



Chemisch-fysische schematisering van de bodem voor NHI-waterkwaliteit

Naar een nieuwe fysisch-chemische schematisering van de Nederlandse bodem

Frank van der Bolt, Dennis Walvoort, Folkert de Vries, Tom Hoogland, Henk Vroont†, Piet Groenendijk, Leo Renaud, Harry Massop, Ab Veldhuizen en Paul van Walsum



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Chemisch-fysische schematisering van de bodem voor NHI-waterkwaliteit

Naar een nieuwe fysisch-chemische schematisering van de Nederlandse bodem

Frank van der Bolt, Dennis Walvoort, Folkert de Vries, Tom Hoogland, Henk Vroon†, Piet Groenendijk, Leo Renaud, Harry Massop, Ab Veldhuizen en Paul van Walsum

Wageningen Environmental Research
Wageningen, oktober 2016

Rapport 2753
ISSN 1566-7197

Bolt, F. van der, D. Walvoort, F. de Vries, H. Massop, H. Vroont, P. Groenendijk, L. Renaud, T. Hoogland, A. Veldhuizen, P. van Walsum, 2016. *Chemisch-fysische schematisering van de bodem voor NHI-waterkwaliteit; Naar een nieuwe fysisch-chemische schematisering van de Nederlandse bodem*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2753. 36 blz.; 4 fig.; 6 tab.; 33 ref.

Voor de ontwikkeling van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium-waterkwaliteit is een aanpak opgesteld om de fysisch-chemische schematisering van de bodem in Nederland verder te ontwikkelen.

Op korte termijn (2017-2018) is een pragmatische werkwijze nodig om de bodemchemische parameters met bijbehorende schematisering in representatieve eenheden voor de operationele toepassing voor landelijke beleidsstudies te actualiseren. Het gebruik van de huidige fysisch-chemische karakterisering voor de bodemkaart 1:50.000 vormt de geëigende methode.

Op de langere termijn is het de wens om het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium-waterkwaliteit ook te kunnen inzetten voor regionale toepassingen. Dit kan alleen als er een gedetailleerde geostatistisch gesimuleerde 3D-bodemkaart aan ten grondslag ligt die recht doen aan regionale variabiliteit van de bodem.

Trefwoorden: bodem, bodemkaart, bodemeigenschappen, schematisering, fysisch-chemische karakterisering, 3D-bodemkaart, NHI, NHI-WQ, LHM, LHM-WQ

Dit rapport is gratis te downloaden van <http://dx.doi.org/10.18174/392073> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2016 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Aanpak	8
	2.1 Methode	8
	2.2 Op te leveren geactualiseerde datasets	8
3	(Basis)Data	9
	3.1 Bodemkundig Informatie Systeem	9
	3.2 Bodemkaarten	9
	3.3 Geomorfologische kaarten	10
	3.3.1 Geomorfologische kaarten Nederland	10
	3.3.2 Landschappelijke bodemkaart	10
	3.4 Bodemvruchtbaarheidsbepalingen	11
	3.5 Open data beleid en kwaliteitsborging	11
	3.5.1 Basisregistraties	11
	3.5.2 Kwaliteitsborging	12
4	Schematiseringen	13
	4.1 Representatieve eenheden	13
	4.1.1 Fysisch-chemische kenmerken (FCK)	13
	4.1.2 BOFEK2012	14
	4.1.3 Topsysteemkaart (TSk)	15
	4.2 Geostatistische simulaties	18
	4.2.1 Kaarten Fosfaat en fosfaatbindend vermogen (Pk)	18
	4.2.2 Organischestofkaart (OSk)	19
	4.2.3 3D-bodemkaart (3DBk)	20
5	Samenhang en consistentie	22
	5.1 Samenhang tussen de schematiseringen	22
	5.1.1 FCK en BOFEK	22
	5.1.2 TSK	23
	5.1.3 Pk, OSk en 3DBk	24
	5.2 Consistentie van de schematiseringen	24
	5.2.1 Selectieve dataverzameling	25
6	Synthese	26
	6.1 Opties	26
	6.2 Vergelijken	27
	6.3 Keuze	29
7	Conclusies	31
	Literatuur	32
	Bijlage 1 Tabel bodemschematiseringen	34

Samenvatting

Voor de ontwikkeling van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium-waterkwaliteit (NHI-WQ) is een aanpak opgesteld om de fysisch-chemische schematisering van de bodem in Nederland verder te ontwikkelen. Op korte termijn (2017-2018) is een pragmatische werkwijze nodig om de bodemchemische parameters met bijbehorende schematisering in representatieve eenheden voor de operationele toepassing voor landelijke beleidsstudies te actualiseren.

Beschikbare basisdatabestanden en bestaande schematiseringen zijn geanalyseerd en de samenhang tussen de bestaande schematiseringen is geduid om te verkennen wat de mogelijkheden zijn om te komen tot een eerste opzet voor een gefaseerde realisatie. Daarbij is voor ogen gehouden dat naast rekenen voor representatieve situaties voor landelijke beleidsanalyses ook regionale modelstudies mogelijk moeten zijn.

Op de langere termijn is het de wens om het NHI ook te kunnen inzetten voor regionale toepassingen. Dit kan alleen als er een gedetailleerde 3D-bodemkaart aan ten grondslag ligt. Een dergelijke kaart kan gemaakt worden met up-to-date geostatistische simulatiemethoden die recht doen aan regionale variabiliteit van de bodem. Geadviseerd wordt om via regionale pilots ervaring op te doen met dergelijke kaarten en op termijn alle modellen hiervan gebruik te laten maken.

Op korte termijn is het gebruik van de huidige fysisch-chemische karakterisering voor de bodemkaart 1:50.000 de geëigende methode. Om deze schematisering te implementeren moet deze ook in het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) en NHI worden geïmplementeerd. Het nadeel van deze schematisering is dat deze tamelijk grof is (circa 330 gediscretiseerde klassen). Om meer ruimtelijk detail aan te brengen zou deze schematisatie kunnen worden aangevuld met P-kaarten en organischestofkaarten die met geostatistische methoden zijn verkregen. Om deze kaarten consistent te krijgen met de fysisch-chemische karakterisering is een aanvullende investering vereist.

Aanvullend is geconstateerd dat vervangen van de Staringreeks door bodemfysische parameters op basis van bodemeigenschappen lokaal tot aanzienlijke verbeteringen in de resultaten van de hydrologische berekeningen en daardoor ook in de waterkwaliteitsberekeningen kan leiden. Ook deze verbetering wordt idealiter in een regionale pilot getest.

1 Inleiding

Aanleiding

Voor de ontwikkeling van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium-waterkwaliteit (NHI-WQ) is het nodig de bodemchemische invoerdata en achterliggende schematisering te actualiseren. Omdat de waterkwaliteitsberekeningen aansluiten op de hydrologische berekeningen van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) is de ambitie om voor de kwaliteit op hetzelfde schaalniveau te rekenen en data passend bij dit schaalniveau te hebben. Wanneer dat op korte termijn nog niet mogelijk blijkt moet een pragmatische keuze worden gemaakt zonder het wensbeeld uit het oog te verliezen.

Het is daarom gegeven de beschikbare tijd en middelen niet alleen nodig het perspectief over langere termijn te schetsen voor de fysisch-chemische schematisering van de bodem in Nederland, maar het is ook noodzakelijk de methode te identificeren om op korte termijn de bodemchemische parameters met bijbehorende schematisering te actualiseren.

Doel

Het doel van deze analyse is om de werkwijze te bepalen waarmee op korte termijn de bodemchemische parameters met bijbehorende schematisering kunnen worden geactualiseerd en een perspectief voor de langere termijn te schetsen om de fysisch-chemische schematisering van de bodem in Nederland structureel verder te ontwikkelen.

Afbakening

Parallel wordt (in afwachting van een landsdekkende GeoTop) door TNO op basis van NL3D een nieuwe bodemchemische schematisering van de ondergrond opgesteld. De bedoeling is om later de data van de ondergrond uit NL3D te combineren met de verfijndere data uit het Bodemkundig Informatie Systeem om de modelinvoer voor het NHI-waterkwaliteit (NHI-WQ) te genereren. De producten bestaan uit de bestanden (data), een beschrijving van de bestanden en de gehanteerde werkwijze in memo's.

Leeswijzer

In de volgende hoofdstukken wordt achtereenvolgend de aanpak van de analyse beschreven (Hoofdstuk 2), een korte beschrijving van de basisdata (Hoofdstuk 3), de inventarisatie van bestaande schematiseringen met voor- en nadelen (Hoofdstuk 4), de analyse van de samenhang en consistentie tussen de bestaande schematiseringen (Hoofdstuk 5), de synthese met de opzet voor een structurele, consistente aanpak met een gefaseerde realisatie (Hoofdstuk 6) en de conclusies (Hoofdstuk 7).

2 Aanpak

2.1 Methode

Allereerst inventariseren we de bestaande schematiseringen, beschrijven hun voor- en nadelen en analyseren de samenhang tussen de bestaande schematiseringen. Op basis daarvan verkennen we de mogelijkheden om tot een structurele, consistente aanpak te komen en geven we een eerste opzet voor een gefaseerde realisatie. Daarbij houden we voor ogen dat naast rekenen voor landelijke beleidsstudies voor representatieve situaties ook regionale studies mogelijk moeten zijn.

Uitgangspunt is dat data geactualiseerd moeten worden op basis van (vrij) beschikbare landsdekkende datasets die met beperkte inspanning kunnen worden gegenereerd uit (vrij) beschikbare databestanden, die bij voorkeur ook worden beheerd en onderhouden en een kwaliteitsstatus hebben. Verder zal worden geprobeerd voor zover mogelijk is de data zo gedetailleerd mogelijk ruimtelijk gedifferentieerd te specificeren (voor cellen van 250x250 m), wanneer dat niet mogelijk blijkt wordt teruggevallen op parameters voor representatieve bodemeenheden. Daarbij moet een koppeling met de basiseenheden uit de Staringreeks mogelijk blijven. Omdat nieuwe eenheden nieuwe berekeningen en validatie van het LHM vereisen wordt in dat geval op korte termijn aangesloten op de (72 bodemfysische) bodemeenheden die nu in het LHM worden gebruikt.

2.2 Op te leveren geactualiseerde datasets

De volgende datasets worden opgeleverd voor de bodem, aansluitend bij de gehanteerde bodemeenheden in het instrumentarium:

1. Organische stofgehalte (kg kg^{-1}) en C/N-ratio per cel van 250x250 m^2 .
2. P-voorraad in de bodem (geadsorbeerd, neergeslagen en in organisch stof, kg m^{-3}) en voor de plant makkelijk beschikbaar P (kg m^{-3}) per compartiment.
3. IJzer- en aluminiumgehalte (mmol kg^{-1}) per compartiment als maat voor het fosfaatbindend vermogen van de grond.
4. pH-H₂O (-) per horizon.

Ad 2: Voor de mestwetgeving zijn de RVO-gegevens op basis van ingestuurde monsters (Pal voor grasland en Pw voor bouwland) bepalend voor de mestgift. Deze gegevens zijn daartoe in STONE verwerkt: de arealen per regio zijn conform de verdeling van RVO en worden meegeleverd met de mestgiften uit Mambo (Kruseman *et al.* 2013). De resulterende P-toestand is daarmee consistent met de gebruikte invoer, wat betekent dat de P-voorraad in de bodem niet uit andere databestanden afkomstig mag zijn. Dat geldt niet voor Al en Fe. Probleem is dat de RVO-data niet publiekelijk beschikbaar zijn, dat botst met het uitgangspunt van het gebruik van openbare data in het NHI en NHI-WQ.

Aanpassen van de schematisering van de bodem gericht op de bodemchemische eigenschappen heeft onlosmakelijk ook gevolgen voor het toekennen van bodemfysische data: de bodemchemische en bodemfysische en schematisering moeten op elkaar aansluiten. Om deze consistentie te borgen moeten ook de bijbehorende bodemfysische gegevens (zoals de dikte van de wortelzone, pF en K(h)-relaties, horizontale en verticale verzadigde doorlatendheden en bulkdichtheid) worden aangepast. Daarbij is het belangrijk de schematisering en de toekenning van de data consistent door te voeren: het is noodzakelijk voor alle bewerkingen dezelfde basisbestanden en dezelfde bodemschematisering te gebruiken.

3 (Basis)Data

Als basis voor fysische en chemische schematiseringen van de bodem zijn data nodig. De in basisbestanden vastgelegde, onderhouden en beheerde data dienen daarbij als basis en kunnen worden aangevuld met aanvullende data. De basisbestanden voor fysische en chemische schematiseringen van de bodem zijn:

- Bodemkundig Informatie Systeem (BIS).
- (Landsdekkende) Bodemkaart 1:50.000.
- (Regionale en lokale) detailkaarten 1:25.000, 1:10.000.
- Veendiktekaart.
- Geomorfologische kaart.
- Landschappelijke bodemkaart.

Voorbeelden van aanvullende data zijn:

- Kwelconcentraties (Griffioen, 2005).
- De gegevens van Pal (grasland) en Pw (bouwland) die RVO (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland) gebruikt voor de uitvoering van het mestbeleid.
- Bestanden bodemchemische schematisering ondergrond STONE (Van Boekel, 2009a en b).
- Database BLGG AgroXpertus / Organische stof gehalten in bovengronden door Reijneveld *et al.* (2009).

3.1 Bodemkundig Informatie Systeem

Het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS-Nederland) van Alterra (www.bodemdata.nl) is de centrale opslagplaats voor bodemkundige gegevens en bevat up-to-date informatie over de Nederlandse bodem, die op systematische wijze is verzameld en bewerkt. De informatie berust op schattingen door ervaren veldbodemkundigen. Bij een deel van de locaties zijn ook grondmonsters verzameld, die in het laboratorium nader zijn geanalyseerd. Meer specifiek bevat het BIS:

- Ca. 340 000 boorprofielbeschrijving, met locatie-informatie en laagbeschrijvingen.
- Ca. 11 000 geanalyseerde profielen, met locatie-informatie, laagbeschrijvingen en analysegegevens over textuur, bodemchemie en bodemfysica.

Met behulp van de bodemdata kunnen bodemkaarten van Nederland gecreëerd worden.

www.bodemdata.nl omvat naast bodemkundige boormonsterprofielen, profielopnames en chemische gegevens ook de 1 : 250 000 en 1 : 50 000 bodemkaarten en de 1 : 50 000 grondwatertrappenkaart.

De bodemkundige informatie, vastgelegd in het BIS, gaat onderdeel vormen van de Basis Registratie Ondergrond (BRO). De BRO wordt de centrale database met de meest actuele, vrij beschikbare gegevens van de ondergrond en bevat gegevens over geologische en bodemkundige opbouw en het voorkomen van gas, water en olie in de vorm van kaarten, profielen, metingen en geologische en bodemkundige modellen. Medio 2016 start het traject naar een toekomstvisie voor de BRO. Dit rapport kan input voor deze discussie vormen.

3.2 Bodemkaarten

De Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 (2006), geeft informatie over de opbouw en gelaagdheid van de bodem tot 1 à 2 m-mv en onderscheidt onder meer veen-, zand-, klei- en leemgronden. Binnen deze hoofdgroepen zijn de gronden via een hiërarchische systematiek

onderverdeeld naar bodemvorming, veensoort, zandgrofheid, lutum- of leemgehalte, kalkgehalte, dikte van de humus houdende bovengrond en afwijkende lagen in de ondergrond. Ook geven de kaarten door middel van grondwatertrappen(Gt-)informatie over de hoogte en de fluctuatie van het grondwater. De informatie op deze kaarten is verzameld in de periode van 1971 tot en met 1995 (STIBOKA, 1980), met een dichtheid van 1 à 2 boringen per 10 ha. Sommige kaartbladen zijn daarna geactualiseerd.

Detailkarteringen hebben een grotere dichtheid aan boringen, kennen een gedetailleerdere legenda en zijn veelal uitgevoerd voor ruilverkavelingen en/of herinrichtingen (schaal 1:25.000 of 1:10.000). Daarnaast zijn van enkele natuurgebieden en landbouwbedrijven detailkaarten 1:5.000 beschikbaar.

Veengronden, moerige gronden en gronden met een slappe ondergrond kunnen sinds de opname zijn veranderd door oxidatie van organische stof respectievelijk door rijpen van de ondergrond. De veranderingen in de veengronden zijn in de periode 2010 - 2014 opnieuw in kaart gebracht, de resulterende geactualiseerde bodemkaart voor (vroegere) veenbodems is beschikbaar (de Vries *et al.*, 2014).

De veranderingen in gebieden met slappe kleilagen waarbij bodemdaling aan de orde kan zijn, worden in 2016 herzien. Dergelijke gronden liggen met name in Noord- en Zuid-Holland. Eind 2016 moet een verbeterde kaart beschikbaar zijn voor gebieden met slappe lagen, dus moet een update van de bodemkaart kunnen plaatsvinden.

Ook zou de toekenning van bodemeenheden aan bodems moeten worden aangepast wanneer het bodemprofiel wijzigt doordat er steeds dieper wordt geploegd, doordat incidenteel diepe groundbewerking wordt toegepast om storende lagen te verwijderen of doordat bij het bouwrijp maken zand wordt opgebracht of de bovengrond wordt afgegraven en weer aangevuld.

Op basis van de bodemkaart en veldschattingen of metingen van boringen zijn kaarten met afgeleide informatie vervaardigd zoals bijvoorbeeld een organischestofkaart, een veendiktekaart, diverse geschiktheidskaarten en een uitspoelingsgevoeligheidskaart. Voor de PAWN-studie (Wisserhof, 1994; Goemans, 1988) en later NHI (De Vries, 2008) zijn respectievelijk de bodemkaarten 1:250.000 en 1:50.000 omgezet naar bodemkaarten met 21 PAWN-bodemeenheden.

De bodemkaart 1:50.000 die in LHM/NHI en LHM-WQ/NHI-WQ wordt gebruikt kan worden verbeterd door deze actualiseren met behulp van de veendiktekaart. Dit zal lokaal tot (meer realistische) veranderingen in hydrologie en waterkwaliteit leiden. Geadviseerd wordt de bodemschematisering regelmatig te updaten met de meest recente informatie.

3.3 Geomorfologische kaarten

Geomorfologische kaarten kunnen relevant zijn omdat de bodemvormende processen landschappelijk bepaald zijn. Deze kaarten kunnen daarmee helpen eenduidig schematiseringen te realiseren.

3.3.1 Geomorfologische kaarten Nederland

De geomorfologische kaart onderscheidt kaarteenheden op basis van reliëf, genese en ouderdom om de genese van het landschap te beschrijven. Het AHN en de bodemkaart 1:50.000 worden als basisdata gebruikt bij het afleiden en verfijnen van de geomorfologische kaart. De geomorfologische kaart 1 : 50.000 heeft een uitgebreide legenda, de vereenvoudigde geomorfologische kaart bevat 30 legenda-eenheden.

3.3.2 Landschappelijke bodemkaart

De landschappelijke bodemkaart 1 : 50.000 is een combinatie van de geomorfologische kaart en de bodemkaart. Bodem en landschap hangen sterk met elkaar samen. Daarom ligt het voor de hand om de kartering van bodem en geomorfologie (de bodemkaart en de geomorfologische kaart) te

combineren in een landschappelijke bodemkaart. Vanaf 2014 wordt daartoe gewerkt aan een landsdekkende landschappelijke bodemkaart van Nederland. Binnen de landschappelijke bodemkaart worden drie niveaus onderscheiden: zes regio's, 27 secties en 72 series. Binnen de series komen meerdere eenheden voor.

3.4 Bodemvruchtbaarheidsbepalingen

Aanvullende gegevensbestanden die recent meer aandacht krijgen zijn de metingen die ten behoeve van (o.a. bemesting)adviezen aan agrariërs worden uitgevoerd door bedrijven als Eurofins Agro laboratories, BLGG AgroXpertus en het Nutriënten Management Instituut (NMI). Deze data zijn al langere periode verzameld en veel percelen zijn daarbij herhaald bemonsterd zodat ook veranderingen in de tijd zichtbaar kunnen zijn. Om de 'privacy' van de deelnemende boeren te garanderen, kunnen alleen cijfers van grotere gebieden (bijvoorbeeld gebaseerd op postcode of gemeente, grondgebruik en grondsoort) met een minimaal aantal bemonsteringen worden verstrekt. Deze gegevens zijn onder andere gebruikt om de organische stofgehalten in bovengronden te schatten (Reijneveld *et al.*, 2009).

Gebruik van data op perceelniveau heeft een duidelijk toegevoegde waarde en daarom zouden deze gegevens in de nabije toekomst moeten worden meegenomen naast de (niet-openbare) RVO-gegevens die voor STONE worden gebruikt en de data uit BIS/BRO.

3.5 Open data beleid en kwaliteitsborging

De overheid wil alle informatie die de overheid gebruikt (met restricties ten aanzien van privacy) als open data beschikbaar stellen (<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/digitale-overheid/open-data-en-open-standaarden>). Rijkswaterstaat heeft bijvoorbeeld per 1/1/2015 al zijn (ruim 350) databestanden opengesteld. In lijn met dit beleid moeten alle databestanden openbaar zijn of worden die in opdracht van de overheden voor het NHI zijn vervaardigd. Omdat de kwaliteit van deze bestanden bepaald wordt door het gebruik door de overheid zullen de kwaliteit en bruikbaarheid echter kritisch moeten worden geëvalueerd voordat deze door het LHM/NHI en/of LHM-WQ/NHI-WQ gebruikt kunnen gaan worden.

3.5.1 Basisregistraties

Een basisregistratie is een door de overheid officieel aangewezen registratie met gegevens van hoogwaardige kwaliteit die door alle overheidsinstellingen verplicht worden gebruikt. De kwaliteit van de basisregistraties is wettelijk bepaald.

De benodigde data voor LHM-WQ/NHI-WQ moeten voor zover mogelijk aan de basisregistraties worden ontleend. Voor NHI en NHI-WQ zal met name de Basisregistratie Ondergrond (BRO) relevant worden. De BRO zal alle boringen en metingen in bodem en de ondergrond bevatten en daarmee de basis vormen voor zowel geohydrologische en bodemfysische als geo- en bodemchemische data en schematiseringen. Omdat de nationale en regionale modeltoepassingen regelmatig in opdracht van of door overheden worden uitgevoerd ligt het gebruik van overige open data eveneens voor de hand. Omdat de kwaliteit van deze bestanden de gebruiksmogelijkheden door de overheid bepaalt zullen de kwaliteit en bruikbaarheid echter kritisch moeten worden geëvalueerd voordat deze door het NHI gebruikt kunnen gaan worden (*fitness for use*).

Omdat niet alle data die nodig zijn voor de modellering van de waterkwaliteit worden vastgelegd in basisregistraties zou het goed zijn om, analoog aan het idee achter het NHI, deze data vast te leggen in een (open) database waar iedereen zijn gegevens voor aanlevert zodat ieder moment voor iedere gebruiker de state-of-the-art data beschikbaar zijn voor toepassing. Bij dat idee zijn voor het LHM-WQ/NHI-WQ enkele criteria die aan basisdata worden gesteld relevant:

-
- Verplichte terugmelding door gebruikers.
 - De inhoud en het domein van de data zijn vastgelegd.
 - Sluitende afspraken en procedures.
 - Stringente kwaliteitsborging.

3.5.2 Kwaliteitsborging

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) eist dat de databestanden en modelcodes die worden gebruikt in beleidsevaluaties en toekomstverkenningen minimaal voldoen aan de kwaliteitsstatus A die zij hanteren. Rijkswaterstaat hanteert het OTAP-model om ontwikkeling en toepassing te scheiden via zorgvuldige acceptatietoetsen. Voor de basisregistraties wordt de kwaliteitsborging geregeld, voor de overige data en de meeste modellen is de kwaliteitsborging en het bijbehorende beheer en onderhoud niet geregeld. Op dit moment wordt nagedacht over het beheer en onderhoud dat voor het NHI noodzakelijk is. Daarbij wordt nagedacht over het gewenste ambitieniveau en de bijbehorende eisen. Het lijkt verstandig om in het kader van het Nationaal Water Model (NWM) één ambitieniveau en werkwijze om vereisten te bepalen af te spreken en om een qua opzet gelijksoortig beheer en onderhoud te realiseren.

4 Schematiseringen

Op basis van de beschikbare basisdata zijn in de loop van de tijd verschillende landsdekkende schematiseringen ontwikkeld die als gevolg van de toenemende databeschikbaarheid en digitalisering steeds verder zijn verfijnd. In dit hoofdstuk worden de meest recente schematiseringen kort beschreven waarbij voor- en nadelen worden benoemd en ook de gebruikte basisdata worden genoemd. Daarbij zijn grofweg twee methoden te onderscheiden: schematiseren via representatieve eenheden of geostatistisch simuleren.

4.1 Representatieve eenheden

De klassieke benadering voor het schematiseren van de bodem is, analoog aan het onderscheiden van bodemtypes, het werken met klassen en daarbinnen onderscheiden van eenheden met representatieve eigenschappen. Deze representatieve eenheden worden vervolgens ruimtelijk toegekend aan alle elementen uit de betreffende klasse. De methode staat ook wel bekend als de plotbenadering is in onder andere toegepast in de modellen STONE en GeoPEARL.

Voor LHM-WQ/NHI-WQ zijn drie bestaande schematiseringen van de bodem relevant:

1. De fysisch-chemische kenmerken op basis van het BIS;
2. De hieruit afgeleide bodemfysische-eenhedenkaart (omdat die in LHM/NHI wordt gebruikt);
3. De Topsysteemkaart (omdat hierin een aantal verbeteringen voor de bodemfysische schematisering zijn geïntroduceerd zoals het gebruik van informatie over de ondergrond).

Verbeteren van de indelingen in representatieve eenheden is mogelijk door het gebruik van de schema's in Van den Berg *et al.* (2008). Door deze schema's te hanteren is een directe koppeling van de representatieve eenheden met de voor het doel van de studie meest relevante beschikbare gegevens mogelijk.

4.1.1 Fysisch-chemische kenmerken (FCK)

De Vries (1999) heeft de bodemkaart van Nederland gekarakteriseerd naar relevante fysisch-chemische kenmerken: organische stofgehalte, lutumgehalte, leemgehalte, siltgehalte, slibgehalte, M50, pH, kalkgehalte, ijzergehalte, C/N-quotiënt en dichtheid. Van deze eigenschappen zijn de spreiding (min, max), mediaan en gemiddelde bekend. De gegevens hebben betrekking op de profielopbouw tot 1,20 m en er is rekening gehouden met het grondgebruik: per bodemeenheid zijn maximaal drie FCK-eenheden onderscheiden op basis van bodemgebruik (grasland, akkerbouw en bos). Totaal worden 325 eenheden onderscheiden met een oppervlak dat meestal groter is dan 2000 ha. Deze 315 beschreven bodemeenheden vertegenwoordigen een oppervlakte van 2.570.000 ha. Dit is 83% van de oppervlakte die in Nederland door bodemeenheden wordt ingenomen. Aan de bodemeenheden is één, landelijk uniform profiel met opbouw en diktes van horizonten toegekend waarbij enkele regionale differentiaties zijn aangebracht.

Omdat grasland regelmatig wordt gescheurd zal het onderscheid tussen (permanent) grasland en bouwland dat bij het toekennen van FCK is gemaakt nauwelijks nog aan de orde zijn. Bij gebruik van de FCK moet daarom worden verkend of dit onderscheid nog zinvol is.

Overzicht

- Doel: bodemschematisering in representatieve profielen op basis van bodemfysische en bodemchemische eigenschappen.
- Doelvariabelen: organische stofgehalte, lutumgehalte, leemgehalte, siltgehalte, slibgehalte, M50, pH, kalkgehalte, ijzergehalte, C/N-quotiënt en dichtheid.
- Ruimtelijke resolutie:

- horizontaal: polygonen bodemkaart 1:50.000.
- verticaal: lagen van 10cm en horizonten.
- Gebruikte gegevensbestanden: BIS-Nederland, bodemkaart 1:50.000, grondgebruik bij de profielbeschrijvingen behorende bij de waarnemingen.
- Methode: per bodemtype zijn voor diepte trajecten van 10 cm gegevens uit BIS-Nederland geselecteerd. Aan de hand hiervan is de profielopbouw schematisch weergegeven. Per laag is per kenmerk de mediane waarde weergegeven plus de spreiding (P5 en P95). Het resultaat is getoetst aan de hand van documentatie bij de kaartbladen van de bodemkaart.

Beperkingen

- Landelijke eenheden (dezelfde bodems hebben overal in Nederland hetzelfde profiel).
- Zonder update veenkarteringen en kartering slappe bodems.
- Info tot 1,2 m en daardoor niet goed aansluitend op de schematisering van de ondergrond.
- Indeling op basis van basisdata en niet op basis van resulterende eigenschappen.

Sterke punten

- + Beschikbaar voor heel Nederland.
- + Per eenheid representatieve chemische en fysische eigenschappen gezocht.
- + Per eenheid zijn het gemiddelde en de spreiding (min, max) bekend, maar ook de achterliggende verdelingen kunnen beschikbaar worden gemaakt zodat ook andere statistische maten / betere indicatoren voor de spreiding (min en max geven beperkte informatie over de spreiding) kunnen worden bepaald (Van den Berg *et al.*, 2008).

4.1.2 BOFEK2012

Deze bodemfysisch-chemische karakterisering van de Vries is gebruikt als uitgangspunt voor de nieuwe Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK2012, Wosten *et al.* 2013). Voor de 325 eenheden van de FCK zijn de bijbehorende hydrologische eigenschappen berekend waarna mbv clusteranalyse naar landelijke clusters van bodemgroepen met vergelijkbare hydrologische eigenschappen is gezocht. Voor de resulterende 72 clusters op basis van gelijksoortige hydrologische kenmerken is een representatief profiel met bijbehorende parameters geselecteerd. De BOFEK schematisering is opgenomen in het NHI en wordt toegepast in zowel de WaterWijzer Landbouw als diverse landelijke en regionale hydrologische modeltoepassingen zoals het LHM, Hydromedah, Ibrahim, Azure, Mipwa e.d. Doordat de BOFEK schematisering is afgeleid van de chemisch-fysische karakterisering 1:50.000 is er een directe link met de bodemkaart en een herleidbare hiërarchie.

In de FCK is voor de eenheden met een oppervlakte van minimaal 500 ha de profielopbouw beschreven. De BOFEK2012 eenheden zijn landsdekkend gemaakt tbv de toepassing in het LHM (Figuur 1) door eenheden met een kleinere oppervlakte te clusteren met de eenheden waarvoor het profiel beschreven is.

Overzicht

- Doel: bodemschematisering op basis van bodemfysische eigenschappen.
- Doelvariabelen: minimaal aantal representatieve bodemprofielen op basis van hydrologische en bodemfysische eigenschappen.
- Ruimtelijke resolutie:
 - Horizontaal: polygonen bodemkaart 1:50.000.
 - Verticaal: 72 geschematiseerde representatieve bodemprofielen.
- Gebruikte gegevensbestanden: FCK, rekenresultaten hydrologische modeltoepassingen.
- Methode: clustering van groepen FCK-profielen met vergelijkbare hydrologisch-bodemfysische eigenschappen en de selectie van een representatief profiel binnen iedere cluster.

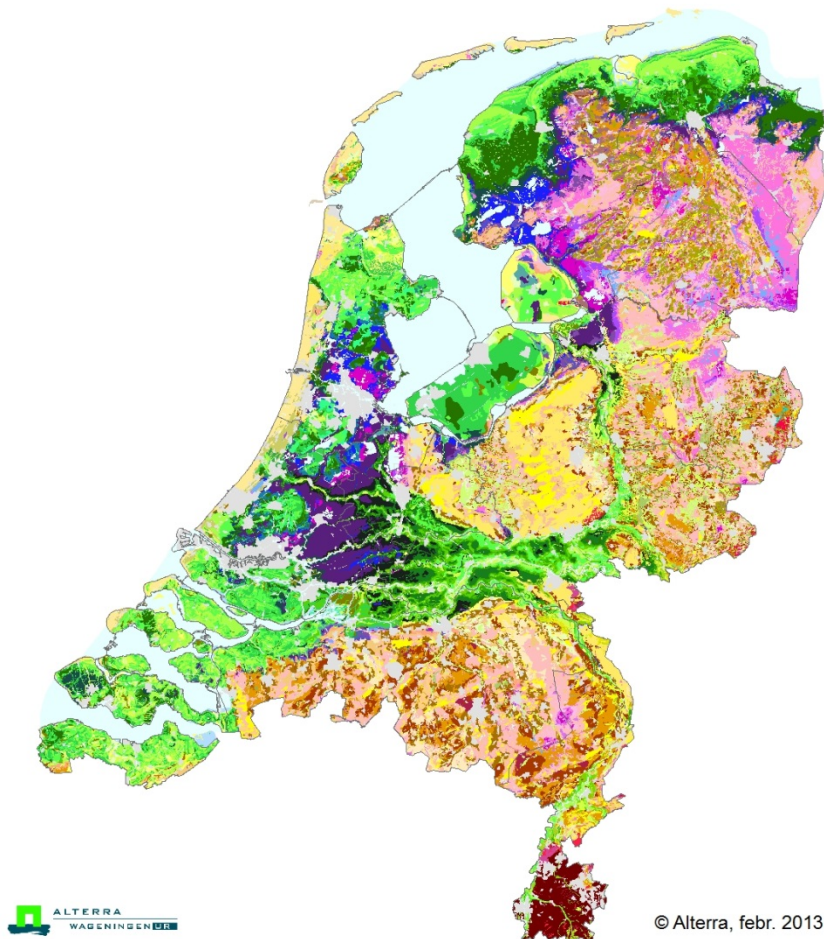
Beperkingen

- Landelijke eenheden (een bodemeenheid heeft overal in Nederland hetzelfde profiel).
- Zonder update veenkarteringen en kartering slappe bodems.
- Info tot 1.2 m en daardoor niet goed aansluitend op de schematisering van de ondergrond.

- De 'representatieve bodemfysische eigenschappen' van de Staringreeks (Wösten *et al.*, 2001) zijn gebruikt (dat deze een soort gemiddelde vormen worden de resultaten van modelstudies 'plat geslagen').
- De chemische eigenschappen zijn niet als criterium meegenomen bij de clustering.

Sterke punten

- + Beschikbaar voor het grootste deel van Nederland.
- + Indeling op basis van resulterende eigenschappen.
- + Per eenheid zijn representatieve bodemfysische eigenschappen gezocht binnen de clusters.
- + Per eenheid zijn het gemiddelde en de kleinste en grootste waarden bekend.

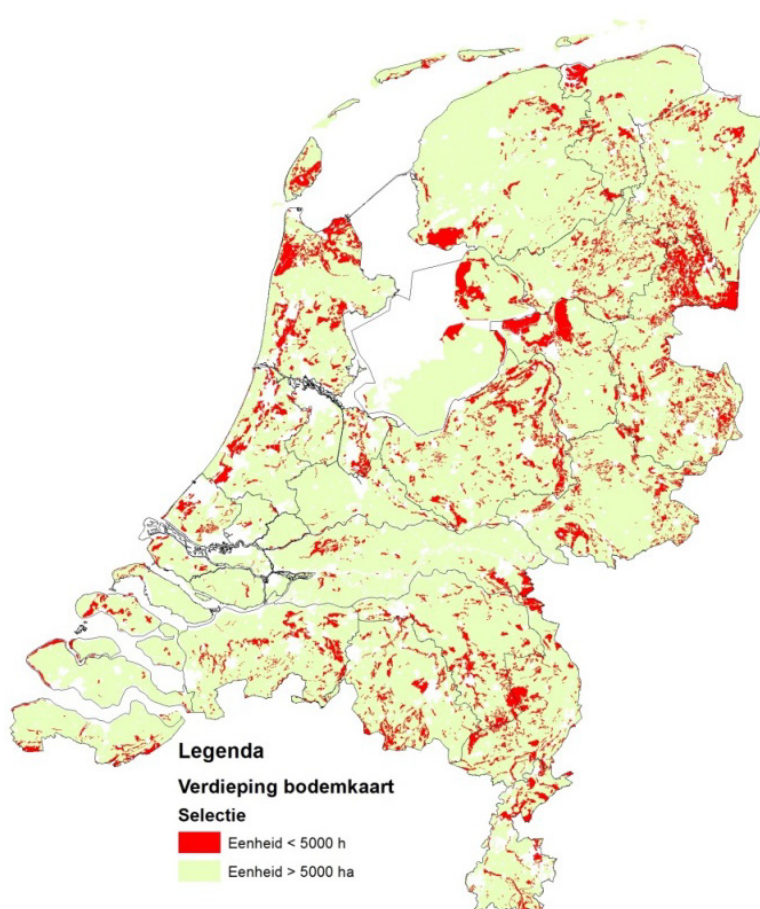


Figuur 1 Schematisering van de bodem in BOFEK2012-eenheden

4.1.3 Topsyysteemkaart (TSk)

Van der Gaast *et al.* (2015) hebben een Topsyysteemkaart vervaardigd op basis van bodemkundige en hydrologische eigenschappen. Daarbij is uitgegaan van de schematisatie van Nederland door Van der Gaast *et al.* (2006) op basis van 1) de Meteogebieden voor de 6 KNMI hoofdstations, 2) 22 hydrotypen (Massop *et al.*, 1997 en 2000) en de 21 PAWN bodemeenheden 1:50.000 (De Vries, 2008). Dit heeft geresulteerd in 437 schematisatie-eenheden. Van deze 437 schematisatie-eenheden zijn die eenheden geselecteerd, die groter zijn dan 5000 ha. Dit betreft 135 eenheden (volgens rapport 134 eenheden). Deze 135 eenheden vertegenwoordigen een oppervlak van 2.691.203 ha, de resterende eenheden vertegenwoordigen een oppervlak van 390.307 ha (Figuur 2).

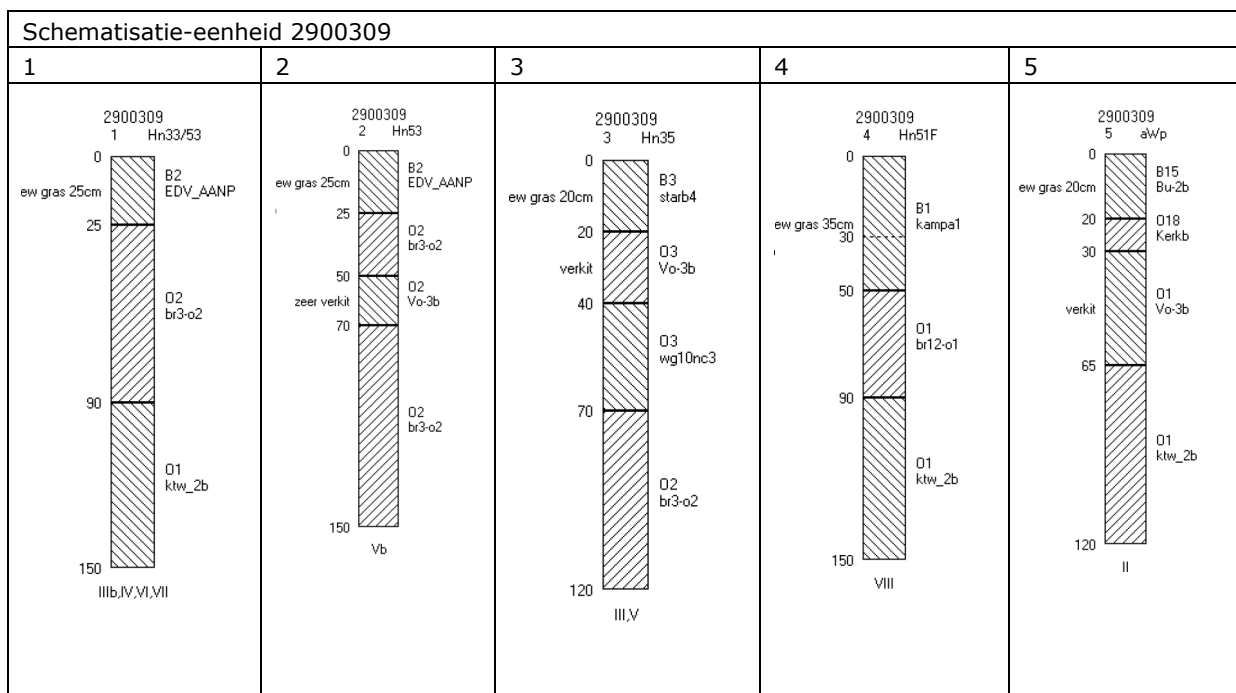
De eenheden groter dan 5000 ha zijn vervolgens gesplitst naar subeenheden door voor iedere Gt-klasse die voorkomt binnen een onderscheiden topsysteem-eenheid, een representatief standaardprofiel uit één van de detailkarteringen te selecteren (Bijlage 1). Daarvoor is gebruik gemaakt van de oude Gt-kaart (bodemkaart 1:50.000) omdat deze volgens de auteurs het beste de landschappelijk-hydrologische werkelijkheid beschrijft. De profielen zijn ontleend aan boorbeschrijvingen van detailkarteringen, en waar die niet beschikbaar zijn werden de profielen ontleend aan de boorbeschrijvingen van de 1:50.000 bodemkaart. In een aantal situaties wijkt het fysisch gedrag van boorprofielen binnen een subeenheid nauwelijks van elkaar af en is voor gecombineerde Gt-klassen één representatief bodemprofiel uit de beschikbare detailkarteringen geselecteerd. De variatie in Gt-klassen binnen deze geclusterde subeenheden worden hoofdzakelijk veroorzaakt door verschillen in maaiveld. Binnen schematisatie-eenheid 2900309 worden bijvoorbeeld 9 Gt's onderscheiden (Tabel 1) die kunnen worden gekarakteriseerd door vijf standaardprofielen (Figuur 3).



Figuur 2 TSK-eenheden >5000 ha en TSK-eenheden <5000 ha.

Tabel 1 Toegekende 5 standaardprofielen op basis van de Gt binnen schematisatie-eenheid 2900309.

ProfielSubId	II	III	IIIb	IV	V	Vb	VI	VII	VIII
Bodemprofielen	4	2	0	0	2	1	0	0	3



Figuur 3 DE 5 standaardprofielen voor schematisatie-eenheid 2900309.

De schematisatie-eenheden zijn vervolgens verdiept op basis van boringen (Van der Linden *et al.*, 2001, 2002a en 2002b) en de geohydrologische schematisering van de ondergrond in NH12.0 (vier lagen, Goes *et al.*, 2008).

De bodemfysische eigenschappen zijn per eenheid toegekend op basis van expertkennis. Daarbij is binnen de beschikbare gemeten bodemfysische eigenschappen de meest passende dataset gezocht. Dit leidt niet per definitie tot reproduceerbare resultaten, omdat andere experts immers tot een andere toekenning kunnen komen, en ook is de kwaliteit moeilijk aan te geven. Om transparant te werken en reproduceerbaarheid en kwaliteit zoveel mogelijk te waarborgen zijn alle toekenningen met overwegingen vastgelegd, validatie is echter nodig. Om reproduceerbaarheid mogelijk te maken is het noodzakelijk niet alleen de basisdata en de koppelTabel met relaties tussen eenheden, profielen en metingen/eigenschappen vast te leggen maar om ook de overwegingen van de expert(s) bij het toekennen van de eigenschappen goed vast te leggen. Dit zou bijv. kunnen via 'expert-elicitering' (Hessel *et al.*, 2014).

Overzicht

- Doel: verbeterde bodemfysische schematisering tbv hydrologische modeltoepassingen.
- Doelvariabelen: profielopbouw, bodemfysische parameters, diepte topsysteem.
- Ruimtelijke resolutie:
 - Horizontaal: polygonen PAWN-bodemeenheden kaart 1:50.000.
 - Verticaal: wisselende dieptes.
- Gebruikte gegevensbestanden: meteogebieden voor KNMI hoofdstations, hydrotypen, PAWN bodemeenheden 1:50.000. oude Gt-kaart.
- Methode: clustering op basis van berekende hydrologische criteria en expert-kennis.

Beperkingen

- Eenheden < 5.000 ha zijn nog niet meegenomen waardoor deze kaart niet landsdekkend is.
- De PAWN-bodemeenheden zijn gebruikt als basis.
- De indeling in zes meteodistricten is overbodig.
- Zonder update veenkarteringen en kartering slappe bodems.
- De toekenning van de bodemfysische eigenschappen op basis van expertkennis is niet reproduceerbaar. Andere experts kunnen tot een andere toekenning komen.
- Chemische eigenschappen zijn niet als criterium gebruikt.
- De resultaten zijn niet gevalideerd.

Sterke punten

- + Regionale eenheden onderscheiden op basis van criteria voor hydrologische eigenschappen.
- + Via verlengde profielen is de aansluiting op de ondergrond gerealiseerd.
- + Per eenheid zijn 'realistische bodemfysische eigenschappen' gezocht binnen de reeks beschikbare metingen voor een horizont. Daardoor ontstaat meer variatie passend bij de situatie.

4.2 Geostatistische simulaties

Geostatistische simulatie – het genereren van realisaties van een geostatistisch model voor ruimtelijke variatie - bewerkstelligt gegeven het model¹ correcte foutenvoortplanting zodat de resultaten ook als input voor de niet-lineaire hydrologische en bodemchemische modellen kunnen worden gebruikt. De ruimtelijke resolutie is bij gebruik van deze methoden aan te passen naar het doel. Daarnaast is het mogelijk de betrouwbaarheid van de kaarten te kwantificeren. Dit laatste maakt het mogelijk om het effect van fouten door schematiseringen op het uiteindelijke modelresultaat te berekenen (het laatste is overigens ook mogelijk bij gebruik van de bodemfysisch-bodemchemische schematisatie omdat daar ook de onderlinge frequentieverdelingen bekend zijn – zie Van den Berg *et al.*, 2008). De geostatistische simulatiemethoden maken het daarnaast mogelijk databronnen van verschillende kwaliteit te gebruiken. Zo wordt de beschikbare informatie maximaal benut zonder arbitraire keuzes (anders dan a priori in het statistisch model vastgelegd). Gebruik van dergelijke technieken maakt het dan ook mogelijk alle beschikbare data te gebruiken.

4.2.1 Kaarten Fosfaat en fosfaatbindend vermogen (Pk)

Op basis van het BIS hebben Van der Salm *et al.* (2014) vlakdekkende invoerbestanden van water-extraheerbaar fosfor (Pw-getal, mg/l P_2O_5 ; het voor de plant makkelijk beschikbare fosfaat in de bodem) en oxalaat-extraheerbaar ijzer en aluminium (FeAl-ox, mmol/kg; het fosfaatbindende vermogen van de bodem) vervaardigd voor drie dieptes (0-20, 20-50 en 50-100 of de GLG indien die kleiner is dan 100 cm -mv). In BIS zijn voor 4000 locaties 15.000 FeAl-ox gegevens beschikbaar en op 2000 locaties zijn 4000 Pw-getallen beschikbaar. De puntgegevens uit BIS zijn voor deze drie dieptes met gebruik van hulpinformatie (bodemtype volgens de PAWN-bodemkaart, grondgebruik op basis van LGN6, en de GLG volgens Van der Gaast (2010) via relaties tussen Pw en FeAl-ox ruimtelijk geïnterpoleerd naar een 250x250m grid. In een tweede stap zijn de gegevens van oxalaat-extraheerbaar fosfor (P-ox, mmol/kg; mineraal fosfor in de bodem) die voor meer meetlocaties beschikbaar zijn gebruikt om via statistische relaties het Pw-getal met bijbehorende betrouwbaarheid te berekenen. Deze informatiebronnen zijn verfijnd op basis van locatie-specifieke Pw- en FeAl-ox-gegevens door via geostatistische simulatie voor elke bodemeigenschap op elke diepte 100 mogelijke kaartbeelden te realiseren. Deze realisaties geven voor ieder punt van de kaart een indruk van de kansverdeling van de eigenschappen.

In deze studie zijn de sorptieparameters gekoppeld aan de eenheden van BOFEK2012 (Wösten *et al.*, 2012), en zijn de achtergrondconcentraties ontleend aan STONE (Groenendijk *et al.* 2013).

Overzicht

- Doel: Kaart met parameters voor PLEASE (Van der Salm *et al.* 2014) om het uit- en afspoelrisico van fosfaat te bepalen
- Doelvariabelen: Pw, FeAl-ox (en P-ox)
- Ruimtelijke resolutie:
 - Horizontaal: 250x250 m².

¹ Het model kan systematische fouten bevatten (als bijvoorbeeld alle waarnemingen preferent op hogere gedeelten zijn verricht).

- Verticaal: Diepte intervallen: 0-20, 20-50, 50-100 cm (of de GLG indien die kleiner is dan 100 cm –mv).
- Gebruikte gegevensbestanden: BIS, PAWN-bodemkaart (De Vries 2008), LGN6 (Hazeu *et al.*, 2010), GLG (Van der Gaast *et al.*, 2010)
- Methode: Geostatistische simulatie

Beperkingen

- Rekenintensief, vergt veel computergeheugen, zeer grote databestanden.
- Beperkt aantal vaste diepte intervallen die geen rekening houden met de bodemopbouw in horizonten.
- 3D is voor deze toepassing eigenlijk 'gestapeld 2D' i.e. pseudo-3D.
- De betrouwbaarheid van de kaarten is (nog) niet zichtbaar gemaakt.

Sterke punten

- + Beschikbaar voor het grootste deel van Nederland.
- + Maakt gebruik van beschikbare bodemkundige, landschappelijke, en hydrologische informatie.
- + Reproduceerbaar (geen impliciete 'expert'-kennis).
- + De kaart heeft een hoge ruimtelijke resolutie die – in beginsel – geschikt is voor regionale toepassingen.

4.2.2 Organischestofkaart (OSk)

Hoogland *et al.* (2014) hebben op basis van de gegevens in het BIS, de bodemkaart 1:50.000 en de referentieprofielen van De Vries (1999) en de Landelijke Steekproef Kaartenheden (Finke *et al.*, 2001) kaarten met organischestofgehalten vervaardigd voor dieptes van 15, 45, 80 en 120 cm-mv. Het BIS-systeem bevat 323.000 profielbeschrijvingen waarbij het organischestofgehalte (OS-gehalte) is opgenomen voor 1.240.000 bodemlagen. De OS-gehalten zijn meestal veldschattingen met daarnaast zo'n 20.000 laboratoriumbepalingen (Kempen *et al.*, 2009). De voorspellingen in de nieuwe OS-kaarten zijn vervaardigd op basis van een log-getransformeerd OS-gehalte ($\ln(OS\%+1)$) omdat nauwkeurige voorspellingen van lage OS-gehalten belangrijker zijn voor de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen dan hoge OS-gehalten. De voorspellingen voor lagere OS-gehalten worden daardoor nauwkeuriger voorspeld maar er worden daardoor ook minder nauwkeurige hoge OS-gehalten voorspeld. De OS-gehalten zijn uiteindelijk toegekend als gemiddelde (de verdeling is ook bekend) voor plots, gebruik van de gemiddelden van bodemeenheden resulteerde in onrealistisch veel spreiding.

Overzicht

- Doel: betere OS-kaart om het uitspoelrisico van gewasbeschermingsmiddelen te bepalen
- Doelvariabele: organischestofgehalte.
- Ruimtelijke resolutie:
 - Horizontaal: grid 250x250.
 - Verticaal: vaste dieptes 15, 45, 80 en 120 cm.
- Gebruikte gegevensbestanden: FCK, bodemkaart 1:50.000, 1) landelijk: LSK+gras/akkerbouw/overig, en 2) regionaliseren: BIS
- Methode: Geostatistische simulatie

Beperkingen

- rekenintensief, vergt veel computergeheugen, zeer grote databestanden.
- Minder goede resultaten voor hoge organischestofgehalten (moerige gronden en veen, keuze in verband met de specifieke toepassing).
- Resultaten van veen- en leemgronden zijn minder betrouwbaar door het ontbreken van validatieresultaten.

-
- De kaart heeft een systematische fout (gemiddeld 0.6% OS te laag²).

Sterke punten

- + De OS-gehalten in de toplaag onder akkerbouw in BIS zijn nagenoeg gelijk aan de data (van mengmonsters) van Reijneveld *et al.* (2009), dat geeft vertrouwen.
- + Goede resultaten voor lage organischestofgehalten.
- + De systematische fout van de nieuwe kaart (gemiddeld 0.6% OS te laag) is kleiner dan die van de oude kaart (gemiddeld 1.5% te hoog).
- + De nieuwe kaart geeft de ruimtelijke patronen beter weer dan de oude kaart.

4.2.3 3D-bodemkaart (3DBk)

Voor het gebied "Deurnese Peel en Mariapeel" is als pilot een 3D-bodemkaart ontwikkeld, vooruitlopend op de GeoTOP-modellering in Noord-Brabant en Limburg (Vernes *et al.*, 2013). De 3D-bodemkaart is in deze pilot opgebouwd uit voxels (rechthoekige blokjes) van 25 x 25 x 0.25 m³ (lengte x breedte x diepte). Voor elke voxel is met een geostatistisch simulatiemodel op basis van verschillende gegevensbestanden een aantal relevante bodemeigenschappen berekend, zoals de bodemtextuur (lutum-, silt-, en zandgehalte), het organischestofgehalte en de zandmediaan. Op basis daarvan zijn hydrologische eigenschappen afgeleid zoals het gehalte verzadigd vocht en de doorlatendheid. Bij de pilot Deurnese Peel en Mariapeel zijn data van verschillende kwaliteit gebruikt. Daarbij is expliciet onderscheid gemaakt tussen de kwaliteit van TNO-data (textuurklassen o.b.v. veldschattingen), STIBOKA/SC-DLO/Alterra data (textuurfracties o.b.v. veldschattingen) en textuurfracties op basis van laboratoriumbepalingen. Nauwkeuriger bepalingen krijgen zo een groter gewicht bij het berekenen van de 3D-kaart terwijl de informatie uit de minder nauwkeurige metingen wel wordt benut.

De uitdaging was om de diversiteit aan gegevensbestanden (DINO-database van TNO, Bodem Informatie Systeem (BIS) van Alterra, nog niet gedigitaliseerde boorbeschrijvingen van Alterra, de bodemkaart 1:50.000, en een conceptueel lithostratigrafisch model van TNO) zodanig te combineren dat de meest nauwkeurige gegevens het grootste effect hebben op het uiteindelijke 3D-bodemmodel. De nauwkeurigheid van het 3D-bodemmodel is op zodanige wijze berekend dat het 3D-bodemmodel geschikt is om als invoer voor niet-lineaire hydrologische modellen te dienen.

De pilot heeft laten zien dat het vervaardigen van een 3DBk kan worden gerealiseerd. Het is de bedoeling om in de BRO een landsdekkende 3DBk te gaan realiseren. Zodra deze 3DBk beschikbaar komt zouden LHM en LHM-WQ daar gebruik van moeten willen maken. Vooruitlopend daarop zou in een regionale pilot (bijv. Deurnese Peel en Mariapeel) een modeltoepassing met een gedetailleerde bodemschematisering kunnen worden uitgevoerd. Verwacht wordt dat de effecten op de modelresultaten groot zullen zijn in zowel landbouwgebied als in natuurgebieden en dat door het beter beschrijven van de lokale situatie de effecten van maatregelen beter geschat zullen worden.

Overzicht

- Doel: Integrale schematisering van de bodem voor alle relevante variabelen op basis van alle beschikbare informatie.
- Doelvariabelen: lutumgehalte, siltgehalte, zandgehalte, organischestofgehalte, zandmediaan
- Ruimtelijke begrenzing: DPM-gebied tot 30 meter diepte.
- Ruimtelijke resolutie:
 - van 0 tot 2 meter diepte voxels van $X \times Y \times Z = 25 \times 25 \times 0.25 \text{ m}^3$.

² De systematische fout is het gevolg van de toegepaste logtransformatie. Hierdoor wordt een groter gewicht toegekend aan lage gehalten dan aan de hoge gehalten. De resulterende loggetransformeerde voorspellingen hebben landelijk geen systematische fouten (gebieden hebben fouten die elkaar landelijk compenseren), door terug transformeren naar het organischestofgehalte ontstaat een scheve verdeling van fouten: de systematische fout.

-
- van 2 tot 30 meter: $100 \times 100 \times 0.5 \text{ m}^3$ (uitgevoerd door TNO met andere doelvariabelen (klassen)).
 - Gebruikte gegevensbestanden: BIS, REGIS II, DGM, bodemkaart 1:50000, lithostratificatie (pseudo 3D-model).
 - Methode: Geostatistische simulatie (gebaseerd op universal kriging).

Beperkingen

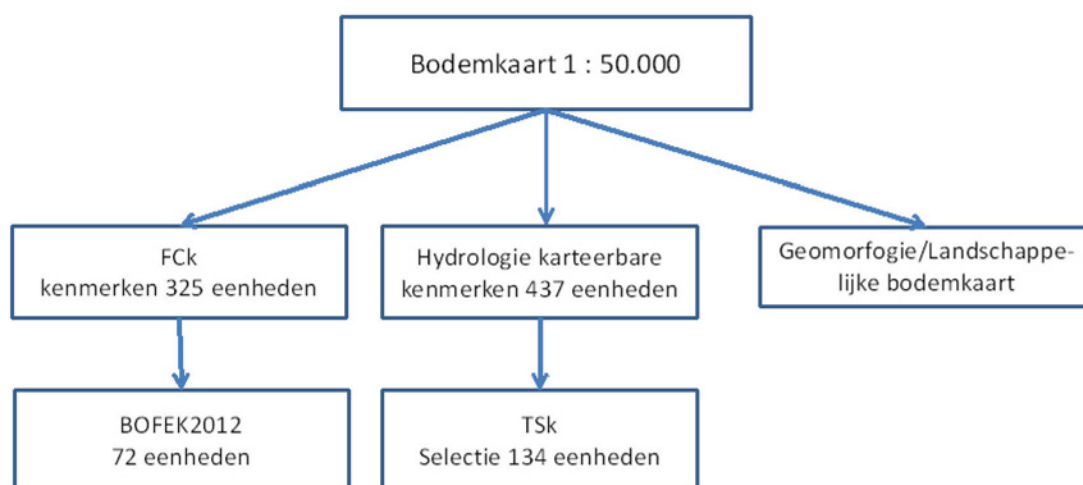
- Alleen beschikbaar voor het pilotgebied Deurnese Peel Mariapeel. Niet landsdekkend.
- Zeer rekenintensief (afleiden ruimtelijk model, uitvoeren van simulaties), vergt veel computergeheugen, zeer grote databestanden.

Sterke punten

- + Volledig (pseudo-)3D bodemmodel (de horizontale en verticale samenhang worden gemodelleerd).
- + Betrouwbaarheid van verschillende bestandtypen (laboratoriumdata, veldschattingen, klassedata, etc.) wordt expliciet meegenomen. Data van hogere kwaliteit zullen daardoor meer het kaartbeeld gaan bepalen dan data van lagere kwaliteit.
- + Het voxelmodel van de bodem is geconditioneerd op het voxelmodel van de diepere ondergrond. Hierdoor wordt voorkomen dat op 2 meter een kunstmatige overgang ontstaat tussen het TNO-deel (2-30 m) en het Alterradeel (0-2m).
- + Resolutie is 'voxel-based' en daardoor aan te passen naar het doel.
- + Betrouwbaarheid van voxels is gemaximaliseerd én gekwantificeerd.
- + Maakt gebruik van beschikbare bodemkundige en geologische informatie.
- + Reproduceerbaar (geen impliciete 'expert'-kennis).
- + Geschikt om effecten van fouten in de gebiedsschematisering op het uiteindelijke (hydrologische) model Nationaal Hydrologisch Instrumentarium-waterkwaliteit resultaat door te rekenen.

5 Samenhang en consistentie

Omdat voor NHI en NHI-WQ enerzijds gestreefd wordt naar een optimaal gebruik van beschikbare data en anderzijds pragmatisch beschikbare bestanden moeten worden gebruikt is het zaak zorgvuldig af te wegen wat op korte termijn mogelijk en op langere termijn wenselijk is. Daartoe is het noodzakelijk de samenhang en mogelijkheden om methoden te combineren te verkennen. Figuur 4 geeft de verschillende kaarten/schematiseringen met relaties weer. De bodemkaart 1:50.000 (en het achterliggende BIS) vormt de basis.



Figuur 4 Relaties tussen bestaande fysisch-chemische bodemschematiseringen.

5.1 Samenhang tussen de schematiseringen

Omdat de bodemkaart 1: 50.000 de basis vormt voor alle schematiseringen, is geprobeerd met bijbehorende legenda-eenheden de relaties met de verschillende schematiseringen (FCK, BOFEK, PAWN, TSK) in één Tabel te vangen.

Door uit te gaan van een Tabel wordt bereikt dat (zolang de legenda niet wordt gewijzigd) bij een update van de bodemkaart de schematisering eenvoudig kan worden aangepast. Idealiter wordt (voor schaarse data of data die niet zijn te interpoleren) een Tabel gerealiseerd met samenhangende bodemfysisch-bodemchemische karakterisering op verschillende niveaus ten behoeve van toepassen op verschillende schalen en/of voor verschillende doelen.

5.1.1 FCK en BOFEK

BOFEK is afgeleid uit FCK door binnen een cluster FCK-eenheden een representatieve eenheid te selecteren met vergelijkbare hydrologische- en bodemfysische eigenschappen. Er bestaat derhalve een 1:n relatie tussen de BOFEK en FCK-eenheden. Meest pragmatische stap (omdat dan geen aanpassing van het LHM nodig is) zou zijn om aan de BOFEK eenheden de chemische parameters van de equivalenten FCK-eenheid toe te kennen.

Gebruiken van de FCK-eenheden resulteert in meer ruimtelijk onderscheid door het onderscheiden van meer profielen. Vanwege de vereiste consistentie vraagt de gedetailleerdere bodemschematisering het definiëren van extra bodemfysische eenheden i.e. het vervangen van BOFEK in het LHM. Omdat de bodemfysische parameters van de Staringreeks er voor zorgen dat verschillen in hydrologie worden 'platgeslagen' worden geen grote gevolgen verwacht voor de hydrologie zolang de bodemfysische karakteristieken niet worden aangepast. Op de langere termijn moet worden overwogen de Staringreeks te vervangen door de lokale bodemfysische eigenschappen te schatten. Dat kan met pedotransferfuncties of andere benaderingen waarbij makkelijker te meten en dus beter bekende bodemeigenschappen worden gebruikt om de bodemfysische eigenschappen te bepalen. Om deze stap te kunnen maken is het nodig meer bodemfysische data en bijbehorende bodemeigenschappen van een goede kwaliteit te verzamelen.

5.1.2 TSK

De dekking van 85% van Nederland vormt een belemmering voor het gebruik van de Topsysteemkaart. Omdat de indeling in meteodistricten niet relevant is voor een fysisch-chemische karakterisering van de bodem is verkend of het niet meenemen van dit indelingscriterium leidt tot een toename van het areaal met een toegekend profiel. De TSK-kaart onderscheidt 3658 eenheden (Tabel 2) waarvan er 981 met een totale oppervlakte van 2.276.847 ha beschikbaar zijn.

Tabel 2 Aantal en oppervlakte van de TSK- eenheden in de TSK.

	profiel beschikbaar ontbreekt	Totaal
aantal	981	2677
Opp. ha	2.276.847	399.396
opp. %	85.1	14.9
		100

Door de weinig relevante meteodistricten weg te laten worden combinaties samengevoegd. Hierdoor neemt het aantal eenheden af en kan een deel van de ontbrekende combinaties worden ingevuld op basis van vergelijkbare profielen gelegen binnen de andere meteodistricten. In Tabel 3 is aangegeven welk deel resteert. Door deze actie neemt het ontbrekende areaal af van 14,9% naar 10,8%.

Tabel 3 Aantal en oppervlakte van de TSK- eenheden met weglaten van de meteodistricten in de TSK.

	profiel beschikbaar ontbreekt	Totaal
	Totaal	
aantal	719	1517
Opp. ha	2.387.041	289.201
opp. %	89.2	10.8
		100.0

De resulterende verandering in oppervlakten is zoals verwacht vrij beperkt maar niet onaanzienlijk omdat alleen op de grens tussen meteodistricten bodemeenheden zijn gesplitst op basis van dit criterium. Het aantal eenheden neemt wel aanzienlijk af, wat betekent dat er veel kleine eenheden zijn ontstaan door gebruik van de meteodistricten om de eenheden te definiëren.

Gegeven het feit dat gezocht wordt naar een fysisch-chemische karakterisering van de bodem die complementair wordt gebruikt met de fysisch-chemische schematisering van de ondergrond (en later op basis van GeoTop) kunnen ook de hydrotypen worden weggelaten als onderscheidend criterium. Hierdoor neemt het aantal eenheden sterk af en neemt het ontbrekende areaal af naar 0,4% (Tabel 4). Daarmee is een vrijwel landsdekkende bodemschematisering conform de TSK gerealiseerd.

Tabel 4 Aantal en oppervlakte van de TSK- eenheden met weglaten van de meteodistricten en negeren van de hydrotypen in de TSK.

	profiel beschikbaar ontbreekt	Totaal
	Totaal	
aantal	174	29
Opp. ha	2.666.262	9.980
opp.%	99.6	0.4
		100.0

Omdat de bodemvorming gekoppeld is aan de hydrologische toestand kan aanvullend worden verkend of de positie in het landschappelijk-hydrologische systeem kan worden gebruikt om kleinere eenheden samen te voegen met naastgelegen eenheden om het gedekte areaal te vergroten. De geomorfologische kaart en de landschappelijke bodemkaart beschrijven de landschappelijke eenheden en zouden als basis hiervoor kunnen dienen.

5.1.3 Pk, OSk en 3DBk

De beide eerste geostatistisch gesimuleerde producten zijn gemaakt voor specifieke eigenschappen op vaste diepten (de verticale verdeling van de individuele eigenschappen worden inclusief de correlaties zijn meegenomen). De koppeling met het bodemprofiel, de opbouw dus van de bodem via horizonten met bijbehorende eigenschappen, ontbreekt waardoor deze kaarten niet consistent zijn met FCK en BOFEK. De resultaten kunnen via opschaling worden omgezet naar kansverdelingen van eigenschappen behorende bij representatieve eenheden wanneer de opbouw van de bodem is meegenomen en wanneer gerelateerde data consistent kunnen worden toegekend. Dat blijkt voor deze beide eerste toepassingen (Pk en OSk) niet het geval. De resultaten van de geostatistische simulaties kunnen op dit moment niet consistent met de representatieve eenheden worden gebruikt.

Om de OS- en P-kaarten te kunnen gebruiken moeten deze worden herzien, waarbij de bodemhorizonten met relevante bijbehorende eigenschappen worden meegenomen in de simulaties. Dat zou kunnen door de bodemkaart en de boringen van BIS te gebruiken om een (pseudo-) 3D-bodemkaart te genereren.

De 3DBk is nog niet landsdekkend beschikbaar. Voor het pilotgebied Deurnese Peel en Mariapeel is gebleken dat deze methode in de praktijk lijkt te kunnen worden toegepast. Ook voor deze pilot is de laagindeling nog te grof (25 cm) om de gelaagdheid van de bodemopbouw goed te kunnen representeren. Idealiter wordt de opbouw óf in lagen van 1 cm geschematiseerd om van daaruit naar dikkere compartimenten/lagen te kunnen opschalen, óf wordt met geostatistische simulatie maatwerk geleverd voor de vooraf vastgestelde schematisering in modellagen door de resolutie (blokgrootte) van de predicties aan te passen. De data en het geostatistische model hoeven bij de laatste werkwijze niet te worden aangepast en er bestaat een efficiënt algoritme voor deze aggregatieslag. Dit voorkomt dat er, zoals bij de eerste methode, achteraf moet worden geaggregeerd. Omdat aggregatie vaak suboptimaal is moet dit zoveel mogelijk worden voorkomen en heeft de tweede methode de voorkeur. Bovendien hoeft je dan geen enorme bestanden op te slaan, een basisbestand met een laagdikte van 1 cm leidt tot gigantisch veel data. Hier past een pilotproject naar de mogelijkheden om een landelijke kaart te maken waarbij ook de vergelijking met de methode van representatieve eenheden wordt gemaakt.

5.2 Consistentie van de schematiseringen

In NHI en NHI-WQ wordt (binnen de mogelijkheden) gestreefd naar een transparante, goed gedocumenteerde en operationele methode voor het aanmaken van schematiseringen en modelinvoer. Daarbij hoort ook dat consequent gebruik wordt gemaakt van dezelfde basisbestanden. Voor NHI is een inhaalslag uitgevoerd om dit te realiseren, voor NHI-WQ is het zaak in beeld te hebben welke basisbestanden nodig zijn en welke voor welke schematisering zijn gebruikt. Tabel 7 geeft het overzicht.

BOFEK is afgeleid van FCK (1:n) en dus is hier sprake van een vorm van consistentie. Voor de TSK zijn andere basisdata gebruikt, consistent maken van de TSK vraagt een extra inspanning. Ook de beschikbare geostatistisch gesimuleerde P- en OS-kaarten zijn op basis van andere informatie afgeleid en zijn dus niet consistent. Dat de basislagen voor bijv. de OS-kaarten en de P-kaarten verschillen is niet onlogisch omdat ze immers binnen verschillende projecten voor verschillende doelen zijn afgeleid (en voor die toepassingen consistent zijn). Omdat in NHI/NHI-WQ wordt gestreefd naar consistent gebruik van basisbestanden is het niet toegestaan deze bestanden gecombineerd in te zetten zonder eerst deze bestanden te updaten met gebruik van dezelfde basisdata. Om te komen tot een generiek toepasbare bodemschematisering vraagt de NHI-eis van consistentie het gebruik van op BIS (en aanvullende data) gebaseerde representatieve eenheden of, in aansluiting op GeoTOP, een op basis van alle beschikbare gegevens in onderlinge samenhang geostatistisch gesimuleerde "3D-bodemkaart" te ontwikkelen. Daarbij moet ook gebruik worden gemaakt van detailkarteringen, van de veendiktekaart en van de slappe-ondergrondenkaart.

Tabel 5 Basisdata gebruikt voor verschillende schematiseringen (3DBk geeft de realisatie voor het pilotgebied Deurnse Peel en Mariapeel).

Basisdata	Databestand	FCK	BOFEK	TSK	Pk	OSk	3DBk
Bodemprofielen	BIS 1:50.000	X		X	X	X	X
	BIS detailkarteringen			X			
	LSK					X	
Bodemeenheden	Bodemkaart 1:50.000	X				X	X
	Veendiktekaart						
	Slappe ondergrondkaart						
	PAWN 1:50.000			X	X		
schematisering	bodem		FCK			FCK	
	hydrotypen			X			
	meteogebieden			X			
Gt-kaart	oude Gt-kaart 1:50.000			X			
	GLG (vd Gaast 2010)				X		
(hydro)Geologie	NHI2.0			X			
	REGIS II						X
	DGM						X
	Lithostratigrafie						X
	DINO-database						X
Landgebruik	LGN6				X	X	

5.2.1 Selectieve dataverzameling

Het ligt voor de hand om de bestaande schematisering te gebruiken om de fysisch-chemisch monsternamen in bodems/bodemhorizonten te sturen en te prioriteren. Bij het project Monitoring Stroomgebieden is de schematisering van bodem en landgebruik gebruikt om (nieuwe) meetpunten in het gebied te plaatsen. Daartoe is een optimalisatiemethode gebruikt die als doel(funcie) had om de nauwkeurigheid van de nog te berekenen kaart te maximaliseren. Deze optimalisatiemethode kon ook rekening houden met al bestaande metingen. Hierdoor kon alle beschikbare informatie worden geïntegreerd (Walvoort *et al.*, 2010).

6 Synthese

Er zijn verschillende opties om de bodem te schematiseren waarbij de bodemchemische data en bodemfysische data gelijktijdig worden toegekend. De schematisering van beide modellen, NHI- en NHI-WQ, moet consistent zijn.

6.1 Opties

Conform de eisen van dit project variëren de opties om te komen tot een adequate bodemschematisering van het op de korte termijn gebruik maken van bestaande schematiseringen tot het opzetten van een structurele methode om de schematisering te updaten en te blijven verbeteren. Deze opties voor realisatie zijn:

Korte termijn:

Bestaande schematiseringen zijn vooral gebaseerd op het definiëren van representatieve eenheden met bijbehorende onderscheidende eigenschappen. Daarnaast zijn voor specifieke toepassingen kaartlagen op basis van geostatistische simulaties beschikbaar. De representatieve eenheden kunnen worden gekoppeld aan de bodemkaart, zodat alle schematiseringen kunnen worden gebruikt mits deze gebaseerd zijn op bodemfysische en –chemische indelingscriteria. De geostatistische simulaties hebben (vooralsnog) betrekking op specifieke toepassingen en kunnen additioneel worden gebruikt wanneer de schematisering van het bodemprofiel en gebruikte databestanden consistent zijn met de andere schematiseringen (van representatieve eenheden en/of geostatistische simulaties). De volgende opties zijn geïdentificeerd:

1. De FCK eigenschappen van de 72 BOFEK-eenheden gebruiken. Voordeel van deze werkwijze is dat uitgegaan wordt van de bestaande bodemschematisering in het LHM zodat hier geen wijzigingen in hoeven te worden aangebracht. Nadeel van deze werkwijze is dat niet alle beschikbare informatie van FCK wordt benut omdat de chemische eigenschappen niet zijn meegenomen bij de clusteranalyse voor BOFEK. Om die reden valt deze optie a priori af.
2. De volledige (330 eenheden) FCK gebruiken. Dit leidt tot meer bodemchemische (en bodemfysische) differentiatie. De bodemschematisering in het LHM moet worden aangepast om consistent te blijven. Bij gebruik van de Staringreeks worden, omdat door het gebruik van gemiddelde bodemfysische eigenschappen geen rekening wordt gehouden met de variabiliteit binnen bodemeenheden en tussen regio's, geen grote effecten op de resultaten van het LHM verwacht anders dan meer ruimtelijke differentiatie.
3. Als 2, waarbij meer onderscheid in de hydrologie en daarmee ook in het gedrag van stoffen in de bodem wordt verkregen door de Staringreeks te vervangen door gebruik van de bodemfysische parameters van de gevalideerde TSK of een nieuwe fysische dataset op basis van pedotransferfuncties of andere technieken. De verwachting is dat dit tot aanzienlijke veranderingen in de resultaten van de hydrologische - en waterkwaliteitsberekeningen zal leiden. Voorwaarde is dat de toekenning van de bodemfysische parameters wordt gevalideerd.
4. De geostatistisch gesimuleerde P-kaarten en OS-kaart te gebruiken als beste schatters voor ruimtelijke patronen van deze specifieke parameters. De voordelen van de betere ruimtelijke verdeling weegt bij deze keuze zwaarder dan de nadelen door het gebruik van niet-consistente datasets. Omdat geen rekening is gehouden met de opbouw van de bodemprofielen in horizonten is er namelijk geen consistentie met de hydrologische berekeningen en overige chemische parameters waardoor een serieuze update van de simulaties noodzakelijk is. Dit probleem wordt vanzelf opgelost bij realisatie van de 3D-bodemkaart als langere-termijnoptie voor het verbeteren van de bodemschematisering.

Langere termijn:

Wanneer voldoende data beschikbaar zijn heeft het de voorkeur via geostatistische simulatie kaarten te vervaardigen, omdat dan ruimtelijke patronen goed kunnen worden gevolgd en omdat dan ook de betrouwbaarheid kan worden verdisconteerd. Om de consistentie te waarborgen moeten de simulaties zoveel mogelijk op alle beschikbare eigenschappen worden gebaseerd.

5. Wanneer gekozen wordt voor een schematisering in discrete klassen, dus representatieve eenheden, kunnen de schema's van Van den Berg *et al.* (2008) worden gebruikt om meer eenheden te onderscheiden en de consistentie te handhaven.
6. Wanneer gekozen wordt voor een continue ruimtelijke toekenning van eigenschappen via geostatistische simulaties vraagt de eis van consistentie om het ontwikkelen van een gesimuleerde 3D-bodemkaart door alle profielen en metingen uit BIS (straks BRO) in combinatie met aanvullende data te gebruiken om per voxel (bijv. $25 \times 25 \times 0,1 \text{ m}^3$) een verdeling van de bodemchemische en -fysische eigenschappen te simuleren of om direct de gegevens voor modelcompartimenten te simuleren zodat die niet hoeven te worden geaggregeerd.

Het is belangrijk dat hiervoor voldoende data beschikbaar zijn dan wel komen. Het ligt voor de hand om de bestaande schematiseringen te gebruiken om de fysisch-chemisch monsternamen in bodems/bodemhorizonten te sturen en te prioriteren om via gerichte monsternamen de schematisering en de bijbehorende data te verbeteren. Gebruik van data op perceelsniveau heeft een duidelijke toegevoegde waarde en daarom zouden ook deze gegevens in de toekomst kunnen worden meegenomen in de geostatistische simulaties naast de data uit BIS/BRO.

Voor toepassen van eenvoudige rekenmethoden kunnen de benodigde eigenschappen behorende bij een specifieke schematisering in representatieve eenheden uit de 3D-bodemkaarten worden afgeleid op basis van de verdelingen van de eigenschappen voor deze eenheden.

6.2 Vergelijken

In dit rapport zijn de verschillende bodemschematiseringen besproken aan de hand van criteria die op verschillende plekken in het rapport zijn te vinden. Hieronder zijn deze achter elkaar gezet:

- Bevatten de voor LHM-WQ/NHI-WQ benodigde parameters:
 - OS en C/N-ratio.
 - P-voorraad en beschikbaar P (tbv mestbeleid worden de data van het RVO gebruikt).
 - IJzer- en aluminiumgehalte.
 - pH-H₂O.
- Gebaseerd op landsdekkende, publieke gegevensbestanden.
- Databestanden worden beheerd en onderhouden.
- Databestanden hebben een kwaliteitstatus.
- Data met verschillende kwaliteit zijn gecombineerd.
- Zo gedetailleerd mogelijke ruimtelijke discretisatie.
- Grote ruimtelijke resolutie onderscheiden profielen / Zo gedetailleerd mogelijke profielbeschrijving (bodemopbouw in horizonten).
- Diepte van de profielen.
- Consistentie bestanden: alle afgeleide data zijn gebaseerd op dezelfde basisbestanden.
- Consistentie schematisering: zelfde schematisering voor hydrologie als waterkwaliteit.
- Schematisering op basis van resulterende eigenschappen.
- Aansluiting op de schematisering van de ondergrond.
- Inzicht in de kansverdeling.
- Betrouwbaarheid bekend.
- De systematische fout is klein.
- (Ruimtelijke patronen) gevalideerd.
- Flexibel te actualiseren bij beschikbaar komen van nieuwe data of datasets.
- Reproduceerbaar.
- Rekentijd en opslagcapaciteit zijn overzichtelijk/beperkt.

Tabel 6 Evaluatie van de bodemschematiseringen aan criteria (++/donkergroen voldoet helemaal, +/lichtgroen voldoet, -/oranje voldoet niet, --/rood kan niet voldoen, blanco/geel niet bepaald).

	Criterium	Fck	BOFEK	TSk	Pk	OSk	3DBk pilot
parameters	OS en C/N	++				+	++
	P-voorraad	++			++		
	Fe en Al	++			++		
	pH	++					
bestanden	Open data	++	++	-	+	+	++
	landsdekkend	++	++	+	++	++	--
	B&O	+	+	--	--	--	--
	kwaliteitstatus	++	++	--	--	++	--
	Fijne discretisatie	+	--	+	++	++	++
	Cons. bestanden	++	++	-	+	+	++
	Cons. toepassing	++	--	--	--	--	++
methode	Combi kwaliteit	--	--	--	+	+	++
	Veel profielen	+	-	+	++	++	++
	Diepte profiel	-	-	++	-	-	-
	Schem. resultaat	-	++	+	++	++	++
	Aansl. ondergrond	--	--	++	--	--	++?
	kansverdeling	+	+	--			
	betrouwbaarheid				--	++	++
	Syst. fout					++	
	Gevalideerd	--	--	--	+	+	++
Technisch	Flexibele actualisatie	+	-	-	++	++	++
	Reproduceerbaar	+	+	-	+	+	++
	Rekentijd	++	+	++	-	-	--
	Opslagcapaciteit	++	++	++	+	+	--

In Tabel 6 is beoordeeld in welke mate de bestaande schematiseringen aan deze criteria voldoen. Uit deze Tabel blijkt dat de TSK sterke punten heeft maar in zijn geheel minder scoort dan FCK-BOFEK, wanneer dat niet te veel moeite kost kan het interessant zijn te verkennen of FCK kan worden verbeterd door combinatie met de sterke punten van TSK. Vervangen van de Staring reeks door de bodemfysische parameters van TSK kan naar verwachting tot aanzienlijke veranderingen in de resultaten van het LHM en daardoor ook in de waterkwaliteitsberekeningen leiden. Deze toekenning op basis van expert kennis is nog niet gevalideerd. Daarom wordt geadviseerd deze stap in een later stadium te realiseren. Geadviseerd wordt de TSK te valideren dan wel een nieuwe bodemfysische dataset te genereren waarin het idee achter de TSK wordt meegenomen. Overwogen kan worden om de effecten van de nieuwe bodemfysische parameters in een regionale pilot te testen.

Andere optie is om de 3DBk te ontwikkelen en de bodemfysica met behulp van een pedotransferfunctie dan wel beslisboom toe te kennen op basis van de gesimuleerde fysische en chemische parameters (Van den Berg *et al.*, 2008).

De betrouwbaarheid van de Pk is nog niet gekwantificeerd.

Pk en OSk zijn specifieke toepassingen en scoren daardoor minder dan de 3DBk. Op korte termijn zou kunnen worden overwogen deze bestanden te updaten door rekening te houden met de bodemopbouw om deze te combineren met de FCK. Bij de update moeten dan ook dezelfde basisbestanden als de FCK worden gebruikt. Op de langere termijn biedt de 3DBk zoveel voordelen dat vooral op dit perspectief moet worden ingezet.

Op korte termijn is gebruik van de 3DBk geen optie, de resterende optie is het pragmatisch gebruik van de representatieve eenheden van de FCK waarbij de FCK zou kunnen worden verbeterd door de sterke punten van TSK te combineren.

6.3 Keuze

Omdat de waterkwaliteitsberekeningen van LHM-WQ gebruik maken van de hydrologische berekeningen van het LHM en het de ambitie is om voor de waterkwaliteit op hetzelfde schaalniveau te rekenen, moeten de bodemchemische data een consistent schaalniveau hebben. Op de langere termijn is het de wens om het NHI en NHI-WQ ook te kunnen inzetten voor regionale toepassingen. De bodemschematisering zal dan een bijpassend gedetailleerder schaalniveau moeten hebben. Daarom is onderscheid gemaakt tussen het ontwikkelperspectief op de langere termijn en het pragmatische korte-termijnperspectief.

1. Het is op langere termijn noodzakelijk om analoog aan en aanvullend op GeoTop een 3D-bodemkaart voor de bovenste meters van de bodem te vervaardigen waarvoor alle beschikbare informatie in samenhang wordt gebruikt. De technische haalbaarheid van de 3D-bodemkaart is in de pilot Deurnese Peel en Mariapeel bewezen. De bedoeling is dat de 3D-bodemkaart in het kader van de BRO zal gaan worden ontwikkeld.

Op langere termijn (2018+) zou gebruik gemaakt kunnen worden van kaarten die volledig zijn gebaseerd op geostatistische simulaties en waarbij de bodem 3D wordt gesimuleerd. Hierbij wordt rekening gehouden met de variabiliteit binnen bodemeenheden en tussen regio's. Deze methode is echter nog in ontwikkeling en dient uitgebreid te worden getest voordat deze in het NHI kan worden toegepast. Om het effect van de ondiepe bodemopbouw in verticale lagen op de waterkwaliteit en waterhuishouding te verkennen en nut en noodzaak van de 3D-bodemkaart aan te tonen wordt een nieuwe pilot geadviseerd waarbij de dikte van de ondiepe voxels verder wordt verkleind.

2. Omdat de 3D-bodemkaart op korte termijn nog niet beschikbaar is moet een pragmatische keuze worden gemaakt om in 2018 een werkend instrumentarium te krijgen zonder daarbij de vereiste 3D-bodemkaart uit het oog te verliezen. De bestaande schematiseringen zijn gebaseerd op representatieve eenheden of zijn voor specifieke eigenschappen geostatistisch gesimuleerde kaarten. De met de eerste methode vervaardigde kaarten zijn beschikbaar en kunnen op korte termijn worden ingezet voor landelijke beleidsstudies. Om de beschikbare bodemchemische informatie te benutten wordt geadviseerd op korte termijn de fysisch-chemische karakterisering van de bodem (FCK) te gebruiken. De bodemschematisering in het LHM moet hier consistent mee worden gemaakt. De gebruikte basisdata kunnen daarbij worden verbeterd door de bodemkaart 1:50.000 te actualiseren met behulp van de veendiktekaart en in de nabije toekomst ook de slappe ondergrondenkaart. Dit zal lokaal tot (meer realistische) veranderingen in hydrologie en waterkwaliteit leiden.

In vervolg hierop kan worden besloten het aantal ruimtelijke eenheden te vergroten door (zoals bijvoorbeeld bij de TSK) gebruik te maken van beslisregels op basis van expertkennis om de eenheden uit de Staringreeks toe te kennen of door (met bijvoorbeeld continue pedotransferfuncties) de bodemfysische karakteristieken uit bodemgegevens te voorspellen. Vervangen van de bodemfysische parameters zal naar verwachting tot aanzienlijke veranderingen in de resultaten van het LHM en mede daardoor ook in de waterkwaliteitsberekeningen leiden. Wanneer hier voor wordt gekozen wordt geadviseerd om de effecten van de nieuwe bodemfysische parameters op hydrologie en waterkwaliteit (in combinatie met hetzij de FCK of de 3DBk) in een regionale pilot te testen.

3. Een tussenoplossing om de schematisatie te verfijnen zou kunnen zijn om gebruik te maken van bestaande kaarten die met geostatistische simulatie zijn gemaakt. De beschikbare geostatistisch gesimuleerde kaarten voor fosfaat en organische stof zijn ontwikkeld voor specifieke doeleinden en houden geen rekening met de bodemopbouw in horizonten. Daarnaast zijn verschillende basisdata gebruikt. Het is daardoor niet mogelijk om zonder meer een consistente dataset te

genereren van deze kaarten in combinatie met de FCK. Onderzocht zou kunnen worden of en onder welke voorwaarden deze kaarten kunnen worden ingezet zonder de consistentie met de huidige – op representatieve eenheden gebaseerde – schematisatie te verliezen. Updaten van deze kaarten met meenemen van de bodemhorizonten is echter een serieuze actie. Daarom lijkt het effectiever om in te zetten op de ontwikkeling van de 3D-bodemkaart.

7 Conclusies

Op de langere termijn (2018+) is het de wens om het NHI-WQ ook te kunnen inzetten voor regionale toepassingen. Dit kan alleen als er een gedetailleerdere bodemschematisering aan ten grondslag ligt. Een dergelijke kaart kan op basis van beschikbare data worden gemaakt met geostatistische simulatiemethoden die recht doen aan regionale variabiliteit van de bodem. Hierbij wordt rekening gehouden met de gelaagdheid van de bodem, de kwaliteit van de metingen, de correlaties in eigenschappen, en de variabiliteit binnen bodemeenheden en tussen regio's. Deze methode is echter nog in ontwikkeling en dient eerst uitgebreid te worden getest voordat deze in het NHI kan worden toegepast. Geadviseerd wordt om via regionale pilots ervaring op te doen met dergelijke kaarten en op termijn alle modellen hiervan gebruik te laten maken.

Op korte termijn is het gebruik van de huidige fysisch-chemische karakterisering voor de bodemkaart 1:50.000 de geëigende methode. Vergelijkbaar met de wijze waarop de bodem in NHI is geschematiseerd op basis van alleen hydrologische criteria wordt dan een schematisering gebruikt die ook chemische verschillen tussen bodemeenheden meeneemt. Om deze schematisering te implementeren moet deze ook in het LHM en NHI worden geïmplementeerd. Het nadeel van deze schematisering is dat deze tamelijk grof is. Om meer ruimtelijk detail aan te brengen zou het aantal ruimtelijke eenheden kunnen worden vergroot door gebruik te maken van beslisregels om de eenheden uit de Staringreeks toe te kennen of door de bodemfysische karakteristieken op basis van expertkennis toe te kennen of door deze uit bodemgegevens te voorspellen. Dit kan tot aanzienlijke veranderingen in de resultaten van de hydrologie en mede daardoor ook in de waterkwaliteitsberekeningen leiden en wordt daarom idealiter eerst in een regionale pilot getest.

Een tussenoplossing om de schematisatie te verfijnen zou kunnen zijn om gebruik te maken van bestaande geostatistisch gesimuleerde kaarten voor specifieke eigenschappen. Onderzocht zou kunnen worden of en onder welke voorwaarden deze kaarten kunnen worden ingezet zonder de consistentie met de huidige – op representatieve eenheden gebaseerde – schematisatie te verliezen.

Literatuur

- Berg, F. van den; Brus, D.J. ; Burgers, S.L.G.E. ; Heuvelink, G.B.M. ; Kroes, J.G. ; Stolte, J. ; Tiktak, A. ; Vries, F. de, 2008. Uncertainty and sensitivity analysis of GeoPEARL. Wageningen : Alterra, (Alterra-report 1330) - 114 p.
- Bodemkaart van Nederland, 1980. Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000;. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.
- Boekel, E.M.P.M., 2009a. Geochemische schematisering van de ondergrond in het STONE model : organisch stofgehalte in de ondergrond. Wageningen : Alterra, (Alterra-rapport 1830) - 61 p.
- Boekel, E.M.P.M., 2009b. Geochemische schematisering van de ondergrond in het STONE model : schatting van het ammonium oxalaat extraheerbare aluminium- en ijzergehalte. Wageningen : Alterra, (Alterra-rapport 1831) - 77 p.
- Finke, P.A., J.J. de Gruijter en R. Visschers, 2001. Status 2001 Landelijke Steekproef Kaarteenheden en toepassingen. Rapport 389, Alterra Wageningen UR.
- Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, H..R.J. Vroon en I.G. Staritsky., 2006. Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken. Wageningen, Alterra-rapport 1339.
- Gaast, J.W.J. van der; Vroon, H.R.J. ; Massop, H.T.L., 2010. Grondwaterregime op basis van karteerbare kenmerken. Amersfoort : Stowa, (Rapport / STOWA nr. 2010-41) - 74 p.
- Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon, H.Th.L. Massop en J.G. Wesseling, 2015. Landsdekkende schematisering en parameterisatie van het topsysteem ten behoeve van hydrologische modellering. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2686.
- Goemans, T. 1988. Beleidsanalyse op weg naar volwassenheid, in A.F.A. Korsten and Th.A.J. Toonen (eds) Bestuurskunde: hoofdfiguren en kernthemas. Leiden: Stenfert-Kroese, pp 343-59
- Goes Bart, Judith Snepvangers, Wim de Lange, Neeltje Goorden, Rien Pastoors en Harry Massop, 2008. Nationaal Hydrologisch Instrumentarium – NHI. Modelrapportage. Deelrapport Ondergrond.
- Griffioen, J., R. Heerdink, L. Maring, S.Vermooten, D. Maljers, J. Hettelaar, 2006. Enkele (hydro)geochemische karakteristieken van het topsysteem van de Nederlandse ondergrond t.b.v. parameterisering van het nutriëntenmodellensysteem STONE. TNO-rapport 2006-U-R0161/A, Utrecht.
- Stiboka (1980); Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50.000, Toelichting bij de kaartbladen 54 Oost Terneuzen, 55 en 48 Oost en 49 West, Wageningen, Stichting voor Bodemkartering
- Hessel, R., Daroussin, J., Verzandvoort, S., Walvoort, D., 2014. Evaluation of two different soil databases to assess soil erosion sensitivity with MESALES for three areas in Europe and Morocco. Catena 118, 234-247. DOI: 10.1016/j.catena.2014.01.012
- Hoogland, T., D.J. Brus, D.J.J. Walvoort, 2014. 3D-geostatistical interpolation of soil organic matter in the Netherlands.
- Huisman Hilde, Mariëlle van Vliet, Tanya Goldberg en Jasper Griffioen, 2016. Statistische karakterisering van de reactiecapaciteit van de Nederlandse ondergrond ten behoeve van de parameterisering van het modelinstrument NHI
- Kempen, B., Brus, D J., Heuvelink, G. B. M., & Stoorvogel, J.J., 2009. Updating the 1:50,000 Dutch soil map using legacy soil data: A multinomial logistic regression approach. GEODERMA, 151(3-4), 311,326
- Kruseman, G.; Luesink, H.H.; Blokland, P.W.; Hoogeveen, M.W.; Koeijer, T.J. de, 2013. MAMBO 2.x : design principles, model structure and data use. Werkdocument 307 Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu Wageningen.
- Linden W. van der, en H.J.T. Weerts , A.H.M. Kremers en C.B.M. te Stroet, 2001. Landsdekkende karakterisering topsysteem. Vooronderzoek met aanpak. NITG 01-195-A. Delft.
- Linden W. van der, A.H.M. Kremers en H.J.T. Weerts, 2002a. Landsdekkende karakterisering topsysteem. Eindrapport. NITG 02-112-B. Delft.
- Linden W. van der, 2002b. Landsdekkende karakterisering topsysteem 1: 250.000. Eindrapport. NITG 02-176-B. Delft.
- Massop, H.Th.L., L.C.P.M. Stuyt, P.J.T, van Bakel, J.M.M. Bouwmans en H. Prak, 1997. Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Leidraad voor de kwantificering van de effecten

-
- van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Rapport 527.1, DLO Staring Centrum. Wageningen.
- Reijneveld, A., Wensem, J. van & Oenema, O., 2009. Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004, *Geoderma* 152, 231-238
- Vries, F. de, 1999. Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken. Wageningen, DLO-Staring Centrum-rapport 654.
- Salm, C. van der; Walvoort, D.J.J. ; Massop, H.T.L., 2014. Landelijk beeld van fosfaatverliezen naar het oppervlaktewater : een analyse met het model PLEASE. Wageningen : Alterra Wageningen UR, (Alterra-rapport 2565) - 39 p.
- Stiboka, 1980. Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50.000, Toelichting bij de kaartbladen. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.
- Vernes, R.W., Walvoort, D., Bakker, M., Brus, D., Gunnink, J., Maljers, D., Menkovic, A., Stafleu, J., De Vries, F & van Wirdum, G. 2013. Proefproject Mariapeel en Deurnsche Peel: Gedetailleerde 3D-modellering van de bodem en ondiepe ondergrond. TNO-rapport TNO 2013 R10053.
- Vries, F de., 1999. Characterizing the soils of the Netherlands according to physical and chemical properties. Tech. rept. Report 125, DLO-Staring Centre, Wageningen.
- Vries, F. de; Mol, G. ; Hack-ten Broeke, M.J.D. ; Heuvelink, G.B.M. ; Brouwer, F., 2008. Het Bodemkundig Informatie Systeem van Alterra : overzicht van het gebruik en wensen voor verbetering van de informatie. Wageningen : Alterra, (Alterra-rapport 1709) - 64 p.
- Vries, F. de, D.J. Brus, B. Kempen, F. Brouwer en A.H. Heidema, 2014. Actualisatie bodemkaart veengebieden. Deelgebied 1 en 2 in Noord-Nederland. Wageningen, Alterra-rapport 2556.
- Walvoort, D.J.J.; Brus, D.J.; Salm, C. van der; Pleijter, M.; Tol-Leenders, T.P. van, 2010. Kwantificering van de fosfaattoestand in de bodem van vier stroomgebieden. Wageningen, Alterra-rapport 1958 (Reeks monitoring stroomgebieden 21).
- Wisserhof, J. (1994). Matching research and policy in integrated water management, Proefschrift Technische Universiteit Delft. (pp. 215). Delft: Delft University Press.
- Wösten, J.H.M. ; Veerman, G.J. ; Groot, W.J.M. de; Stolte, J., 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; vernieuwde uitgave 2001. Wageningen : Alterra, (Alterra-rapport 153) - p. 86
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1: 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie. Rapport 2055, Stiboka. Wageningen.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, T. Hoogland, H. Th. L. Massop, A.A. Veldhuizen, H.R.J. Vroon, J.G. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2013. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra-rapport 2387.

Bijlage 1 Tabel bodemschematiseringen

BODEM_ID	CODE	OMSCHR	EERSTE_BO D	EERSTE_GW T	PAWN	Hydrotype	GT-Code	BOFEK	FCR_SC654	TSK
32	U01Wnr001--	AD-II/AD-III/AD-VII	AD	II	0	4	2	324	11050	
43	U01Wnr105--	nvWz-I/Zd21-VI/Zd21-VII	vWz	I	2	4	1	408	2130	402_1
37	vWz-I		vWz	I	2	4	1	408	2130	402_1
33	Zd21-VII*		Zd21	VII*	7	4	13	324	10240	407_13
34	Zd21-VII*		Zd21	VII*	7	4	13	324	10240	407_13
38	U01Wnr104--	nkZn50A-I/Zd21-VI/Zd21-VII	Zn50A	I	7	4	1	324	10240	407_1
36	Zd21-VII*		Zd21	VII*	7	4	13	324	10240	407_13
42	Zd21-VII*		Zd21	VII*	7	4	13	324	10240	407_13
40	Zd21-VII*		Zd21	VII*	7	4	13	324	10240	407_13
41	Zd21-VII*		Zd21	VII*	7	4	13	324	10240	407_13
31	Zn21-I		Zn21	I	8	4	1	324	10186	408_1
35	Zn21-III		Zn21	III	8	4	5	324	10186	408_5
39	U01Wnr111--	Zn21-III/Zd21-VII*	Zn21	III	8	4	5	324	10186	408_5
46	Zn21-III		Zn21	III	8	4	5	324	10186	48_5
26	MOB72--		MOB72	-	19	4	999	401	13030	
1	lg WATER--		lg WATER	-	22	4	999	998	99980	
155	Mn25AG-III		Mn25A	III	15	17	5	418	15270	1715_5
154	bMn15C-VI		Mn15C	VI	15	17	11	416	15420	1715_11
147	Mn35A-III		Mn35A	III	16	17	5	421	15320	1716_5
146	Mn35AG-III		Mn35A	III	16	17	5	421	15320	1716_5

Bovenstaande Tabel is een voorbeeld hoe de verschillende schematiseringen aan de bodemcodes worden gekoppeld om tot een landsdekkende representatie te komen.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 2753
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research 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.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 2753
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research 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.

