



ALTERRA

WAGENINGEN UR



BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland

Alterra-rapport 2387

ISSN 1566-7197

Henk Wösten, Folkert de Vries, Tom Hoogland, Harry Massop, Ab Veldhuizen, Henk Vroon, Jan Wesseling, Joost Heijkers en Almer Bolman



ALTERRA

WAGENINGEN UR



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN

WATER/SCHAP
Valleri&em

BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische
schematisatie van Nederland

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van een Publiek Private Samenwerking van het Ministerie van Economische Zaken (Kennisbasis thema IV "Duurzame ontwikkeling van de groenblauwe ruimte"), Waterschap Vallei & Eem en Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Projectcode 5239761-01.

AZURE is een nieuw gedetailleerd regionaal hydrologisch consensusmodel dat de huidige lokale hydrologische modellen vervangt en verbetert, en een goede aansluiting geeft op het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI).

Deelnemende partijen:

Rijkswaterstaat Waterdienst

Provincies Gelderland, Flevoland en Utrecht

Waterschappen Vallei & Eem, Veluwe en Zuiderzeeland

Vitens NV

HYDROMEDAH is een acroniem voor: HYDROlogisch Modelinstrumentarium En Data-Archief HDSR. HYDROMEDAH is opgezet om het gehele beheergebied van HDSR (83.000 ha) hydrologisch door te kunnen rekenen, maar heeft een modelgrens die veel verder reikt.

Deelnemende partijen:

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR)

Provincie Utrecht

Vitens NV

Projectcode KB-14-001-044

BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland

Henk Wösten¹, Folkert de Vries¹, Tom Hoogland¹, Harry Massop¹, Ab Veldhuizen¹, Henk Vroon¹, Jan Wesseling¹, Joost Heijkers² en Almer Bolman³

¹ Alterra

² Hoogheemraadschap De Stichte Rijnlanden

³ Waterschap Vallei & Eem

Alterra-rapport 2387

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2013



Referaat

Henk Wösten, Folkert de Vries, Tom Hoogland, Harry Massop, Ab Veldhuizen, Henk Vroon, Jan Wesseling, Joost Heijkers en Almer Bolman. 2012. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2387. 88 blz.; 25 fig.; 4 tab.; 18 ref.

Aan de 315 bodemeenheden behorende bij de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, zijn waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken uit de Staringreeks toegekend. Met een model zijn voor deze eenheden functionele kenmerken berekend. Op grond van verwantschap in functionele kenmerken zijn de 315 bodemeenheden geclusterd in 72 bodemfysische eenheden en afgebeeld in de nieuwe BODemFysische EenhedenKaart (BOFEK2012). Om bij modelberekeningen van water- en stoffentransport in de bodem deze gegevens te kunnen gebruiken is een dataset samengesteld met informatie over:

- GIS-bestand, met de geografische verbreiding van de BOFEK-eenheden in Nederland.
- Profielschetsen met de laagopbouw van het bodemprofiel tot 1.20 m-mv. en de daaraan gerelateerde bodemfysische kenmerken.

Trefwoorden: bodemfysische eigenschappen, waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek, functionele kenmerken, clustering

De GIS-bestanden behorend bij dit rapport zijn te vinden op:

<http://www.wageningenur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Onderzoeksinstituten/alterra/Faciliteiten-Producten/Kaarten-en-GISbestanden/Bodem.htm>

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- 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.

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

Alterra-rapport 2387

Wageningen, januari 2013

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Enquête geschiktheid huidige schematisatie	11
3 Bodemkundige eenheden als basis	13
3.1 Eenheden van de bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50.000	13
3.2 Representatieve profielen voor de eenheden van de bodemkaart	15
4 Berekening van afgeleide, functionele kenmerken met het programmapakket Zeus	17
4.1 Stationaire grondwaterstroming	18
4.2 Kritieke z-afstand	18
4.3 Verzadigingstekort	19
4.4 c-waarde	20
4.5 kD-waarde	20
4.6 Hoeveelheid opneembaar vocht	20
4.7 Software	21
5 Clustering	23
5.1 Clustering op grond van overeenkomst in functionele kenmerken	23
5.1.1 Methode	23
5.1.2 Standaardisering van de invoerdata	23
5.1.3 Keuze van de clusters	25
5.2 Nadere indeling op grond van bodemfysische profielopbouw	27
5.3 Profielschets per cluster	27
6 Resultaten	29
6.1 Berekeningen functionele kenmerken	29
6.2 De bodemfysische eenhedenkaart (BOFEK2012)	33
6.2.1 Veengronden	34
6.2.2 Moerige gronden	35
6.2.3 Zandgronden	36
6.2.4 Kleigronden	37
6.2.5 Leemgronden	38
6.3 Dataset BOFEK-eenheden voor modelberekeningen	39
6.4 Toenemende detaillering	39
6.5 Toepassingen van de BOFEK2012 schematisatie	43
Conclusies	51
Literatuur	53

Bijlage 1	Enquête-resultaten	55
Bijlage 2	Kenmerken bouwstenen Staringreeks	61
Bijlage 3	Resultaten clustering	69
Bijlage 4	Profielchets per cluster	83

Samenvatting

In het milieu-onderzoek wordt veelvuldig gebruik gemaakt van (hydrologische) modellen. Alterra past haar kennis hiervan toe in langjarige, doorlopende projecten op het gebied van anti-verdroging, uitspoeling van mest en nutriënten en gedrag van pesticiden in de bodem. Concrete projecten zijn o.a.: STONE, GeoPEARL, Monitoring Verdroging, Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI), Regionaal SWAP en WATERNOOD. Succesvolle uitvoering van deze projecten vereist een betrouwbare sequentie van (bodempfysische) invoergegevens, modellen, en manier van interpreteren van zowel modeluitkomsten als meetgegevens. Overeenkomst tussen modeluitkomsten en praktijkwaarnemingen draagt bij aan de acceptatie van modeluitkomsten door gebruikers waardoor vervolgens de beleidsuitvoering wordt vergemakkelijkt. Tot nu toe wordt voor de bodempfysische invoer voor modellen vaak uitgegaan van de zgn. Policy Analysis for Water management of the Netherlands (PAWN) schematisatie uit 1988. Dit is een globale indeling van de Nederlandse gronden in 23 klassen. Sinds 1999 is er een bodempfysische en bodemchemische karakterisering beschikbaar voor de 315 verschillende bodemeenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000. Voor toepassingen waarbij ook bodemchemische kenmerken van belang zijn is dit een functionele dataset. Voor toepassingen die hoofdzakelijk gericht zijn op de hydrologie is de dataset niet optimaal door het grote aantal eenheden. De doelstelling van dit project is tweeledig:

1. Evaluatie van de bodemschematisatie die tot nu veel wordt toegepast in modellen.
2. Het creëren van een adequate en functionele, fysische bodemschematisatie voor hydrologische modelstudies.

Voor de evaluatie van de tot nu toe gebruikte bodemschematies bij modelberekeningen zijn met een enquête gerichte gesprekken gevoerd met onderzoekers, beleidsmedewerkers en gebruikers van de uitkomsten van modelberekeningen. De belangrijkste conclusie uit de enquête is dat de huidige indeling in 23 PAWN-eenheden onvoldoende nauwkeurig en te globaal is om een bruikbare landsdekkende, bodempfysische schematisatie op te leveren waardoor modeluitkomsten lokaal vaak niet overeen komen met meetresultaten. Een alternatief is daarom gewenst dat recht doet aan bodemkundige verschillen en resulteert in een voldoende aantal bodempfysische eenheden om betrouwbare modeluitkomsten te kunnen genereren.

Om te komen tot een adequate en functionele bodempfysische bodemschematisatie zijn in dit project de complete profielen van de 315 bodemeenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, met bodempfysische bouwstenen van de Staringreeks gekarakteriseerd. Vervolgens zijn voor alle eenheden met het rekenprogramma Zeus belangrijke functionele kenmerken berekend, zoals:

- De maximale diepte van de grondwaterstand waarbij een flux van 1 mm/d en een flux van 2 mm/d de onderkant van de wortelzone (bij pF 4.2) nog kan bereiken (kritieke z-afstand bij 1 mm/d en 2 mm/d).
- Het verzadigingstekort bij een flux van 1 en 2 mm/d over de bodemlagen tussen de berekende grondwaterstand en maaiveld.
- De weerstand voor verticale stroming (C-waarde) van het profiel tussen maaiveld en 1,20 m –mv.
- De horizontale stroming van water (kD-waarde).
- De hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone, onderverdeeld in gemakkelijk opneembaar en moeilijk opneembaar.

De uitkomsten van de berekeningen zijn met een multivariate clusteranalysetechniek geanalyseerd, waarbij de bodemeenheden vervolgens op basis van overeenkomstige kenmerken zijn gegroepeerd in een optimaal aantal clusters. Bij de daarna uitgevoerde nabewerking is er op gelet dat er binnen een cluster naast de overeenkomst in hydrologisch gedrag ook overeenkomst is in profielopbouw.

Een belangrijke uitkomst van dit project is dat multivariate clusteranalyse een goede ondersteuning kan leveren bij het clusteren van bodemtypen in groepen met een overeenkomstig hydrologisch gedrag.

De ontwikkelde landelijke, fysische bodemschematisatie op basis van gemodelleerde, functionele kenmerken voor bodemprofielen heeft voor geheel Nederland geresulteerd in de BODemfysische EenhedenKaart (BOFEK2012), met 72 verschillende eenheden. De verbreiding van de BOFEK-eenheden is vastgelegd in een landelijk GIS-bestand en per eenheid is er een profielschets beschikbaar met een schematische beschrijving van de laagopbouw en de kenmerken per laag.

Vergelijking van de nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland met de bestaande PAWN-schematisatie uit 1988 toont aan dat de ingrijpend gewijzigde werkwijze resulteert in een gedetailleerde kaart met bodemfysische eenheden waarbij de bodemkaart nog duidelijk herkenbaar is. Als gevolg van de overgang van de PAWN-schematisatie naar de BOFEK2012 schematisatie treden er verschillen op in zowel grondwaterstanden als de verdamping. Deze verschillen hangen samen met de bodemtypen en de onderliggende toekenning van de Staringreeksbouwstenen, maar zijn gebiedsgemiddeld gering.

1 Inleiding

Door de toenemende interactie van functies in de groene ruimte en de toenemende participatie van burgers worden inrichtingsprojecten en het beheer van gebieden steeds complexer. Dit leidt behalve tot trage processen van planning, uitvoering en communicatie ook tot intensievere vormen van inrichting en beheer en daarmee verbonden hogere kosten. Om beheer en inrichting betaalbaar te houden wordt er gezocht naar meer kosteneffectieve methoden. Hierbij kunnen efficiënte, betrouwbare en realistische hulpmiddelen van groot nut zijn. Daarnaast worden effecten van het beleid (bijvoorbeeld het mestbeleid) onder andere getoetst aan de hand van landsdekkende modelberekeningen. Dit vereist natuurlijk een betrouwbare sequentie van invoergegevens, modellen, en wijze van interpreteren van zowel modeluitkomsten als meetgegevens.

Om het beleid van de rijksoverheid en van lagere overheden (waterschappen, provincies, natuurorganisaties) steeds (kosten) effectiever te kunnen uitvoeren, vraagt het beleid om effectieve betrouwbare en realistische modellen die daarbij kunnen helpen. Thema's als inrichting en verdroging zijn aanleiding voor dit project en de hiervoor benodigde bodemfysische basisgegevens vormen het onderzoeksdoel ervan.

De meeste modelberekeningen voor het vaststellen van het transport van water en opgeloste stoffen in de bodem zijn mogelijk gebaseerd op onvolledige of onjuiste bodeminformatie en blijken daardoor de situatie in het landelijk gebied veelal onvoldoende of onjuist weer te geven. Beleidsmakers, grondgebruikers en terreinbeheerders hebben hierdoor dan ook beperkt vertrouwen in de uitkomsten van de modellen, waardoor beleidsuitvoering steeds moeilijker wordt.

Om de voor deze doeleinden benodigde bodeminformatie vollediger en betrouwbaarder te maken wordt in dit project aandacht besteed aan de volgende aspecten:

Evaluatie middels gerichte gesprekken met beleidsmedewerkers, grondgebruikers, terreinbeheerders en gebruikers van modelresultaten over wat volgens hen onvolkomenheden zijn in bodeminformatie waardoor modeluitkomsten niet of slechts ten dele overeenstemmen met praktijkwaarnemingen.

Verbeterde bodemschematisatie voor hydrologische modellen om effecten van maatregelen op grondwaterstanden juister te kunnen inschatten. De huidige bodemschematisatie stamt uit 1988 en toentertijd is om pragmatische redenen mogelijk onvoldoende rekening gehouden met afwijkende en/of storende lagen die vervolgens wel van groot belang zijn voor het water- en stoffentransport in de bodem.

De aanpak per doelstelling is als volgt:

ad 1)

Discrepancie tussen modeluitkomsten en praktijkwaarnemingen wordt in meer of mindere mate geconstateerd door verschillende groepen van grondgebruikers, terreinbeheerders en andere gebruikers van modelresultaten. Het inventariseren van dergelijke discrepanties en het vervolgens groeperen en prioriteren hiervan geeft een relevant inzicht in de mate van de discrepantie, de systematische over- of onderschatting en de mogelijke factoren die verantwoordelijk zijn voor de geconstateerde discrepanties.

ad 2)

Op dit moment worden landelijke berekeningen (bijv. STONE) uitgevoerd met het model SWAP waarbij de bodem wordt gekarakteriseerd op basis van de (verouderde) PAWN-studie uit 1988. Bij de PAWN-indeling is de bodem geschematiseerd in 23 standaard bodemprofielen waaraan voor het rekenen met hydrologische modellen, de bodemfysica in de vorm van de Staringreeks wordt gekoppeld. Hierdoor wordt onvoldoende rekening gehouden met de gelaagdheid in de bodem en de hiermee samenhangende bodemfysische

karakterisering van bodemhorizonten. Dit heeft tot gevolg dat bepaalde hydrologische effecten worden afgevlakt, of in het geheel niet worden gekwantificeerd, waardoor modellen de situatie in het landelijk gebied onvoldoende of onjuist kunnen weergeven.

De huidige schematisatie is relatief grof en zaken als anisotropie (verschil in horizontale en verticale doorlatendheid) en weerstandbiedende bodemlagen worden niet goed in de beschouwing betrokken.

Een verbeterde bodemschematisatie in samenhang met een verbeterde meting en interpretatie van grondwaterstanden verkleint de discrepantie tussen modeluitkomsten en praktijkwaarnemingen en zorgt daarmee voor verhoogde acceptatie van modeluitkomsten. Dit kan de weerstand tegen de beleidsuitvoering verminderen.

2 Enquête geschiktheid huidige schematisatie

Om te achterhalen wat de onvolkomenheden zijn in de huidige bodemfysische schematisatie van Nederland in PAWN eenheden (Wösten et al., 1988) zijn aan beleidsmakers, terreinbeheerders en onderzoekers een aantal vragen voorgelegd. Het waren medewerkers van het ministerie van EZ, waterschap Regge en Dinkel, RIVM, Natuurmonumenten en Alterra. De samenvatting van de antwoorden volgt hieronder en de antwoorden op de afzonderlijke enquêtes staan in bijlage 1.

Gebruikt u de huidige landsdekkende bodemfysische schematisatie gebaseerd op de 23 PAWN-eenheden?

Ja, de huidige PAWN-indeling wordt regelmatig gebruikt voor modelstudies naar het transport van water en opgeloste stoffen op een landsdekkende schaal.

Zo ja, in welke modelstudies gebruikt u deze schematisatie?

Concrete projecten waarin de PAWN-indeling wordt gebruikt zijn onder andere STONE, GeoPEARL, Baakse beek, monitoring verdroging, Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI), regionaal SWAP en WATERNOOD.

Hoe bevalt het gebruik van deze schematisatie en heeft u aanbevelingen voor verbeteringen?

Voldoet over het algemeen goed, maar de bodemfysische schematisatie is niet de enige en soms ook niet de meest gevoelige schematisatie in modelstudies. Daarom dus ook aandacht voor andere schematisaties zoals bijvoorbeeld organische stof. Door het geringe onderscheid in maar 21 eenheden is het detail van de uitkomsten beperkt en worden verschillen tussen de eenheden gemakkelijk afgevlakt. Om werkelijk landsdekkend te zijn, moet ook het stedelijk gebied in eenheden worden ondergebracht. Soms wordt een eigen schematisatie gehanteerd.

Komen de modeluitkomsten die met gebruik van deze schematisatie worden verkregen overeen met praktijkwaarden?

Redelijk goed tot maar matig. Schematisatie is één van de mogelijke oorzaken voor een discrepantie tussen modeluitkomsten en metingen, andere oorzaken voor dit verschil zijn onder andere verschillen in organisch-stofgehalte en onnauwkeurigheid in grondwaterstandsgegevens. Verschillende bronnen van onnauwkeurigheden in invoergegevens kunnen elkaar bovendien versterken of tegenwerken.

Zo nee, ligt dit dan volgens u aan de gehanteerde schematisatie of zijn er ook andere mogelijke oorzaken?

In het geval van GeoPEARL blijkt dat verschillen in organische stofgehalte van de bovengrond een belangrijker invloed hebben op de modeluitkomsten dan de fysische bodemschematisatie. Dus afhankelijk van de toepassing zijn verschillende typen invoergegevens dominant voor de uitkomsten. Bij de berekening van nat- en droogteschade is de nauwkeurigheid van de berekende grondwaterstandsgegevens een belangrijke factor.

Kunt u aangegeven of u tevreden was over de bodemfysische karakteristieken die u toekende aan de afzonderlijke bodemhorizonten?

Ja, maar deze karakteristieken geven geen informatie over afwijkend gedrag zoals bijvoorbeeld macro-poriën waardoor plaatselijke fenomenen onvoldoende worden gemodelleerd.

Samenvattend kan worden gezegd dat de huidige indeling in 23 PAWN-eenheden onvoldoende nauwkeurig is om een bruikbare landsdekkende, bodemfysische schematisatie op te leveren waardoor modeluitkomsten vaak niet overeen komen met meetresultaten. Een alternatief is daarom gewenst dat recht doet aan bodemkundige verschillen en resulteert in een voldoende aantal bodemfysische eenheden om betrouwbare modeluitkomsten te genereren.

Bij de schematisatie in PAWN-eenheden zijn bodemeenheden van de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 250.000 gegeneraliseerd tot eenheden op grond van verwantschap in bodemkundige en bodemfysische kenmerken. Bij het opstellen van deze schematisatie in 1988 diende het aantal eenheden door de rekentijd in modellen beperkt blijven tot ca. 20. Dit resulteerde in een grove indeling, met zeer schematische profielen. Er is onderscheid gemaakt in profielen met een homogene opbouw, zoals profielen bestaande uit zwak lemig zand, zavel of zware klei, en profielen met een gelaagde opbouw, zoals profielen met een kleidek op veen tot tenminste 120 cm, kleidek op veen op een zandondergrond binnen 120 cm, klei op een ondergrond van zand en zand op een ondergrond van grof zand, enz. Door het gelimiteerde aantal, was het niet mogelijk om bij clusters met een gelaagde opbouw verder onderscheid te maken op basis van laagdikten. Hierdoor zijn bijvoorbeeld bodemtypen met een 20 tot 40 cm dikke kleilaag op zand samengevoegd met bodemtypen met een 40 tot 80 cm dikke kleilaag op zand. Vervolgens is voor dit cluster op basis van de oppervlakte van de verschillende bodemtypen de profielopbouw in een profielschets weergegeven: 60 cm zware zavel op zwak lemig zand. De profielschetsen geven de profielopbouw weer tot een diepte van 120 cm-mv.

Aan de horizonten in de profielschetsen van de gegeneraliseerde eenheden zijn bodemfysische karakteristieken uit de Staringreeks toegekend. Hierbij zijn verschillende horizonten die zich fysisch identiek gedragen, samengevoegd tot een bodemfysische horizont. Tenslotte is in 1988 een geografische generalisatie uitgevoerd, waarbij aan iedere cel van 5000 m bij 5000 m de bodemfysische eenheid is toegekend die binnen de cel het grootste oppervlak inneemt. In feite heeft dus een middeling vooraf plaatsgevonden waarbij bodemkundige verschillen zijn gereduceerd door generalisatie van de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 250.000 naar 23 eenheden. Aan deze bodemkundige eenheden zijn vervolgens bodemfysische karakteristieken toegekend met als resultaat een bodemfysische eenhedenkaart voor Nederland. Toen er na verloop van de tijd behoefte ontstond naar meer differentiatie op korte afstand zijn de 23 PAWN-eenheden gekoppeld aan de eenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000. Door het kaartbeeld te generaliseren naar gridcelgroottes van 25 m bij 25 m tot 100 m bij 100 m nam ook de resolutie sterk toe. Bij de meeste toepassingen wordt tegenwoordig gebruik gemaakt van de PAWN-eenheden gekoppeld aan het kaartbeeld van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000.

Bij de in dit rapport gepresenteerde, nieuwe schematisatie worden aan alle bodemkundige eenheden van de bodemkaart voor Nederland, bodemfysische karakteristieken toegekend. Deze bodemeenheden worden met een relatief eenvoudig hydrologisch model doorgerekend en op grond van de modeluitkomsten vindt een clustering van bodemeenheden plaats. Dus in feite een middeling achteraf in plaats van een middeling vooral zoals bij de creatie van de PAWN-eenheden. Modeluitkomsten op grond waarvan wordt geclusterd zijn:

- Maximale diepte van de grondwaterstand waarbij een flux van 1 mm/d de onderkant van de wortelzone (met pF 4.2) nog kan bereiken (kritieke z-afstand bij 1 mm/d).
- Maximale diepte van de grondwaterstand waarbij een flux van 2 mm/d de onderkant van de wortelzone (met pF 4.2) nog kan bereiken (kritieke z-afstand bij 2 mm/d).
- Verzadigingstekort bij flux 1 mm/d over de bodemlagen tussen de berekende grondwaterstand en het maaiveld.
- Verzadigingstekort bij flux 2 mm/d over de bodemlagen tussen de berekende grondwaterstand en het maaiveld.
- Beschikbare waterberging (mm) van de wortelzone voor gemakkelijk beschikbaar water (tussen pF 2.0 en pF 2.6).
- Beschikbare waterberging (mm) van de wortelzone voor moeilijk beschikbaar water (tussen pF 2.6 en pF 4.2).
- Weerstand voor verticale stroming (C-waarde, d) van het profiel tussen maaiveld en 1,20 m –mv.
- Transmissiviteit voor horizontale stroming van water naar bijvoorbeeld drains of sloten (kD waarde, cm².d¹).
- Hoofdgrondsoorten (zand, klei, veen etc.).

3 Bodemkundige eenheden als basis

3.1 Eenheden van de bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50.000

De bodem is het buitenste deel van de aardkorst. Het materiaal waaruit de bodem bestaat (het moedermateriaal) is in ons land grotendeels van elders aangevoerd, o.a. door de wind, (löss, dekzand, stuifzand, duinzand), de rivieren (rivierklei en -zand), de zee (zeeklei en -zand) en door het landijs (keileem), of het is ter plekke ontstaan (veen). Door veranderingen in de sedimentatie vertoont het moedermateriaal vaak een zekere gelaagdheid. Onder invloed van uitwendige omstandigheden treedt bodemvorming op, waarbij veranderingen in het moedermateriaal ontstaan door omzetting, uitspoeling en ophoping van minerale en organische stoffen (Steur et al., 1991). Elke grond heeft dus als gevolg van de afzetting en van de bodemvorming een opeenvolging van min of meer horizontale lagen, die verschillen in samenstelling en eigenschappen. Samenstelling, dikte en opeenvolging van horizonten verschillen van plaats tot plaats. Gronden met een ongeveer overeenkomstige laagopeenvolging beschouwen we als een bodemkundige eenheid. Bodemkaarten geven de verbreiding van eenheden weer. De differentiatie in eenheden is afhankelijk van de kaartschaal.

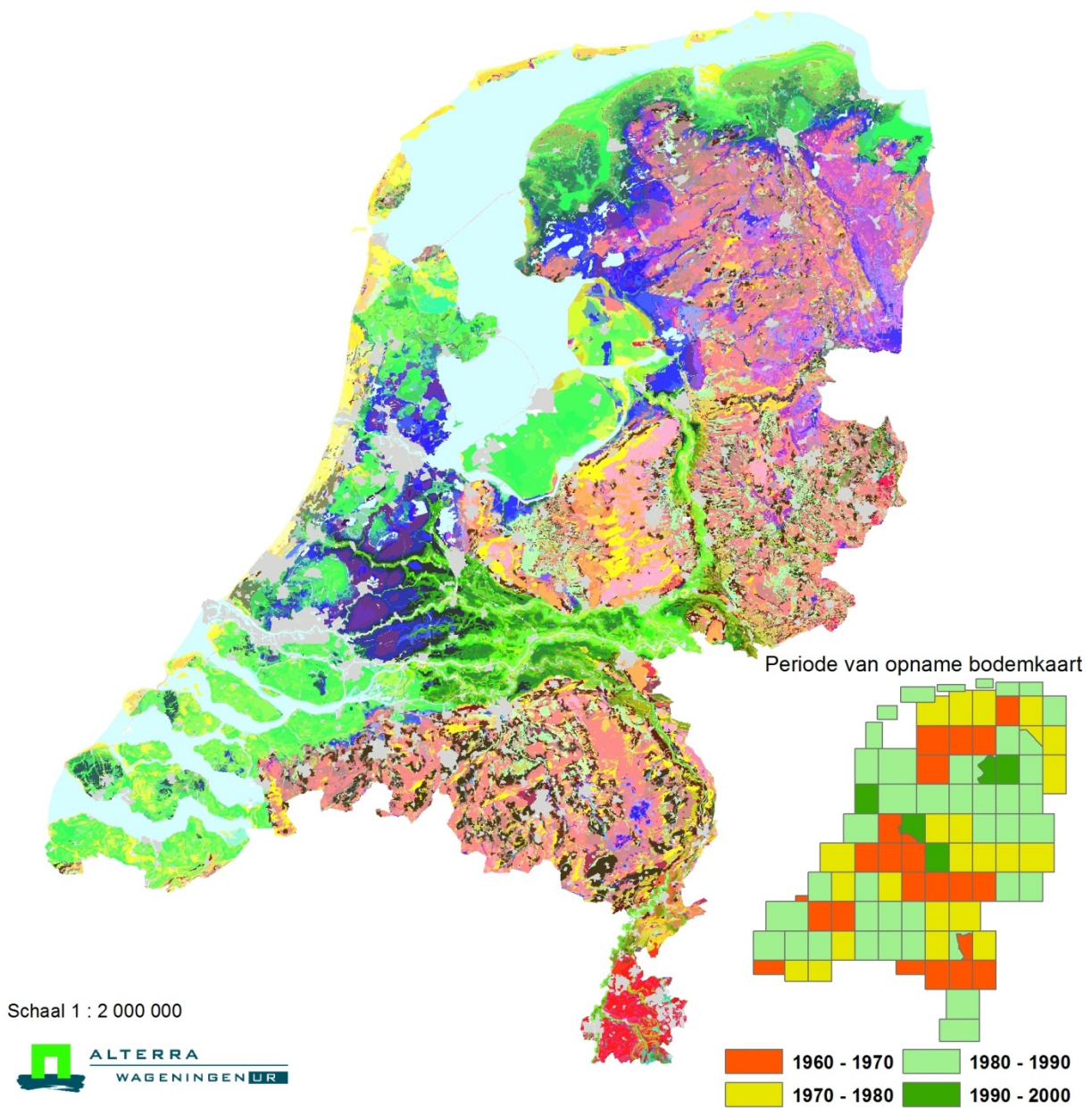
Voor Nederland beschikken we over twee landsdekkende bodemkaarten, de bodemkaart met schaal 1 : 250.000 en de bodemkaart met schaal 1 : 50.000. Beide kaarten geven informatie over de verbreiding van bodemkundige kenmerken tot een diepte van iets meer dan één meter. De kaarten bevatten informatie over o.a.:

- Moedermateriaal.
- Aard, dikte en samenstelling van de bovengrond.
- Aanwezigheid van kalk.
- Aanwezigheid van afwijkende lagen in de ondergrond tot 1.20 m-mv.
- Veensoort, indien aanwezig.
- Bodemvorming.
- Fluctuatie van het grondwater.

De legenda-eenheden van de bodemkaart, schaal 1 : 250.000 geven globalere informatie over de bodemgesteldheid dan de eenheden van de bodemkaart, schaal 1 : 50.000 en de begrenzing van de eenheden is bij schaal 1 : 250.000 minder nauwkeurig dan bij schaal 1 : 50.000. Voor dit project gaan we uit van de gegevens van de bodemkaart schaal 1 : 50.000. Dit schaalniveau sluit het beste aan bij de landelijke en regionale toepassingen in hydrologische modellen.

De Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, is gemaakt in de periode tussen 1960 en 1995. In een uitgebreide veldwerkcampagne, waarbij honderdduizenden grondboringen zijn verricht, is deze bodemkaart kaartblad voor kaartblad tot stand gekomen. In analoge vorm bestaat de complete serie uit een set van ca. 90 kaartbladen, met bij elk blad een inhoudelijke toelichting. De complete kaart is in GIS beschikbaar.

De kaart kent een uitgebreide legenda, waardoor allerlei verschillen in bodemopbouw goed onderscheiden kunnen worden. Door de veelzijdige bodemkundige informatie is de kaart een veelvuldig geraadpleegde bron voor allerlei toepassingen in vele vakgebieden, zoals planologie, milieu, hydrologie, landbouw, archeologie en civiele techniek. De bodemkaart staat in Nederland al jaren in de top-10 van de meest gebruikte GIS-bestanden. Voor het gebruik is het van belang op de hoogte te zijn van onderstaande informatie.



Figuur 1

Sterk verkleinde weergave van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000 en per kaartblad de periode van opname.

De kaartschaal en waarnemingsdichtheid brengen met zich mee dat de informatie op de kaart een generalisatie van de werkelijkheid is. De kleinste kaartvlakken op de bodemkaart zijn ongeveer 0,5 x 0,5 cm, dit is in werkelijkheid een gebiedje van ca. 6 ha. De waarnemingsdichtheid bij de opname op schaal 1 : 50.000 bedraagt ca. één boring per 8 à 10 ha. Bodemkundige fenomenen met een kleinere oppervlakte komen op deze schaal niet in beeld. Figuraties op de bodemkaart volgen in sterke mate landschappelijke patronen. Vanuit deze landschappelijke patronen wordt er tijdens de kartering bodemkundig inhoudelijke invulling gegeven aan de kaartvlakken. Hierbij worden keuzes gemaakt.

Doordat rond 1960 is gestart met het vervaardigen van de bodemkaart is de informatie op bepaalde kaartbladen dus al meer dan 50 jaar oud. Door allerlei ingrepen kunnen er sinds de opname veranderingen zijn opgetreden. Dit geldt in grote mate voor de ontwatering, op veel plaatsen komen nu diepere grondwaterstanden voor dan tijdens de kartering. Door natuurlijke processen vinden er ook veranderingen plaats bij gronden met oppervlakkige veenlagen. Onder toetreding van lucht oxideren en krimpen deze lagen, waardoor ze inklinken, of zelfs geheel verdwijnen. In veel veengebieden bedraagt de maaiveldddaling door oxidatie en krimp van veenlagen 0,5 tot 1 cm per jaar (Van den Akker, 2005; De Vries et al., 2008). In de veenweidegebieden leidt dit nog niet tot andere bodemeenheden, omdat de veenlagen er tenminste 1 à 2 meter dik zijn. Maar vooral in het oosten van het land en op de overgangen van zand- en kleigronden naar veengronden met relatief dunne veenlagen ontstaan nieuwe bodemtypen. Veengronden veranderen in moerige gronden en moerige gronden veranderen in minerale gronden. Bij een onderzoek in 2001 - 2004 zijn dit soort dunne veengronden met een totale oppervlakte van 100.000 ha onderzocht. Hieruit bleek dat bij 47.000 ha inmiddels een ander bodemtype voorkomt. Verwacht wordt dat in de komende decennia opnieuw een areaal van 50.000 à 80.000 ha veengronden zullen overgaan in nieuwe bodemtypen. Van de 190.000 ha moerige gronden die op de kaart staan weergegeven wordt geschat dat ongeveer de helft van het areaal inmiddels volledig mineraal is, dat wil zeggen dat er nu geen veenlagen meer voorkomen. De bodemkaart geeft dus geen actueel beeld van de gebieden met veengronden en moerige gronden. Bovenstaande veranderingen hebben allerlei gevolgen. Het waterbergend vermogen van de gronden verandert. De potenties voor natuur veranderen ook en de capaciteit van de bodem om allerlei stoffen te bufferen of door mineralisatie vrij te geven verandert ook. In 2011 is er een meerjarig project gestart om de bodemkaart van de gebieden met (dunne) veengronden en moerige gronden te actualiseren (in totaal 265.000 ha). De actualisatie van de kaart wordt in 2014 afgerond.

3.2 Representatieve profielen voor de eenheden van de bodemkaart

De Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, onderscheidt meer dan 1000 unieke eenheden, verdeeld over bijna 70.000 verschillende kaartvlakken. Alterra-rapport 654 (De Vries, 1999) bevat documentatie over deze landelijke eenheden. Voor alle eenheden met een landelijke oppervlakte van tenminste 2000 ha geven profielschetsen informatie over belangrijke kenmerken. In totaal zijn er 315 verschillende eenheden beschreven, gezamenlijk beslaan deze eenheden ca. 83 % van de Nederlandse oppervlakte. De eenheden van de bodemkaart met een gering oppervlakte (< 2000 ha) zijn geassocieerd met aanverwante beschreven eenheden. Op deze manier is de fysisch-chemische karakterisering voor alle eenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, beschikbaar.

De profielschetsen geven een beschrijving van de laagopbouw tot 120 cm diepte. Ze bevatten per horizont of laag informatie over:

- Modale, minimum en maximum waarde voor het organische-stofgehalte, lutumgehalte, leemgehalte, zandgrofheid (M50) en de pH.
- Modale waarden voor het kalkgehalte, ijzergehalte, C/N-quotiënt en de dichtheid.
- Codering voor het moedermateriaal.
- Bouwsteen van de Staringreeks voor bodemfysische karakterisering.

Bij elke profielschets is ook aangegeven welk dominant grondgebruik voorkomt. Er wordt onderscheid gemaakt in akkerbouw, grasland, bos en korte natuurlijke vegetatie. Een aantal kenmerken van de bovengrond of bouwvoor wordt beïnvloed door het grondgebruik, zoals de dikte, het organische stofgehalte, pH en C/N-quotiënt. Het maakt een groot verschil of een grond een agrarisch gebruik heeft of dat er bos op staat. Onder bos is de humeuze

bovengrond vaak dunner, maar de variatie in dikte is groter. Bij zandgronden is onder bos de pH lager. Voor deze kenmerken is zo veel mogelijk uitgegaan van gegevens die bij het betreffende grondgebruik horen. Van ca. 40 eenheden met een aanzienlijke landelijke oppervlakte (> 50.000 ha) en uiteenlopend grondgebruik zijn voor meerdere grondgebruiksvarianten profielschetsen opgesteld. In totaal zijn er daarom voor de 315 eenheden 370 profielschetsen beschikbaar.

De profielschetsen zijn opgesteld met informatie uit het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) van Alterra. Dit is een database met beschrijvingen en geanalyseerde gegevens van de bodemopbouw op meer dan 5.000 locaties. Per eenheid zijn de gegevens voor de afzonderlijke horizonten geselecteerd, zoals begin- en einddiepte van de horizont, modale, minimum en maximum gehalten, enz. Als eindcontrole zijn de resultaten van de selecties geverifieerd met gegevens uit de toelichtingen bij de afzonderlijke kaartbladen van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000.

Bij bepaalde eenheden van de bodemkaart komen regionale afwijkingen voor. In Flevoland zijn bijvoorbeeld de kleidekken bij de zandgronden (kHn21) kalkrijk, terwijl de kleidekken elders in Nederland veelal kalkarm zijn. Informatie over de kalk komt bij deze gronden niet in de code tot uiting. Hetzelfde geldt ook voor de veengronden met een zanddek of kleidek in Flevoland. Daarnaast zijn er gronden met veenmosveen (Vs) die zowel in hoogveengebieden in het oosten van het land als in laagveengebieden in het westen voorkomen. In het westen van het land zijn deze gronden met lutum verrijkt. Voor dit soort eenheden zijn twee profielschetsen beschikbaar die gekoppeld moeten worden op basis van de regio.

Voor de gebieden met gedeformeerde veengronden is nog geen geactualiseerde bodemkaart beschikbaar. Een afnemende veendikte resulteert in eerste instantie in moerige gronden en wanneer de veenlaag uiteindelijk helemaal verdwijnt in minerale gronden. We gaan er vanuit dat er nu vooral moerige gronden voorkomen. Per gedeformeerd type veengrond is de profielschets van een moerige grond gekozen die voor wat betreft de kenmerken van de boven- en ondergrond het meest overeenkomt. Als voorbeeld voor de gedeformeerde veengronden met een veenkoloniaal dek en een ondergrond van zand met podzolprofiel (eenheid iVp) gebruiken we de profielschets van moerige grond met een veenkoloniaal dek en zandondergrond met podzolprofiel (eenheid iWp).

4 Berekening van afgeleide, functionele kenmerken met het programmapakket Zeus

Om verschillen en overeenkomsten in hydrologisch gedrag tussen de verschillende bodemeenheden van de bodemkaart te onderkennen zijn met de gegevens van de profielschetsen als invoer de volgende functionele kenmerken berekend:

- Maximale diepte van de grondwaterstand waarbij een flux van 1 mm/d en een flux van 2 mm/d de onderkant van de wortelzone (bij pF 4.2) nog kan bereiken (kritieke z-afstand bij 1 mm/d en 2 mm/d)
- Verzadigingstekort bij een flux van 1 en 2 mm/d over de bodemlagen tussen de berekende grondwaterstand en maaiveld
- Weerstand voor verticale stroming (C-waarde, in dagen) van het profiel tussen maaiveld en 1,20 m -mv.
- Horizontale stroming van water (kD-waarde)
- Hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone, onderverdeeld in gemakkelijk opneembaar en moeilijk opneembaar.

De bodemopbouw is in de profielschetsen beschreven tot een diepte van 1.20 m -mv. terwijl de diepte van waaruit een flux van 1 respectievelijk 2 mm/dag de onderkant van de wortelzone kan bereiken bij een aantal bodemeenheden dieper is dan 1.20 m -mv. Om met de gegevens van de profielen toch de maximale kritieke stijghoogte te kunnen berekenen is de bodem niet afgekapt bij 1.20 m -mv. maar is aangenomen dat de onderste horizont doorloopt. Dit houdt een onnauwkeurigheid in omdat niet duidelijk is hoe de bodem beneden 1.20 m -mv. is samengesteld. In onderstaande paragrafen worden de verschillende kenmerken nader beschreven.

Voor de berekeningen van de in dit rapport beschreven afgeleide bodemfysische kenmerken is gebruik gemaakt van de eenheden die ook zijn gebruikt bij de PAWN-studie. De eenheden zijn gehaald uit de door (voorgangers van) Alterra ontwikkelde reeksen met bodemfysische parameters, de zogenaamde Staringreeks. Bij de ontwikkeling van deze reeksen is uitgegaan van een aantal bemonsterde bodemhorizonten met dezelfde bodemkundige eigenschappen. Van deze horizonten zijn de pF- en K(h)-relaties bekend. Hieruit is een gemiddelde curve bepaald door het vochtgehalte en de doorlatendheid voor dertien standaard drukhoogtes te middelen. Dit heeft geleid tot achttien gegeneraliseerde bovengronden en achttien ondergronden. Bij de berekeningen is uitgegaan van de reeks van 1987. Deze reeks is gekozen omdat we zoveel mogelijk willen aansluiten bij de bodemfysica die gebruikt is in de PAWN-studie. Voor zeven bovengronden en drie ondergronden, waarvan in 1987 nog onvoldoende gegevens bekend waren is gebruik gemaakt van de informatie uit 1994 (Wösten et al., 1994) voor B9, B14, B17, O14 en uit 2001 (Wösten et al., 2001) voor B5, B6, B13, B15, O7, O18. De dertien standaardwaarden van al deze bouwstenen zijn handmatig in de Priapus-database ingevoerd waarna er met het programma Tethys (onderdeel van het Zeus-pakket) een continue spline-functie doorheen is gefit. De resultaten zijn gepresenteerd in bijlage 2 en deze waarden worden gebruikt als invoergegeven voor de berekening van de functionele kenmerken.

Opgemerkt wordt dat het vertalen van een bodemprofiel naar een bodemfysisch profiel op basis van de Staringreeks vrij grof is. De indeling van deze reeks is gemaakt op basis van textuur en een globale indeling naar de aard van het moedermateriaal en het organische stofgehalte. Er wordt nauwelijks of geen onderscheid gemaakt in o.a. dichtheid, doorlatendheid, bodemtype en afzettingmilieu. Hierdoor zijn bijvoorbeeld de bodemfysische karakteristieken van lichte zeekleigronden en lichte beekleigronden in dezelfde bouwsteen (O11) ondergebracht en de vocht- ($\theta(h)$) en doorlatendheidskarakteristiek ($k(h)$) gemiddeld, waardoor het fysische gedrag van beide gronden uiteindelijk hetzelfde

is. Dit heeft tot gevolg dat bij modelsimulaties met deze standaardprofielen en standaardparameters, bepaalde hydrologische effecten worden afgevlakt of in het geheel niet worden gekwantificeerd.

4.1 Stationaire grondwaterstroming

Stationaire grondwaterstroming (of permanente stroming) is stroming waarbij gedurende de beschouwde periode de plaatselijke snelheid niet verandert. Met deze stationaire stroming als uitgangspunt wordt in deze paragraaf beschreven hoe de bovengenoemde functionele kenmerken worden berekend. Hierbij wordt de stationaire stroming van water in de onverzadigde zone van de bodem beschreven met de Darcy-vergelijking:

$$q = -K(h) \left(\frac{dh}{dz} + 1 \right)$$

waarbij

- q = fluxdichtheid (cm d⁻¹), positief naar boven
- K(h) = hydraulisch geleidingsvermogen als functie van h (cm d⁻¹)
- h = drukhoogte (cm)
- z = plaats (cm, positief naar boven)

De relatie tussen het hydraulisch geleidingsvermogen en de drukhoogte is sterk niet-lineair en ook afhankelijk van de bodemlaag. Voor het bepalen van het vochtgehalte van de bodem is de zogenaamde waterretentiekarakteristiek of pF-curve van belang. Deze geeft de relatie tussen vochtgehalte en drukhoogte weer en is ook sterk niet-lineair. Om deze relaties te beschrijven worden in het algemeen de Mualem-Van Genuchten vergelijkingen gebruikt (Van Genuchten, 1980). Omdat deze vergelijkingen niet in staat blijken te zijn om de meer complexe relaties te beschrijven (Wesseling et al., 2008; Wesseling, 2009) is er bij dit onderzoek voor gekozen om de meer flexibele beschrijvingswijze met 'cubical splines' te gebruiken. Zie Wesseling et al. (2008) of Wesseling (2009) voor meer details. De functionele kenmerken die vervolgens zijn berekend, worden hierna beschreven.

4.2 Kritieke z-afstand

De kritieke z-afstand in cm is gedefinieerd als de afstand tussen de onderkant van de wortelzone en de grondwaterspiegel, waarover bij een vochtspanning van pF 4.2 aan de onderzijde van de wortelzone een capillaire opstijging van 2 mm per dag nog mogelijk is. Deze fluxwaarde van 2 mm/dag is gekozen als referentiewaarde omdat uit onderzoek is gebleken dat deze flux als aanvulling op de vochtvoorraad in de wortelzone meestal voldoende is om een gewas optimaal te laten groeien (Van Soesbergen et al., 1986; Van der Sluijs, 1990). De kritieke z-afstand bij 2 mm/dag wordt gebruikt voor alle gronden. Voor gronden die bestaan uit lichte klei, zavel, sterk lemig tot zeer sterk lemig zand, leem en löss continueert de capillaire opstijging rond 2 mm/dag nog steeds als de kritieke z-afstand overschreden wordt, maar nu met een lagere fluxwaarde. Hierdoor wordt de vochtleverantie van deze gronden op basis kritieke z-afstand bij 2 mm/d in meer of mindere mate onderschat. Daarom wordt voor deze gronden bij het beoordelen van de vochtleverantie niet alleen rekening gehouden met een capillaire opstijging bij een flux van 2 mm/dag maar ook bij een flux van 1 mm/dag (Stolp en Vroon, 1990). Voor zandgronden gaat dit echter veel minder op en deze zullen dus eerder verdrogen als niet 2 mm/dag capillair nageleverd kan worden. Waarden van de kritieke z-afstand voor meerdere Nederlandse gronden zijn beschikbaar in de literatuur (Van Soesbergen et al., 1986 en Haans, 1979).

De kritieke z-afstand kan worden berekend door bovenstaande vergelijking anders te schrijven. Daardoor ontstaat een vergelijking die de relatie tussen de verandering in plaats aangeeft als functie van de verandering in drukhoogte:

$$dz = - \frac{dh}{1 + \frac{q}{K(h)}}$$

Het is bekend dat de drukhoogte h op het niveau van het grondwater 0 is. Als we aannemen dat de oorsprong van de verticale as ($z=0$) op het niveau van het grondwater ligt, dan kunnen we het (stationaire) drukhoogteprofiel (de relatie tussen z en h) berekenen door de vorige vergelijking te integreren:

$$\int_0^z dz = - \int_0^h \frac{dh}{1 + \frac{q}{K(h)}}$$

Ofwel

$$z(h) = - \int_0^h \frac{dh}{1 + \frac{q}{K(h)}}$$

Deze integraal kan (voor positieve waarden van q) numeriek worden berekend als

$$z(h) = - \sum_{i=1}^{N_h} \frac{\Delta h_i}{1 + \frac{q}{K\left(\frac{h_{i-1} + h_i}{2}\right)}}$$

In het algemeen wordt er gerekend tussen het grondwaterniveau en de onderzijde van de wortelzone. Als de waarde van z groter is dan deze afstand zal de berekening stoppen. Ook wordt er gestopt als de waarde van h kleiner wordt dan -16.000 cm (verwelkingspunt).

4.3 Verzadigingstekort

Het verzadigingstekort is gedefinieerd als de hoeveelheid water (uitgedrukt in cm waterschijf) die nodig is om de bodemlagen vanaf maaiveld tot aan het grondwaterniveau bij kritieke z -afstand in verzadigde toestand te brengen. Hierbij wordt de waterinhoud bepaald uit het drukhoogteprofiel dat hoort bij een capillaire opstijging van 1 of 2 mm/dag en de $h(\theta)$ -relaties van de doorstroomde bodemlagen.

Als met bovenstaande formules de kritieke z -afstand is bepaald, dan is ook direct het verloop van de drukhoogte met de diepte bekend bij deze fluxdichtheid en grondwaterstand. Als nu het kritieke vochttekort V_c (cm) wordt gedefinieerd als die hoeveelheid water die het profiel kan bergen tot het volledig verzadigd is, dan kan dit worden geschreven als:

$$V_c = \int_0^{z_c} (\theta_s - \theta(z)) dz + \int_{z_c}^{z_c+z_r} (\theta_s - \theta_{4.2}) dz = \int_0^{z_c} (\theta_s - \theta(h(z))) dz + \int_{z_c}^{z_c+z_r} (\theta_s - \theta_{4.2}) dz$$

Hierbij is

V_c	= kritieke vochttekort (cm)
θ	= vochtgehalte ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)
z	= verticale positie (cm)
z_c	= kritieke afstand (cm)
z_r	= dikte wortelzone (cm)
$\theta_{4,2}$	= vochtgehalte bij verwelkingspunt ($h=-16000$ cm)

De eerste term in deze vergelijking geeft de hoeveelheid die kan worden geborgen in het stuk tussen de wortelzone en het grondwater. De tweede term geeft de hoeveelheid in de wortelzone. Deze vergelijking kan eenvoudig worden gediscretiseerd waarbij wel rekening moet worden gehouden met de verschillende bodemlagen. Op een analoge wijze kan de berging in het profiel worden berekend.

4.4 c-waarde

Een ander kenmerk van een profiel is de c-waarde, de weerstand van het profiel (in dagen) voor verticale verzadigde grondwaterstroming. De c-waarde kan worden berekend uit de dikte van de afzonderlijke profiellagen en hun verzadigde doorlatendheid:

$$c = \sum_{i=0}^{N_L} \frac{D_i}{K_i^s}$$

Hierbij is

c	= weerstand (d)
D_i	= dikte van laag i (cm)
K_i^s	= verzadigde doorlatendheid van laag i ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)
N_L	= aantal bodemlagen in profiel

4.5 kD-waarde

Voor de horizontale stroming van water, bijvoorbeeld naar de drains of sloten, is de transmissiviteit van belang. Deze waarde (kD) kan worden bepaald volgens

$$kD = \sum_{i=0}^{N_L} K_i^s D_i$$

Hierbij is

kD	= transmissiviteit ($\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$)
D_i	= dikte van laag i (cm)
K_i^s	= verzadigde doorlatendheid van laag i ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)
N_L	= aantal bodemlagen in profiel

4.6 Hoeveelheid opneembaar vocht

De hoeveelheid vocht die door planten kan worden opgenomen wordt gelimiteerd door de op de verschillende diepten voorkomende drukhoogten en door de dikte van de bewortelde laag. Deze hoeveelheid water kan worden bepaald als een schijf water. In dit onderzoek is onderscheid gemaakt tussen de hoeveelheid water in de wortelzone en die in de ondergrond. Het is bekend dat planten in het algemeen probleemloos water kunnen opnemen tussen $h=-100$ en $h=-$

400 cm. Beneden h=-400 cm wordt de wortelopname gereduceerd totdat bij h=-16000 cm (verwelkingspunt) de planten geen water meer op kunnen nemen. De hoeveelheid beschikbaar water kan nu worden berekend als

$$V_a = \int_{z_0}^{z_1} (\theta(h_w) - \theta(h_d)) dz$$

Waarbij

- V_a = hoeveelheid beschikbaar vocht (cm)
- z_0 = onderzijde beschouwd profielsegment (cm)
- z_1 = bovenzijde beschouwd profielsegment (cm)
- h_w = drukhoogte grens nat (cm)
- h_d = drukhoogte grens droog (cm)

De gebruikte grenzen worden weergegeven in tabel 1.

Tabel 1

Gebruikte grenswaarden bij het berekenen van de beschikbare hoeveelheid vocht.

Segment	Opneembaarheid	Plaatsgrenzen (cm)		Drukhoogtegrenzen (cm)	
		z_0	z_1	h_w	h_d
Wortelzone	Gemakkelijk	Worteldiepte (30 cm)	Maaiveld	-100	-400
	Moeilijk	Worteldiepte (30 cm)	Maaiveld	-400	-16000
Ondergrond	Gemakkelijk	Onderzijde profiel	Onderkant Wortelzone	-100	-400
	Moeilijk	Onderzijde profiel	Onderkant Wortelzone	-400	-1000

Voor de berekeningen is steeds uitgegaan van een worteldiepte van 30 cm, omdat dit een diepte is die in de praktijk door de meeste gewassen en bij de meeste bodemprofielen wordt gerealiseerd. In werkelijkheid verschilt de worteldiepte van gewas tot gewas en per bodemprofiel. Bieten en granen wortelen dieper dan gras en aardappelen. Bodemfactoren die de beworteling limiteren zijn:

- pH of zuurgraad: bij pH (KCl)-waarden beneden 3,5 à 4 is vrijwel geen beworteling meer mogelijk. Dit komt voor bij gronden met mosveen en in gronden met gliedelagen en katteklei.
- Aëratie of beluchting: bij luchtgehalten van minder dan 10 à 15% wordt de beworteling sterk beperkt. Aëratie speelt voornamelijk een rol bij veengronden, moerige gronden en sommige zavel- en kleigronden. Een slechte aëratie kan worden veroorzaakt door zowel een hoge grondwaterstanden, als een slechte bodemstructuur of een sterke opdrachtheid.
- Indringingsweerstand: dit is de voornaamste beperkende factor bij zand- en brikgronden. De kritische grens voor het bewortelen ligt bij een indringingsweerstand van 2.5 à 3 MPa.

4.7 Software

Voor het berekenen van de hierboven beschreven afgeleide waarden van de bodemprofielen is gebruik gemaakt van de software uit het Titanen-pakket. De profielkenmerken zijn opgeslagen in de HeJa-database. Voor de bodemfysische kenmerken worden de gegevens uit de Priapus-database gebruikt, waarna de resultaten weer in HeJa worden

opgeslagen. In tabel 2 worden de gebruikte elementen genoemd. In de publicatie van Wesseling et al. (2013) worden de berekeningen nader toegelicht.

Tabel 2

Elementen gebruikt bij de berekening van de afgeleide, functionele kenmerken.

Item	Beschrijving
Priapus	Database met bodemfysische kenmerken van bodemmonsters
HeJa	Database met profielgegevens en afgeleide kenmerken
Phoebe	Berekenen van kritieke waarden
Leto	Berekenen van beschikbare hoeveelheden vocht in wortelzone en ondergrond
Dione	Berekenen van c en kD-waarden
Crius	Berekenen van berging

5 Clustering

Om het aantal rekeneenheden voor hydrologische modellen te optimaliseren, groeperen we de bodemeenheden met overeenkomstige functionele kenmerken. Voorwaarde hierbij is wel dat er ook verwantschap is in fysieke opbouw. Er kunnen dus geen veen- en zandgronden of zand- en kleigronden worden samengevoegd. De bodemeenheden zijn daarom ingedeeld in vijf hoofdgroepen: veengronden, moerige gronden, zandgronden, leemgronden en kleigronden. Voor het groeperen van de bodemeenheden voeren we een clusteranalyse uit.

5.1 Clustering op grond van overeenkomst in functionele kenmerken

5.1.1 Methode

Clusteranalyse is de naam voor een grote waaier van procedures die gebruikt worden om een populatie in te delen in groepen. Elementen van de populatie die dezelfde of gelijk(w)aardige informatie uitdrukken worden samengevoegd tot groepen van individuen of objecten. Clusteranalyse is een multivariate procedure waarbij een (grote) dataset met meerdere eigenschappen wordt opgesplitst in relatief homogene groepen. De indeling in deze groepen is vooraf onbekend en ook het aantal groepen hoeft vooraf niet bekend te zijn. Doel is dat elementen die tot één cluster behoren één homogene groep vertegenwoordigen en elementen uit verschillende clusters samen géén homogene groep vormen. Dit betekent:

- zoveel mogelijk gelijkenissen binnen één groep
- zoveel mogelijk verschil tussen de groepen.

Als we willen nagaan of twee objecten al dan niet 'dicht' bij elkaar liggen (gelijkenis vertonen), dan moeten we beschikken over een afstandsmaat of een afstandsindex. Een populaire afstandsmaat is de afstand in vogelvlucht of de Euclidische afstand, maar er zijn nog een aantal andere.

Een bekende niet-hiërarchische clustering techniek die vaak wordt toegepast bij datasets met kwantitatieve eigenschappen is Kmeans (MacQueen, 1967).

De stappen in Kmeans clusteranalyse zijn als volgt:

- verdeel de data in een van tevoren bepaald aantal (k) groepen;
- observaties worden ingedeeld in clusters op basis van afstand tot het clustergemiddelde (centra);
- bereken het nieuwe clustercentrum na het toevoegen van een observatie aan een cluster;
- herhaal stappen 2 en 3 tot er geen of nog maar zeer kleine veranderingen optreden in de clustercentra.

Om optimale clusteraantallen te helpen kiezen zijn diverse criteria ontwikkeld waarvan de Calinski-Harabasz Index en het Silhouette Width Criterion twee bekende en goed presterende zijn (Vendramin et al., 2009). De keuze voor het aantal te kiezen clusters is mede op basis van deze criteria gemaakt.

5.1.2 Standaardisering van de invoerdata

De dataset waarop cluster-analyse is toegepast bevat 370 bodemprofielen met voor elk profiel zeven functionele bodemfysische kenmerken berekend met Zeus. Naast deze zeven kenmerken is van elk profiel de dominante

grondsoort gegeven, onderverdeeld in klei, zand, leem, veen en moerig. De grondsoort is als ingang gebruikt voor een splitsing van de dataset zodat de clustering in groepen van bodemprofielen (clusters) alleen binnen een grondsoort plaatsvindt. Hierdoor blijft in de schematisatie de dominante grondsoort zichtbaar in het kaartbeeld en verhoogt daarmee de ruimtelijke herkenbaarheid. De verhouding van het aantal profielen en het areaal over de grondsoorten is als volgt:

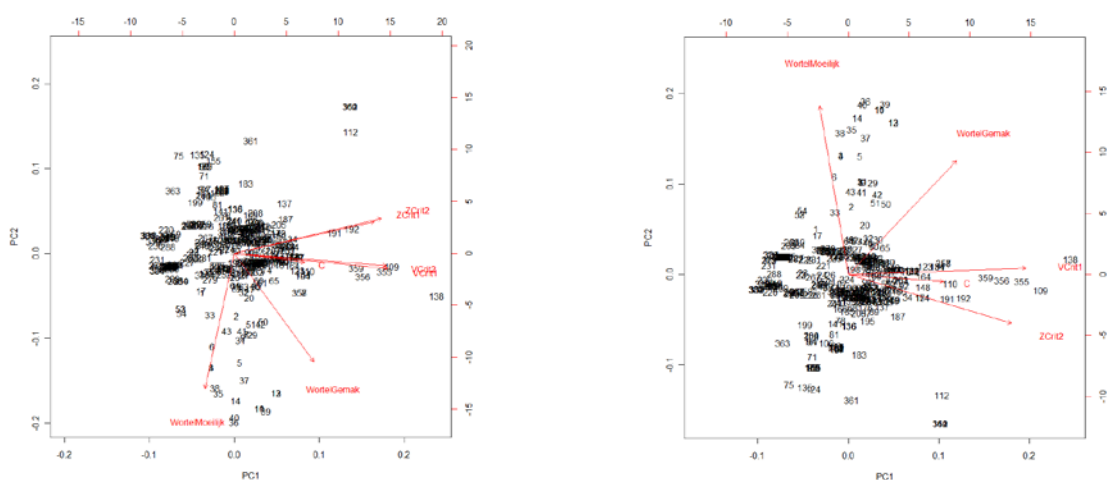
Grondsoort	Klei	Leem	Moerig	Veen	Zand
Profielen	151	16	22	44	137
Areaal [km ²]	10782	582	1916	3350	14191

Bij een evenredige verdeling van de profielen over ongeveer 50 clusters levert dat ongeveer zeven profielen per cluster op. Bij een gelijke verdeling van het totale areaal over 50 clusters zou ieder cluster ongeveer 600 km² bedragen.

Om verschillende kenmerken vergelijkbaar te maken is de data gestandaardiseerd. Eigenschappen uitgedrukt in grote getallen krijgen op deze manier evenveel gewicht in de clusteranalyse als eigenschappen uitgedrukt in kleinere getallen. Door ieder afzonderlijk kenmerk K_i , te verminderen met de gemiddelde waarde van dit kenmerk gevolgd door deling door de standaarddeviatie, $sd(K_i)$ worden kenmerken dimensieloos en van gelijke grootte.

$$st(K_i) = (K_i - \bar{K}_i) / sd(K_i)$$

Daarna is visueel beoordeeld in hoeverre de zeven gestandaardiseerde kenmerken vergelijkbaar en daardoor deels uitwisselbaar zijn. Voor alle combinaties van de zeven kenmerken zijn scatterplots gemaakt en er is een plot van de eerste twee hoofdcomponenten uit een hoofdcomponenten analyse gemaakt (figuur 2). Als de vectoren van kenmerken in deze hoofdcomponenten plot nagenoeg samenvallen bevatten ze vergelijkbare informatie en kan dus één van deze kenmerken worden weggelaten met een minimaal verlies aan informatie.



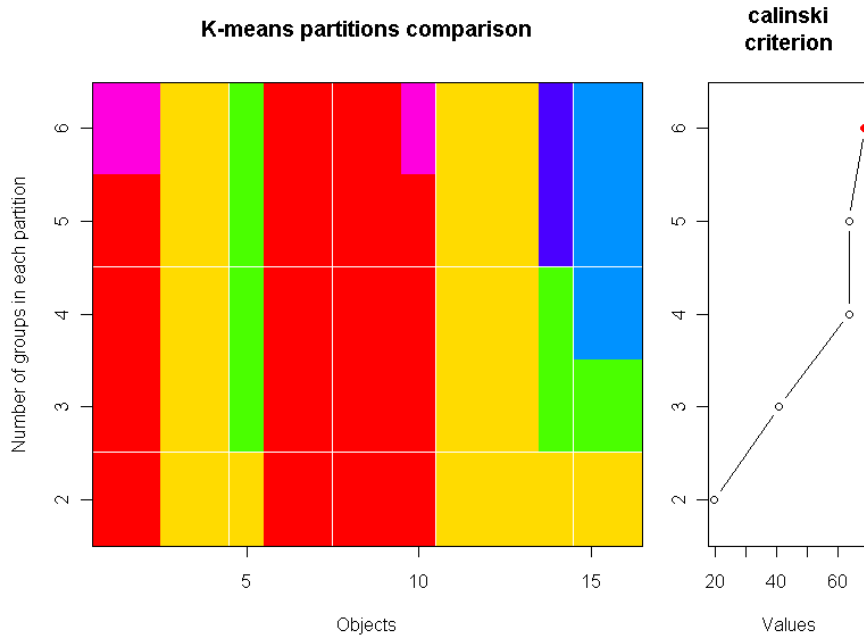
Figuur 2

Functionele kenmerken geplot op de eerste twee hoofdcomponenten voor alle kenmerken (links) en voor geselecteerde kenmerken (rechts).

De vectoren van de functionele kenmerken ZCrit1 en ZCrit2, VCrit1 en VCrit2, kD en C vertonen een duidelijke overlap. Daarom zijn ZCrit2, VCrit1 en C in de clusteranalyse betrokken en de andere drie niet en refteren dus vijf functionele kenmerken waarop clusteranalyse is uitgevoerd.

5.1.3 Keuze van de clusters

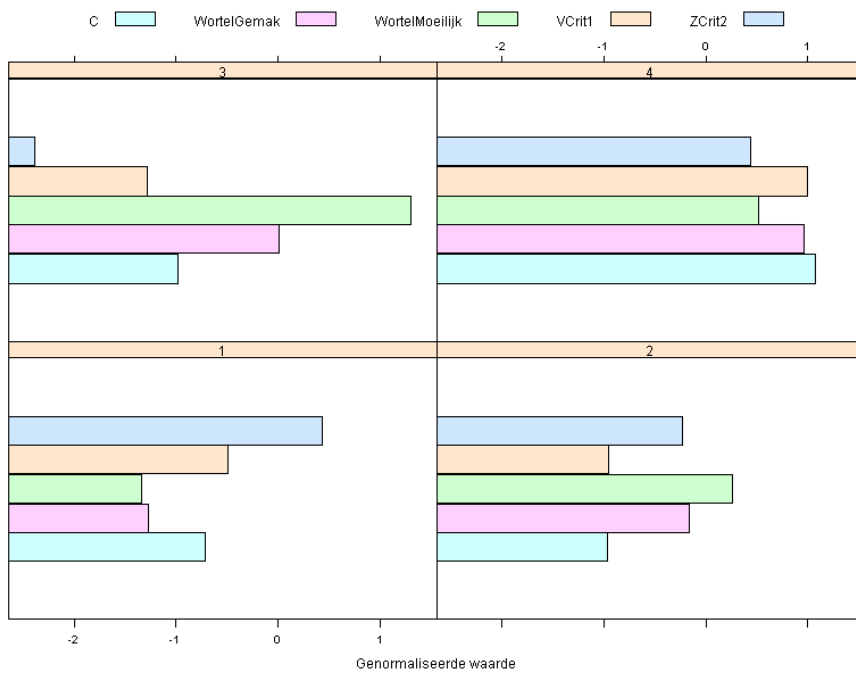
Ter illustratie is de werkwijze voor het selecteren van het gewenste aantal cluster voor de grondsoort leem weergegeven. Als eerste stap wordt de range van clusteraantallen gekozen op basis van het areaal leemgronden en aantal beschikbare leemprofielen; hier is gekozen voor een aantal tussen twee en zes clusters. Voor deze range van clusteraantallen zijn een aantal clustervaliditeitsindices berekend en is het Calinski-Harabasz criterium in figuur 3 weergegeven, samen met een verdeling van de elementen over de clusters.



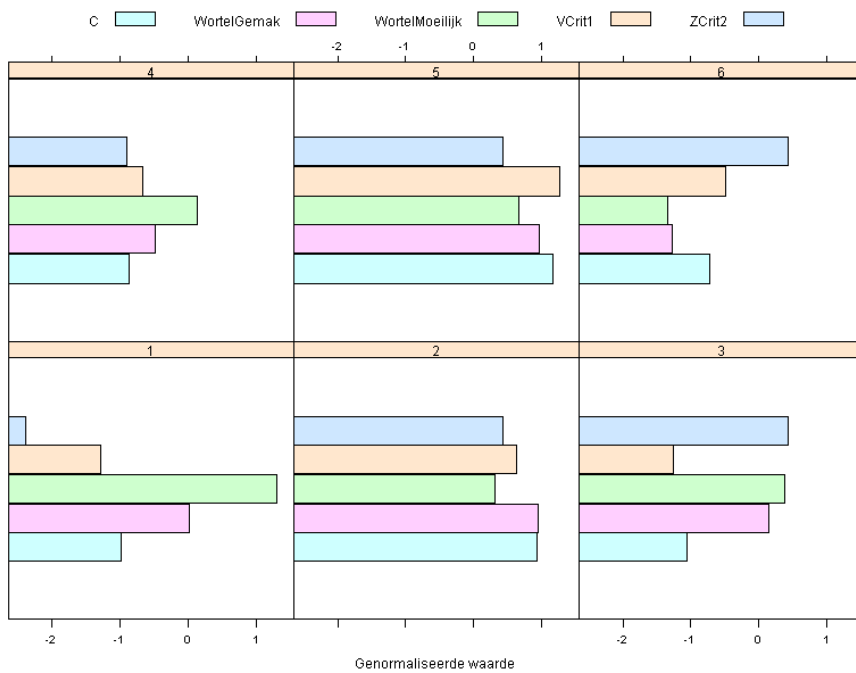
Figuur 3

Verdeling van de profielen over de verschillende aantallen clusters en de bijbehorende waarde van het Calinski-Harabasz criterium.

De maximale waarde van het Calinski-Harabasz criterium geeft het voorkeursaantal clusters. Voor het voorbeeld van leem in figuur 3 zouden vier of zes clusters de voorkeur hebben. Bij de keuze van vier clusters is in de figuur te zien dat ieder cluster tenminste twee profielen bevat, terwijl een verdeling in zes clusters leidt tot twee clusters die uit slechts één profiel bestaan. Naast de aantallen profielen per cluster en het Calinski-Harabasz criterium is ook naar de getalswaarde van de functionele kenmerken per cluster gekeken om een keuze te maken. Clustercentra die voor functionele kenmerken sterk lijken op de centra van één van de overige clusters leveren waarschijnlijk geen zinvol onderscheid.



Figuur 4
 Functionele kenmerken voor vier clustercentra van de leemgronden.



Figuur 5
 Functionele kenmerken voor zes clustercentra van de leemgronden.

In figuur 5 is te zien dat de verdeling van functionele kenmerken bij een onderverdeling in zes clusters voor de clusters 2 en 5 enigszins vergelijkbaar is, terwijl bij een onderverdeling in vier clusters (figuur 4) alle clustercentra van elkaar verschillen.

Nadat de keuze voor het aantal clusters is gemaakt is voor ieder profiel berekend tot welk cluster het behoort. Bij Kmeans clustering zoals hier toegepast betekent het dat profielen die zijn uitgedrukt in genormaliseerde functionele kenmerken het dichtst bij een clustercentrum liggen tot dat cluster behoren. Naast een toekenning van alle profielen aan een cluster zijn ook de afstanden van ieder profiel t.o.v. de overige clustercentra berekend; hiermee kan in twijfelgevallen worden besloten een profiel aan een ander cluster toe te kennen waarvan de functionele kenmerken weinig verschilt.

5.2 Nadere indeling op grond van bodemfysische profielopbouw

Naast de randvoorwaarde dat deze schematisering de Nederlandse gronden moet groeperen in een optimaal aantal clusters op basis van kenmerken die in belangrijke mate het hydrologisch gedrag bepalen, was er ook de randvoorwaarde dat er clusters ontstaan met een min of meer overeenkomstige en herkenbare profielopbouw, waarbij de laagopbouw getypeerd kan worden met bouwstenen van de Staringreeks. Door de multivariate clustering per grondsoort uit te voeren is al voorkomen dat er bijvoorbeeld zandgronden en veengronden in één cluster zijn samengevoegd. De clusteranalyse leverde echter ook binnen de grondsoorten groepen met bodemeenheden op met een aanzienlijke diversiteit in profielopbouw, zoals bijvoorbeeld een cluster waarin kleigronden met een zandondergrond en kleigronden met een ondergrond van veen zijn gecombineerd, of een combinatie van profielen met grof zand en profielen met fijn zand. Voor clusters met dit soort combinaties kan geen realistisch representatief profiel worden opgesteld. Er is daarom nog een nabewerking uitgevoerd om clusters te formeren met profielen met een overeenkomstig hydrologisch gedrag en profielopbouw. Er is ook gelet op de geografische ligging en verbreiding van de eenheden binnen een cluster. Het is bijvoorbeeld niet logisch dat kleigronden in het zeekleigebied gecombineerd worden met kleigronden in Zuid-Limburg.

5.3 Profielschets per cluster

De clustering resulteert in groepen met meerdere bodemeenheden. Voor gebruik van de informatie in modellen is er informatie nodig over de opbouw van het profiel. Hiervoor is gebruik gemaakt van de profielschetsen die voor alle bodemeenheden beschikbaar zijn (De Vries, 1999). Per cluster is het profiel gekozen van de bodemeenheid met de grootste oppervlakte binnen het cluster.

6 Resultaten

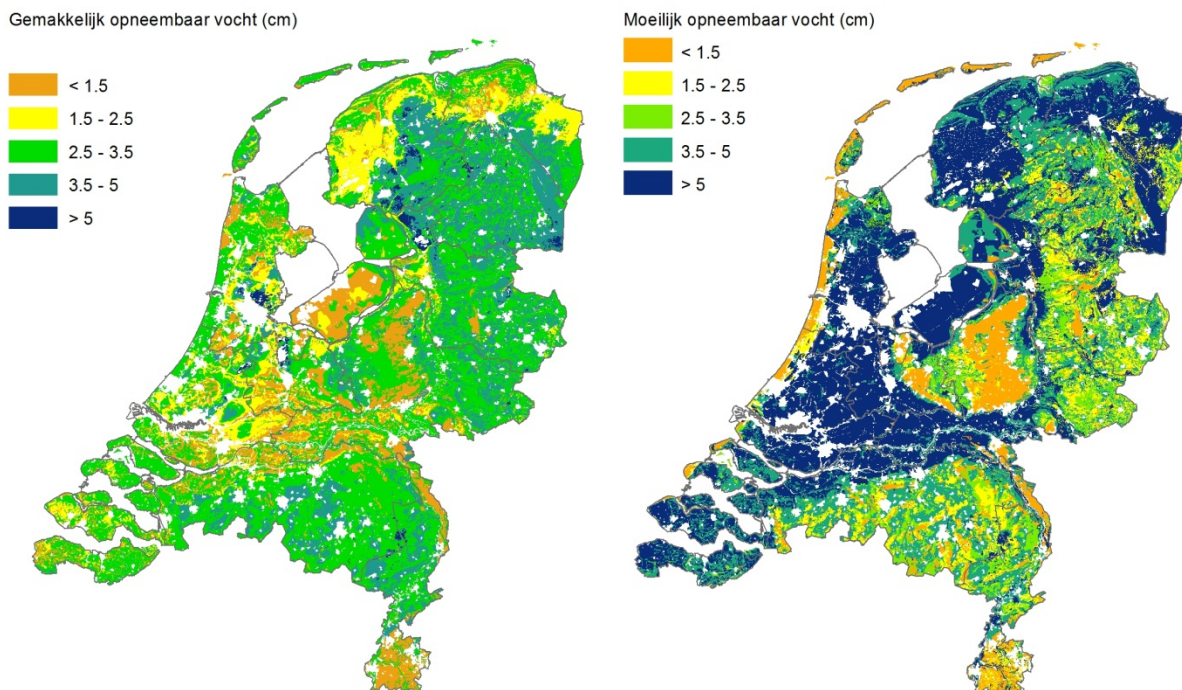
6.1 Berekeningen functionele kenmerken

Aan de hand van de profielschetsen van de bodemeenheden zijn de functionele kenmerken berekend:

- Hoeveelheid gemakkelijk opneembaar vocht in de wortelzone
- Hoeveelheid moeilijk opneembaar vocht in de wortelzone.
- Weerstand voor verticale stroming (C-waarde, in dagen) van het profiel tussen maaiveld en 1,20 m –mv.
- Maximale diepte van de grondwaterstand waarbij een flux van 2 mm/d de onderkant van de wortelzone (bij pF 4.2) nog kan bereiken (kritieke z-afstand bij 2 mm/d).
- Verzadigingstekort bij een flux van 1 mm/d over de bodemlagen tussen de berekende grondwaterstand en de onderkant van de wortelzone (V_c)

Om een goede vergelijking is bij de berekeningen voor de wortelzone steeds een dikte aangehouden van 30 cm. In werkelijkheid zit er variatie in de bewortelingsmogelijkheden van de verschillende bodemeenheden. De bewortelingsdiepte per gewas verschilt ook. Bieten en granen wortelen bijvoorbeeld dieper dan gras en aardappelen.

Voor de clustering zijn de kenmerken geselecteerd die onderscheidend zijn voor de indeling van de bodemeenheden in groepen, nl. de hoeveelheid vocht in de wortelzone van 30 cm, onderverdeeld in gemakkelijk en moeilijk opneembaar, de C-waarde, de kritieke z-afstand bij een flux van 2 mm/d en het verzadigingstekort in de bodemlaag tot de kritieke grondwaterstand bij een flux van 1 mm/d. De kD -waarde, de kritieke z-afstand bij flux van 1 mm/d en



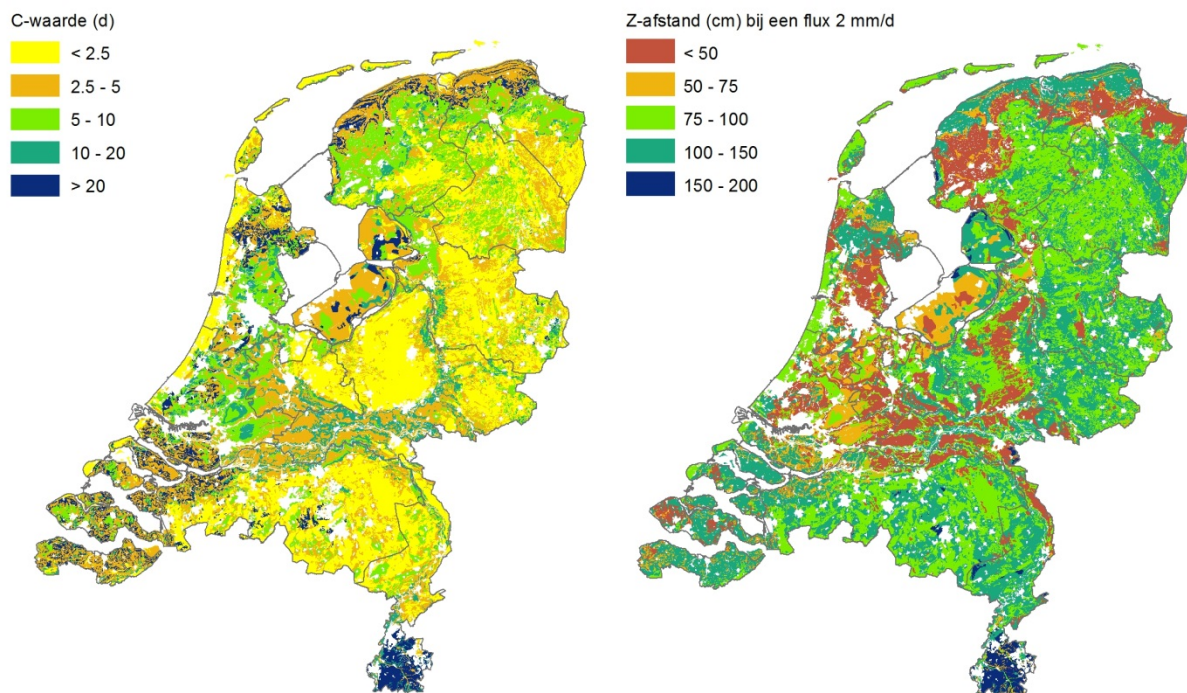
Figuur 6

Berekende hoeveelheid gemakkelijk ($h = -100$ tot -400) en moeilijk ($h = -400$ tot $-16\ 000$) opneembaar vocht in de wortelzone.

het verzadigingstekort in de bodemlaag tot de kritieke grondwaterstand bij een flux van 2 mm/d bleken niet onderscheidend te zijn en zijn daarom niet bij de clustering betrokken. De uitkomsten van de berekeningen staan in de figuren 6, 7 en 8 en in bijlage 3.

Opneembaar vocht in de wortelzone

Planten nemen met hun wortels vocht op uit de wortelzone. Bij een vochtige grond is het vocht gemakkelijk opneembaar. Naarmate de grond meer uitdroogt (drukhoogte h wordt daarbij meer negatief) komt het vocht ook moeilijker beschikbaar voor de plant. De vochtvoorraad in de wortelzone is daarom opgedeeld in gemakkelijk opneembaar vocht, bij een drukhoogte h tussen -100 en -400 cm en moeilijk opneembaar vocht (h : -400 tot -16 000 cm). Om een onderlinge vergelijking mogelijk te maken zijn de berekeningen voor alle gronden gebaseerd op een wortelzone met een dikte van 30 cm. De hoeveelheid beschikbaar vocht wordt aangegeven als een schijf water met een dikte in cm. De hoeveelheid gemakkelijk vocht varieert van 1 cm tot ca. 5 cm (figuur 6). Veengronden met een venige bovengrond hebben de grootste hoeveelheid vocht in de wortelzone. Opvallend is de beperkte hoeveelheid bij de lössgronden in Zuid-Limburg. Deze hoeveelheid wordt waarschijnlijk onderschat. Bij een vergelijking van de hoeveelheden gemakkelijk en moeilijk opneembaar vocht blijkt dat bij de kleigronden de moeilijk opneembare hoeveelheid vocht flink groter is dan de gemakkelijk opneembare hoeveelheid.



Figuur 7

Kaart met de berekende weerstand (C-waarde) en de maximale z-afstand bij een capillaire flux van 2 mm/d.

C-waarde

Lage C-waarden, dus een goed doorlatendheid bodemprofiel in verzadigde toestand, komen vooral bij de zandgronden voor. Bij de meeste zandgronden bedraagt de C-waarde slechts enkele dagen, bij de grove zandgronden is deze zelfs minder dan één dag. Bij profielen met leem (Staringbouwsteen O14 en O15) vinden we de hoogste weerstanden, bij de lössgronden in Zuid-Limburg is de C-waarde > 30 dagen (figuur 7, linkerkant). In de kleigebieden hebben de profielen met ondergronden van zware zavel de meeste weerstand voor een vlotte

grondwaterpercolatie. De verticale doorlatendheid wordt in sterke mate beïnvloed door de aanwezigheid van doorlopende holten, zoals verticale wortelgang, wormgangen en diepe scheuren. Gronden met veel doorlopende holten zijn veelal goed doorlatend. Bij gronden met een sterk krimp en zwelvermogen varieert de doorlatendheid gedurende het seizoen. In droge toestand, met veel krimpscheuren, stroomt het water in sterke mate via de scheuren naar beneden. In verzadigde toestand, wanneer de scheuren door zwelling grotendeels weer dicht zitten, is de weerstand veel groter, en de percolatiesnelheid geringer. Verder is ook de aanwezigheid van verdichte lagen van invloed op de doorlatendheid. Door het gebruik van steeds zwaardere landbouwmachines is de kans op mechanische verdichting van de bodemlagen onder de bouwvoor tot ca. 60 cm diepte reëel. De weerstand voor verticaal watertransport neemt toe naarmate de ondergrond meer verdicht is. Ondergrondverdichting wordt zowel in Europees verband als in Nederland als een serieuze bodembedreiging gezien. Met de aan- of afwezigheid van doorlopende holten en verschillen in verdichting is bij het doorrekenen geen rekening gehouden, omdat er lokaal en regionaal verschillen kunnen voorkomen.

Kritieke z-afstand

In perioden met weinig neerslag kan de vochtvoorraad in de wortelzone worden aangevuld met de aanvoer van capillair vocht vanuit het grondwater. Een flux van 2 mm/d is voldoende voor een optimale groei van de gewassen (Van der Sluijs, 1990). De z-afstand, dit is de maximale afstand waarbij een flux van 2 mm/dag vanuit het grondwater tot de onderkant van de wortelzone nog plaatsvindt, varieert bij de Nederlandse gronden van 0,25 m tot 2 meter (figuur 7, rechterkant). Bij gronden met zware klei in het traject tussen de wortelzone en het freatisch vlak zijn de mogelijkheden voor capillaire nalevering beperkt. Dit geldt bijvoorbeeld voor de komgronden in het rivierengebied. Bij deze gronden ontstaan bij uitdroging zowel verticale als horizontale krimpscheuren. Voor de opwaartse stroming betekent dit dat de stroombanen worden onderbroken. De lössgronden in Zuid-Limburg hebben met een z-afstand van 2 m de grootste capaciteit om vocht na te leveren. Bij deze gronden echter is de afstand van de wortelzone tot het grondwater nog groter, dus zal er toch geen aanvoer vanuit het grondwater plaatsvinden

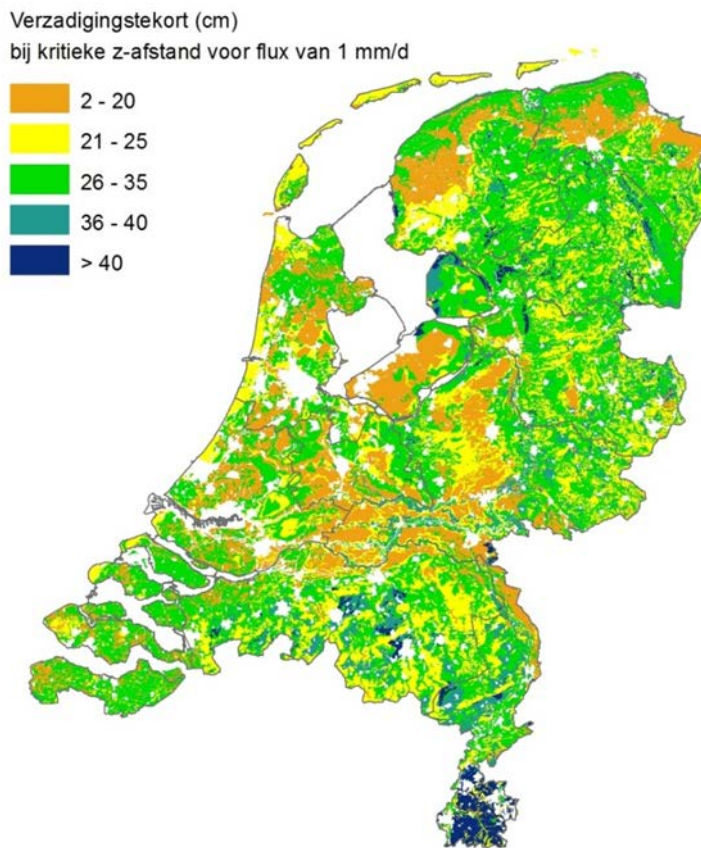
Verzadigingstekort bij kritieke grondwaterstand (V_c)

Met verzadigingstekort wordt de hoeveelheid water bedoeld die nodig is om het deel van de bodem tussen de onderkant van de wortelzone en de grondwaterstand bij kritieke z-afstand weer in verzadigde toestand te brengen. Bij de berekeningen is de kritieke z-afstand bij een flux van 1 mm/d gehanteerd. Het tekort is enerzijds gerelateerd aan het poriënvolume in de bodem en anderzijds aan de kritieke z-afstand. Hoe groter de z-afstand is des te groter is ook het verzadigingstekort. Het ligt dus voor de hand dat gronden met een geringe z-afstand (o.a. zware kleigronden) ook het kleinste verzadigingstekort hebben. En dat de lössgronden met een kritieke z-afstand van meer dan twee meter het grootste (figuur 8).

Slotopmerkingen

Voor de interpretatie van de gegevens willen we opmerken dat door het gebruik van landelijke gemiddelde waarden voor een bepaald type bouwsteen bepaalde hydrologische eigenschappen, zoals de verzadigde doorlatendheid K_{sat} door middeling afgevlakt kunnen zijn. Hierdoor kunnen bepaalde hydrologische effecten regionaal onvoldoende worden gekwantificeerd. Zo is bijvoorbeeld de gemiddelde verzadigde doorlatendheid van keileem in de Staringreeks (bouwsteen O6) 6 cm/d. Deze relatief 'hoge K_{sat} ' wordt veroorzaakt door een aanzienlijke variatie in de gemeten K_{sat} . Deze variatie kan vooral worden verklaard uit het feit dat de aard en samenstelling van het materiaal, zoals dichtheid, textuur, laagopbouw etc. zeer divers is. De bouwsteen voor zandige leem (O14) bijvoorbeeld, heeft een gemiddelde K_{sat} van 0.36 cm/d. De K_{sat} voor keileem is ten opzichte van de K_{sat} voor zandige leem aan de hoge kant. Dit betekent in het algemeen, dat een keileemprofiel een beduidend lagere verticale weerstand heeft ten opzichte van een profiel met zandige leem in de ondergrond (O14). Verder kan ook worden vermeld dat de verzadigde doorlatendheid (38 cm/d) van zeer zware klei (O13), vooral in de wintersituatie ('gezwollen' toestand) veelal ook te hoog is. Deze 'afwijkingen' kunnen leiden tot een verkeerde waarde van de afgeleide gegevens, zoals een te lage C-waarde. Dit heeft bijvoorbeeld weer invloed op de relatie oppervlaktewater-grondwater. Deze interactie wordt op basis van een te lage verticale weerstand te gunstig berekend, waardoor het lijkt dat met het oppervlakte water gemakkelijk sturing kan worden gegeven aan het grondwater. Het effect van de verandering van het

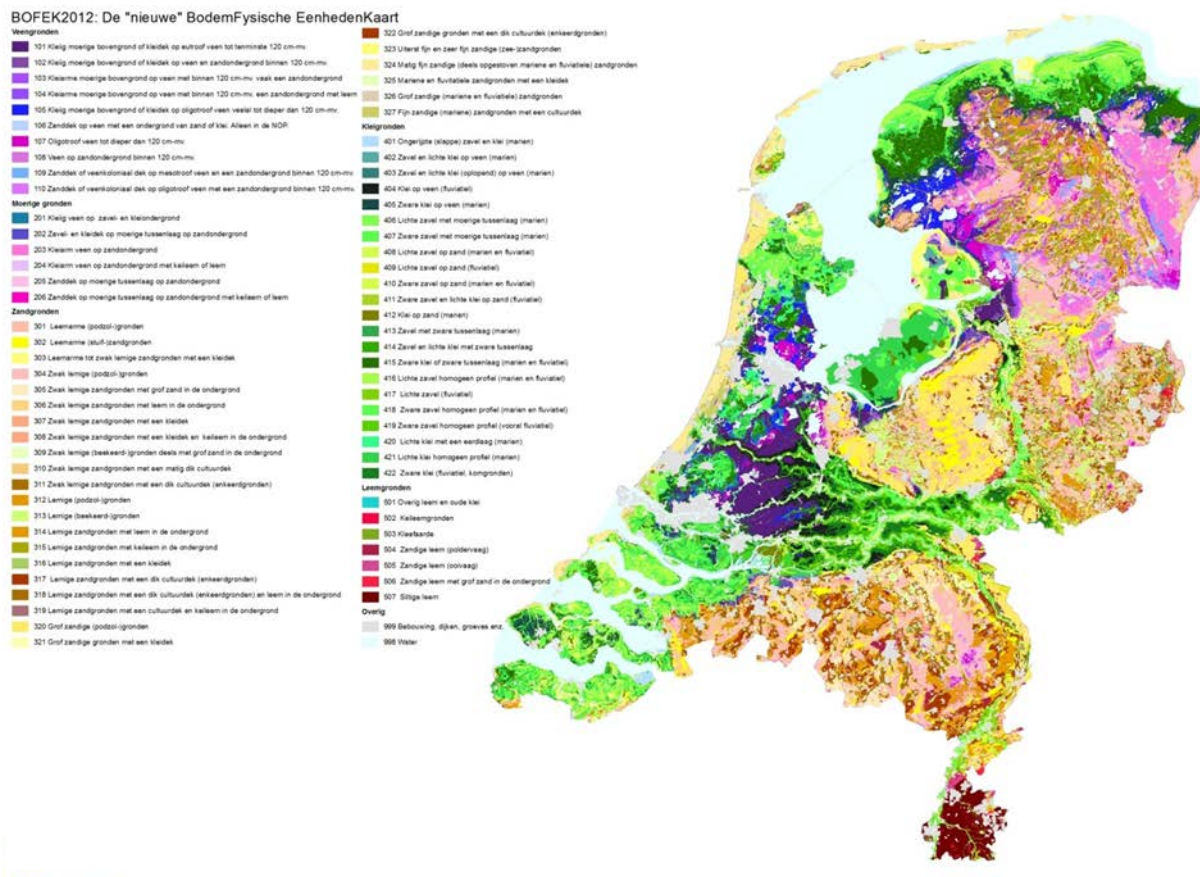
oppervlaktewaterpeil op de grondwaterstand wordt namelijk in deze situatie te gunstig berekend. Als een laag van 50 cm klei een K_{sat} heeft van 40 cm/d, leidt dit tot een bijdrage aan de c-waarde van 1.25 d. Is dit echter in werkelijkheid maar 2 cm/d, dan zal deze bijdrage 25 d zijn.



Figuur 8.

Het berekende verzadigingstekort in bodemlagen onder de wortelzone tot aan de kritieke grondwaterstand bij een capillaire flux van 1 mm/d.

6.2 De bodemfysische eenhedenkaart (BOFEK2012)



Figuur 9

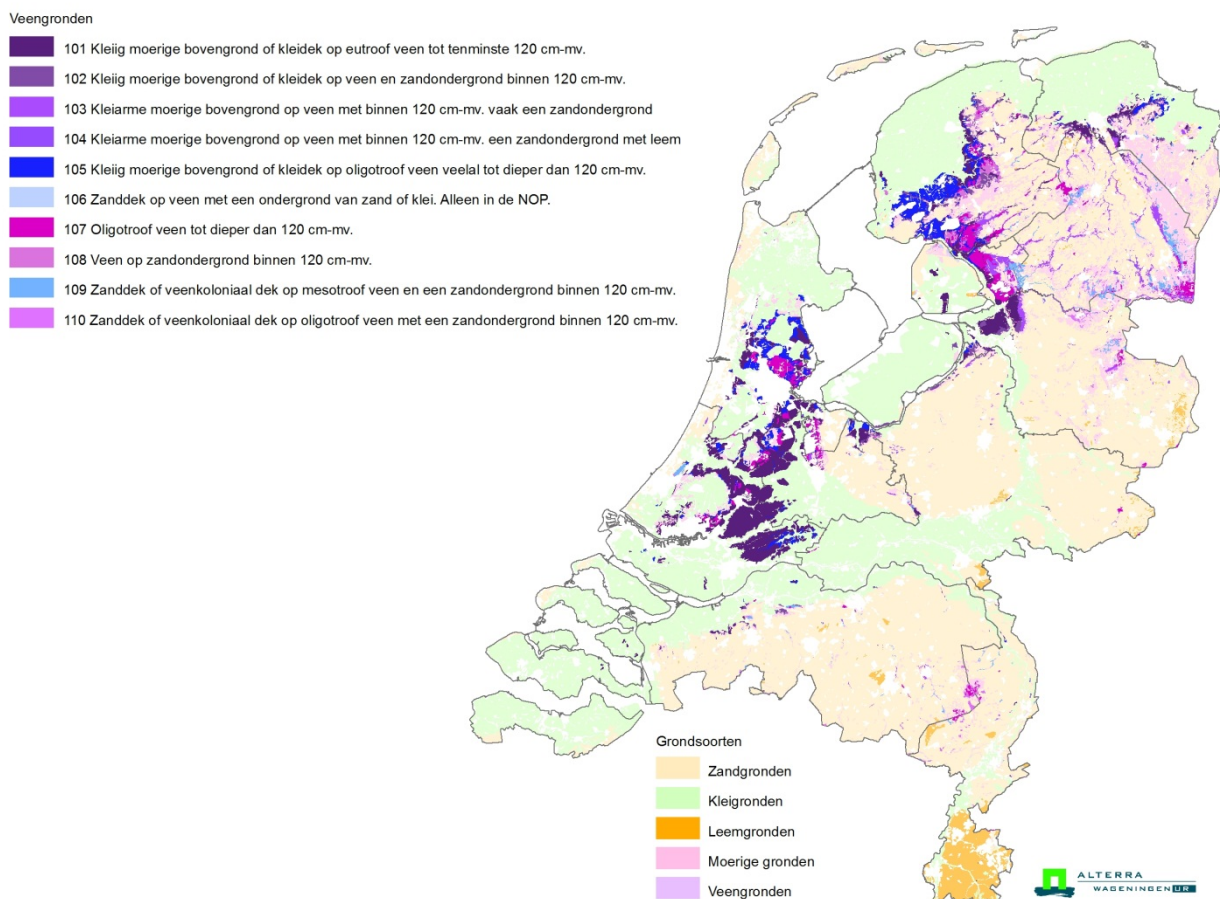
Het resultaat van de clustering, de bodemfysische eenhedenkaart

De clustering heeft geresulteerd in de nieuwe BodemFysische EenhedenKaart (BOFEK2012) met 72 verschillende eenheden. Elke BOFEK-eenheid bevat één of meer bodemtypen van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, met een overeenkomstig hydrologisch gedrag en overeenkomstige grondsoort en profielopbouw. Figuur 9 geeft een totaaloverzicht van de BOFEK-eenheden. De eenheden zijn genummerd, waarbij de honderdtallen de hoofdgrondsoort aangeven (101, 102, enz.: veengronden, 201, 202, enz.: moerige gronden, 301, 302, enz.: zandgronden, 401, 402, enz.: kleigronden en 501, 502, enz.: leemgronden). Bijlage 3 geeft een complete lijst van de bodemeenheden per cluster, inclusief de uitkomsten van de modelberekeningen en de groepering als resultaat van de clusteranalyse. In deze bijlage is ook te zien welke Staringreeks bouwstenen binnen de bodemprofielen van de bodemeenheden voorkomen. Deze informatie geeft inzicht in de mate waarin de bodemopbouw van de eenheden met elkaar overeenkomt.

In de volgende paragrafen volgt per grondsoort een korte toelichting op de clustering

6.2.1 Veengronden

Bij veengronden bestaat de bodemopbouw tot 80 cm-mv. voor tenminste 40 cm uit veen. Er zijn 10 BOFEK-eenheden gedefinieerd. Bij eenheid 1 en 2 bestaat de eerste laag uit zavel of klei of uit kleilig moerig materiaal. Het hydrologisch gedrag van de bodemtypen binnen beide BOFEK-eenheden komt sterk met elkaar overeen, maar er is een verschil in veendikte. Eenheid 101 bevat gronden met een dikke veenlaag tot dieper dan 120 cm-mv. en bij eenheid 102 is de veenlaag dunner, deze gaat binnen 120 cm-mv. over in de minerale ondergrond. Binnen eenheden 103, 106 en 109 komen zowel dikke veengronden voor (bijv. aVc) als dunne veengronden (bijv. aVz). De functionele kenmerken van deze gronden vertonen een sterke overeenkomst. Door slijtage van de veenlaag is een flink areaal van de dikke veengronden sinds de opname van de bodemkaart waarschijnlijk gedeformeerd naar dunne veengronden. De meeste veengronden hebben een kritieke z-afstand van 60 à 80 cm. De veengronden met veenmosveen in het profiel wijken hier sterk van af. Bij deze gronden is de stijghoogte minder dan 50 cm. Verder is in bijlage 3 te zien dat de gronden met een venige of zandige bovengrond een grotere hoeveelheid vocht voor de planten beschikbaar hebben dan de veengronden met een kleilige bovengrond.

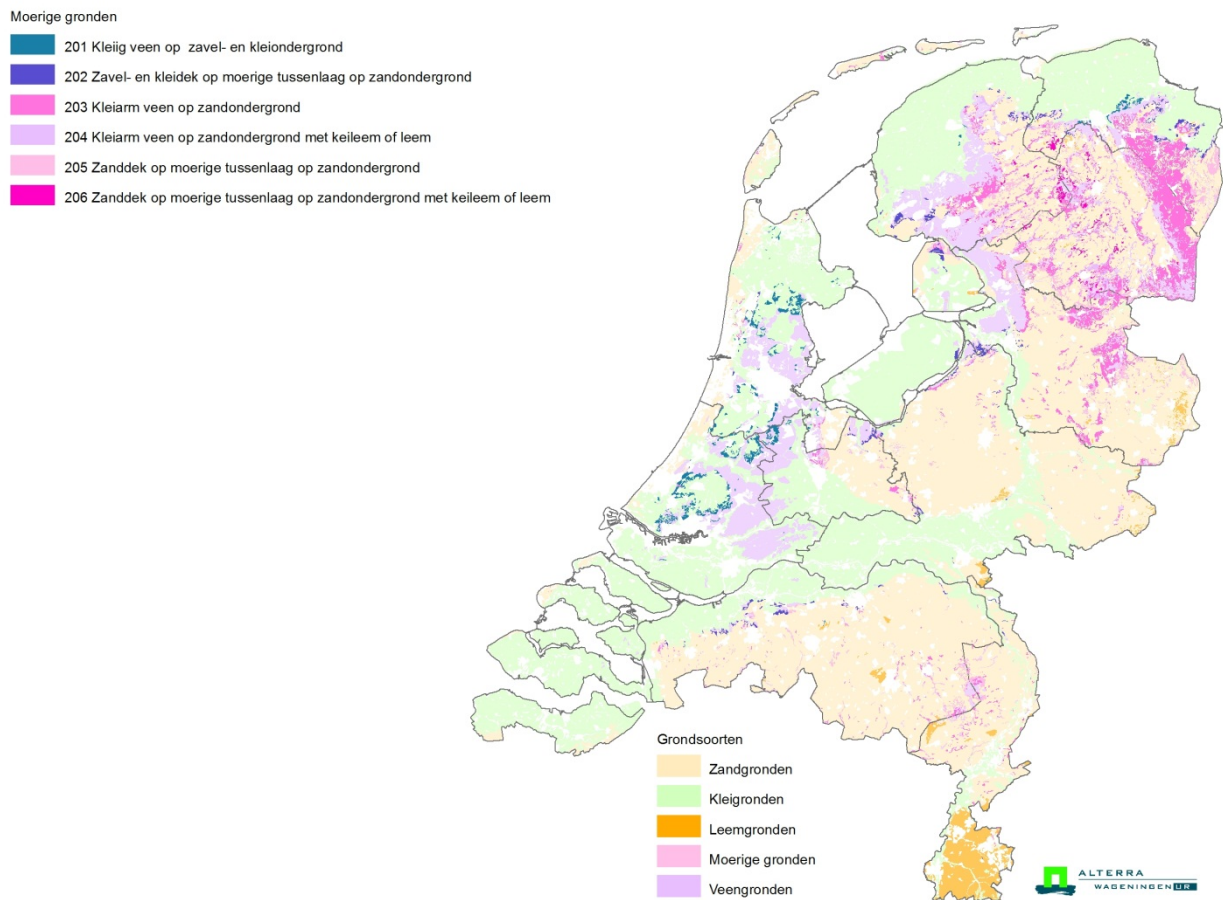


Figuur 10

Verbreiding van de BOFEK-eenheden met veengronden.

6.2.2 Moerige gronden

De moerige gronden zijn in 6 BOFEK-eenheden ingedeeld. De definitieve indeling komt sterk overeen met de groepering volgens de clusteranalyse. Het door de clusteranalyse voorgestelde cluster van moerige gronden met een zanddek (zW..) is bij de definitieve indeling opgesplitst in een eenheid mét en een eenheid zonder keileem. Uit de berekeningen blijkt dat de moerige gronden met een zavel- of kleiondergrond (201) een zeer geringe kritieke z-afstand hebben van minder dan 40 cm. Deze gronden liggen vooral langs de randen van de droogmakerijen in Zuid- en Noord-Holland. Uit de hogere C-waarde blijkt dat de profielen van deze gronden een geringere doorlatendheid hebben dan de overige moerige gronden. Bij de gronden met leem in het profiel (204 en 206) bedraagt de stijghoogte 80 à 90 cm en bij de overige 110 tot 140 cm.

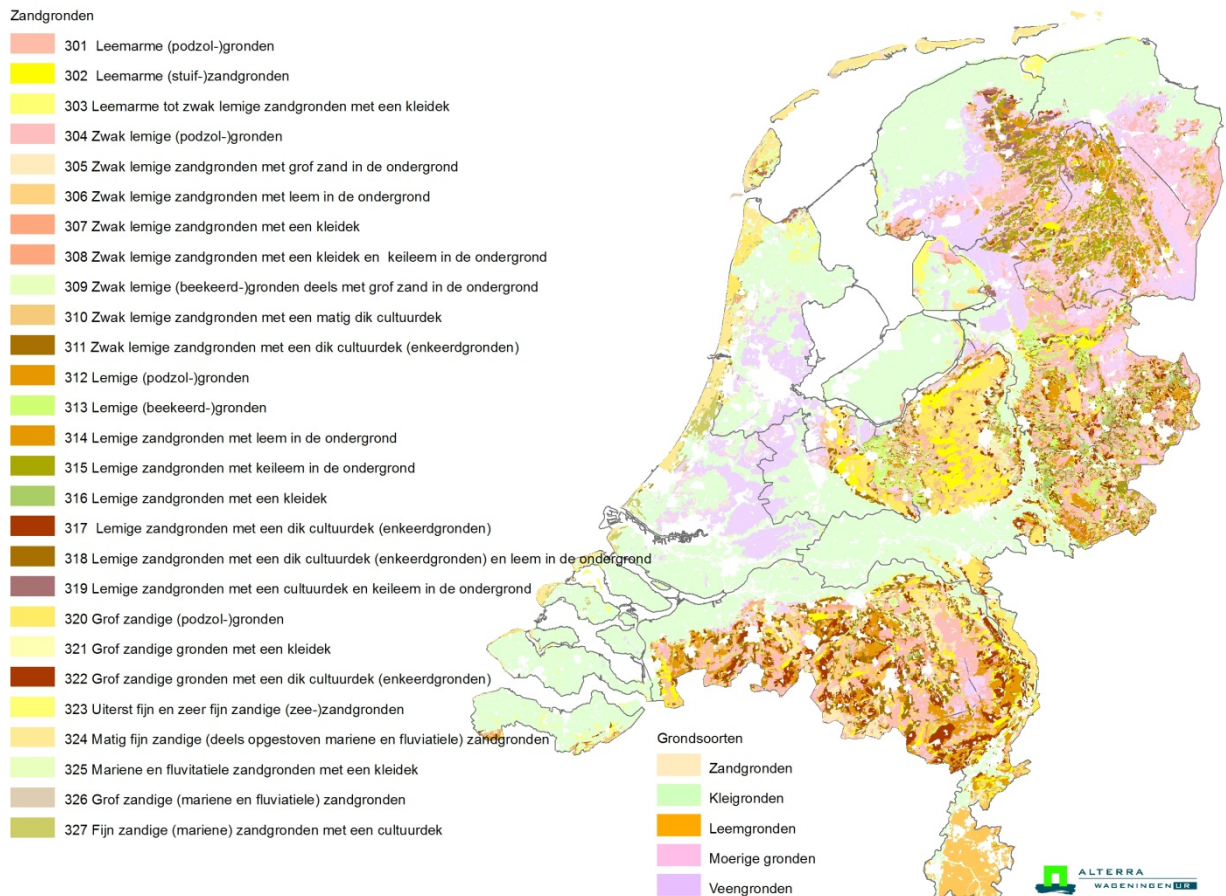


Figuur 11

Verbreiding van de BOFEK-eenheden met moerige gronden.

6.2.3 Zandgronden

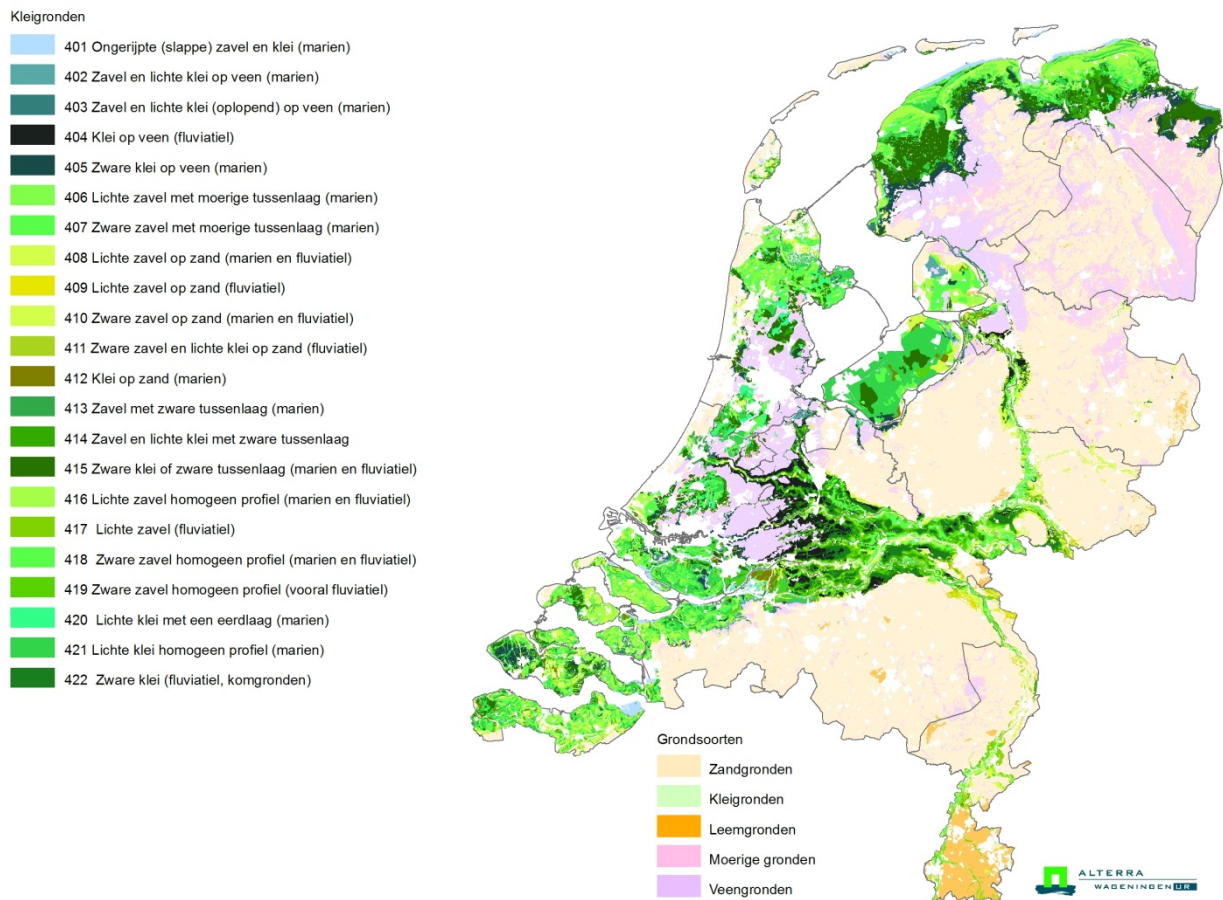
Bij de indeling van de zandgronden is gelet op de samenstelling en dikte van de bovengrond (lemigheid, zavel- of kleidek) en op de aanwezigheid van afwijkende lagen in de ondergrond, vooral (kei-)leem en grofzand of grind. Er zijn 27 BOFEK-eenheden geformuleerd. Uit de berekeningen blijkt dat de meeste zandgronden goed doorlatend zijn met een C-waarde van slechts enkele dagen. De gronden met leem in het profiel zijn met een C-waarde van 50 tot 90 dagen extreem slecht doorlatend.



Figuur 12
Verbreiding van de BOFEK-eenheden met zandgronden.

6.2.4 Kleigronden

Bij de kleigronden is één bodemfysische eenheid onderscheiden voor slappe ongerijpte gronden, zoals bijvoorbeeld in buitendijkse slikken langs de kust. Bij de overige kleigronden is voor de clustering gelet op de textuur van de bovengrond, de gelaagdheid in het bodemprofiel en in mindere mate het afzettingsmilieu (marien of fluviaal). Zo zijn er bijvoorbeeld BOFEK-eenheden met een vrij homogene profielopbouw met slechts één textuur, bijvoorbeeld lichte zavel (417), of lichte klei (420), of clusters met juist een gelaagde opbouw met verschillende moedermaterialen, zoals 402, met een bovengrond van zavel of lichte klei en vanaf 40 à 80 cm diepte veen, of eenheid 408, met een bovengronden van zavel en vanaf 40 à 80 cm diepte zand. In totaal zijn bij de kleigronden 22 BOFEK-eenheden onderscheiden.

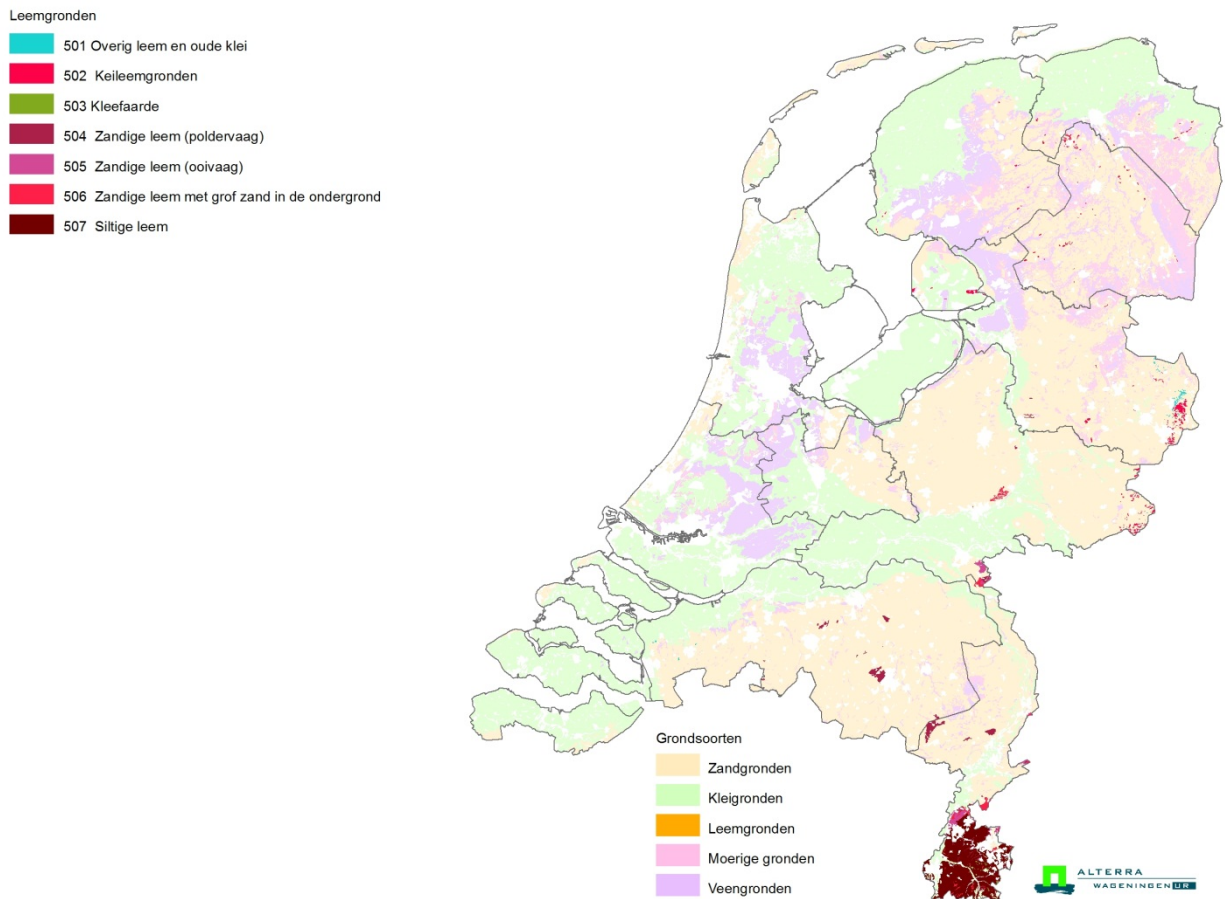


Figuur 13

Verbreiding van de BOFEK-eenheden met kleigronden.

6.2.5 Leemgronden

De leem en oude kleigronden komen vooral in Zuid-Limburg voor en verder verspreid in Oost-Nederland. Naast zandige en siltige leem is bij de indeling onderscheid gemaakt in profielen met keileem, kleefaarde of andere oude klei. Uit de berekeningen blijkt dat de profielen met zandige leem en siltige leem aanmerkelijk verschillen in gedrag. Met name de hoge C-waarde van meer dan 100 dagen van de BOFEK-eenheden met zandige leem (504 - 506) vallen op. Bij deze gronden wordt de weerstand voor percolerend water waarschijnlijk te hoog ingeschat.



Figuur 14

Verbreiding van de BOFEK-eenheden met leemgronden.

6.3 Dataset BOFEK-eenheden voor modelberekeningen

Om bij modelberekeningen van water- en stoffentransport in de bodem de gegevens van de BOFEK-schematisatie te kunnen gebruiken is een dataset samengesteld met de volgende informatie:

- GIS-bestand, met de geografische verbreiding van de BOFEK-eenheden in Nederland.
- Profielschetsen met de laagopbouw van het bodemprofiel tot 1.20 m-mv. en de daaraan gerelateerde bodemfysische kenmerken.

Deze gegevens zijn afgeleid van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, en bijbehorende documentatie.

GIS-bestand BOFEK2012.

Zoals in hoofdstuk 6.2 is beschreven zijn alle eenheden van de bodemkaart ingedeeld bij een BOFEK-eenheid (zie ook bijlage 3). Deze koppeling is ook in het GIS-bestand van de bodemkaart doorgevoerd, waarna door een GIS-bewerking aangrenzende kaartvlakken met een zelfde BOFEK-eenheid zijn samengevoegd.

Profielschetsen

Een profielschets geeft schematisch de gelaagdheid in het bodemprofiel weer, inclusief kenmerken per laag. Zoals in hoofdstuk 3.2 beschreven, is er voor de Bodemkaart van Nederland documentatie beschikbaar met profielschetsen voor de verschillende bodemtypen die voorkomen (De Vries, 1999). Uit deze set met profielschetsen hebben we voor elke BOFEK-eenheid de profielschets gekozen van het bodemtype met de grootste oppervlakte binnen het cluster.

De profielschetsen geven voor elke bodemlaag of horizont naast de begin- en einddiepte, de modale, minimum- en maximumwaarden voor het organische stofgehalte, het lutumgehalte, het leemgehalte, de zandgrofheid (M50) en de pH. Aan de hand van deze informatie is aan elke laag een bouwsteen van de Staringreeks toegekend en is met behulp van continue vertaalfuncties de bulkdichtheid berekend. Hierbij is gebruik gemaakt van de vertaalfunctie van Wösten et al. (2001).

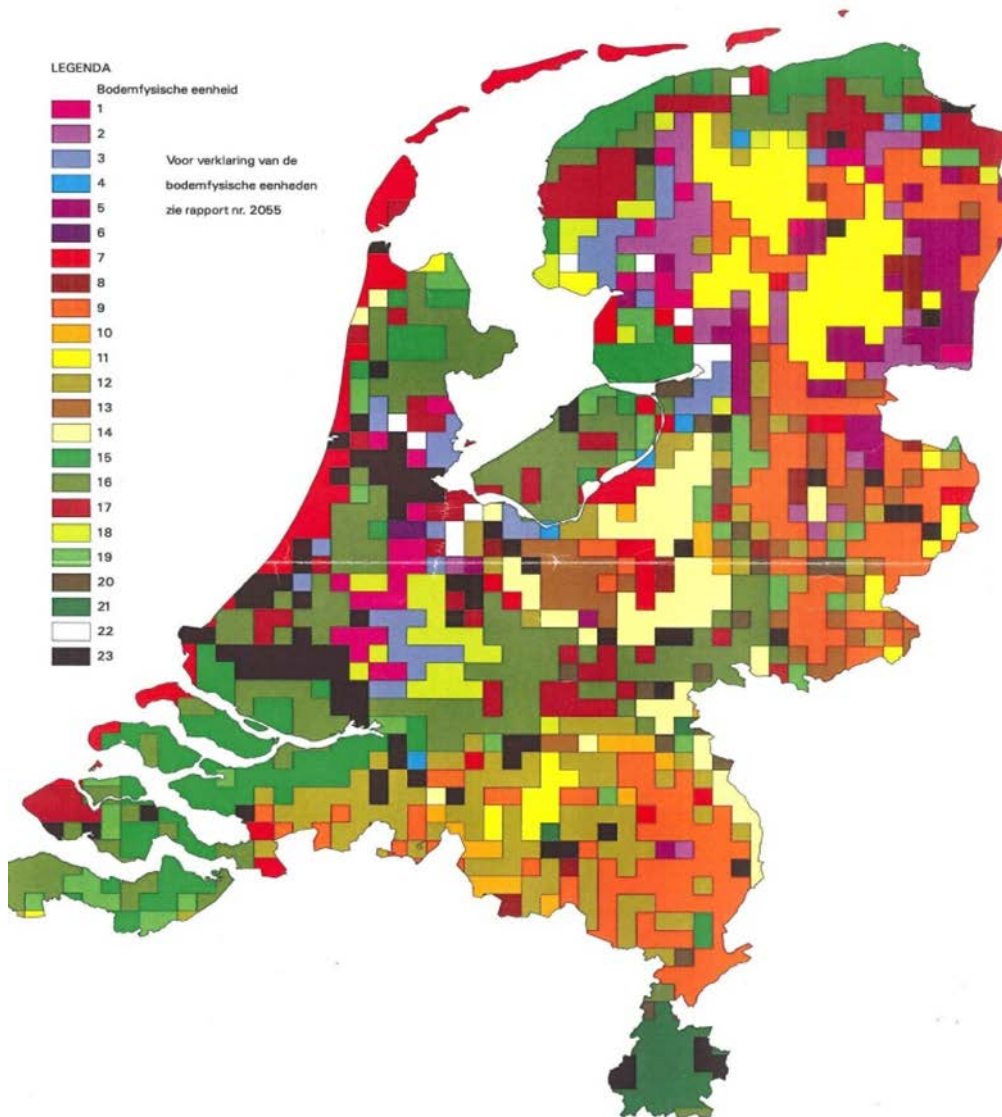
De profielschetsen zijn opgenomen in bijlage 4. De complete dataset met GIS-bestand, profielschetsen en documentatie wordt beschikbaar gesteld via de internetsite van Alterra.

6.4 Toenemende detaillering

De figuren 15, 16 en 17 tonen de toename in de detaillering van de bodemfysische eenhedenkaart zoals die in de loop van de tijd is opgetreden. Figuur 15 is uit de PAWN schematisatie van 1988 met grove gridcellen en is gebaseerd op de bodemkaart 1 : 250.000. Figuur 16 is ook uit de PAWN schematisatie van 1988, maar is gebaseerd op de polygonen van de bodemkaart 1 : 50.000. Figuur 17 tenslotte is de nieuwe BOFEK2012 schematisatie gebaseerd op de polygonen van de bodemkaart 1 : 50.000, maar nu met 72 in plaats van 23 bodemfysische eenheden. De toename in resolutie van de opeenvolgende kaarten maakt het mogelijk steeds locatie-specifiekere berekeningen uit te voeren van water- en stoffentransport,

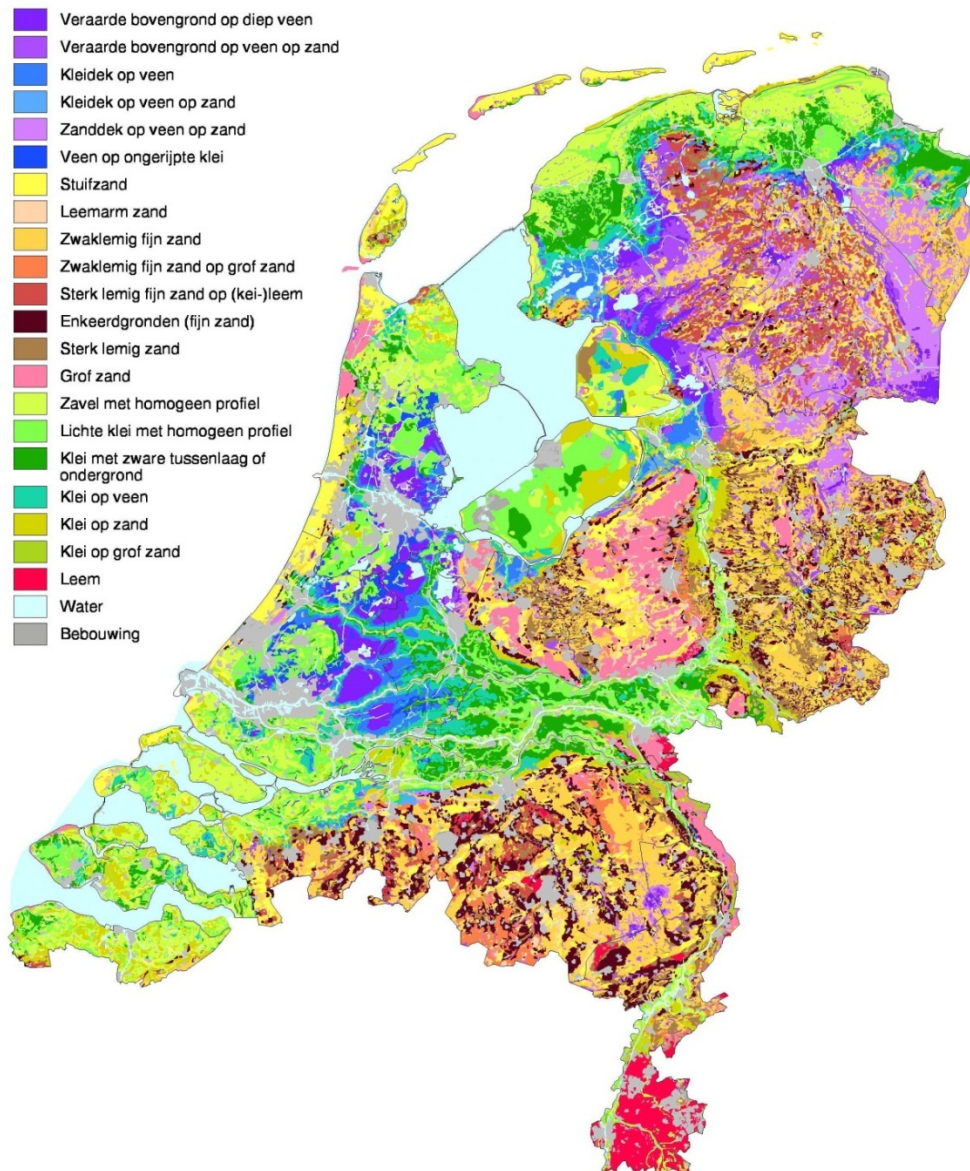
BODEMFYSISCHE- EENHEDENKAART VAN NEDERLAND

Celgrootte 5 x 5km
Schaal 1 : 1 000 000



Figuur 15

Verbreiding van de 23 PAWN-eenheden op basis van de bodemkaart 1 : 250.000.

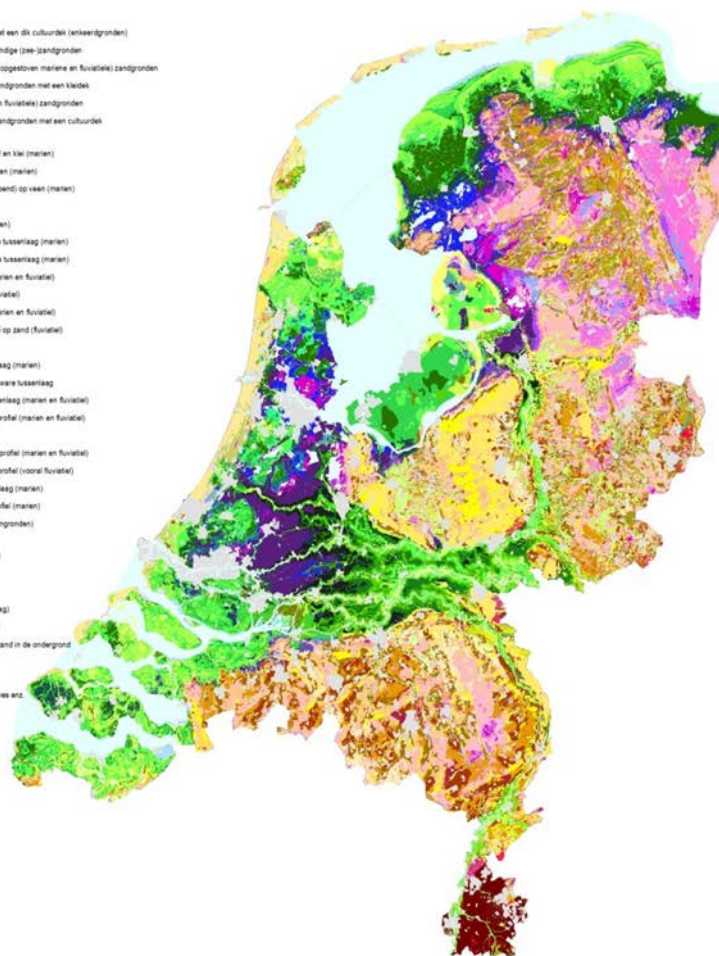


Figuur 16

Verbreiding van de 23 PAWN-eenheden op basis van de bodemkaart 1: 50.000.

BOFEK2012: De "nieuwe" BodemFysische EenhedenKaart

- Veengronden**
- 101 Kleig moerige bovengrond of kleidek op outroefveen tot tenminste 120 cm-mv
 - 102 Kleig moerige bovengrond of kleidek op veen en zandondergrond binnen 120 cm-mv
 - 103 Kleiarme moerige bovengrond op veen met binnen 120 cm-mv vaak een zandondergrond
 - 104 Kleiarme moerige bovengrond op veen met binnen 120 cm-mv een zandondergrond met leem
 - 105 Kleig moerige bovengrond of kleidek op oligotroof veen vaak tot dieper dan 120 cm-mv
 - 106 Zanddek op veen met een ondergrond van zand of klei. Alleen in de NDR
 - 107 Oligotroof veen tot dieper dan 120 cm-mv
 - 108 Veen op zandondergrond binnen 120 cm-mv
 - 109 Zanddek of veenkonaal dek op meertroef veen en een zandondergrond binnen 120 cm-mv
 - 110 Zanddek of veenkonaal dek op oligotroof veen met een zandondergrond binnen 120 cm-mv
- Moerige gronden**
- 201 Kleig veen op zavel- en kleiondergrond
 - 202 Zavel- en kleidek op moerige tusselaag op zandondergrond
 - 203 Kleiarm veen op zandondergrond
 - 204 Kleiarm veen op zandondergrond met kalleem of leem
 - 205 Zanddek op moerige tusselaag op zandondergrond
 - 206 Zanddek op moerige tusselaag op zandondergrond met kalleem of leem
- Zandgronden**
- 301 Leemarme (podzol-)gronden
 - 302 Leemarme (stuf-)zandgronden
 - 303 Leemarme tot zwak lemige zandgronden met een kleidek
 - 304 Zwak lemige (podzol-)gronden
 - 305 Zwak lemige zandgronden met grof zand in de ondergrond
 - 306 Zwak lemige zandgronden met leem in de ondergrond
 - 307 Zwak lemige zandgronden met een kleidek
 - 308 Zwak lemige zandgronden met een kleidek en kalleem in de ondergrond
 - 309 Zwak lemige (beekerd-)gronden deels met grof zand in de ondergrond
 - 310 Zwak lemige zandgronden met een matig dik cultuurdak
 - 311 Zwak lemige zandgronden met een dik cultuurdak (enkeelgronden)
 - 312 Lemige (podzol-)gronden
 - 313 Lemige (beekerd-)gronden
 - 314 Lemige zandgronden met leem in de ondergrond
 - 315 Lemige zandgronden met kalleem in de ondergrond
 - 316 Lemige zandgronden met een kleidek
 - 317 Lemige zandgronden met een dik cultuurdak (enkeelgronden)
 - 318 Lemige zandgronden met een dik cultuurdak (enkeelgronden) en leem in de ondergrond
 - 319 Lemige zandgronden met een cultuurdak en kalleem in de ondergrond
 - 320 Grof zandige (podzol-)gronden
 - 321 Grof zandige gronden met een kleidek
 - 322 Grof zandige gronden met een dik cultuurdak (enkeelgronden)
 - 323 Ultrafijn en zeer fijn zandige (zee-)zandgronden
 - 324 Matig fijn zandige (deels opgevoien mariene en fluviatiele) zandgronden
 - 325 Mariene en fluviatiele zandgronden met een kleidek
 - 326 Grof zandige (mariene en fluviatiele) zandgronden
 - 327 Fijn zandige (mariene) zandgronden met een cultuurdak
- Klei-gronden**
- 401 Orgerige (slappe) zavel en klei (marien)
 - 402 Zavel en lichte klei op veen (marien)
 - 403 Zavel en lichte klei (oplopend) op veen (marien)
 - 404 Klei op veen (fluviatiele)
 - 405 Zware klei op veen (marien)
 - 406 Lichte zavel met moerige tusselaag (marien)
 - 407 Zware zavel met moerige tusselaag (marien)
 - 408 Lichte zavel op zand (marien en fluviatiele)
 - 409 Lichte zavel op zand (fluviatiele)
 - 410 Zware zavel op zand (marien en fluviatiele)
 - 411 Zware zavel en lichte klei op zand (fluviatiele)
 - 412 Klei op zand (marien)
 - 413 Zavel met zware tusselaag (marien)
 - 414 Zavel en lichte klei met zware tusselaag
 - 415 Zware klei of zware tusselaag (marien en fluviatiele)
 - 416 Lichte zavel homogeen profiel (marien en fluviatiele)
 - 417 Lichte zavel (fluviatiele)
 - 418 Zware zavel homogeen profiel (marien en fluviatiele)
 - 419 Zware zavel homogeen profiel (voorst) fluviatiele
 - 420 Lichte klei met een scheidlaag (marien)
 - 421 Lichte klei homogeen profiel (marien)
 - 422 Zware klei (fluviatiele, komgronden)
- Leemgronden**
- 501 Overig leem en oude klei
 - 502 Kalleemgronden
 - 503 Kalleerde
 - 504 Zandige leem (podervlaag)
 - 505 Zandige leem (sooivaag)
 - 506 Zandige leem met grof zand in de ondergrond
 - 507 Silige leem
- Overig**
- 999 Bebouwing, dijken, groeves enz
 - 998 Water



april 2012

Figuur 17
 Verbreiding van de 72 BOFEK-eenheden.

6.5 Toepassingen van de BOFEK2012 schematisatie

De BOFEK2012 schematisatie voor hydrologische modellen

Voor de 72 bodemfysische eenheden van BOFEK2012 is een schematisering opgesteld, waarbij aan bodemlagen een dikte is toegekend en een bodemfysische bouwsteen volgens de Staringreeks (zie bijlage 2). Een Staringreeksbouwsteen verwijst naar kenmerkende waarden voor de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek waardoor het mogelijk wordt om met de bodemfysische eenheden te rekenen in hydrologische modellen met een onverzadigde-zone-concept. Een veel gebruikt model voor de onverzadigde zone in Nederland is SWAP (Kroes et al., 2008). Dit model is door zijn rekenwijze relatief rekenintensief en daardoor niet goed bruikbaar in combinatie met andere modellen in een ruimtelijk verdeelde omgeving. Voor dergelijke toepassingen is MetaSWAP ontwikkeld, dat in de praktijk ongeveer honderd keer sneller rekent, maar doorgaans vergelijkbare resultaten oplevert.

MetaSWAP (Van Walsum en Groenendijk, 2008) wordt in Nederland onder andere toegepast in het NHI (www.nhi.nu), en in een groot aantal regionale hydrologische modellen, waaronder AZURE (<http://www.azuremodel.nl>) en HYDROMEDAH (www.hydromedah.nl). De nieuwe bodemfysische schematisatie is door beide laatst genoemde partijen toegepast in het modelsysteem ter vervanging van de PAWN schematisatie (Wösten et al., 1988). De BOFEK2012 schematisatie is vertaald naar invoer geschikt voor het rekenen met MetaSWAP.

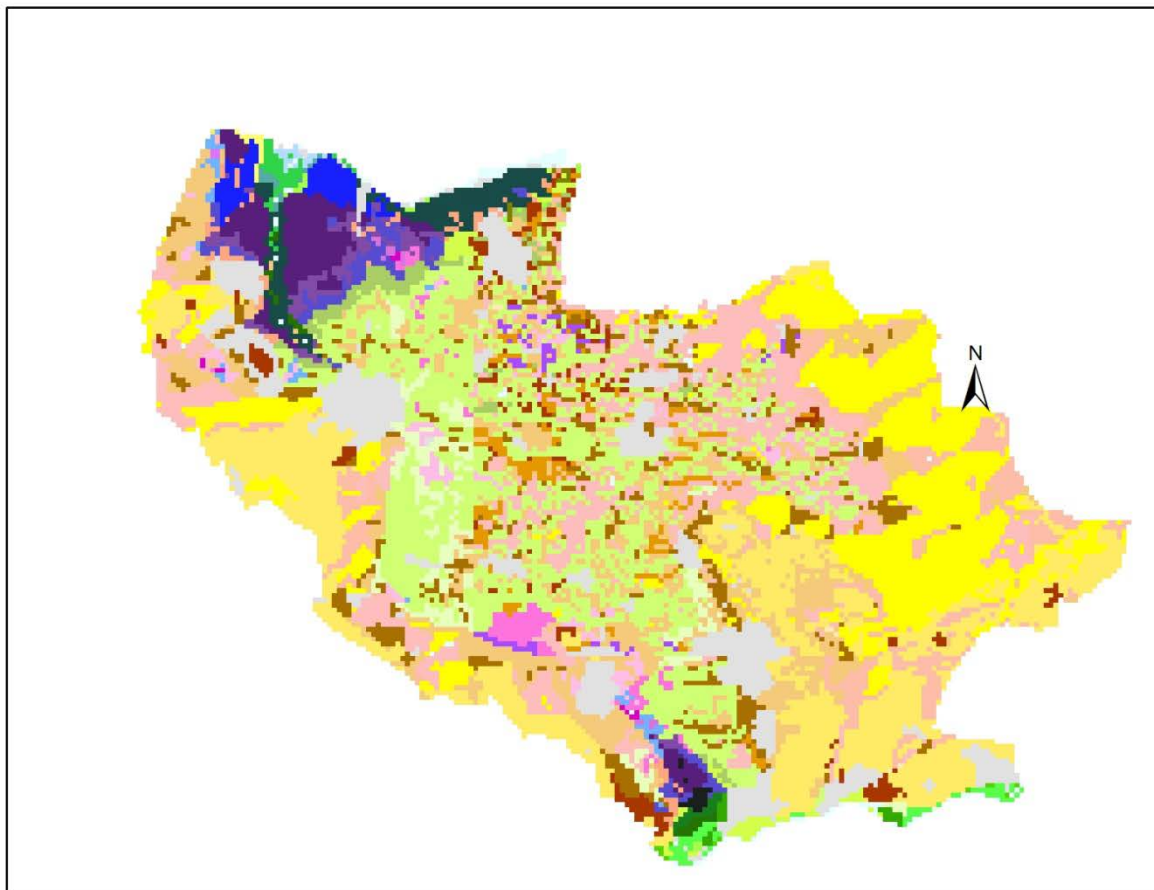
De invoerbestanden zijn beschikbaar gesteld via de Wageningen UR ftp-site op:

ftp://ftp.wur.nl/simgro/tests/PreMetaSWAP_V7_3_1_BOFEK2012/out_cali10_Fits1_Osat70p_Macro0p010KV_Qp030/

In de volgende paragrafen worden de resultaten van de vergelijking van de modelresultaten met de BOFEK2012 schematisatie vergeleken met de resultaten met de PAWN-schematisatie, voor AZURE respectievelijk HYDROMEDAH.

AZURE

Het modelgebied AZURE ligt rondom het IJsselmeer en omvat onder andere het beheersgebied van Waterschap Vallei & Eem. In deze paragraaf worden de resultaten voor dit deelgebied gepresenteerd. De gebruikte modelresolutie bedraagt 250 meter. Aan iedere cel van 250 x 250 meter is de bodemfysische eenheid toegekend die in het grootste gedeelte van de cel voorkomt (figuur 18). Het model is doorgerekend voor het droge jaar 2003. De verschillen tussen de BOFEK-variant en de PAWN-variant worden nader beschouwd voor grondwaterstanden en de berekende verdamping.



Legenda

Vallei en Eem Bofek2012

Moerige gronden

- 202 Zavel- en kleidek op moerige tussenlaag op zandondergrond
- 203 Kleiarm veen op zandondergrond
- 205 Zanddek op moerige tussenlaag op zandondergrond

Veengronden

- 101 Kleilig moerige bovengrond of kleidek op eutroof veen tot tenminste 120 cm-mv.
- 102 Kleilig moerige bovengrond of kleidek op veen en zandondergrond binnen 120 cm-mv.
- 103 Kleiarme moerige bovengrond op veen met binnen 120 cm-mv. vaak een zandondergrond
- 105 Kleilig moerige bovengrond of kleidek op oligotroof veen veelal tot dieper dan 120 cm-mv.
- 107 Oligotroof veen tot dieper dan 120 cm-mv.
- 108 Veen op zandondergrond binnen 120 cm-mv.
- 109 Zanddek of veenkoloniaal dek op mesotroof veen en een zandondergrond binnen 120 cm-mv.
- 110 Zanddek of veenkoloniaal dek op oligotroof veen met een zandondergrond binnen 120 cm-mv.

Zandgronden

- 301 Leemarme (podzol-)gronden
- 302 Leemarme (stuif-)zandgronden
- 303 Leemarme tot zwak lemige zandgronden met een kleidek
- 304 Zwak lemige (podzol-)gronden
- 305 Zwak lemige zandgronden met grof zand in de ondergrond
- 307 Zwak lemige zandgronden met een kleidek
- 309 Zwak lemige (beekeerd-)gronden deels met grof zand in de ondergrond
- 310 Zwak lemige zandgronden met een matig dik cultuurdek
- 311 Zwak lemige zandgronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden)
- 312 Lemige (podzol-)gronden

- 313 Lemige (beekeerd-)gronden
- 316 Lemige zandgronden met een kleidek
- 317 Lemige zandgronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden)
- 320 Grof zandige (podzol-)gronden
- 322 Grof zandige gronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden)
- 325 Mariene en fluviaatiele zandgronden met een kleidek

Kleigronden

- 401 Ongerijpte (slappe) zavel en klei (marien)
- 402 Zavel en lichte klei op veen (marien)
- 404 Klei op veen (fluviaatiel)
- 405 Zware klei op veen (marien)
- 408 Lichte zavel op zand (marien en fluviaatiel)
- 410 Zware zavel op zand (marien en fluviaatiel)
- 412 Klei op zand (marien)
- 414 Zavel en lichte klei met zware tussenlaag
- 415 Zware klei of zware tussenlaag (marien en fluviaatiel)
- 416 Lichte zavel homogeen profiel (marien en fluviaatiel)
- 418 Zware zavel homogeen profiel (marien en fluviaatiel)
- 419 Zware zavel homogeen profiel (vooral fluviaatiel)
- 421 Lichte klei homogeen profiel (marien)
- 422 Zware klei (fluviaatiel, komgronden)

Overig

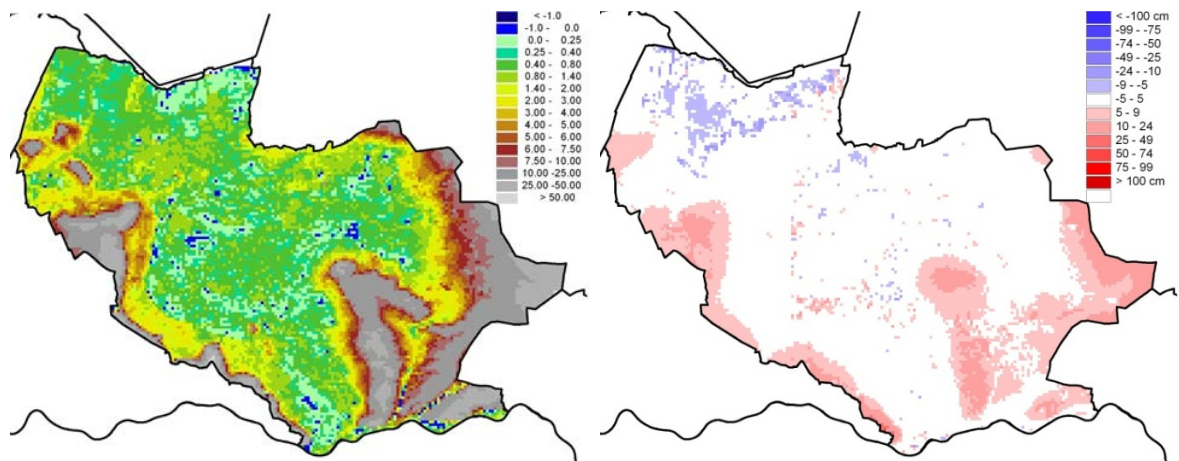
- 999 Bebouwing, dijken, groeves enz.
- 998 Water

Figuur18

Bodemfysische eenheden binnen het waterschap Valleij & Eem (resolutie 250 x 250 meter).

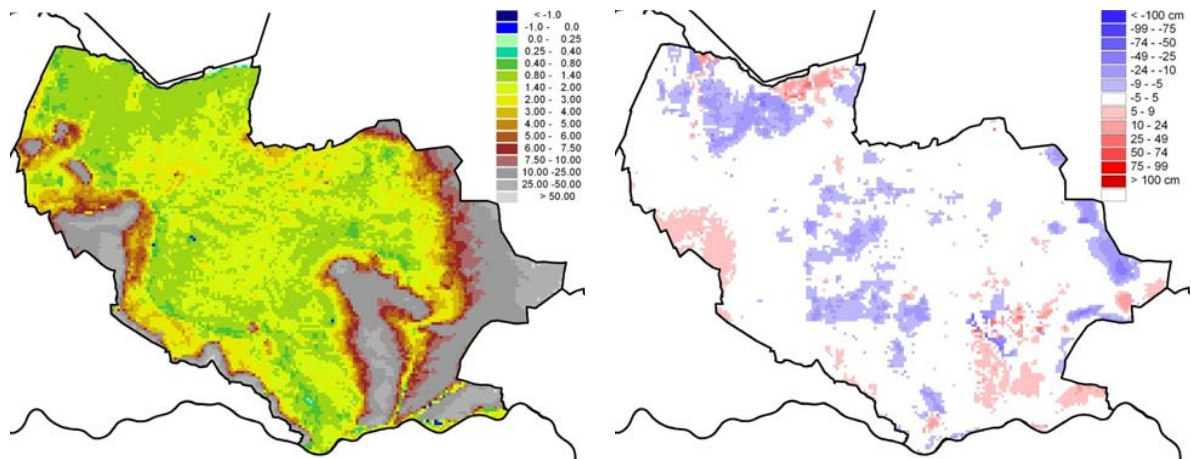
Voor de vergelijking tussen BOFEK2012 en PAWN zijn de LG3 en de HG3 voor 2003 bepaald. De LG3 is het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld berekend op 14e of 28ste van de maand. De HG3 wordt analoog bepaald uit de hoogste grondwaterstanden.

De vervanging van de PAWN schematisatie door BOFEK2012 schematisatie heeft relatief geringe effecten voor de grondwaterstanden. In het jaar 2003 neemt de dynamiek uitgedrukt als verschil tussen LG3 en HG3 gemiddeld met 2,9 cm toe (zie tabel 3). De verhoging van de HG3 voor zandgronden is hierbij doorslaggevend.



Figuur 19

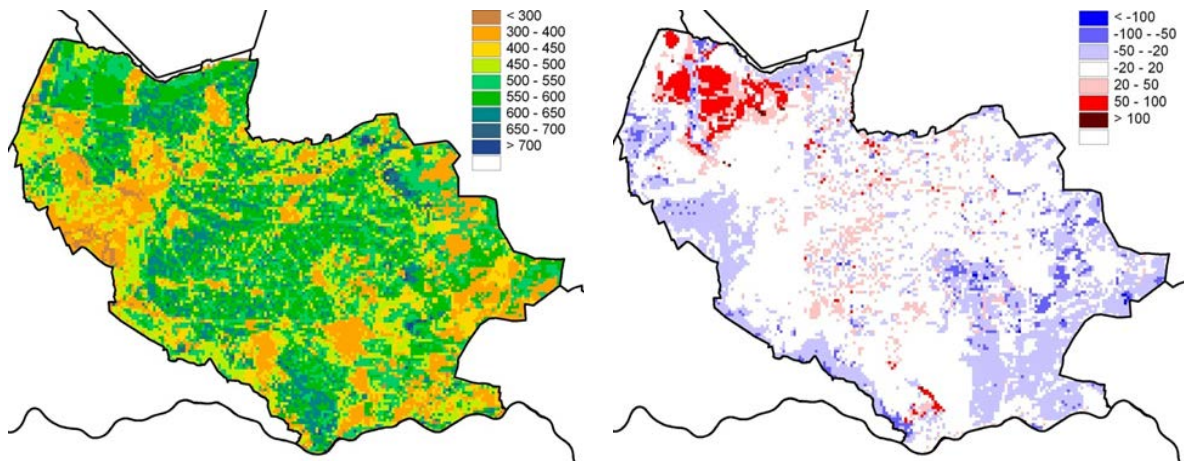
HG3 (links) en de verhoging van de HG3 (rechts) door de vervanging van de PAWN schematisatie door de BOFEK2012 schematisatie; blauwe kleuren duiden op een verlaging.



Figuur 20

LG3 (links) en de verhoging van de LG3 (rechts) door de vervanging van de PAWN schematisatie door de BOFEK2012 schematisatie; blauwe kleuren duiden op een verlaging.

De verdamping laat een enigszins gemengd beeld zien. Gemiddeld is deze in het jaar 2003 5 mm (1%) lager in de BOFEK-variant (532 versus 527 mm). Veengronden en moerige gronden laten een hogere verdamping zien terwijl de kleigronden en zandgronden gemiddeld minder verdampen (zie tabel 3).



Figuur 21

Actuele verdamping (mm) in het jaar 2003 (links) en de toename van de verdamping (mm) door de vervanging van de PAWN schematisatie door de BOFEK2012 schematisatie; blauwe kleuren duiden op een afname.

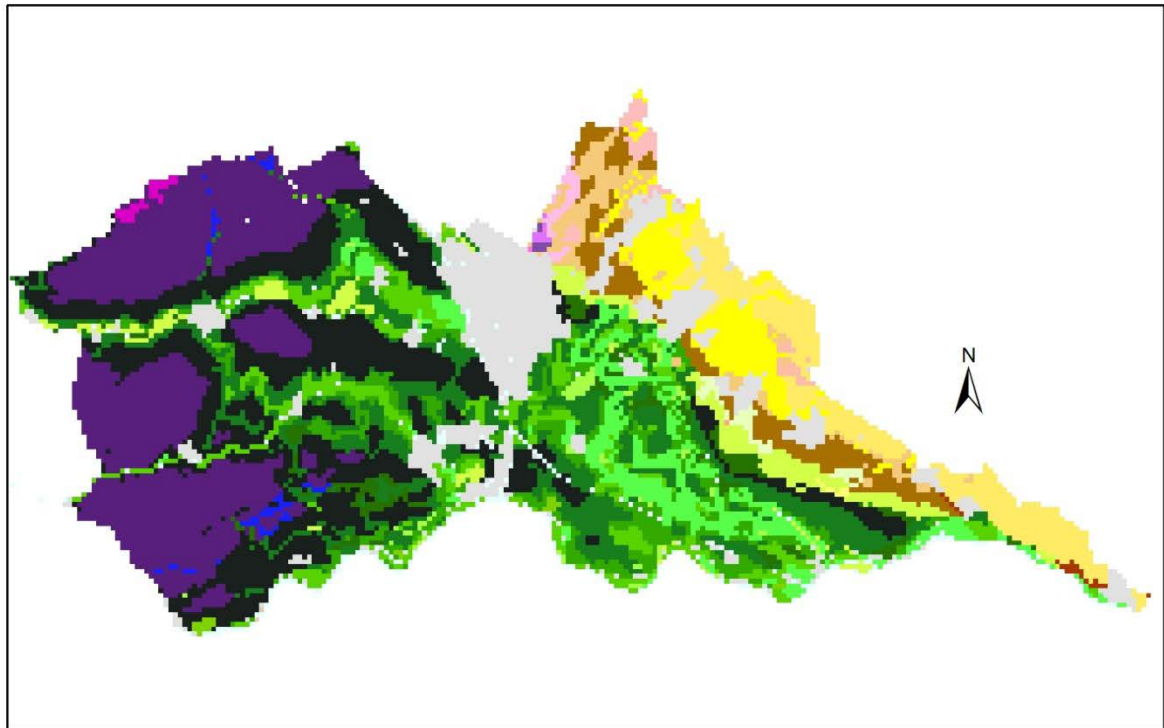
Tabel 3

Toename van de verdamping, LG3 en HG3 als gevolg van de vervanging van de PAWN schematisatie door de BOFEK2012 schematisatie voor het waterschap Vallei & Eem in het jaar 2003.

	Areaal (ha)	Toename verdamping (mm)	Toename LG3 (cm)	Toename HG3 (cm)
Veen	5825	30.0	-4.8	-2.8
Moerig	3375	35.2	-7.3	0.4
Zand	93375	-8.5	0.1	3.2
Klei	4475	-12.1	2.8	-1.3
Totaal	107050	-5.2	-0.3	2.6

HYDROMEDAH

Het modelgebied HYDROMEDAH omvat onder andere het beheersgebied van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR). In deze paragraaf worden de resultaten voor dit deelgebied gepresenteerd. De gebruikte modelresolutie bedraagt 250 meter. Aan iedere cel van 250 x 250 meter is de bodemfysische eenheid toegekend die in het grootste gedeelte van de cel voorkomt (figuur 22). Het model is doorgerekend voor het droge jaar 2003. De verschillen tussen de BOFEK-variant en de PAWN-variant worden nader beschouwd voor grondwaterstanden en de berekende verdamping.



Legenda

HDSR BOFEK2012

Moerige gronden

- 203 Kleiarm veen op zandondergrond
- 205 Zanddek op moerige tussenlaag op zandondergrond

Veengronden

- 101 Kleilig moerige bovengrond of kleidek op eutroof veen tot tenminste 120 cm-mv.
- 102 Kleilig moerige bovengrond of kleidek op veen en zandondergrond binnen 120 cm-mv.
- 105 Kleilig moerige bovengrond of kleidek op oligotroof veen veelal tot dieper dan 120 cm-mv.
- 107 Oligotroof veen tot dieper dan 120 cm-mv.
- 110 Zanddek of veenkoloniaal dek op oligotroof veen met een zandondergrond binnen 120 cm-mv.

Zandgronden

- 301 Leemarme (podzol-)gronden
- 302 Leemarme (stuif-)zandgronden
- 303 Leemarme tot zwak lemige zandgronden met een kleidek
- 304 Zwak lemige (podzol-)gronden
- 307 Zwak lemige zandgronden met een kleidek
- 309 Zwak lemige (beekeerd-)gronden deels met grof zand in de ondergrond
- 310 Zwak lemige zandgronden met een matig dik cultuurdek
- 311 Zwak lemige zandgronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden)

- 313 Lemige (beekeerd-)gronden
- 320 Grof zandige (podzol-)gronden
- 322 Grof zandige gronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden)
- 326 Grof zandige (mariene en fluviaale) zandgronden

Kleigronden

- 404 Klei op veen (fluviaal)
- 408 Lichte zavel op zand (marien en fluviaal)
- 410 Zware zavel op zand (marien en fluviaal)
- 414 Zavel en lichte klei met zware tussenlaag
- 415 Zware klei of zware tussenlaag (marien en fluviaal)
- 416 Lichte zavel homogeen profiel (marien en fluviaal)
- 417 Lichte zavel (fluviaal)
- 418 Zware zavel homogeen profiel (marien en fluviaal)
- 419 Zware zavel homogeen profiel (vooral fluviaal)
- 422 Zware klei (fluviaal, komgronden)

Overig

- 999 Bebouwing, dijken, groeves enz.
- 998 Water

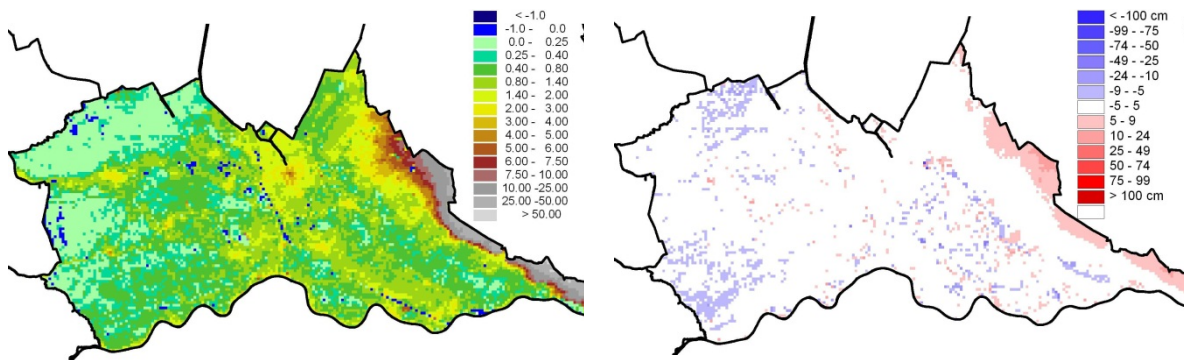
Figuur 22

Bodemfysische eenheden binnen het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (resolutie 250 x 250 meter).

Voor de vergelijking tussen BOFEK en PAWN zijn de LG3 en de HG3 voor 2003 bepaald. De LG3 is het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld berekend op 14e of 28ste van de maand. De HG3 wordt analogo bepaald uit de hoogste grondwaterstanden.

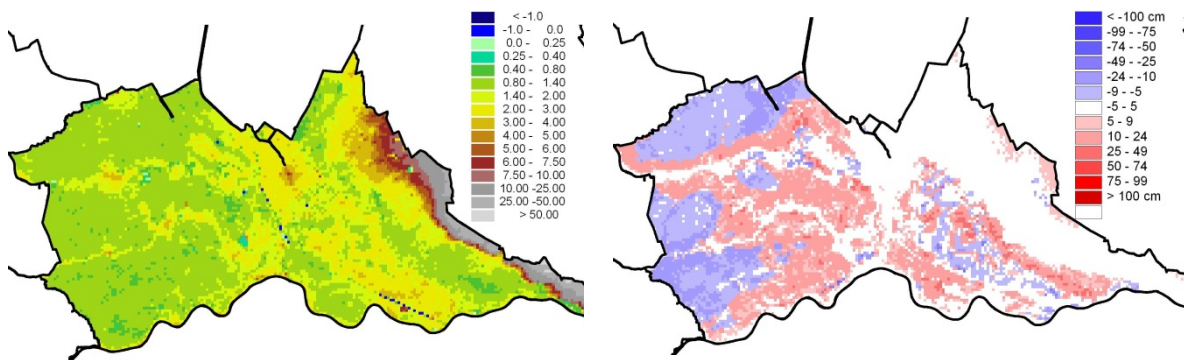
De vervanging van de PAWN schematisatie door de BOFEK2012 schematisatie is vooral zichtbaar in de LG3 in 2003. Het effect op de HG3 is relatief gering. In het jaar 2003 neemt de dynamiek uitgedrukt als verschil tussen LG3 en HG3 gemiddeld af met 2,8 cm, vooral door het minder wegzakken van de LG3. Het beeld is wel

gevarieerd. De LG3 in veengronden komt gemiddeld ongeveer 8 cm dieper uit, terwijl de LG3 in kleigronden met ongeveer 8 cm stijgt.



Figuur 23

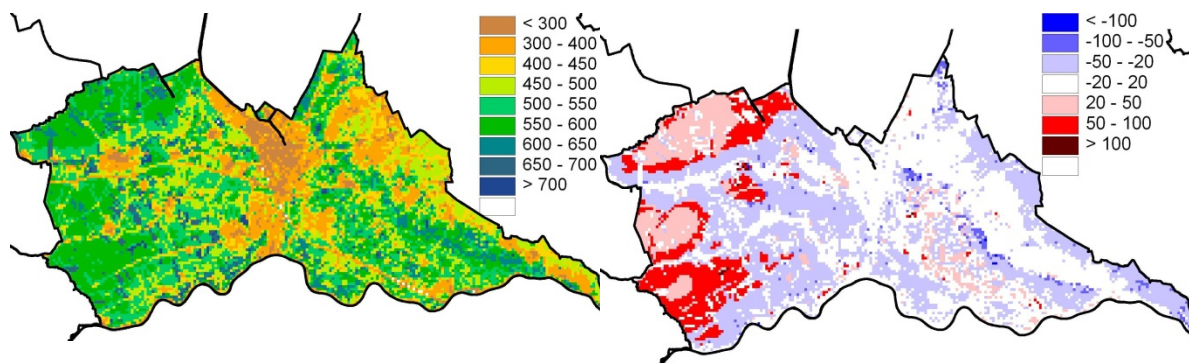
HG3 (links) en de verhoging van de HG3 (rechts) door de vervanging van de PAWN schematisatie door de BOFEK2012 schematisatie; blauwe kleuren duiden op een verlaging.



Figuur 24

LG3 (links) en de verhoging van de LG3 (rechts) door de vervanging van de PAWN schematisatie door de BOFEK2012 schematisatie; blauwe kleuren duiden op een verlaging.

De verdamping laat een enigszins gemengd beeld zien. Gemiddeld is deze in het jaar 2003 4 mm (1%) lager in de BOFEK-variant (535 versus 531 mm). Veengronden en moerige gronden laten een hogere verdamping zien terwijl de meeste zandgronden en kleigronden minder verdampen (zie tabel 4). Dit is consistent met de verandering van de LG3. De onderliggende oorzaak van de verschillen ligt in de gebruikte Staringreeksbouwstenen. Zo is er in de PAWN schematisatie voor kleigronden vaker dan in de BOFEK2012 schematisatie gekozen voor een bouwsteen voor middelzware klei (O12) in plaats van voor zware klei (O13).



Figuur 25

Actuele verdamping (mm) in het jaar 2003 (links) en de toename van de verdamping (mm) als gevolg van de vervanging van de PAWN schematisatie door de BOFEK2012 schematisatie; blauwe kleuren duiden op een afname.

Tabel 4

Toename van de verdamping, LG3 en HG3 als gevolg van de vervanging van de PAWN schematisatie door de BOFEK2012 schematisatie voor HDSR in het jaar 2003.

	Areaal (ha)	Toename verdamping (mm)	Toename LG3 (cm)	Toename HG3 (cm)
Veen	16075	40.4	-8.2	-2.9
Moerig	325	15.0	-2.0	-0.8
Zand	23475	-10.9	2.6	2.9
Klei	43125	-17.2	7.6	0.0
Totaal	83000	-4.1	3.1	0.3

Conclusies

- Een clustering van Nederlandse gronden op grond van berekende, afgeleide, functionele kenmerken resulteert in een set van 72 clusters (BOFEK-eenheden) die zich in bodemfysisch opzicht verschillend gedragen. Deze clustering achteraf is realistischer dan de vaak gehanteerde clustering vooraf op grond van alleen bodemkundige verwantschap.
- In aanvulling op de statistische clustering zijn profielen samengebracht die op grond van hun geografische eigenschappen een sterke verwantschap vertonen. Een duidelijk voorbeeld hiervan is het cluster van keileemgronden.
- Deze schematisatie heeft geresulteerd in een complete dataset, bestaande uit een GIS-bestand met de verbreiding van de BOFEK-eenheden, profielschetsen met laagopbouw per eenheid, inclusief de kenmerken van de lagen. Deze gegevens kunnen als invoer dienen voor modelberekeningen.
- De set van 72 BOFEK-eenheden wordt beschouwd als een hanteerbare set in modelberekeningen van water- en stoffentransport op nationale schaal waarbij naast bodemfysische gegevens ook gegevens over onder andere het weer, grondwaterstand en gewas als invoer dienen.
- Doordat de grondsoorten zand, klei, leem, moerig en veen als harde grenzen in de clustering zijn meegenomen, vertonen de gegenereerde clusterkaarten een goede overeenkomst met de huidige bodemkaart.
- Bij het doorrekenen van de 370 bodemprofielen met het modellenpakket Zeus is de bodemfysische bouwsteen op 120 cm diepte verlengd tot een diepte van 10 m. Eventueel in de diepere ondergrond aanwezige, afwijkende bodemfysische eigenschappen zijn daardoor in de berekeningen niet meegenomen.
- De ontwikkelde clusteringmethode leidt tot een beperkt aantal bodemfysische clusters voor heel Nederland op grond van relevante functionele kenmerken voor complete bodemprofielen. Per bodemfysische cluster is aangegeven welke waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken moeten worden gehanteerd. De fysische bodemschematisatie wordt aangeboden in een gemakkelijk hanteerbaar format voor modeltoepassingen, inclusief documentatie. Deze nieuwe clustering versterkt de positie van Alterra versterken als betrouwbare leverancier van up-to-date, relevante en gebruikersvriendelijke, bodemkundige informatie.
- Deze studie heeft naast een nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland ook een techniek opgeleverd om de bodemkaart te schematiseren in een beperkt aantal clusters. De clustering voor deze studie is sterk gerelateerd aan de waterleverantie van het profiel, voor andere onderzoeksvragen kunnen andere profieleigenschappen belangrijker zijn, bijvoorbeeld organische stofgehalte bij vastlegging en afbraak van bestrijdingsmiddelen. De in deze studie ontwikkelde clustertechniek kan ook toegepast worden op andere profieleigenschappen en kan daarmee leiden tot een andere clusterindeling dan in deze studie wordt gepresenteerd.
- Het is van belang om te blijven investeren in goede meetwaarden voor waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken omdat deze waarden bepalend zijn voor het actuele transport van water en opgeloste stoffen in de bodem.
- De hoogste grondwaterstanden worden niet sterk beïnvloed door de wijze van schematiseren. Voor de laagste grondwaterstanden geldt dat deze in kleigronden minder diep uitzakken, terwijl ze in veengronden en moerige gronden gemiddeld dieper uitzakken.
- Het effect van de wijze van schematiseren op de verdamping is gemiddeld gering. De actuele verdamping neemt in het vrij droge jaar 2003 af met ongeveer 1%. Voor zand- en kleigronden neemt de verdamping overwegend af. Veengronden en moerige gronden laten juist een toename van de verdamping zien.
- Als gevolg van de overgang van de PAWN schematisatie naar de BOFEK2012 schematisatie treden er verschillen op in zowel de grondwaterstanden als de verdamping. Deze verschillen hangen samen met de bodemtypen en de onderliggende toekenning van de Staringreeksbouwstenen, maar zijn gebiedsgemiddeld gering.

Literatuur

Akker, J.J.H. van den, 2005. Maaiveldvaling en verdwijnende veengronden. In Veenweide 25x belicht; een bloemlezing van onderzoek van Alterra Wageningen UR.

Vendramin, L., J.G.B. Ricardo, E. Campello en R. Hruschka, 2009. On the Comparison of Relative Clustering Validity Criteria http://www.siam.org/proceedings/datamining/2009/dm09_067_vendraminl.pdf

MacQueen, J.B., 1967. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. 1. Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. University of California Press. pp. 281–297.

Haans, J.C.F.M., 1979. De interpretatie van bodemkaarten: rapport van de Werkgroep interpretatie bodemkaarten, stadium C. Wageningen: Stichting voor Bodemkartering. Rapport Stichting voor Bodemkartering (no. 1463). 221 pp.

Kroes, J.G., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en C.M.J. Jacobs, 2008. SWAP version 3.2; Theory description and user manual. Alterra Wageningen, Alterra-report 1649.

Steur, G.G.L. en W. Heijink, 1991. Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000; Algemene begrippen in indelingen. 4^e uitgave. Wageningen, Staring Centrum.

Stolp, J. en H.R.J. Vroon, 1990. Een snelle methode voor het berekenen van kritieke z-afstanden en verzadigingstekorten bij twee fluxen (2 en 1 mm/dag) in gelaagde bodemprofielen tijdens de veldopname. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Interne mededeling 92.

Van der Sluijs, P., 1990. Hoofdstuk 11: Grondwatertrappen. In: W.P. Locher en H. de Bakker (red.), Bodemkunde van Nederland. Deel 1 Algemene Bodemkunde. Den Bosch, Malmberg.

Van Genuchten, M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal 44(3): 892-898.

Van Soesbergen, G., C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. De interpretatie van bodemkundige gegevens. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1967.

Van Walsum, P.E.V. en P. Groenendijk, 2008. Quasi steady-state simulation of the unsaturated zone in groundwater modeling of lowland regions. Vadose Zone Journal 7:769-781.

Vries, F. de., 1999. Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken. Alterra Wageningen UR. Alterra rapport 654.

Vries, F. de, P.J. Kuikman en C.M.A. Hendriks, 2008. De veengronden in Hoog-Nederland en verdwijnen. Bodem 1. p. 14-17.

Wesseling, J.G., C.J. Ritsema et al., 2008. Describing the soil physical characteristics of soil samples with cubical splines. Transport in Porous Media 71(3): 289-309.

Wesseling, J.G., 2009. Soil physical data and modeling soil moisture flow. Ph.D.-thesis, Wageningen University and Research Centre, The Netherlands. Also published as Alterra Scientific Contributions 29, Alterra, Wageningen, The Netherlands. 178 pp.

Wesseling, J.G., H.R.J. Vroon en F. Brouwer, 2013. Het Titanen project. Een set software-tools voor het verwerken van veld- en labgegevens. Alterra rapport (in voorbereiding).

Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de Bodemkaart van Nederland 1 : 250.000 ten behoeve van de PAWN-studie. Stiboka rapport 2055, 50 blz.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. Waterrententie- en doorlatendheids-karakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Alterra Wageningen UR. Rapport 153.

Bijlage 1 Enquête-resultaten

Geënquêteerde: Jaco van der Gaast (onderzoeker Alterra)

Enquêteurs: Henk Vroon en Harry Massop

Gebruikt u de huidige landsdekkende bodemfysische bodemschematisatie gebaseerd op de 23 PAWN eenheden?

In het verleden gebruikt, bij ontbreken van een meer gedetailleerde bodemschematisatie

Zo ja, in welke modelstudies gebruikt u deze schematisatie?

In de volgende studies: Karteerbare kenmerken, Baakse beekproject, Monitoring verdroging (Met Capsev bergingsrelaties afgeleid), GD-project (Bergingsrelaties uit Monitoring verdroging zijn gebruik als verklarende factor)

Hoe bevalt het gebruik van deze schematisatie en heeft u aanbevelingen voor verbeteringen?

Voordeel: weinig eenheden

Nadeel: geen realistische resultaten, weinig onderscheidend vermogen tussen en binnen de eenheden (afvlakking)

Komen de modeluitkomsten die met gebruik van deze schematisatie worden verkregen overeen met praktijkwaarnemen?

In veel gevallen komen de modeluitkomsten niet overeen met de praktijkwaarnemingen.

Zo nee, ligt dit dan volgens u aan de gehanteerde schematisatie of zijn er ook andere, mogelijke oorzaken?

Hoofdzakelijk hangt dit samen met de gehanteerde parametrisatie. Enkel de aanpassing van de schematisatie geeft geen substantiële verbetering.

Kunt u aangegeven of u tevreden was over de bodemfysische karakteristieken die u toekende aan de afzonderlijke bodemhorizonten?

Gebruik van de Staringreeks geeft sterk afgevlakt resultaat, waardoor plaatselijke fenomenen onvoldoende kunnen worden gemodelleerd.

Aanbeveling:

Rapport verdieping bodemkaart geeft een oplossing voor het aangehaalde probleem. Het probleem is geconstateerd rondom numerieke verdroging. Jaco geeft de aanbeveling om bij parametrisatie geen middeling toe te passen en extra metingen uit te voeren aan lagen die belangrijk zijn voor de hydrologie. Verder geeft hij aan om ruimtelijke schematisatie niet te laten beïnvloeden door modellen en rekentijden maar vooral te laten leiden door hydrologische verschillen.

Geënquêteerde: Nicko Straathof

Enquêteurs: Folkert de Vries en Harry Massop

Gebruikt u de huidige landsdekkende bodemfysische bodemschematisatie gebaseerd op de 23 PAWN eenheden?

Neen, Nicko geeft aan dat er al aan een vervanger van de PAWN-schematisatie wordt gewerkt, nl. verdieping van de bodemkaart.

Zo ja, in welke modelstudies gebruikt u deze schematisatie?

N.v.t.

Hoe bevalt het gebruik van deze schematisatie en heeft u aanbevelingen voor verbeteringen?

In de praktijk blijkt dat deze schematisatie, die bedoeld is voor landelijk toepassingen, ook bij allerlei regionale en lokale studies wordt gebruikt. Voor regionale toepassingen is door neerschaling een gedetailleerdere indeling wenselijk.

Bij een uitgebreidere indeling kan worden ingespeeld op de wensen van de gebruiker.

Nicko geeft aan dat een goede schematisatie en parametrisatie ook klimaatbestendig moet zijn. We willen de effecten van de verschillende klimaatscenario's doorrekenen en vergelijken. Misschien moet er voor toekomstig gebruik gezocht worden naar andere parameters, nu wordt veel opgehangen aan bijv. GVG, maar het is de vraag of bij klimaatverandering dit nog de juiste maat is, misschien is zuurstofstress of vochtstress wel een belangrijkere indicator.

Komen de modeluitkomsten die met gebruik van deze schematisatie worden verkregen overeen met praktijkwaarnemen?

In het algemeen geldt dat modeluitkomsten afwijken van de werkelijkheid en modellen vooral bruikbaar zijn voor scenario-vergelijking

Zo nee, ligt dit dan volgens u aan de gehanteerde schematisatie of zijn er ook andere mogelijke oorzaken?

De meetschaal is anders dan de schaal waarop uitspraken worden gedaan met modellen. Hij noemt de vergelijking van SWAP met NHI.

Kunt u aangegeven of u tevreden was over de bodemfysische karakteristieken die u toekende aan de afzonderlijke bodemhorizonten?

Nvt

Aanvullende opmerkingen:

Aan organische stof moet ook aandacht worden besteed, door veranderend klimaat zal afbraaksnelheid anders worden.

Als mogelijk nog te enquêteren personen worden genoemd Timo Kroon en Remco van Ek.

Geënquêteerde: Aaldrik Tiktak

Enquêteurs: Folkert de Vries en Harry Massop

Gebruikt u de huidige landsdekkende bodemfysische bodemschematisatie gebaseerd op de 23 PAWN eenheden?

Ja, binnen de STONE schematisatie

Zo ja, in welke modelstudies gebruikt u deze schematisatie?

STONE, GeoPEARL

Hoe bevalt het gebruik van deze schematisatie en heeft u aanbevelingen voor verbeteringen?

Ik vind een schematisatie op basis van 21 eenheden aan de magere kant. Ik zou liever een schematisatie zien die rechtstreeks is afgeleid uit de onderliggende bodemdata, waardoor veel meer differentiatie in bodemtypes mogelijk is. Zie bijvoorbeeld de 330 standaardbodemprofielen in het rapport van Folkert de Vries. Ik ben voorstander van een systeem waarbij op grond van textuur en organische stof de bodemfysische karakteristieken worden toegekend. Zo is het ook gedaan in het kader van het project onzekerheidsanalyse GeoPEARL. Achter in dat rapport staat een hele beslisboom. Als die zou worden omgezet in handzame software, dan hebben we echt iets handigs in huis.

Komen de modeluitkomsten die met gebruik van deze schematisatie worden verkregen overeen met praktijkwaarnemen?

Zie hieronder.

Zo nee, ligt dit dan volgens u aan de gehanteerde schematisatie of zijn er ook andere mogelijke oorzaken?

Zie hieronder - de bodemfysische karakteristieken zijn minder geschikt voor modellen met macropore transport

Kunt u aangegeven of u tevreden was over de bodemfysische karakteristieken die u toekende aan de afzonderlijke bodemhorizonten?

Ik snap deze vraag niet exact. De 23 PAWN-eenheden geven toch ook een indeling in bodemtype en daarmee dus ook de bodemfysische eenheid? Hoe dan ook - de huidige Staring reeks heeft als grote beperking dat de kenmerken niet geschikt zijn voor gebruik in modelversies met preferent transport (macroporiën). Je zou eigenlijk twee soorten Ksat en ThetaSat-waarden willen, één voor de bodem als geheel en één voor de bodemmatrix. Rob Hendriks heeft voor een aantal eenheden karakteristieken afgeleid, maar dit zou voor alle eenheden moeten gebeuren.

Geënquêteerde: Erik van den Berg (Onderzoeker Alterra)

Enquêteurs: Harry Massop en Henk Wösten

Gebruikt u de huidige landsdekkende bodemfysische bodemschematisatie gebaseerd op de 23 PAWN eenheden?

Ja.

Zo ja, in welke modelstudies gebruikt u deze schematisatie?

STONE, GeoPEARL.

Hoe bevalt het gebruik van deze schematisatie en heeft u aanbevelingen voor verbeteringen?

Voldoet goed, maar de bodemfysische schematisatie is niet de enige en soms ook niet de meest gevoelige schematisatie in modelstudies. Daarom dus ook aandacht voor andere schematisaties zoals bijvoorbeeld organische stof.

Komen de modeluitkomsten die met gebruik van deze schematisatie worden verkregen overeen met praktijkwaarnemen?

Redelijk goed.

Zo nee, ligt dit dan volgens u aan de gehanteerde schematisatie of zijn er ook andere mogelijke oorzaken?

In het geval van GeoPEARL blijkt dat verschillen in organische stofgehalte van de bovengrond een belangrijke invloed hebben op de modeluitkomsten dan de fysische bodemschematisatie. Dus afhankelijk van de toepassing zijn verschillende types invoergegevens dominant voor de uitkomsten.

Kunt u aangegeven of u tevreden was over de bodemfysische karakteristieken die u toekende aan de afzonderlijke bodemhorizonten?

Ja.

Geënquêteerde: Ab Veldhuizen (Onderzoeker Alterra)

Enquêteurs: Harry Massop en Henk Wösten

Gebruikt u de huidige landsdekkende bodemfysische bodemschematisatie gebaseerd op de 23 PAWN eenheden?

Ja

Zo ja, in welke modelstudies gebruikt u deze schematisatie?

GeoPEARL, STONE, NHI, regionaal SWAP.

Hoe bevalt het gebruik van deze schematisatie en heeft u aanbevelingen voor verbeteringen?

Voldoet goed en de uitkomsten zijn meestal ook landschappelijk herkenbaar. Om werkelijk landsdekkend te kunnen werken en geen witte vlekken te laten ontstaan, moeten ook eigenschappen aan het stedelijk gebied worden toegekend.

Komen de modeluitkomsten die met gebruik van deze schematisatie worden verkregen overeen met praktijkwaarnemen?

Redelijk goed.

Zo nee, ligt dit dan volgens u aan de gehanteerde schematisatie of zijn er ook andere mogelijke oorzaken?

Gedeeltelijk ligt dit aan de schematisatie, maar modeluitkomsten worden ook door tal van andere factoren beïnvloed.

Kunt u aangegeven of u tevreden was over de bodemfysische karakteristieken die u toekende aan de afzonderlijke bodemhorizonten?

Ja.

Aanvullende opmerkingen:

Ideaal zouden er ongeveer 50-100 bodemfysische eenheden onderscheiden moeten worden en deze eenheden zouden een duidelijk ruimtelijk verband moeten vertonen met het voorkomen van zand, zavel, klei en veen. Alterra moet deze schematisatie als nieuwste standaard in markt zetten.

Geënquêteerde: Rob van Dongen en Erik Broeze (Waterschap Regge en Dinkel)

Enquêteurs: Henk Vroon

Gebruikt u de huidige landsdekkende bodemfysische bodemschematisatie gebaseerd op de 23 PAWN eenheden?

Ja, zit in WATERNOOD-instrument.

Nee (wel de HELP-bodemeenheden, maar dat wordt hier niet bedoeld).

Zo ja, in welke modelstudies gebruikt u deze schematisatie?

Waterlood voor watersysteemverbeteringen/herinrichtingen.

Volgens mij wordt de schematisatie toegepast in SWAP (onverzadigde zone). Geen toepassing in grondwatermodel WRD, dus geen ervaring.

Hoe bevalt het gebruik van deze schematisatie en heeft u aanbevelingen voor verbeteringen?

Nu vaak te grof.

Nvt

Komen de modeluitkomsten die met gebruik van deze schematisatie worden verkregen overeen met praktijkwaarnemen?

Niet geheel, ligt ook vooral aan gw-modelinput en gewenste detail waterlood (nat- en droogteschade); ook denken de landbouwers vaak anders over de schadecijfers, maar of dat ligt aan de berekende cijfers of aan psychologische effecten van nat- vs droogteschade in je perceel is onduidelijk.

Geen ervaring

Zo nee, ligt dit dan volgens u aan de gehanteerde schematisatie of zijn er ook andere mogelijke oorzaken?

zie 4.

Nvt

Kunt u aangegeven of u tevreden was over de bodemfysische karakteristieken die u toekende aan de afzonderlijke bodemhorizonten?

Ja, voor zover we dat als 'simpele' waternoodgebruikers kunnen beoordelen (vraag: zitten de sturingreeksen er goed/volledig in?)

Nvt/ geen ervaring

Geënquêteerde: Jan Huinink (Ministerie van EZ)

Enquêteurs: Henk Vroon

Gebruikt u de huidige landsdekkende bodemfysische bodemschematisatie gebaseerd op de 23 PAWN eenheden?

Ik gebruik alleen eigen schematisaties, op basis van vijf boringen/ha aangevuld met DINO-gegevens, op perceelsniveau of bedrijfsniveau. Maar met DINO ga je al: hoe vertaal je lithostratigrafische gegevens naar K-D waarden? Je moet daarbij zeker een factor 10 aan onzekerheid slikken.

Zo ja, in welke modelstudies gebruikt u deze schematisatie?

Vragen op kleinere schaal (gebieden dus groter dan een landbouwbedrijf of natuurterreintje) wimpel ik af.

Hoe bevalt het gebruik van deze schematisatie en heeft u aanbevelingen voor verbeteringen?

Ik waag me niet meer aan gebiedsuitspraken: mijn ervaring heeft geleerd dat de modellen prima zijn, maar je de bodemkundige / hydrologische schematisatie meestal op geen stukken na nauwkeurig genoeg krijgt om met enige betrouwbaarheid en nauwkeurigheid een (dus zinvolle) uitspraak te kunnen doen. En al helemaal niet met PAWN schematisaties.

Komen de modeluitkomsten die met gebruik van deze schematisatie worden verkregen overeen met praktijkwaarnemen?

Nee, vaak niet.

Zo nee, ligt dit dan volgens u aan de gehanteerde schematisatie of zijn er ook andere mogelijke oorzaken?

Schematisatie is een belangrijke oorzaak voor de discrepantie.

Kunt u aangegeven of u tevreden was over de bodemfysische karakteristieken die u toekende aan de afzonderlijke bodemhorizonten?

Als ik het toch aan zou durven gebruiken ik de meest gedetailleerde en (mochten die bestaan) gevalideerde gebiedschematisaties: die van de waterschappen dus.

Bijlage 2 Kenmerken bouwstenen Staringreeks

Bouwstenen Staringreeks

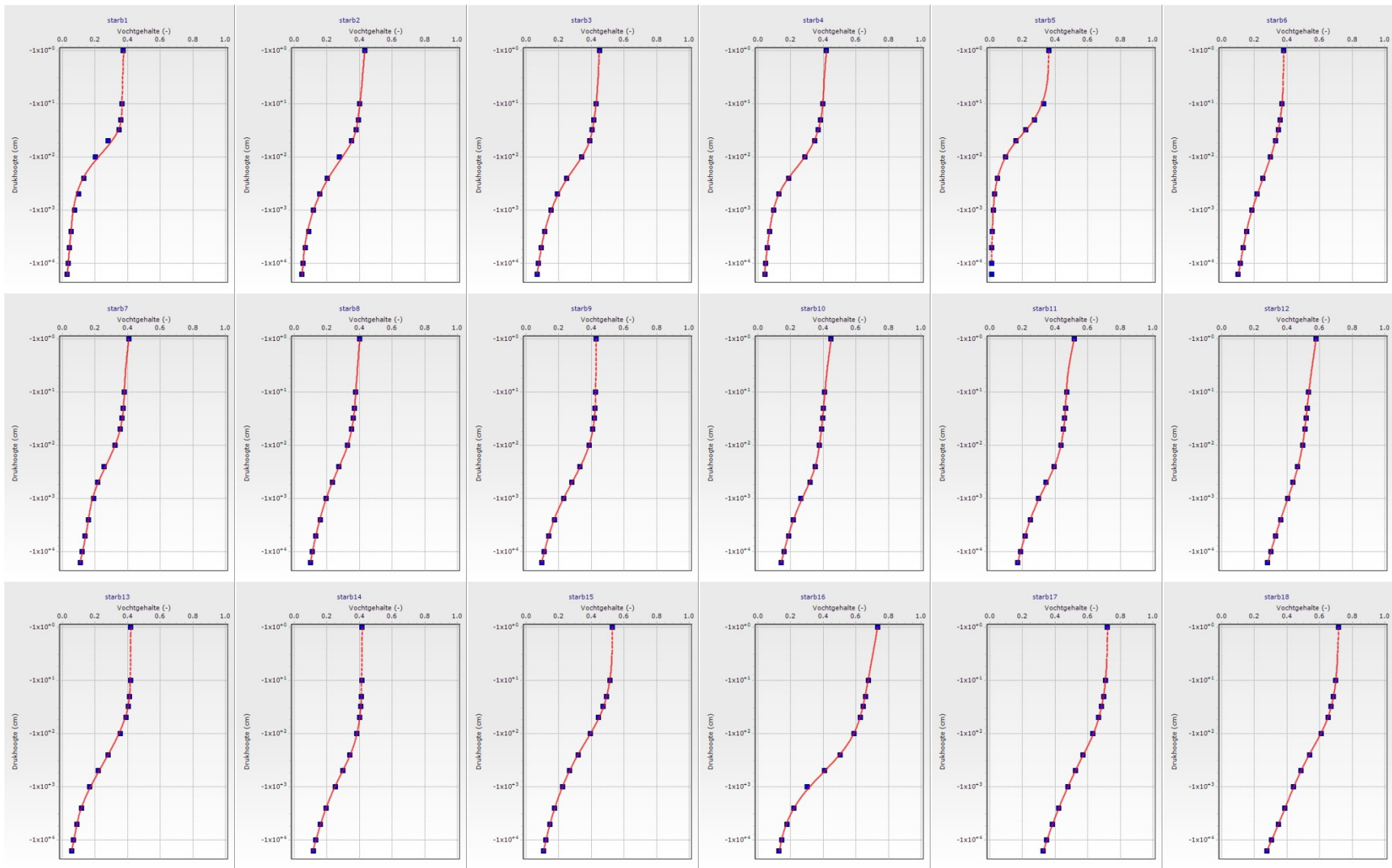
Code	Omschrijving
Bovengronden	
B1	Leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand
B2	Zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
B3	Sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
B4	Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
B5	Grof zand
B6	Keileem
B7	Zeer lichte zavel
B8	Matig lichte zavel
B9	Zware zavel
B10	Lichte klei
B11	Matig zware klei
B12	Zeer zware klei
B13	Zandige leem
B14	Siltige leem
B15	Venig zand
B16	Zandig veen en veen
B17	Venige klei
B18	Kleiig veen
Ondergronden	
01	Leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand
02	Zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
03	Sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
04	Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand
05	Grof zand
06	Keileem
07	Beekleem
08	Zeer lichte zavel
09	Matig lichte zavel
010	Zware zavel
011	Lichte klei
012	Matig zware klei
013	Zeer zware klei
014	Zandige leem
015	Siltige leem
016	Oligotroof veen
017	Mesotroof en eutroof veen
018	Moerig tussenlaag

	h	-1	-10	-20	-31	-50	-100	-250	-500	-1000	-2500	-5000	-10000	-16000	
B1	⊖	0.371	0.364	0.357	0.347	0.28	0.201	0.13	0.098	0.074	0.054	0.043	0.034	0.03	1987
	K	3.33E+01	1.25E+01	5.62E+00	3.34E+00	9.90E-01	8.70E-02	6.50E-03	9.50E-04	1.40E-04	8.80E-06	1.40E-06	2.20E-07	7.70E-08	
B2	⊖	0.432	0.401	0.392	0.381	0.351	0.276	0.203	0.155	0.118	0.087	0.067	0.053	0.045	1987
	K	3.22E+01	4.56E+00	2.42E+00	1.38E+00	7.70E-01	1.40E-01	8.40E-03	1.90E-03	6.30E-04	1.70E-04	6.20E-05	2.70E-05	1.20E-05	
B3	⊖	0.449	0.428	0.416	0.406	0.391	0.342	0.249	0.193	0.152	0.115	0.093	0.076	0.067	1987
	K	1.78E+01	3.88E+00	1.97E+00	1.14E+00	6.70E-01	2.30E-01	2.70E-02	2.80E-03	6.50E-04	1.60E-04	5.80E-05	2.40E-05	1.20E-05	
B4	⊖	0.417	0.398	0.382	0.37	0.347	0.288	0.187	0.128	0.096	0.07	0.057	0.047	0.041	1987
	K	5.48E+01	2.05E+01	9.94E+00	6.49E+00	3.49E+00	5.30E-01	4.30E-02	4.00E-03	6.30E-04	1.80E-04	8.60E-05	4.20E-05	2.70E-05	
B5	⊖	0.38	0.37	0.358	0.347	0.33	0.298	0.251	0.217	0.186	0.152	0.131	0.112	0.101	2001
	K	1.01E+02	1.08E+01	5.59E+00	3.31E+00	1.69E+00	5.40E-01	9.90E-02	2.50E-02	6.20E-03	9.40E-04	2.30E-04	5.40E-05	2.10E-05	
B6	⊖	0.43	0.427	0.423	0.418	0.409	0.385	0.331	0.28	0.229	0.172	0.138	0.111	0.095	2001
	K	1.54E+00	5.50E-01	3.90E-01	2.90E-01	2.00E-01	9.50E-02	2.60E-02	8.10E-03	2.30E-03	4.00E-04	1.00E-04	2.70E-05	1.10E-05	
B7	⊖	0.407	0.38	0.373	0.366	0.356	0.324	0.254	0.217	0.19	0.16	0.14	0.121	0.11	1987
	K	2.51E+01	5.00E+00	2.70E+00	1.50E+00	7.00E-01	2.00E-01	2.50E-02	5.00E-03	1.00E-03	8.00E-05	6.00E-06	1.00E-06	1.60E-07	
B8	⊖	0.401	0.377	0.369	0.362	0.352	0.328	0.274	0.233	0.196	0.159	0.132	0.111	0.099	1987
	K	2.29E+01	1.32E+00	6.00E-01	3.70E-01	2.10E-01	7.80E-02	1.80E-02	5.90E-03	1.70E-03	4.60E-04	1.80E-04	7.40E-05	4.10E-05	
B9	⊖	0.43	0.427	0.423	0.418	0.409	0.385	0.331	0.28	0.229	0.172	0.138	0.111	0.095	1994
	K	1.54E+00	5.50E-01	3.90E-01	2.90E-01	2.00E-01	9.50E-02	2.60E-02	8.10E-03	2.30E-03	4.00E-04	1.00E-04	2.70E-05	1.10E-05	
B10	⊖	0.448	0.408	0.401	0.396	0.389	0.377	0.351	0.319	0.263	0.216	0.187	0.158	0.143	1987
	K	3.11E+01	3.00E-01	1.30E-01	7.00E-02	4.00E-02	1.60E-02	5.40E-03	2.70E-03	1.40E-03	5.70E-04	2.60E-04	8.40E-05	4.70E-05	
B11	⊖	0.517	0.472	0.463	0.459	0.452	0.436	0.394	0.344	0.297	0.248	0.217	0.188	0.17	1987
	K	6.36E+01	2.50E-01	8.00E-02	4.00E-02	2.00E-02	5.30E-03	1.90E-03	9.60E-04	4.50E-04	1.80E-04	9.30E-05	4.90E-05	3.10E-05	
B12	⊖	0.578	0.531	0.524	0.517	0.509	0.495	0.464	0.435	0.405	0.362	0.331	0.301	0.281	1987
	K	9.82E+01	5.50E-01	9.00E-02	4.00E-02	1.00E-02	2.90E-03	8.10E-04	4.30E-04	2.50E-04	1.20E-04	6.60E-05	3.90E-05	2.70E-05	
B13	⊖	0.42	0.417	0.411	0.403	0.39	0.354	0.28	0.22	0.168	0.117	0.089	0.068	0.057	2001
	K	1.30E+01	5.86E+00	4.13E+00	3.05E+00	1.98E+00	8.40E-01	1.80E-01	4.50E-02	1.00E-02	1.40E-03	3.00E-04	6.40E-05	2.30E-05	
B14	⊖	0.416	0.414	0.411	0.408	0.401	0.384	0.341	0.297	0.251	0.195	0.161	0.132	0.116	1994
	K	8.00E-01	2.90E-01	2.10E-01	1.50E-01	1.10E-01	5.00E-02	1.10E-02	2.70E-03	5.40E-04	5.40E-05	9.10E-06	1.50E-06	4.60E-07	
B15	⊖	0.53	0.513	0.493	0.473	0.444	0.392	0.318	0.266	0.222	0.175	0.146	0.122	0.108	2001
	K	8.13E+01	1.04E+01	5.26E+00	3.04E+00	1.50E+00	4.50E-01	7.50E-02	1.80E-02	4.10E-03	5.80E-04	1.30E-04	3.00E-05	1.10E-05	
B16	⊖	0.733	0.677	0.658	0.644	0.627	0.589	0.505	0.409	0.303	0.221	0.176	0.145	0.129	1987
	K	1.34E+01	1.79E+00	8.20E-01	4.30E-01	2.30E-01	6.50E-02	8.40E-03	1.80E-03	4.10E-04	1.00E-04	4.00E-05	1.70E-05	1.00E-05	
B17	⊖	0.721	0.709	0.697	0.685	0.667	0.631	0.572	0.525	0.479	0.422	0.384	0.348	0.327	1994
	K	4.46E+00	2.30E-01	1.20E-01	7.00E-02	4.00E-02	1.10E-02	1.90E-03	4.60E-04	1.00E-04	1.30E-05	2.90E-06	6.20E-07	2.20E-07	
B18	⊖	0.717	0.698	0.685	0.671	0.652	0.609	0.539	0.486	0.44	0.386	0.346	0.306	0.277	1987
	K	3.48E+01	3.18E+00	8.80E-01	3.20E-01	9.00E-02	1.20E-02	9.20E-04	3.60E-04	1.40E-04	4.50E-05	1.90E-05	7.60E-06	3.30E-06	

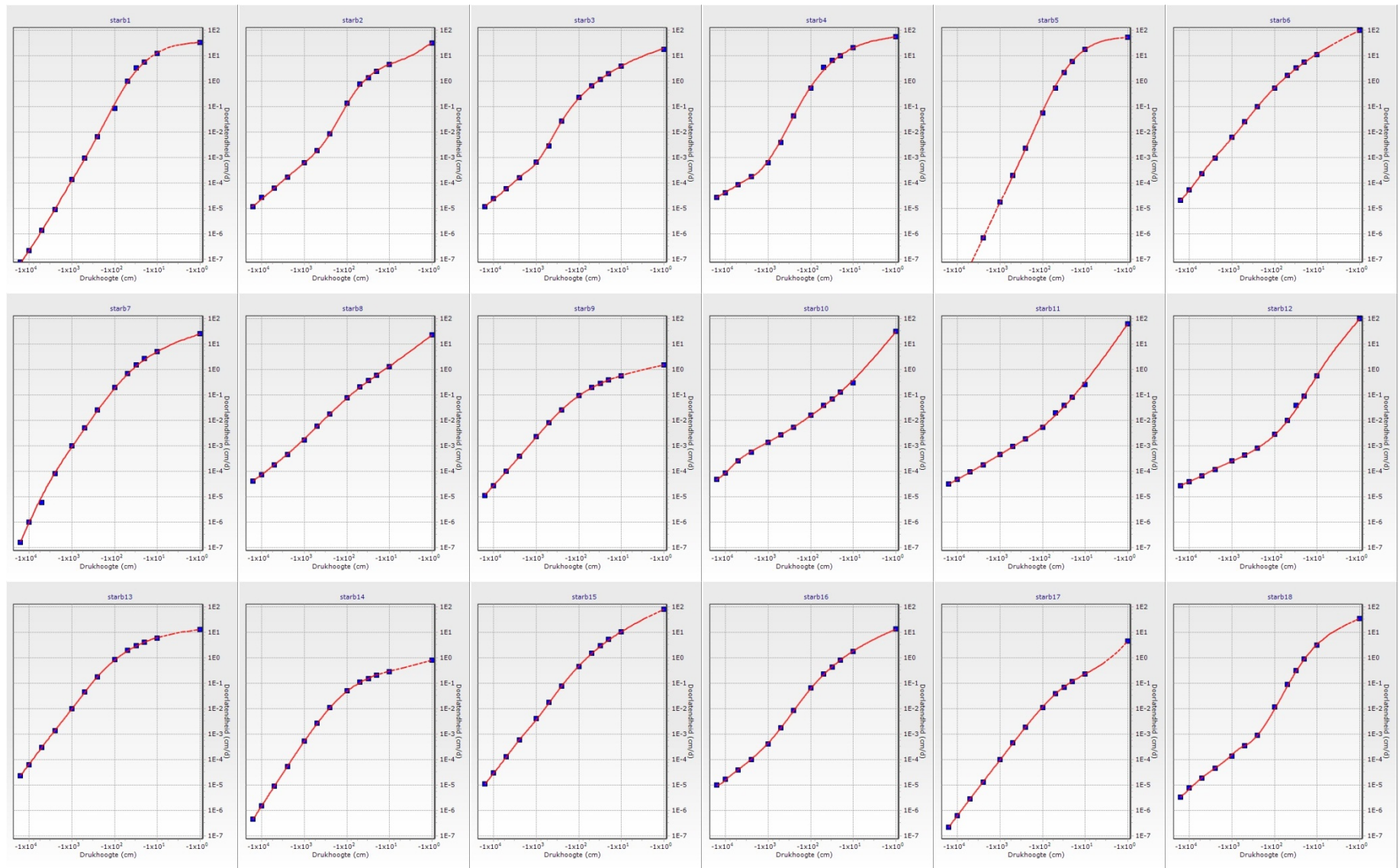
Tabel x Bovengronden: waarden voor waterretentie en doorlatendheid bij dertien waarden van de drukhoogte

	h	-1	-10	-20	-31	-50	-100	-250	-500	-1000	-2500	-5000	-10000	-16000	
O1	Theta	0.354	0.316	0.303	0.286	0.242	0.121	0.056	0.037	0.027	0.02	0.016	0.013	0.011	1987
	K	9.97E+01	2.40E+01	1.01E+01	5.10E+00	1.26E+00	7.50E-02	8.70E-04	1.10E-04	2.40E-05	4.70E-06	1.00E-06	2.60E-07	6.30E-08	
O2	Theta	0.381	0.354	0.34	0.327	0.304	0.197	0.099	0.073	0.057	0.046	0.039	0.033	0.029	1987
	K	6.39E+01	1.51E+01	8.40E+00	5.52E+00	2.68E+00	2.90E-01	2.60E-03	3.00E-04	3.80E-05	5.60E-06	1.40E-06	3.10E-07	8.20E-08	
O3	Theta	0.347	0.321	0.308	0.295	0.272	0.194	0.111	0.075	0.055	0.041	0.032	0.026	0.023	1987
	K	4.46E+01	6.82E+00	3.64E+00	2.06E+00	1.01E+00	2.30E-01	3.00E-02	1.70E-03	3.20E-04	5.00E-05	1.10E-05	3.00E-06	7.90E-07	
O4	Theta	0.358	0.34	0.329	0.314	0.292	0.232	0.142	0.092	0.062	0.044	0.034	0.028	0.025	1987
	K	5.31E+01	1.15E+01	7.04E+00	4.74E+00	2.51E+00	6.70E-01	3.50E-02	5.80E-03	1.40E-03	2.00E-04	5.50E-05	1.20E-05	3.20E-06	
O5	Theta	0.412	0.387	0.375	0.364	0.355	0.337	0.303	0.276	0.253	0.222	0.198	0.175	0.164	1987
	K	5.48E+00	4.40E-01	1.30E-01	8.00E-02	5.00E-02	2.20E-02	6.90E-03	3.00E-03	1.50E-03	4.30E-04	1.90E-04	8.40E-05	5.40E-05	
O6	Theta	0.332	0.303	0.254	0.191	0.114	0.076	0.046	0.035	0.027	0.02	0.016	0.012	0.01	1987
	K	2.22E+02	4.36E+01	6.65E+00	1.12E+00	1.03E-01	3.00E-03	1.60E-04	3.30E-05	7.20E-06	1.00E-06	2.00E-07	5.20E-08	1.30E-08	
O7	Theta	0.51	0.504	0.498	0.492	0.481	0.459	0.418	0.384	0.349	0.307	0.277	0.25	0.234	2001
	K	3.91E+01	3.16E+00	1.83E+00	1.19E+00	6.90E-01	2.60E-01	5.80E-02	1.60E-02	4.30E-03	7.20E-04	1.80E-04	4.60E-05	1.80E-05	
O8	Theta	0.423	0.389	0.383	0.378	0.371	0.326	0.211	0.175	0.149	0.124	0.107	0.093	0.084	1987
	K	2.64E+01	4.01E+00	2.12E+00	1.31E+00	7.50E-01	1.80E-01	5.10E-03	1.40E-03	5.80E-04	1.80E-04	7.80E-05	2.70E-05	1.60E-05	
O9	Theta	0.414	0.382	0.372	0.364	0.353	0.318	0.228	0.187	0.154	0.124	0.106	0.091	0.081	1987
	K	2.40E+01	2.05E+00	1.00E+00	5.40E-01	2.90E-01	7.70E-02	2.00E-02	2.20E-03	8.10E-04	2.40E-04	9.80E-05	4.20E-05	2.30E-05	
O10	Theta	0.439	0.425	0.417	0.409	0.4	0.381	0.32	0.267	0.209	0.166	0.141	0.118	0.104	1987
	K	2.56E+01	1.47E+00	6.10E-01	2.30E-01	1.40E-01	7.00E-02	1.60E-02	5.50E-03	1.80E-03	4.40E-04	1.50E-04	5.30E-05	2.10E-05	
O11	Theta	0.419	0.4	0.393	0.387	0.381	0.365	0.331	0.296	0.262	0.221	0.192	0.166	0.15	1987
	K	6.10E+01	7.30E-01	2.80E-01	1.60E-01	8.00E-02	3.50E-02	8.10E-03	2.80E-03	1.00E-03	2.30E-04	7.40E-05	1.70E-05	4.80E-06	
O12	Theta	0.49	0.478	0.473	0.47	0.464	0.452	0.411	0.367	0.313	0.262	0.231	0.202	0.184	1987
	K	1.08E+01	1.50E-01	7.00E-02	4.00E-02	3.00E-02	1.10E-02	3.20E-03	1.30E-03	5.30E-04	1.70E-04	7.40E-05	3.30E-05	1.80E-05	
O13	Theta	0.58	0.549	0.544	0.54	0.535	0.522	0.499	0.472	0.434	0.39	0.359	0.327	0.302	1987
	K	3.80E+01	3.70E-01	7.00E-02	3.00E-02	1.00E-02	3.00E-03	9.40E-04	4.20E-04	2.10E-04	9.60E-05	5.00E-05	2.50E-05	1.50E-05	
O14	Theta	0.36	0.31	0.28	0.25	0.21	0.14	0	0	0	0	0	0	0	1994
	K	3.60E-01	3.10E-01	2.80E-01	2.50E-01	2.10E-01	1.40E-01	5.10E-02	1.30E-02	2.00E-03	1.10E-04	1.10E-05	1.00E-06	2.10E-07	
O15	Theta	0.437	0.409	0.403	0.396	0.388	0.369	0.316	0.257	0.207	0.171	0.127	0.102	0.085	1987
	K	5.74E+01	1.90E+00	1.44E+00	7.40E-01	4.80E-01	2.20E-01	6.40E-02	1.40E-02	4.60E-03	9.10E-04	2.70E-04	8.30E-05	4.20E-05	
O16	Theta	0.878	0.819	0.803	0.789	0.755	0.709	0.569	0.45	0.378	0.296	0.244	0.211	0.185	1987
	K	1.47E+01	9.20E-01	3.00E-01	1.50E-01	7.00E-02	2.10E-02	3.10E-03	9.20E-04	3.00E-04	8.50E-05	3.50E-05	1.30E-05	7.00E-06	
O17	Theta	0.893	0.846	0.833	0.822	0.806	0.763	0.65	0.542	0.436	0.344	0.286	0.237	0.209	1987
	K	3.05E+01	2.36E+00	8.70E-01	4.10E-01	1.70E-01	4.00E-02	7.60E-03	2.30E-03	7.30E-04	1.90E-04	6.20E-05	2.30E-05	1.20E-05	
O18	Theta	0.57	0.56	0.548	0.533	0.508	0.456	0.369	0.305	0.248	0.188	0.153	0.124	0.108	2001
	K	3.45E+01	8.15E+00	4.86E+00	3.16E+00	1.76E+00	6.00E-01	1.10E-01	2.40E-02	5.30E-03	6.90E-04	1.40E-04	3.00E-05	1.10E-05	

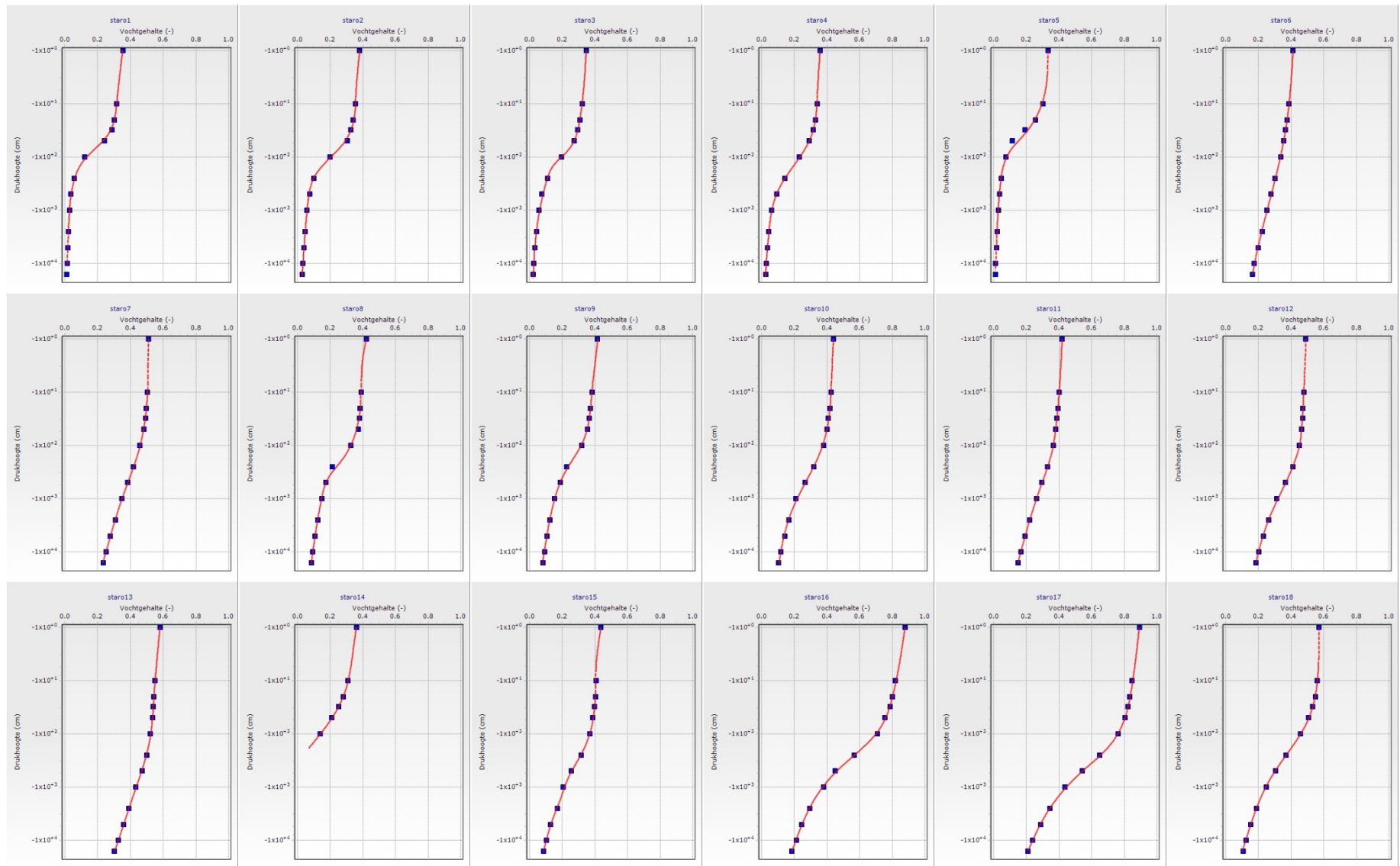
Tabel x Ondergronden: waarden voor waterretentie en doorlatendheid bij dertien waarden van de drukhoogte



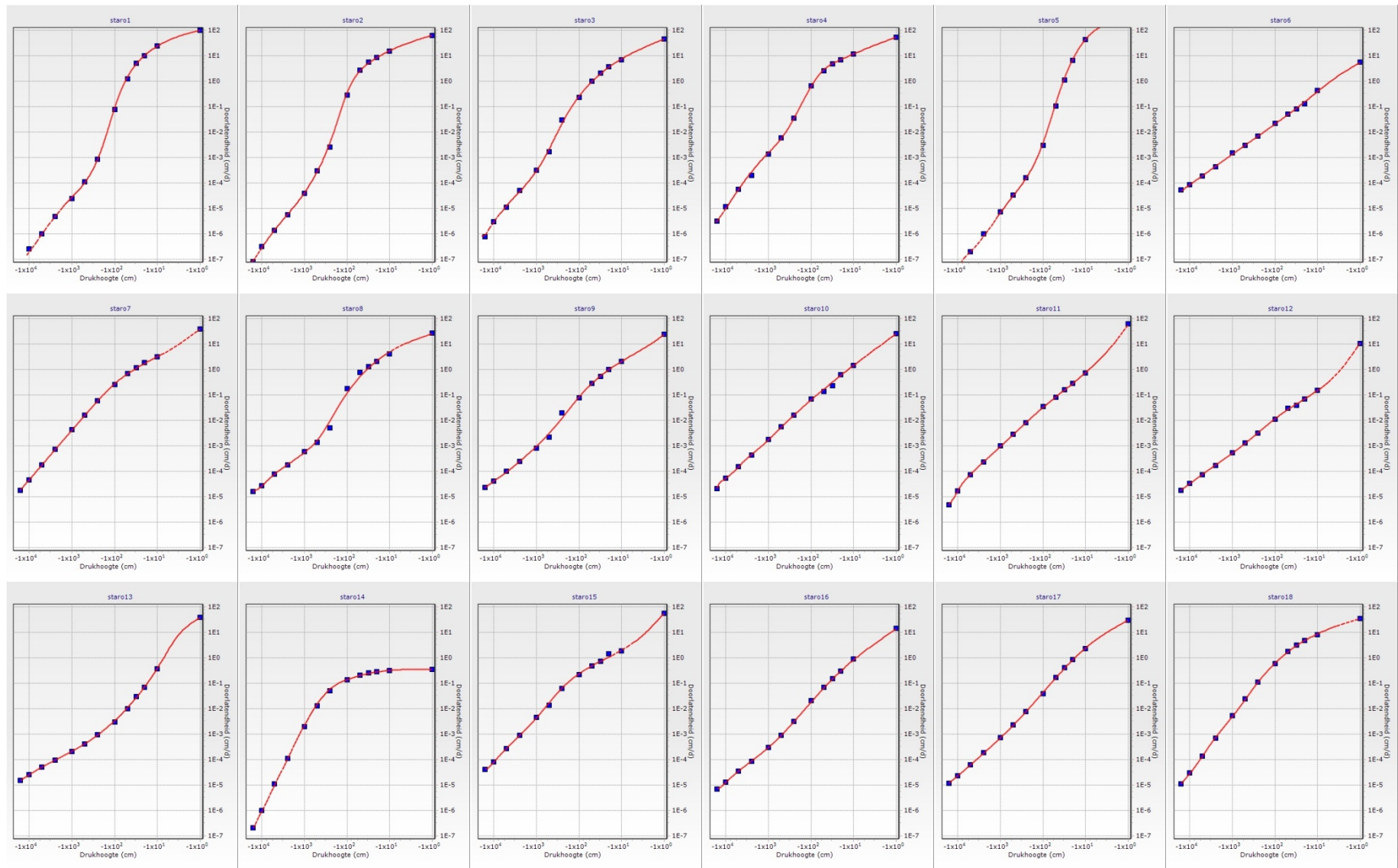
Tabel x Bovengronden: figuren van de waterretentiekarakteristiek



Tabel x Bovengronden: figuren van de doorlatendheidskarakteristiek



Tabel x Ondergronden: figuren van de waterretentiekarakteristiek



Tabel x Ondergronden: figuren van de doorlatendheidskarakteristiek

Bijlage 3 Resultaten clustering

Bijlage 4 Profielschets per cluster

Omschrijving van de kolommen

Kolomnaam	Omschrijving
BOFEK-eenheid	Uniek nummer voor de BOFEK-eenheid (de honderdtallen geven informatie over de hoofdgrondsoort: 100: veengronden; 200: moerige gronden; 300: zandgronden; 400: kleigronden en 500: leemgronden)
Laag_nr	Het volgnummer van de laag in het bodemprofiel, gerekend vanaf maaiveld.
Diepte_begin	begindiepte van de laag (cm-mv.).
Diepte_eind	Einddiepte van de laag (cm-mv.).
Hor_code	Codering voor de laag of horizont, op basis van pedogenetische kenmerken.
Staring bouwsteen	Code voor de bouwsteen van de Staringreeks Volgens indeling uit Alterra-rapport 153 (vernieuwde uitgave 2001)
Organische stof	Modaal organische-stofgehalte van de laag (massaprocenten van de totale massa grond).
Orgstof_p10	10-percentiel organische-stofgehalte (minimum waarde).
Orgstof_p90	90-percentiel organische-stofgehalte (maximumwaarde).
Lutum	Modaal lutumgehalte (korrelfractie < 2 µm, uitgedrukt in massaprocenten van de minerale delen)
Lutum_p10	10-percentiel lutumgehalte (minimumwaarde)
Lutum_p90	90-percentiel lutumgehalte (maximumwaarde).
Siltgehalte	Modaal siltgehalte (korrelfractie 2-50 µm, uitgedrukt in massaprocenten van de minerale delen).
Leem	Modaal leemgehalte (korrelfractie 0-50 µm, uitgedrukt in massaprocenten van de minerale delen)
Leem_p10	10-percentiel leemgehalte (minimumwaarde).
Leem_p90	90-percentiel leemgehalte (maximumwaarde).
M50	Modale waarde voor de mediaan van de korrelgrootte van de zandfractie (50-2000 µm, uitgedrukt in µm).
M50_p10	10-percentiel M50 (minimumwaarde)
M50_p90	90-percentiel M50 (maximumwaarde)
pH_KCl	modale waarde voor de pH-KCl.
pH_KCl_p10	10-percentiel pH (minimumwaarde).
pH_KCl_p90	90-percentiel pH (maximumwaarde).
Berekende dichtheid	Berekende volumieke massa of bulkdichtheid (g per cm ³).
Bodem-nr rapp. 654	Bronverwijzing naar het bodemprofiel in SC-rapport 654.

BOFEK2012 profielen

BOFEK-eendheid		Laag_nr	Diepte_begin	Diepte_eind	Hor_code	Storing bouwsteen	Organische stof (%)	Orgstof_p10	Orgstof_p90	Lutum (<2 µm)	Lutum_p10	Lutum_p90	SiH (2-50 µm)	Leem (<50 µm)	Leem_p10	Leem_p90	M50 (µm)	M50_p10	M50_p90	pH-KCl	pH_p10	pH_p90	berevende dichtheid	Bodemnr rapp. 654
BOFEK-eendheid	Laag_nr																							
Veengronden																								
	101	1	0	15	1Ahg	B17	35.0	25.0	50.0	40	30	80	40	80	70	100	110	90	130	4.9	4.5	5.5	0.477	1050
	101	2	15	30	1AC	O17	50.0	30.0	70.0	60	40	70	35	95	80	100	110	90	130	5.0	4.5	5.5	0.436	1050
	101	3	30	50	1CW	O17	75.0	40.0	90.0	18	6	30	57	75	45	85	125	110	140	5.1	4.7	5.5	0.232	1050
	101	4	50	120	1Cu	O17	80.0	40.0	90.0	18	6	30	57	75	45	85	125	110	140	5.1	4.7	5.5	0.226	1050
	102	1	0	20	1Ahg	B17	35.0	25.0	50.0	25	15	50	45	70	50	90	150	130	190	5.0	4.5	5.5	0.477	1070
	102	2	20	40	1CW	O17	70.0	30.0	80.0	18	6	30	57	75	45	85	125	110	140	5.1	4.7	5.5	0.238	1070
	102	3	40	80	1Cu	O17	75.0	40.0	90.0	18	6	30	57	75	45	85	125	110	140	5.1	4.7	5.5	0.232	1070
	102	4	80	100	2Cu1	O18	20.0	10.0	50.0	8	4	12	27	35	15	50	140	130	160	5.1	4.7	5.5	0.252	1070
	102	5	100	120	2Cu2	O2	2.0	0.5	5.0	4	2	8	12	16	10	25	160	140	180	5.2	4.7	5.5	1.537	1070
	103	1	0	20	1Apg	B16	35.0	25.0	50.0	6	4	10	14	20	10	30	150	130	180	4.9	4.5	5.5	0.56	1100
	103	2	20	50	1CW	O17	75.0	40.0	85.0	18	6	30	57	75	45	85	125	110	140	5.1	4.7	5.5	0.232	1100
	103	3	50	70	1Cu	O17	80.0	40.0	85.0	18	6	30	57	75	45	85	125	110	140	5.1	4.7	5.5	0.226	1100
	103	4	70	120	2Cu	O2	0.5	0.2	7.0	3	2	8	9	12	8	30	160	140	180	5.1	4.7	5.5	1.655	1100
	104	1	0	20	1Apg	B16	35.0	25.0	50.0	8	4	15	22	30	20	40	150	130	180	4.9	4.5	5.5	0.477	1111
	104	2	20	50	1CW	O17	75.0	40.0	85.0	18	6	30	57	75	45	85	125	110	140	5.1	4.7	5.5	0.232	1111
	104	3	50	70	1Cu	O17	80.0	40.0	85.0	18	6	30	57	75	45	85	125	110	140	5.1	4.7	5.5	0.226	1111
	104	4	70	90	2Cu	O2	0.5	0.2	7.0	3	2	8	9	12	8	30	160	140	180	5.1	4.7	5.5	1.655	1111
	104	5	90	120	3Cu	O14	0.5	0.2	4.0	8	4	12	47	55	40	70	130	120	160	5.1	4.7	5.5	1.398	1111
	105	1	0	8	1Ahg	B17	20.0	15.0	30.0	60	40	70	30	90	70	100	110	90	130	4.9	4.5	5.5	0.641	1200
	105	2	8	30	1CWg	O13	10.0	5.0	30.0	60	40	70	30	90	70	100	110	90	130	4.9	4.5	5.5	0.918	1200
	105	3	30	60	2CW	O16	75.0	60.0	90.0	22	10	60	38	60	40	80	110	90	130	3.6	3.2	4.0	0.232	1200
	105	4	60	120	2Cu	O16	90.0	70.0	95.0	8	4	20	22	30	12	50	130	100	150	3.2	3.0	4.0	0.215	1200
	106	1	0	25	1Ap	B4	2.0	0.5	3.0	3	1	5	52	55	30	70	80	70	100	7.4	7.1	7.8	1.1177	1255
	106	2	25	40	2CW	O17	70.0	40.0	85.0	8	6	20	22	30	10	40	140	110	160	5.1	4.7	5.5	0.238	1255
	106	3	40	75	2Cu	O17	75.0	40.0	85.0	8	6	20	22	30	10	40	140	110	160	5.1	4.7	5.5	0.232	1255
	106	4	75	120	3Cu	O2	1.0	0.1	5.0	2	1	4	8	10	5	20	160	140	180	5.1	4.7	5.5	1.635	1255
	107	1	0	10	1Ahg	B18	65.0	50.0	70.0	40	20	80	35	75	40	90	110	80	130	5.0	4.5	5.3	0.471	1281
	107	2	10	40	1CW	O16	80.0	50.0	90.0	40	20	60	35	75	40	90	110	80	130	4.4	4.0	5.0	0.226	1281
	107	3	40	120	1Cu	O16	87.0	60.0	95.0	22	10	60	38	60	40	80	110	90	130	3.6	3.2	4.0	0.219	1281
	108	1	0	12	1Ah	B16	40.0	20.0	60.0	10	4	20	10	20	10	35	135	120	160	4.8	4.2	5.0	0.462	1310
	108	2	12	35	1CW	O17	70.0	60.0	90.0	10	6	30	10	20	10	35	125	110	140	4.7	4.2	5.0	0.238	1310
	108	3	35	85	1Cu	O17	85.0	60.0	90.0	10	6	30	10	20	10	35	125	110	140	4.7	4.2	5.0	0.221	1310
	108	4	85	120	2Cu	O2	0.5	0.1	5.0	3	1	4	9	12	6	20	160	140	180	4.7	4.2	5.2	1.655	1310
	109	1	0	20	1Aap	B15	15.0	5.0	30.0	4	2	8	11	15	8	20	145	130	160	4.9	4.5	5.1	0.64	1340
	109	2	20	45	1CW	O17	85.0	60.0	90.0	4	2	8	4	8	4	10	140	130	170	4.0	3.8	4.9	0.221	1340
	109	3	45	70	1Cu	O17	82.0	60.0	90.0	4	2	8	4	8	4	10	140	130	170	4.0	3.2	4.9	0.224	1340
	109	4	70	85	2Ahb	O3	8.0	5.0	15.0	6	4	15	24	30	10	45	130	110	180	4.7	4.2	5.2	1.234	1340
	109	5	85	120	2Cu	O2	0.4	0.1	6.0	3	1	4	7	10	6	20	130	110	180	4.7	4.2	5.2	1.639	1340
	110	1	0	20	1Aap	B15	15.0	5.0	30.0	3	2	6	9	12	8	20	145	130	180	4.6	4.0	5.0	0.64	1350
	110	2	20	55	1CW	O16	93.0	70.0	98.0	4	2	8	4	8	4	10	140	130	170	3.4	3.2	4.5	0.187	1350
	110	3	55	70	2Ahb	O2	5.0	4.0	15.0	5	3	10	9	14	6	25	135	110	180	4.7	4.2	5.2	1.378	1350
	110	4	70	90	2Bhb	O1	8.0	3.0	15.0	3	2	6	5	8	6	20	140	110	180	4.7	4.2	5.2	1.346	1350
	110	5	90	120	2Cu	O1	0.4	0.1	3.0	3	2	6	5	8	6	20	140	110	180	4.7	4.2	5.2	1.650	1350
Moerige gronden																								
	201	1	0	20	1Apg	B17	30.0	20.0	40.0	45	25	50	43	88	70	95	110	90	140	5.6	5.0	6.0	0.599	2080
	201	2	20	30	1CWg	O18	60.0	30.0	70.0	45	25	50	43	88	70	95	110	90	140	5.6	5.0	6.0	0.251	2080
	201	3	30	70	2Cg	O12	3.0	1.0	10.0	46	25	55	49	95	70	100	110	90	140	8.2	5.0	7.0	1.214	2080
	201	4	70	120	2Cn	O12	2.0	1.0	10.0	38	25	55	57	95	70	100	110	90	140	7.0	5.0	7.2	1.291	2080
	202	1	0	8	1Apg	B9	12.0	5.0	20.0	20	15	40	25	45	40	65	155	130	180	5.0	4.8	6.0	0.976	2010
	202	2	8	15	1Apg	B9	8.0	5.0	20.0	20	15	40	25	45	40	65	155	130	180	5.0	4.8	6.0	1.174	2010
	202	3	15	30	1CWg	O11	3.0	2.0	10.0	26	15	45	34	60	40	80	155	130	180	5.2	4.8	6.0	1.343	2010
	202	4	30	50	2CW	O16	65.0	30.0	80.0	18	6	30	57	75	45	85	150	130	180	5.2	4.2	6.0	0.244	2010
	202	5	50	60	3Ahb	O4	10.0	5.0	20.0	8	4	15	27	35	20	50	140	130	180	5.0	4.5	6.0	1.172	2010
	202	6	60	80	3Bhb	O2	4.0	2.0	12.0	4	2	6	8	12	8	20	160	130	180	5.0	4.5	6.0	1.496	2010
	202	7	80	120	3Cu	O1	0.4	0.1	2.0	3	2	5	5	8	5	20	160	130	180	5.0	4.5	6.0	1.668	2010
	203	1	0	20	1Apg	B15	25.0	15.0	50.0	4	2	20	19	23	10	40	170	120	200	4.8	4.5	5.5	0.597	2130
	203	2	20	30	1CWg	O18	50.0	30.0	70.0	8	4	30	22	30	20	40	130	120	180	4.8	4.5	5.5	0.265	2130
	203	3	30	40	2Ahb	O7	3.0	1.0	10.0	20	10	40	30	50	30	70	140	120	180	4.8	4.5	5.5	1.388	2130
	203	4	40	120	2Cu	O2	0.4	0.1	5.0	3	2	6	9	12	6	30	160	120	180	5.1	4.5	6.0	1.88	2130
	204	1	0	20	1Aap	B15	13.0	5.0	30.0	6	2	10	14	20	8	25	145	130	170	4.6	4.0	5.0	1.14	2070
	204	2	20	30	2CW	O16	85.0	60.0	95.0	3	2	8	5	8	4	10	140	130	170	3.8	3.2	4.2	0.173	2070
	204	3	30	40	2CW2	O16	90.0	60.0	95.0	3	2	8	5	8	4	10	140	130	170	3.8	3.2	4.2	0.169	2070
	204	4	40	50	3Ahb	O																		

BOFEK2012 profielen

BOFEK-beenrheid	Laag_nr	Dikte_begin	Dikte_eind	Hor_cods	Staring bouwsteen	Organische stof (%)	Orgstof_p10	Orgstof_p90	Lutum (<2µm)	Lutum_p10	Lutum_p90	Silt (2-50µm)	Leem (<50µm)	Leem_p10	Leem_p90	M50 (µm)	M50_p10	M50_p90	pH-HCl	pH_p10	pH_p90	berevende dichtheid	Bodemnr resp. 654
205	1	0	20	1Aap	B2	9.0	2.0	15.0	4	2	8	9	13	8	20	160	140	180	4.8	4.2	5.5	1.26	2040
205	2	20	35	2Cw	O18	60.0	30.0	90.0	4	2	8	11	15	8	30	160	130	180	4.8	4.0	5.2	0.251	2040
205	3	35	60	3Ahb	O2	3.0	1.0	10.0	3	2	6	9	12	6	25	150	130	180	4.5	4.0	5.2	1.464	2040
205	4	60	80	3Bhb	O2	4.5	1.0	10.0	3	2	6	9	12	6	25	150	130	180	4.5	4.0	5.2	1.474	2040
205	5	80	100	3BCb	O1	2.0	0.5	5.0	3	2	6	5	8	6	25	150	130	180	4.5	4.0	5.2	1.588	2040
205	6	100	120	3Cu	O1	0.3	0.1	2.0	3	2	6	5	8	6	25	150	130	180	4.5	4.0	5.2	1.671	2040
206	1	0	20	1Aap	B2	10.0	2.0	15.0	4	2	8	11	15	8	20	160	140	180	4.8	4.2	5.5	1.229	2050
206	2	20	35	2Cw	O18	60.0	30.0	90.0	4	2	8	11	15	8	30	160	130	180	4.8	4.0	5.2	0.251	2050
206	3	35	60	3Ahb	O2	3.0	1.0	10.0	3	2	6	9	12	6	25	150	130	180	4.3	3.7	5.2	1.464	2050
206	4	60	80	3Bhb	O2	4.5	1.0	10.0	3	2	6	9	12	6	25	150	130	180	4.3	3.7	5.2	1.474	2050
206	5	80	100	3BCb	O1	2.0	0.5	5.0	3	2	6	5	8	6	25	150	130	180	4.3	3.7	5.2	1.588	2050
206	6	100	120	3Cu	O6	0.2	0.1	0.8	20	12	22	15	35	30	50	170	160	200	4.1	3.6	5.5	1.529	2050
Zandgronden																							
301	1	0	8	1Ah	B1	4.6	2.0	8.0	3	1	4	6	9	5	15	170	150	200	3.4	2.9	4.0	1.4081	4140
301	2	8	15	1Eu	O1	2.1	0.5	5.0	3	1	4	6	9	5	15	170	150	200	3.5	3.2	4.0	1.5818	4140
301	3	15	30	1Bhs	O1	4.2	1.0	12.0	3	1	4	6	9	5	15	170	150	200	4.2	4.0	4.8	1.4907	4140
301	4	30	50	1BCy	O1	0.8	0.3	2.0	3	1	4	5	8	5	15	170	150	200	4.5	4.0	4.8	1.6457	4140
301	5	50	120	1Cy	O1	0.3	0.1	1.0	2	1	4	4	6	5	15	180	150	200	4.6	4.0	4.8	1.8677	4140
302	1	0	8	1Ah	B1	3.0	1.0	10.0	2	1	4	3	5	4	10	170	150	200	3.4	3.0	4.4	1.4733	10240
302	2	8	10	1Eu	O1	1.2	0.3	2.0	2	1	4	3	5	4	10	170	150	200	3.4	3.0	4.4	1.6297	10240
302	3	10	15	1Bhe	O1	1.8	0.5	3.0	2	1	4	3	5	4	10	170	150	200	4.2	3.5	4.8	1.6009	10240
302	4	15	120	1Cu	O1	0.2	0.2	1.5	2	1	4	3	5	4	10	170	150	200	4.5	4.0	5.0	1.8801	10240
303	1	0	15	1Apg	B9	6.0	1.0	10.0	20	8	30	15	35	20	60	170	150	180	4.9	4.6	5.5	1.2675	10190
303	2	15	35	1Cg	O10	1.8	0.5	5.0	18	8	30	12	30	20	60	170	150	180	4.9	4.6	5.5	1.4457	10190
303	3	35	120	2Cu	O1	0.3	0.1	2.0	3	2	6	4	7	4	14	160	130	180	5.0	4.6	5.5	1.675	10190
304	1	0	25	1Ap	B2	5.7	2.0	9.0	3	2	4	10	13	6	16	180	130	200	4.8	4.2	5.2	1.3649	4010
304	2	25	40	1Bhe	O2	2.2	0.8	5.0	3	2	4	8	11	6	16	160	130	200	4.5	4.0	5.0	1.5759	4010
304	3	40	60	1BCe	O2	1.0	0.4	2.0	3	2	4	8	11	6	16	160	130	200	4.5	4.0	5.0	1.6327	4010
304	4	60	120	1Cg	O1	0.3	0.1	1.0	3	2	4	6	9	6	20	160	130	200	4.7	4.0	5.0	1.6718	4010
305	1	0	25	1Ap	B2	5.0	2.0	8.0	3	2	4	8	11	6	16	170	150	200	4.8	4.2	5.2	1.3909	4020
305	2	25	35	1Bhe	O1	2.4	0.8	5.0	2	1	4	7	9	6	16	170	150	200	4.5	4.0	5.0	1.5682	4020
305	3	35	55	1BCe	O1	1.0	0.4	2.0	2	1	4	7	9	6	16	170	140	200	4.5	4.0	5.0	1.6342	4020
305	4	55	90	1Cg1	O1	0.3	0.1	1.0	2	1	4	7	9	6	16	170	140	200	4.7	4.0	5.0	1.8693	4020
305	5	90	120	1Cg2	O5	0.3	0.1	1.0	2	1	4	5	7	4	12	250	200	500	4.7	4.0	5.0	1.5764	4020
306	1	0	20	1Ap	B2	5.7	2.0	10.0	3	2	8	9	12	6	16	170	150	200	4.8	4.2	5.2	1.3649	4031
306	2	20	40	1Bhe	O2	2.2	0.8	5.0	3	2	8	9	12	6	16	170	150	200	4.4	4.2	5.0	1.5717	4031
306	3	40	50	1BC	O2	0.8	0.4	2.0	3	2	8	9	12	6	16	170	150	200	4.4	4.2	5.0	1.638	4031
306	4	50	100	1Cg	O2	0.3	0.1	1.0	3	2	8	12	15	6	30	150	130	200	4.6	4.2	5.0	1.6554	4031
306	5	100	120	2Cg	O14	0.3	0.1	2.0	15	8	30	40	55	45	90	130	100	150	4.7	4.2	5.0	1.5592	4031
307	1	0	20	1Ap	B8	8.0	3.0	12.0	13	8	35	22	35	25	50	155	130	180	5.4	4.5	6.5	1.2133	4040
307	2	20	35	1Cg	O9	3.0	1.0	6.0	18	8	35	22	40	25	50	155	130	180	5.4	4.5	7.0	1.403	4040
307	3	35	45	2Ahb	O2	7.0	2.0	12.0	4	2	8	10	14	6	25	155	130	180	5.0	4.2	6.0	1.378	4040
307	4	45	70	2Bheb	O1	0.8	0.3	3.0	3	2	6	5	8	4	25	160	130	180	5.0	4.2	5.5	1.6481	4040
307	5	70	120	2Cu	O1	0.3	0.1	1.0	2	2	4	6	8	4	25	160	130	180	5.0	4.2	5.5	1.6735	4040
308	1	0	20	1Ap	B8	8.0	3.0	12.0	13	8	35	22	35	25	50	155	130	180	5.4	4.5	6.5	1.2133	4041
308	2	20	35	1Cg	O9	3.0	1.0	6.0	18	8	35	22	40	25	50	155	130	180	5.4	4.5	7.0	1.403	4041
308	3	35	45	2Ahb	O2	7.0	2.0	12.0	4	2	8	10	14	6	25	155	130	180	5.0	4.2	6.0	1.378	4041
308	4	45	70	2Bheb	O1	0.8	0.3	3.0	3	2	6	5	8	4	25	160	130	180	5.0	4.2	5.5	1.6481	4041
308	5	70	100	2Cg	O1	0.3	0.1	1.0	2	2	4	6	8	4	25	160	130	180	5.0	4.2	5.5	1.6735	4041
308	6	100	120	3Cg	O6	0.3	0.1	1.0	15	10	25	20	35	30	50	170	150	200	5.0	4.2	5.5	1.5592	4041
309	1	0	20	1Aap	B2	5.5	3.0	8.0	4	3	6	10	14	8	18	170	150	200	4.8	4.5	5.2	1.3683	10010
309	2	20	30	1ACg	B2	2.5	1.0	5.0	4	3	6	10	14	8	18	170	150	200	5.0	4.8	6.0	1.4801	10010
309	3	30	60	1Cg1	O2	0.8	0.1	2.0	4	2	6	10	14	8	35	170	150	200	5.2	5.0	6.0	1.633	10010
309	4	60	120	1Cg2	O1	0.3	0.1	2.0	3	2	6	6	9	6	35	170	150	200	5.6	5.0	6.0	1.6693	10010
310	1	0	25	1Aap	B2	4.4	3.0	7.0	4	2	6	7	11	8	16	180	140	180	4.7	4.5	5.0	1.4144	4090
310	2	25	40	1Ahb	B2	3.9	3.0	6.0	4	2	6	7	11	8	16	160	140	180	4.6	4.5	5.0	1.433	4090
310	3	40	60	1Bhb	O1	1.4	0.5	3.0	3	1	4	5	8	6	16	180	140	180	4.5	4.0	5.0	1.6187	4090
310	4	60	75	1BCb	O1	0.6	0.3	1.0	3	1	4	5	8	6	16	160	140	180	4.6	4.0	5.0	1.6582	4090
310	5	75	120	1Cu	O1	0.3	0.1	1.0	3	1	4	5	8	6	16	160	140	180	4.7	4.0	5.0	1.6735	4090
311	1	0	25	1Aap	B2	4.8	3.0	7.0	4	3	6	10	14	8	18	160	140	180	4.4	4.2	5.0	1.3945	8060
311	2	25	75	1Aa	B2	4.8	3.0	7.0	4	3	6	8	12	8	18	160	140	180	4.2	4.0	4.8	1.3982	8060
311	3	75	90	1Ahb	B2	3.9	3.0	7.0	4	3	6	8	12	6	18	160	140	180	4.2	4.0	4.8	1.4313	8060
311	4	90	105	1Bhs	O2	1.7	0.5	5.0	3	2	6	7	10	6	18	160	140	180	4.4	4.0	4.8	1.601	8060
311	5	105	120	1Cu	O1	0.3	0.1	1.0	3	2	6	5	8	6	18	160	140	180	4.7	4.0	5.0	1.6735	8060
312	1	0	20	1Ap	B3	5.5	3.0	10.0	4	3	8	18	22	12	35	150	130	170	5.0	4.5	5.5	1.3495	4050
312	2	20	40	1Bhe	O3	3.5	0.8	7.0	4	3	8	16	20	12	35	150	130	170	4.5	4.2	5.0	1.4943	4050
312	3	40	55	1BCe	O3	1.1	0.4	3.0	4														

BOFEK2012 profielen

BOFEK-eendheid	Laag_nr	Diepte_begin	Diepte_eind	Hor_code	Staring_boursteen	Organische stof (%)	Orgastot_p10	Orgastot_p90	Lutum (<2 µm)	Lutum_p10	Lutum_p90	Silt (2-50 µm)	Leem (<50 µm)	Leem_p10	Leem_p90	M50 (µm)	M50_p10	M50_p90	pH-KCl	pH_p10	pH_p90	berevende dichtheid	Bodemnr-rapp. 654
313	1	0	20	1Aap	B3	5.2	3.0	10.0	6	4	8	17	23	15	35	150	130	180	5.0	4.6	5.2	1.4182	10030
313	2	20	30	1ACg	B3	2.4	1.0	5.0	6	4	8	17	23	15	35	150	130	180	5.0	4.6	5.5	1.4586	10030
313	3	30	60	1Cg1	O3	0.4	0.1	2.0	4	2	8	14	18	10	35	150	130	180	5.2	4.6	5.5	1.6408	10030
313	4	60	120	1Cg2	O2	0.3	0.1	2.0	3	2	6	8	11	6	35	160	130	180	5.6	4.6	7.0	1.6678	10030
314	1	0	20	1Aap	B3	5.5	3.0	10.0	7	4	10	18	25	15	35	140	130	180	5.0	4.6	5.2	1.3352	10061
314	2	20	30	1ACg	O3	2.4	1.0	5.0	7	4	10	18	25	15	35	140	130	180	5.0	4.6	5.5	1.5154	10061
314	3	30	50	1Cg1	O3	0.4	0.1	2.0	7	4	10	18	25	15	35	140	130	180	5.0	4.6	5.5	1.6049	10061
314	4	50	90	1Cg2	O3	0.3	0.1	2.0	5	4	8	17	22	10	35	140	130	180	5.0	4.6	5.5	1.6228	10061
314	5	90	120	2Cg	O14	0.3	0.1	2.0	12	6	18	58	70	45	85	120	100	150	5.3	4.6	6.0	1.5887	10061
315	1	0	20	1Ap	B3	5.9	3.0	12.0	5	3	8	19	24	12	35	150	130	180	5.0	4.5	5.5	1.3304	4070
315	2	20	40	1Bhe	O3	3.8	0.8	12.0	5	3	8	19	24	12	35	150	130	180	4.5	4.2	5.0	1.4684	4070
315	3	40	50	1Bce	O3	0.8	0.3	2.0	5	3	8	19	24	12	35	150	130	180	4.3	4.0	5.0	1.5979	4070
315	4	50	90	1Cg	O2	0.3	0.1	1.0	5	3	8	9	14	8	35	170	150	180	4.3	4.0	5.0	1.6579	4070
315	5	90	120	2Cg	O6	0.3	0.1	1.0	18	12	25	21	37	30	50	170	150	200	4.3	3.8	5.0	1.5498	4070
316	1	0	15	1Apg	B8	8.0	4.0	15.0	13	8	30	22	35	30	60	150	130	180	5.2	4.8	6.0	1.2133	10080
316	2	15	30	1Cg	O10	2.0	1.0	5.0	18	8	30	26	44	30	60	150	130	180	5.2	4.8	6.0	1.4385	10080
316	3	30	60	2Cg1	O3	0.4	0.1	2.0	4	2	8	18	22	10	35	150	130	180	5.2	4.8	5.5	1.6255	10080
316	4	60	120	2Cg2	O2	0.3	0.1	2.0	3	2	6	10	13	6	35	160	130	180	5.8	4.6	7.0	1.663	10080
317	1	0	25	1Aap	B3	5.0	3.0	7.0	4	3	8	17	21	15	35	150	130	180	4.6	4.2	5.0	1.3693	8090
317	2	25	70	1Ae	B3	4.5	3.0	7.0	4	3	8	15	19	15	35	150	130	180	4.4	4.0	4.8	1.3923	8090
317	3	70	90	1Ahb	B3	3.3	2.0	7.0	4	3	8	15	19	15	35	150	130	180	4.4	4.0	4.8	1.4365	8090
317	4	90	110	1Bhs	O3	1.8	0.5	5.0	4	3	8	15	19	15	35	150	130	180	4.4	4.0	4.8	1.5801	8090
317	5	110	120	1Cu	O3	0.3	0.1	1.0	4	3	8	15	19	10	35	150	130	180	4.8	4.0	5.0	1.6422	8090
318	1	0	25	1Aap	B3	6.0	4.0	10.0	5	3	10	23	28	15	40	150	130	180	4.4	4.0	5.0	1.3142	8101
318	2	25	60	1Ae	B3	5.0	3.0	8.0	5	3	10	23	28	15	40	150	130	180	4.2	3.9	4.8	1.3467	8101
318	3	60	75	1Ahb	B3	3.6	2.0	8.0	5	3	10	20	25	15	40	150	130	180	4.2	3.9	4.8	1.4063	8101
318	4	75	90	1Bhb	O3	1.3	0.3	5.0	5	3	10	20	25	10	40	150	130	180	4.3	3.9	4.8	1.5704	8101
318	5	90	120	2Cg	O14	0.3	0.1	1.0	12	8	20	43	55	45	85	120	100	150	4.3	3.9	4.8	1.5887	8101
319	1	0	25	1Aap	B3	5.6	3.0	10.0	5	3	8	19	24	15	35	150	130	180	4.7	4.5	5.2	1.3402	4130
319	2	25	40	1Ahb	B3	5.0	3.0	10.0	5	3	8	19	24	15	35	150	130	180	4.6	4.5	5.2	1.3603	4130
319	3	40	55	1Bhb	O3	1.8	0.5	5.0	5	3	8	16	21	15	35	150	130	180	4.5	4.2	5.0	1.564	4130
319	4	55	85	1Cg	O3	0.4	0.1	1.0	5	3	8	18	21	15	35	150	130	180	4.4	4.2	5.0	1.6296	4130
319	5	85	120	2Cg	O6	0.2	0.1	1.0	17	12	25	18	35	30	45	170	150	200	4.3	4.0	5.0	1.5576	4130
320	1	0	8	1Ah	B5	6.8	2.0	12.0	2	1	4	6	8	5	15	250	200	400	3.2	2.9	4.0	1.2714	4160
320	2	8	15	1Eu	O5	2.3	0.5	5.0	2	1	4	6	8	5	15	250	200	400	3.3	3.0	4.0	1.4887	4160
320	3	15	30	1Bhs	O5	4.7	1.0	12.0	2	1	4	6	8	5	15	250	200	400	4.3	4.0	4.8	1.3969	4160
320	4	30	60	1BCy	O5	0.9	0.3	2.0	2	1	4	4	8	5	15	250	200	400	4.5	4.0	4.8	1.5505	4160
320	5	60	120	1Cy	O5	0.3	0.1	1.0	2	1	4	4	6	5	15	250	200	400	4.8	4.0	4.9	1.5775	4160
321	1	0	15	1Apg	B9	6.0	1.0	10.0	20	8	30	15	35	20	60	170	150	180	4.9	4.6	5.5	1.2675	10191
321	2	15	35	1Cg	O10	1.8	0.5	5.0	18	8	30	12	30	20	60	170	150	180	4.9	4.6	5.5	1.4457	10191
321	3	35	120	2Cg	O5	0.3	0.2	1.5	2	1	4	4	6	4	10	250	200	400	5.0	4.6	5.5	1.555	10191
322	1	0	25	1Aap	B5	4.0	3.0	6.0	4	3	6	9	13	9	18	250	200	400	4.6	4.2	5.0	1.3537	8110
322	2	25	60	1Ae	B5	3.5	2.0	6.0	4	3	6	9	13	9	18	250	200	400	4.3	4.0	4.8	1.3707	8110
322	3	60	90	1Bhb	O5	1.1	0.3	3.0	3	2	6	7	10	6	18	250	200	400	4.4	4.0	4.8	1.5363	8110
322	4	90	120	1Cu	O5	0.3	0.1	1.0	3	2	6	5	8	6	18	250	200	400	4.6	4.0	5.0	1.575	8110
323	1	0	25	1Ah	B2	1.5	0.5	3.0	6	1	8	4	10	3	15	120	100	150	7.4	7.0	7.8	1.489	11040
323	2	25	40	1Cg	O2	0.8	0.3	2.0	6	1	8	4	10	3	15	120	100	150	7.4	7.0	7.8	1.5957	11040
323	3	40	120	1Cu	O2	0.2	0.1	2.0	6	1	8	4	10	3	15	120	100	150	7.4	7.0	7.8	1.6243	11040
324	1	0	5	1Ah	B1	4.0	0.8	7.0	2	1	6	2	4	2	10	180	150	200	7.0	7.0	7.8	1.4306	11050
324	2	5	50	1Cg	O1	0.2	0.2	1.0	2	1	6	2	4	2	10	180	150	200	7.4	7.0	7.8	1.6749	11050
324	3	50	120	1Cg	O1	0.2	0.2	1.0	2	1	6	2	4	2	10	180	150	200	7.4	7.0	7.8	1.6749	11050
325	1	0	30	1Ap	B8	2.2	1.5	5.0	16	8	25	24	40	30	60	110	100	150	7.4	7.0	7.8	1.4479	11030
325	2	30	40	2Cg	O2	0.8	0.3	2.0	6	1	8	4	10	3	15	120	100	150	7.4	7.0	7.8	1.5957	11030
325	3	40	120	2Cg	O2	0.3	0.1	1.5	6	1	8	4	10	3	15	120	100	150	7.4	7.0	7.8	1.5957	11030
326	1	0	120	1Cu	O5	0.3	0.1	1.0	1	1	4	1	2	2	4	275	200	400	7.4	7.0	7.8	1.5417	11060
327	1	0	30	1Aap	B1	1.5	0.5	4.0	2	2	6	3	5	3	20	200	180	240	7.0	7.0	8.0	1.514	8120
327	2	30	50	1Ae	B1	1.0	0.5	4.0	2	2	6	3	5	3	20	200	180	240	7.0	7.0	8.0	1.5354	8120
327	3	50	120	1Cu	O1	0.3	0.1	1.0	2	2	6	3	5	3	20	200	180	240	7.0	7.0	8.0	1.6491	8120
Kleigronden																							
401	1	0	50	1Cn1	O9	3.0	1.0	15.0	18	8	35	18	32	20	70	80	70	100	7.8	7.5	8.0	1.4188	13010
401	2	50	75	1Cn2	O8	2.0	0.5	5.0	10	8	35	12	22	20	70	80	70	100	7.8	7.5	8.0	1.5074	13010
401	3	75	120	2Cu	O2	0.5	0.2	4.0	5	3	10	7	12	5	20	100	80	130	7.4	7.0	7.8	1.5199	13010
402	1	0	25	1Apg	O9	3.0	2.0	5.0	17	12	25	33	50	30	70	80	70	100	7.0	6.8	7.5	1.4109	15100
402	2	25	40	1Cwg	O9	1.0	0.5	2.0	17	12	25	33	50	30	70	80	70	100	7.3	7.0	7.8	1.4867	15100

BOFEK2012 profielen

BOFEK-eendheid	laag_nr	Diepte_begin	Diepte_eind	Hor_code	Storing bouwsteen	Organische stof (%)	Orgstot_p10	Orgstot_p90	Lutum (<2 µm)	Lutum_p10	Lutum_p60	Silt (2-50 µm)	Leem (<50 µm)	Leem_p10	Leem_p60	M50 (µm)	M50_p10	M50_p60	pH-KCl	pH_p10	pH_p60	bereivings dichtheid	Bodem-nr rapp. 654
402	3	40	60	1Cg	O11	1.0	0.5	2.0	28	12	35	37	65	40	80	80	70	100	7.3	7.0	7.8	1.3959	15100
402	4	60	75	2Cw	O17	45.0	30.0	60.0	45	35	60	35	80	60	95	80	70	100	4.6	4.0	5.0	0.4	15100
402	5	75	120	2Cu	O17	85.0	60.0	90.0	45	35	60	35	80	60	95	80	70	100	4.6	4.0	5.0	0.35	15100
403	1	0	15	1Apg	B9	10.0	5.0	15.0	23	12	35	37	60	40	80	80	70	100	5.3	5.0	6.5	1.0611	15120
403	2	15	40	1Cwg	O10	3.0	1.0	5.0	23	12	35	37	60	40	80	80	70	100	5.5	5.0	6.5	1.365	15120
403	3	40	60	1Cg	O11	1.2	0.5	5.0	30	12	35	40	70	40	80	80	70	100	5.5	5.0	6.5	1.3727	15120
403	4	60	80	2Cw	O17	45.0	30.0	60.0	40	12	55	45	85	60	95	80	70	100	4.6	4.0	5.0	0.4	15120
403	5	80	120	2Cu	O17	85.0	60.0	90.0	40	12	55	45	85	60	95	80	70	100	4.6	4.0	5.0	0.35	15120
404	1	0	8	1Ahg	B12	12.0	4.0	20.0	55	40	70	40	95	90	100	100	90	130	5.0	4.8	6.0	0.8591	16040
404	2	8	20	1ACg	B12	8.0	4.0	15.0	55	40	70	40	95	90	100	100	90	130	5.0	4.8	6.0	1.0089	16040
404	3	20	40	1Cwg	O13	3.0	1.0	10.0	60	40	70	37	97	90	100	100	90	130	5.2	4.8	6.0	1.1368	16040
404	4	40	60	1Cg	O13	3.0	1.0	10.0	65	40	70	34	99	90	100	100	90	130	5.2	4.8	6.0	1.1116	16040
404	5	60	120	2Cu	O17	65.0	40.0	80.0	65	40	70	34	99	90	100	100	90	130	5.2	4.8	5.4	0.46	16040
405	1	0	8	1Ahg	B11	12.0	5.0	20.0	40	35	60	55	95	85	100	70	80	100	5.1	4.8	6.0	0.9055	15130
405	2	8	20	1ACg	B11	7.0	2.0	10.0	40	35	60	55	95	85	100	70	80	100	5.1	4.8	6.0	1.1135	15130
405	3	20	50	1Cwg	O12	3.0	1.0	5.0	45	35	60	50	95	85	100	70	80	100	5.1	4.8	6.0	1.2194	15130
405	4	50	70	2Cw	O17	45.0	30.0	60.0	40	35	60	55	95	60	100	80	70	100	4.6	4.0	5.0	0.4	15130
405	5	70	120	2Cu	O17	85.0	60.0	90.0	40	35	60	55	95	60	100	80	70	100	4.6	4.0	5.0	0.35	15130
406	1	0	25	1Ap	B8	2.0	1.0	4.0	14	8	18	34	48	25	60	85	70	130	7.1	7.0	7.8	1.4722	15250
406	2	25	50	1Cw	O9	0.8	0.5	2.0	14	8	18	34	48	25	60	85	70	130	7.1	7.0	7.8	1.5244	15250
406	3	50	85	1Cg1	O8	0.5	0.5	2.0	9	8	18	26	35	25	60	85	70	130	7.1	7.0	7.8	1.595	15250
406	4	85	105	1Cg2	O12	1.0	0.5	2.0	39	8	50	51	90	25	100	85	70	130	7.1	7.0	7.8	1.3156	15250
406	5	105	120	2Cu	O17	85.0	60.0	90.0	40	35	60	55	95	60	100	80	70	100	4.6	4.0	5.0	0.38	15250
407	1	0	10	1Ap1	B9	5.0	1.0	8.0	22	18	25	43	65	30	70	85	70	130	7.0	6.8	7.8	1.2972	15290
407	2	10	25	1Ap2	B9	3.6	1.0	5.0	22	18	25	43	65	30	70	85	70	130	7.0	6.8	7.8	1.3512	15290
407	3	25	50	1Cwg	O10	1.0	0.5	3.0	22	18	25	43	65	30	70	85	70	130	7.3	7.0	7.8	1.444	15290
407	4	50	105	1Cg	O10	0.4	0.2	3.0	18	12	25	34	52	30	70	85	70	130	7.3	7.0	7.8	1.5185	15290
407	5	105	120	2Cu	O17	65.0	60.0	90.0	40	35	60	55	95	60	100	80	70	100	4.6	4.0	5.0	0.45	15290
408	1	0	25	1Ap	B8	1.7	1.0	3.0	14	8	18	26	40	30	50	105	70	130	7.3	7.1	7.8	1.4835	15180
408	2	25	50	1Cw	O9	0.8	0.5	2.0	12	8	18	25	37	30	50	110	70	130	7.4	7.1	7.8	1.5431	15180
408	3	50	70	1Cg	O8	0.8	0.5	2.0	8	8	18	13	21	5	50	120	70	130	7.4	7.1	7.8	1.5652	15180
408	4	70	120	2Cg	O1	0.4	0.2	2.0	3	2	10	6	9	5	25	125	70	150	7.4	7.1	7.8	1.6301	15180
409	1	0	20	1Apg	B8	3.0	1.0	3.0	14	8	18	20	34	25	50	170	140	190	5.3	4.3	5.5	1.435	17020
409	2	20	40	1Cwg1	O9	0.8	0.5	2.0	12	8	18	20	32	25	50	170	140	190	4.6	4.3	5.5	1.5431	17020
409	3	40	65	1Cwg2	O10	0.4	0.2	2.0	20	8	25	32	52	25	60	130	110	190	4.6	4.3	5.5	1.5803	17020
409	4	65	120	2Cg	O5	0.3	0.2	2.0	2	2	12	8	10	6	25	320	200	400	5.0	4.3	5.5	1.4667	17020
410	1	0	25	1Ap	B9	2.0	1.0	3.0	22	18	25	43	65	30	70	110	80	130	7.3	7.1	7.8	1.4063	15200
410	2	25	50	1Cw	O10	0.8	0.5	2.0	22	18	25	43	65	30	70	110	80	130	7.4	7.1	7.8	1.4539	15200
410	3	50	70	1Cwg	O9	0.8	0.5	2.0	13	8	18	22	35	5	50	120	70	130	7.4	7.1	7.8	1.5337	15200
410	4	70	120	2Cg	O1	0.4	0.2	2.0	3	2	10	8	9	5	25	125	70	150	7.4	7.1	7.8	1.6301	15200
411	1	0	25	1Ap	B9	3.0	1.0	4.0	23	18	30	47	70	60	85	130	120	160	5.1	4.3	5.5	1.385	17070
411	2	25	45	1Bw	O10	1.5	0.5	3.0	23	18	30	47	70	60	85	130	120	160	4.8	4.3	5.5	1.4158	17070
411	3	45	70	1Cwg	O11	0.4	0.2	2.0	34	18	45	56	90	40	95	130	110	190	4.2	4.0	5.5	1.3847	17070
411	4	70	120	1Cg	O11	0.3	0.2	2.0	28	25	35	52	80	60	90	140	130	190	4.6	4.3	5.5	1.4429	17070
412	1	0	25	1Ap	B10	2.5	1.0	3.0	33	25	40	44	77	40	90	100	80	120	7.3	7.1	7.8	1.3099	15220
412	2	25	50	1Cwg	O11	1.0	0.5	2.0	30	25	40	42	72	40	90	100	80	120	7.4	7.1	7.8	1.3806	15220
412	3	50	70	1Cg	O9	0.8	0.5	2.0	16	8	18	22	38	5	50	120	70	130	7.4	7.1	7.8	1.5081	15220
412	4	70	120	2Cg	O1	0.4	0.2	2.0	3	2	10	6	9	5	25	125	70	150	7.4	7.1	7.8	1.6301	15220
413	1	0	20	1Ap	B9	3.0	1.0	6.0	18	8	25	32	50	45	80	85	70	100	5.8	4.8	7.0	1.403	15450
413	2	20	80	1Cwg	O12	1.3	0.5	3.0	44	30	50	51	95	70	100	80	70	100	5.6	4.8	7.0	1.2721	15450
413	3	80	120	1Cwg	O9	0.6	0.5	2.0	17	12	50	33	50	40	100	80	70	100	7.2	6.8	7.4	1.5101	15450
414	1	0	10	1Apg1	B10	6.0	2.0	8.0	28	15	35	47	75	50	90	120	100	150	5.6	5.0	7.0	1.2184	16130
414	2	10	20	1Apg2	B10	4.0	2.0	6.0	28	15	35	47	75	50	90	120	100	150	5.6	5.0	7.0	1.2952	16130
414	3	20	50	1Cwg	O11	0.9	0.5	4.0	32	15	40	53	85	50	90	120	100	150	5.6	5.4	7.0	1.3699	16130
414	4	50	100	1Cg1	O13	1.8	0.5	3.0	56	25	70	39	95	90	100	100	90	150	6.0	5.5	6.5	1.1866	16130
414	5	100	120	1Cg2	O10	0.6	0.5	3.0	22	10	35	22	44	30	70	135	90	150	6.3	6.0	7.5	1.4681	16130
415	1	0	15	1Ap1	B11	7.0	4.0	9.0	40	35	50	52	92	80	100	85	70	100	6.8	6.8	7.8	1.1135	15360
415	2	15	25	1Ap2	B11	4.0	2.0	6.0	45	35	50	47	92	80	100	85	70	100	6.8	6.8	7.8	1.1909	15360
415	3	25	70	1Cwg	O12	1.5	0.5	3.0	45	35	50	47	92	80	100	85	70	100	7.3	6.8	7.8	1.2598	15360
415	4	70	90	1Cg1	O11	1.5	0.5	3.0	33	25	50	37	70	60	100	85	70	100	7.3	6.8	7.8	1.3404	15360
415	5	90	120	1Cg2	O11	0.8	0.5	3.0	30	25	50	35	65	50	100	85	70	100	7.3	6.8	7.8	1.3897	15360
416	1	0	25	1Ap	B8	2.0	1.0	3.0	14	8	18	34	48	25	60	85	70	130	7.4	7.1	7.8	1.4722	15240
416	2	25	50	1Cw	O9	0.8	0.5	2.0	14	8	18	34	48	25	60	85	70	130	7.4	7.1	7.8	1.5244	15240
416	3	50	120	1Cg	O8	0.7	0.2	2.0	9	4	18	26	35	25	60	85	70	130	7.4	7.1	7.8	1.5787	

BOFEK2012 profielen

BOFEK-eendheid	Laag_nr	Diepte_begin	Diepte_eind	Hor_code	Staring bouwsteen	Organische stof (%)	Orgstof_p10	Orgstof_p90	Lutum (<2 µm)	lutum_p10	Lutum_p90	Silt (2-50 µm)	Leem (<50 µm)	Leem_p10	Leem_p90	M50 (µm)	M50_p10	M50_p90	pH-KCl	pH_p10	pH_p90	berekende dichtheid	Bodem-nr rapp. 654
417	2	25	45	1Cw	O9	1.0	0.5	3.0	15	8	18	20	35	25	55	170	150	210	5.5	5.0	6.5	1.5044	16210
417	2	45	120	1Cg	O10	0.7	0.5	3.0	18	8	25	24	42	25	55	170	150	210	5.5	5.0	6.5	1.4943	16210
418	1	0	25	1Ap	B9	2.0	1.0	4.0	22	18	25	43	65	30	70	95	70	130	7.4	7.1	7.8	1.4063	15270
418	2	25	50	1Cw	O10	1.2	0.5	2.0	22	18	25	43	65	30	70	95	70	130	7.4	7.1	7.8	1.4354	15270
418	3	50	120	1Cg	O9	0.6	0.2	2.0	14	8	18	34	48	25	60	85	70	130	7.4	7.1	7.8	1.5378	15270
419	1	0	10	1Ap1	B9	5.0	2.0	8.0	23	18	35	37	60	40	75	150	130	180	6.9	6.5	7.5	1.2906	16090
419	2	10	25	1Ap2	B9	3.0	1.0	5.0	23	18	35	37	60	40	75	150	130	180	6.9	6.5	7.5	1.365	16090
419	3	25	50	1Cwg	O10	1.5	0.5	4.0	23	18	35	37	60	40	75	150	130	180	7.1	6.5	7.5	1.4158	16090
419	4	50	90	1Cg1	O11	0.6	0.3	2.0	29	18	35	36	65	40	75	150	130	180	7.1	6.5	7.5	1.4086	16090
419	5	90	120	1Cg2	O9	0.4	0.3	2.0	16	8	35	18	34	25	75	150	130	180	7.3	6.5	7.5	1.537	16090
420	1	0	20	1App	B10	11.0	5.0	15.0	32	25	40	38	70	40	95	80	70	100	6.8	6.3	7.8	0.9772	15060
420	2	20	40	1ACg	B10	4.0	1.0	8.0	35	25	40	40	75	40	95	80	70	100	7.1	6.8	7.8	1.2501	15060
420	3	40	70	1Cwg	O12	1.1	0.5	5.0	40	25	50	45	85	40	95	80	70	100	7.1	6.8	7.8	1.3051	15060
420	4	70	120	1Cg	O11	0.7	0.2	3.0	25	20	40	35	60	30	95	80	70	100	7.1	6.8	7.8	1.4346	15060
421	1	0	25	1Ap	B10	2.5	1.0	4.0	30	25	35	45	75	50	90	85	70	100	7.3	7.1	7.8	1.3307	15320
421	2	25	40	1Cw	O11	1.2	0.5	3.0	30	25	35	45	75	50	90	85	70	100	7.4	7.1	7.8	1.3727	15320
421	3	40	80	1Cg1	O11	0.8	0.5	3.0	28	12	40	44	72	50	90	85	70	100	7.4	7.1	7.8	1.4052	15320
421	4	80	120	1Cg2	O9	0.7	0.5	3.0	15	8	40	23	38	30	90	85	70	100	7.4	7.1	7.8	1.5214	15320
422	1	0	8	1Ap1	B11	6.0	2.0	10.0	40	35	50	45	85	60	95	140	110	170	5.5	5.0	6.0	1.1515	16160
422	2	8	15	1App	B11	3.0	2.0	8.0	40	35	50	45	85	60	95	140	110	170	5.5	5.0	6.0	1.2497	16160
422	3	15	30	1Cwg	O12	1.6	1.0	5.0	45	35	60	45	90	60	100	140	110	170	5.5	5.0	6.0	1.257	16160
422	4	30	80	1Cg1	O13	1.6	1.0	5.0	52	35	60	43	95	60	100	140	110	170	5.5	5.0	6.0	1.2145	16160
422	5	80	120	1Cg2	O11	0.6	0.3	2.0	27	15	40	27	54	40	80	140	110	170	5.5	5.0	6.0	1.4246	16160
Leemgronden																							
501	1	0	15	1App	B9	4.0	2.0	6.0	20	10	40	25	45	30	70	170	140	180	5.0	4.5	5.5	1.3508	22011
501	2	15	40	1Cg1	O10	0.8	0.5	2.0	22	10	60	27	49	30	70	140	130	180	4.0	3.6	5.5	1.4539	22011
501	3	40	120	1Cg2	O12	0.2	0.1	2.0	41	10	60	29	70	30	80	80	70	140	3.8	3.6	5.5	1.3561	22011
502	1	0	15	1App	B6	4.0	2.0	6.0	10	4	16	22	32	20	45	170	150	190	5.0	4.5	5.5	1.4274	22010
502	2	15	40	1Cg1	O6	0.8	0.5	2.0	14	4	20	16	30	20	45	170	150	190	4.8	4.5	5.5	1.5244	22010
502	3	40	120	1Cg2	O6	0.3	0.1	2.0	22	4	25	18	40	20	45	170	150	190	3.9	3.6	5.5	1.4943	22010
503	1	0	25	1Ap	B11	4.0	2.0	5.0	40	30	60	45	85	70	90	125	100	140	6.5	5.8	7.5	1.2198	22020
503	2	25	45	1Cw	O13	0.3	0.5	3.0	60	50	70	32	92	80	98	90	70	130	7.0	5.8	7.5	1.2192	22020
503	3	45	120	1Cu	O13	0.2	0.1	2.0	60	50	70	32	92	80	98	90	70	130	7.0	5.8	7.5	1.2301	22020
504	1	0	25	1App	B13	3.0	1.0	5.0	10	8	14	45	55	45	60	125	100	140	5.3	4.5	5.5	1.4685	18020
504	2	25	90	1Cw	O14	0.3	0.1	1.0	12	8	20	53	65	45	70	110	100	140	4.7	4.5	5.5	1.5887	18020
504	3	90	120	2Cg	O2	0.3	0.2	2.0	4	2	8	11	15	10	35	170	140	190	4.7	4.5	5.5	1.6551	18020
505	1	0	20	1Ap	B13	2.5	1.0	4.0	10	8	15	70	80	70	85	130	100	180	5.4	4.5	6.0	1.4881	5010
505	2	20	50	1Eu	O14	1.0	0.5	2.0	10	8	15	70	80	70	85	100	80	180	4.3	4.0	5.0	1.5508	5010
505	3	50	80	1Bt	O15	0.3	0.1	1.0	14	10	17	71	85	80	90	80	70	130	4.3	4.0	5.0	1.5689	5010
505	4	80	120	1Cu	O14	0.3	0.1	1.0	12	10	17	58	70	65	80	80	70	120	4.3	4.0	5.0	1.5887	5010
506	1	0	25	1Ap	B13	2.5	1.0	4.0	10	8	14	60	70	50	70	130	110	150	6.0	5.5	6.5	1.4881	18030
506	2	25	90	1Cw	O14	0.5	0.3	2.0	10	8	14	60	70	50	80	130	110	150	6.0	5.5	6.5	1.585	18030
506	3	90	120	2Cg	O5	0.3	0.2	2.0	3	2	8	5	8	6	20	300	200	400	4.7	4.5	5.5	1.4988	18030
507	1	0	25	1Ap	B14	2.5	1.0	5.0	17	10	20	76	93	85	98	110	90	140	6.2	5.8	7.4	1.4289	18050
507	2	25	60	1Cw	O15	0.6	0.3	2.0	17	10	20	76	93	85	98	110	90	140	7.0	6.0	7.4	1.5101	18050
507	3	60	120	1Cu	O15	0.3	0.1	2.0	17	10	40	79	96	85	98	110	90	140	7.0	6.0	7.4	1.5401	18050



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.alterra.wur.nl