M.M.M. Overbeek (2018). <i>Natuurinclusief handelen en ondernemen. Scopingstudie 'Bedrijven, economie en natuur'</i>	141	Müsken G.J.D.M., M.J.J. La Haye, R.J.M. van Kats & A.T. Kuiters (2018). <i>Ontwikkeling van de hamsterpopulatie in Limburg. Stand van zaken voorjaar 2018</i>
		142	Glorius, S.T. (2018). <i>Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum; Tussenrapportage twaalf jaar na sluiting (najaar 2017).</i>
		143	Brouwer, F., F. de Vries en D.J.J. Walvoort (2018). <i>Basisregistratie Ondergrond (BRO); Actualisatie bodemkaart: herkartering van de bodem in Flevoland</i>
		144	Knotters, M. en F.M. van Egmond (2018). <i>Selectie van inwinningstechnieken voor bodemdata; Selecteren vanuit de (onderzoeks)vraag</i>



Thema Basisregistratie Ondergrond

Wettelijke Onderzoekstaken

Natuur & Milieu

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T (0317) 48 54 71

E info.wnm@wur.nl

ISSN 2352-2739

www.wur.nl/wotnatuurenmilieu

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

