



Synergie in landschappelijke en bodemfysische eenheden

De koppeling van de landschappelijke bodemkaart aan de bodemfysische eenhedenkaart

H.A.G. Woolderink, K. Teuling, T.T.L. Harkema & J.J.P. Cruijsen



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Synergie in landschappelijke en bodemfysische eenheden

De koppeling van de landschappelijke bodemkaart aan de bodemfysische eenhedenkaart

H.A.G. Woolderink, K. Teuling, T.T.L. Harkema & J.J.P. Cruijsen

Wageningen Environmental Research
Wageningen, oktober 2024

Gereviewd door:
Dr. ir. Marius Heinen, onderzoeker bodemfysica

Akkoord voor publicatie:
Dr. ir. Mirjam Hack-ten Broeke, teamleider Bodem, Water en Landgebruik

Rapport 3373
ISSN 1566-7197

Woolderink, H.A.G., K. Teuling, T.T.L. Harkema, J.J.P. Cruijsen, 2024. *Synergie in landschappelijke en bodemfysische eenheden; De koppeling van de landschappelijke bodemkaart aan de bodemfysische eenhedenkaart*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3373. 22 blz.; 8 fig.; 1 tab.; 7 ref.

In dit rapport worden de technische documentatie, achtergronden en mogelijke toepassingen voor de methodiek van de koppeling van de landschappelijke bodemkaart (LBK) en bodemfysische eenhedenkaart (BOFEK) beschreven. Door de LBK te koppelen aan de BOFEK kunnen bodemfysische eigenschappen, zoals weerstand tegen waterinfiltratie, beter worden gekwantificeerd voor de landschappelijke eenheden van de LBK. De LBK-BOFEK-dataset en afgeleide kaarten kunnen geïnterpreteerd worden voor diverse toepassingen, zoals het beoordelen van kansen voor klimaatadaptatie, groenbeheer, natuurontwikkeling en ruimtelijke ordening-vraagstukken. De methode is vastgelegd in R-scripts, zodat het afleiden geautomatiseerd, reproduceerbaar en transparant is.

This report describes the technical documentation, background and possible applications for the methodology of linking the 'landschappelijke bodemkaart' (LBK) and 'bodemfysische eenhedenkaart' (BOFEK). By linking the LBK to the BOFEK, soil physical properties, such as resistance to water infiltration, can be better quantified for the LBK's landscape units. The LBK-BOFEK dataset and derived maps can be interpreted for various applications, such as assessing opportunities for climate adaptation, green space management, nature development and spatial planning issues. The method is defined in R scripts to enable automated derivation of linking the maps in a reproducible and transparent way.

Trefwoorden: landschappelijke bodemkaart, bodemfysische eenhedenkaart, bodemdata, geomorfologie, klimaatadaptatie, ruimtelijke ordening

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/674559> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2024 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

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



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.

In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3373 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Hessel Woolderink

Inhoud

Verantwoording	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Basiskaarten	9
2.1 De Landschappelijke Bodemkaart (LBK)	10
2.2 De Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK)	12
3 Methodiek	13
3.1 Koppeling LBK- en BOFEK eenheden	13
4 Resultaten	14
4.1 BOFEK-waarden per LBK-eenheid	14
5 Mogelijke toepassingen	16
5.1 Gebruik van weerstand C	16
5.2 Gemakkelijk opneembaar water in de wortelzone	16
5.3 Berekening nalevering	17
6 Discussie	19
Literatuur	19



Verantwoording

Rapport: 3373

Projectnummer: KB-36-001-032

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker Bodemfysica

naam: Dr. ir. Marius Heinen

datum: 24-09-2024

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Dr. ir. Mirjam Hack-ten Broek, teamleider van Bodem, Water en Landgebruik

datum: 02-10-2024

Samenvatting

Het natuurlijke bodem- en watersysteem speelt een cruciale rol bij het aanpakken van hedendaagse maatschappelijke uitdagingen, zoals klimaatverandering, natuurbeheer, waterbeheer, landbouw en verstedelijking. Er is een groeiend besef dat de voorwaarden die dit systeem stelt centraal moeten staan in ruimtelijke planning. Door een goed begrip van geologie, geomorfologie, reliëf en bodemprocessen kunnen we beter inspelen op de natuurlijke werking van het landschap. Hoewel er veel waardevolle informatie beschikbaar is in kaarten, zoals de geomorfologische kaart, bodemkaart en de bodemfysische eenhedenkaart (BOFEK), blijkt het voor gebruikers soms lastig om deze informatie op de juiste manier te interpreteren en te combineren. Om dit te vergemakkelijken, is de landschappelijke bodemkaart (LBK) ontwikkeld, die de eigenschappen van het natuurlijke landschap combineert en ontsluit voor toekomstbestendige inrichting en beheer van Nederland. De LBK kan worden ingezet voor diverse opgaven, zoals natuurontwikkeling, klimaatadaptatie en duurzaam ruimtegebruik. Echter, voor specifieke toepassingen kan kwantificering van bodemeigenschappen noodzakelijk zijn. Door de LBK te koppelen aan de BOFEK kunnen deze gekwantificeerde eigenschappen, zoals weerstand tegen waterinfiltratie, worden gecombineerd met de landschapsinformatie. In dit rapport wordt het totstandkomingsproces om de LBK en BOFEK te koppelen, beschreven. De koppeling LBK-BOFEK vindt plaats met behulp van scripts om reproduceerbaarheid en eenvoudige updates te waarborgen. Het geïntegreerde product LBK-BOFEK zal niet de bestaande kaarten vervangen, maar juist hun kracht bundelen voor bredere toepassing.

1 Inleiding

Het natuurlijke bodem- en watersysteem kan een belangrijke rol spelen om grote maatschappelijke opgaven van deze tijd (klimaat, natuur, waterbeheer, landbouw, verstedelijking) het hoofd te bieden. Er is een groeiend besef dat de randvoorwaarden die het bodem- en watersysteem aan ruimtelijke inrichting stelt weer centraal moeten komen te staan in het omgevingsbeleid. Door goed te kijken naar de geologie, geomorfologie, het reliëf en de bodem kunnen we begrijpen hoe het natuurlijke bodem- en watersysteem is ontstaan. Dan weten we ook hoe de processen binnen dit landschap van nature werken en met elkaar samenhangen. Daarbij gaat het om de vorm van het landschap (reliëf), en de eigenschappen van bodem en ondergrond en het watersysteem.

Veel informatie is te vinden en geborgd in diverse kaarten en modellen, zoals de geomorfologische kaart, bodemkaart, het grondwaterspiegeldieptemodel en de bodemfysische eenhedenkaart. Toch is het voor gebruikers soms lastig deze kaarten op de juiste manier te interpreteren, en vooral om de data en kennis uit de verschillende bronnen te combineren. Dit terwijl deze eigenschappen van nature juist onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn. Om het implementeren van bodem, water en landschappelijke data in de opgaven van nu en de toekomst voor gebruikers makkelijker te maken, is het dan ook wenselijk om de koppeling en samenhang tussen de factoren alvast te maken en te presenteren – voor zover dat mogelijk is – in een geïntegreerd product. Het is hierbij nadrukkelijk niet de bedoeling om een vervanger te creëren voor de individuele basiskaarten/modellen, maar om de kracht van deze datasets te combineren tot een integraal product.

Een eerste stap hierin is gemaakt met de ontwikkeling van de landschappelijke bodemkaart (LBK; Van Delft & Maas, 2023). Deze kaart is ontwikkeld om voor een breed publiek de kenmerken van het natuurlijke landschap te ontsluiten voor een toekomstbestendige inrichting en beheer van Nederland. Hierbij wordt de informatie van de geomorfologische kaart en bodemkaart gecombineerd met andere hulpinformatie tot een nieuwe integrale kaart.

De LBK kan worden gebruikt voor opgaven omtrent natuur en biodiversiteit, klimaatadaptatie, natuurontwikkeling en de inrichting van een duurzame leefomgeving. Echter, afhankelijk van de aard en schaal van de gebiedsgerichte opgave waarvoor de LBK gebruikt kan worden, is er ook geregeld een bepaalde mate van kwantificering van de eigenschappen van het bodem- en watersysteem gewenst. Bijvoorbeeld, de landschappelijke eenheid 'HzDA - Leemarme droge dekzandgebieden' biedt klimaatadaptatie mogelijkheden voor waterinfiltratie in de bodem, omdat de zandige bodem een relatief goede doorlatendheid heeft. Hierin ontbreekt echter de kwantificering van een 'relatief goede doorlatendheid', die voor het berekenen van de infiltratie van belang is. Hoewel het altijd noodzakelijk zal blijven om voor lokale maatregelen gericht onderzoek te doen voor die locatie, is het wel mogelijk een eerste, meer algemenere, kwantificering te geven om de potentie voor waterinfiltratie in een gebied te geven. Dit kan door de koppeling te maken van landschappelijke eenheden en de bodemfysische eenhedenkaart (BOFEK; Heinen et al., 2021).

De bodemfysische eenhedenkaart geeft gebieden aan met een overeenkomstige bodemopbouw en een overeenkomstig hydrologisch gedrag op basis van een achttal fysische kengetallen. De indeling van deze gebieden is afgeleid van de bodemkaart. De bodemfysische kengetallen per bodemprofiel zijn berekend op basis van de profielbeschrijving in termen van laagopbouw in Staringreeks-bouwstenen (Heinen et al., 2020). Door bodemfysische kengetallen uit de BOFEK te koppelen aan landschapseenheden uit de LBK is het dus mogelijk om in de vorm van bandbreedtes een eerste kwantificatie te geven van de eigenschappen van de landschapsvormen die van belang zijn voor bijvoorbeeld water- en stoftransport hierin.

Naast de daadwerkelijke koppeling/vertaling tussen de LBK en BOFEK is het van nadrukkelijk belang dat dit proces niet een eenmalig eindproduct oplevert op basis van 'expert knowledge'. Daarom zal de reproduceerbaarheid gewaarborgd worden door de koppeling van de LBK en BOFEK uit te voeren door middel van scripts. Naast reproduceerbaarheid heeft dit ook het grote voordeel dat updates in een van de basiskaarten ook direct doorgevoerd kunnen worden in het geïntegreerde product.

2 Basiskaarten

2.1 De Landschappelijke Bodemkaart (LBK)

Een gedetailleerde beschrijving van de Landschappelijke Bodemkaart (LBK), de gebruikte methodiek en verschillende toepassingen wordt gegeven in het technisch rapport (Van Delft & Maas, 2023). Hieronder volgt een beknopte beschrijving van het model en de belangrijkste aspecten voor de koppeling met de Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK).

De Landschappelijke Bodemkaart is een nieuwe fysiografische kaart van Nederland (Figuur 1). De kaart is grotendeels gebaseerd op twee basismodellen uit de Basisregistratie Ondergrond (BRO), de Geomorfologische Kaart en de Bodemkaart. Informatie over de geomorfologie, bodem, grondwaterstanden en -stromingen ten tijde van bodemvorming wordt gecombineerd tot een kaart die de fysisch-geografische structuur van het landschap beschrijft. De Landschappelijke Bodemkaart is van origine ontwikkeld om landschapsecologische systeemanalyses op te stellen voor natuurbeheer en -ontwikkeling, maar heeft verschillende andere toepassingen. De kaart kan onder andere gebruikt worden voor vraagstukken op het gebied van klimaat, natuur, waterbeheer en landbouw en is toepasbaar op landelijke tot lokale schaal (Van Delft & Maas, 2023).

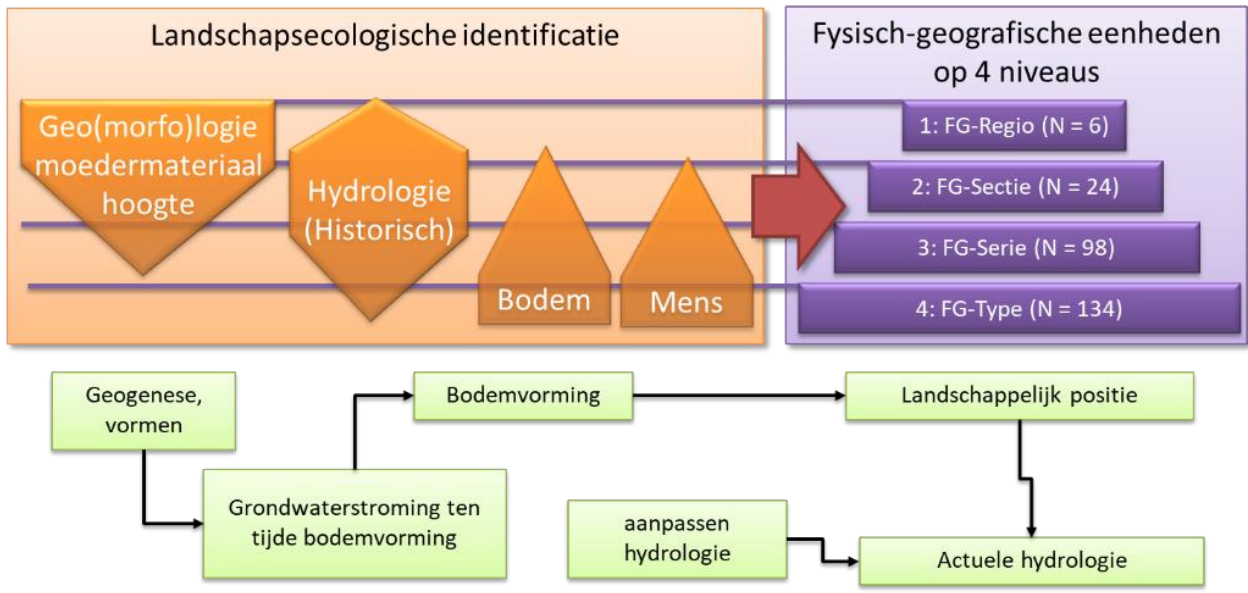
Voor de koppeling met de BOFEK is gebruikgemaakt van versie 2023 (Beta) van de LBK. Het uitleverformaat van dit bestand is voor presentatiedoeleinden en GIS-analyses een vlakkenbestand, maar in essentie is het een rasterkaart met een celgrootte van 25x25m. Voor deze specifieke versie is gebruikgemaakt van de Geomorfologische Kaart en Bodemkaart versie 2021 (vlakkenbestanden). Deze bestanden zijn gecombineerd met subkaarten van rasterformaat voor oppervlaktewaterdynamiek (afgeleid van de ecotopenkarteringen van Rijkswaterstaat), hoogte (AHN) en grondgebruik (LGN) (Van Delft & Maas, 2023). De informatie uit deze verschillende bestanden wordt op celniveau vergeleken met voorwaarden in vertaalsleutels. De sleutels bestaan uit tabellen, waarin per regel een combinatie van kenmerken uit de basiskaarten is gegeven die bij een fysisch-geografische eenheid op een betreffend niveau hoort.

De legenda van de kaart is gebaseerd op de landschapsecologische indeling van de Landschapsleutel (Kemmers et al., 2011). Deze indeling kent vier niveaus (zie ook Figuur 2):

- Fysisch-geografische regio's (N = 6)
- Fysisch-geografische secties (N = 24)
- Fysisch-geografische series (N = 98)
- Fysisch-geografische typen (N = 134)



Figuur 1 Landschapelijke Bodemkaart (versie 2023 Beta).



Figuur 2 Vertaling van landschapsecologische indeling naar fysisch-geografische eenheden in de Landschapelijke Bodemkaart. De breedte van de oranje vlakken onder Landschapsecologische identificatie links zijn indicatief voor het belang van elke factor voor de indeling van de fysisch-geografische eenheden in het paarse vak rechts, waarbij N het aantal eenheden op dat niveau weergeeft.

2.2 De Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK)

De Bodemfysische eenhedenkaart (BOFEK) is een kaart waarin bodems met vergelijkbare hydrofysische kenmerken geclusterd zijn op basis van de bodemkaart en fysische kengetallen uit de Staringreeks (Heinen et al., 2021). Aan ieder bodemcluster op de kaart hangt een geschematiseerd bodemprofiel met deze fysische kengetallen, die het hydrofysische gedrag van het bodemcluster beschrijven. Het hydrofysische gedrag wordt daarbij bepaald door de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek. Hiervoor zijn acht karakteristieke kengetallen afgeleid voor alle 368 bodemprofielen van de Nederlandse bodemkaart (Tabel 1; Heinen et al., 2021). De BOFEK wordt veelal gebruikt als invoer bij modelberekeningen van water- en stoffentransport in de bodem. Een koppeling van bodemfysische gegevens met de eenheden van de landschappelijke bodemkaart kan inzicht bieden in het hydrofysische gedrag van de bodems die binnen de landschappelijke bodemkaarten eenheden voorkomen.

Tabel 1 Overzicht van de BOFEK-kengetallen en hun omschrijving en waar de kengetallen over informeren.

BOFEK-kengetal	Eenheid	Omschrijving	Informeert over
C	cm ⁻¹	Gesommeerde weerstand tegen verticale verzadigde stroming door het gehele bodemprofiel (0-120 cm). Afgeleid van K _s in bodemfysische eigenschappen.	Kwel/wegzijging Infiltratiecapaciteit bij extreme neerslag
W1 _{rz}	cm	Gemakkelijk opneembaar water in de wortelzone (rz; gesteld op 30 cm). Dit is het verschil tussen de vochtgehalten van de bodem bij veldcapaciteit (h=-100 cm) en bij h=-400 cm.	Droogteschade Beschikbare bodemberging
W2 _{rz}	cm	Moeilijk opneembaar water in de wortelzone (rz; gesteld op 30 cm). Dit is het verschil tussen de vochtgehalten van de bodem bij verwelkingspunt (h=-16000 cm) en bij h=-400 cm.	Droogteschade Beschikbare bodemberging
Zcrit2	cm	Kritieke z-afstand: afstand tussen onderzijde wortelzone en de grondwaterspiegel, waarbij het profiel nog in staat is om een waterflux van 2 mm.d ⁻¹ te leveren.	Droogteschade
Qcrit	cm.d ⁻¹	Opwaartse flux die nog door het hele profiel (dus inclusief de bovenste horizont) geleverd kan worden aan maaiveld indien de grondwaterspiegel aan de onderzijde van het bodemprofiel ligt (120 cm).	Droogteschade
IntW0	cm	Integraal van de waterretentiekarakteristiek: verschil in watergehalte bij twee punten in de waterretentiekarakteristiek, rekening houdend met de vorm van de curve. Grenswaardes van de drukhoogten kunnen gelijk zijn aan h=0cm en h=-16.000, maar de integraal kan ook de volledige zijn. Wordt mathematisch berekend.	Beschikbare bodemberging
IntK0	cm ² .d ⁻¹	Integraal van de doorlatendheidskarakteristiek; kan berekend worden voor dezelfde trajecten in de drukhoogte als de integraal van de waterretentiekarakteristiek.	Kwel en wegzijging Infiltratiecapaciteit bij extreme neerslag
Pindex		Differentiële vochtcapaciteit: gewogen integraal van de helling van de log-log-versie van de waterretentiecurve volgens Haverkamp (2005).	Beschikbare bodemberging

De kritieke z-afstand (Zcrit; cm) is een criterium om de capillaire eigenschappen van bodemprofielen te karakteriseren. Het is gedefinieerd als de afstand tussen de onderzijde van de wortelzone en de grondwaterspiegeldiepte, waarbij het profiel nog in staat is om een bepaalde waterflux te leveren, hier op 2 mm d⁻¹ gesteld. Hierbij wordt verondersteld dat aan de onderzijde van de wortelzone de drukhoogte gelijk is aan -16000 cm. Wanneer de afstand tussen de grondwaterstand en de onderkant van de wortelzone groter is dan Z_{crit2}, kan er niet meer 2 mm/d geleverd worden. De kritieke stijghoogte is afhankelijk van de textuur in het profiel. Het bufferend vermogen van een bodem kan worden beschreven als hoe goed de bodem in staat is om water vast te houden in de onverzadigde zone na een regenbui of na een daling in de grondwaterstand. In de BOFEK wordt dit vermogen beschreven met twee variabelen. Het makkelijk en moeilijk beschikbare water in de wortelzone, W1_{rz} en W2_{rz} respectievelijk. Deze variabelen beschrijven de hoeveelheid beschikbaar water bij pF 2-2.6 en pF 2.6-4.2 in cm (NB pF is log₁₀ (drukhoogte)). In deze studie zullen alle bovengenoemde kengetallen worden toegekend aan de landschappelijke bodemkaarten eenheden. Daarnaast zijn de parameters W1_{sub} en W2_{sub} toegekend aan de LBK-eenheden. Deze parameters beschrijven het gemakkelijk en moeilijk opneembare water onder de wortelzone.

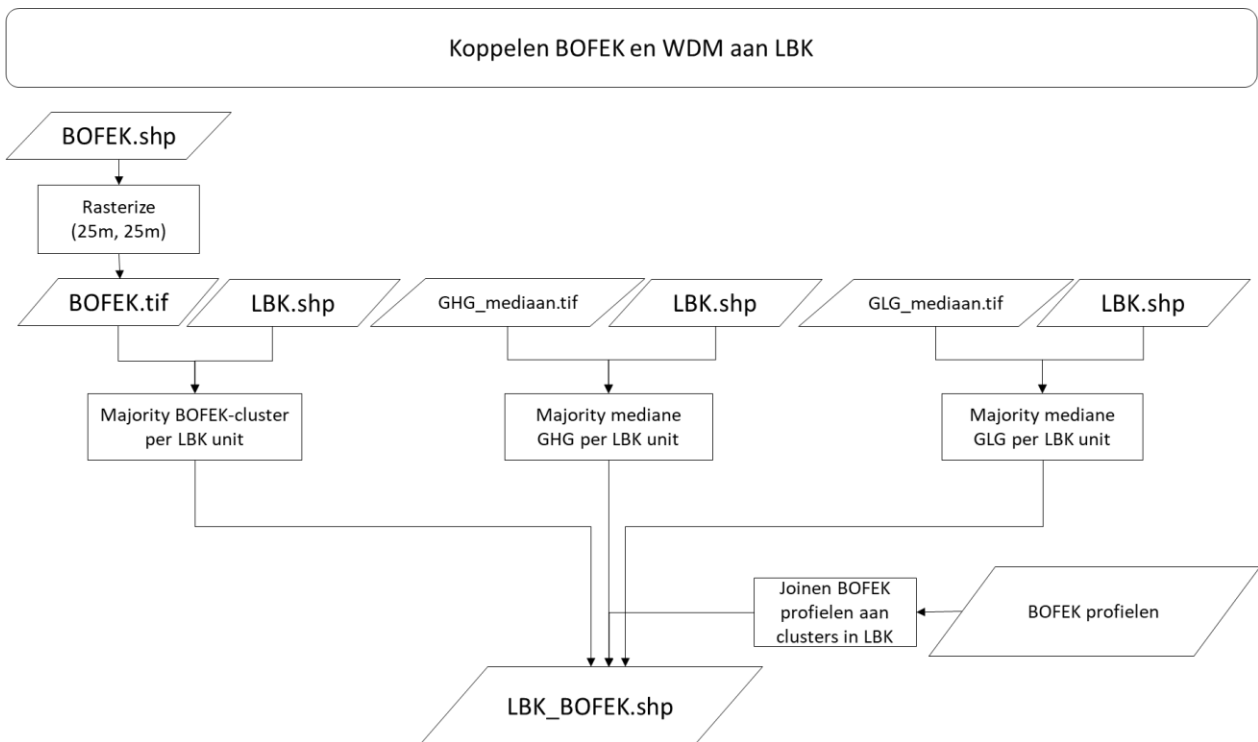
3 Methodiek

3.1 Koppeling LBK- en BOFEK eenheden

Het grootste obstakel bij het koppelen van de BOFEK-eenheden aan de LBK-eenheden is dat de vlakken in de twee kaarten elkaar niet altijd mooi overlappen. Een mogelijke oplossing is om de LBK verder op te delen in eenheden met unieke BOFEK-eenheden, maar dit is niet wenselijk, omdat hiermee de landschapsvormen van de LBK worden opgeknipt. Het doel is dat de LBK qua vorm intact blijft. Dit betekent dat er een berekening moet worden gedaan welke BOFEK-eenheid het best aansluit bij elke LBK-eenheid.

Het is ingewikkeld om twee shapefiles samen te voegen als ze niet hetzelfde aantal objecten en dezelfde geometrie hebben. Om dit probleem te verhelpen, wordt de BOFEK-kaart omgezet van een shapefile in een raster met een resolutie van 25x25 m. De rasterwaarden (BOFEK-clusternummers) van het BOFEK-raster worden vervolgens geëxtraheerd naar de LBK-eenheden met een *majority* bepaling. Hierbij wordt gekeken welke rasterwaarden het meest voorkomend zijn binnen een LBK-eenheid. Alle relevante informatie uit de BOFEK-tabellen wordt vervolgens op basis van de clusternummers gekoppeld aan de LBK-eenheid.

Volgens hetzelfde principe (*majority*) worden de mediane GHG en mediane GLG van het grondwaterspiegeldieptemodel gekoppeld per LBK-eenheid. Hierbij is rekening gehouden met het feit dat het grondwaterspiegeldieptemodel niet geheel landsdekkend is, maar gaten heeft in voornamelijk hoge zandgronden zoals de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug. Wanneer een relatief grote LBK-eenheid een mediane GHG gekoppeld krijgt op basis van een paar WDM-cellen, wordt de GHG mogelijk sterk overschat of onderschat. Om dit te voorkomen, is de regel geïntroduceerd dat minstens de helft van een LBK-eenheid bedekt moet zijn met waardes binnen het WDM, voordat de majority hiervan eraan gekoppeld kan worden. Anders wordt deze eenheid leeg gelaten. De schematisatie van alle koppelingen zijn gevisualiseerd in Figuur 3.

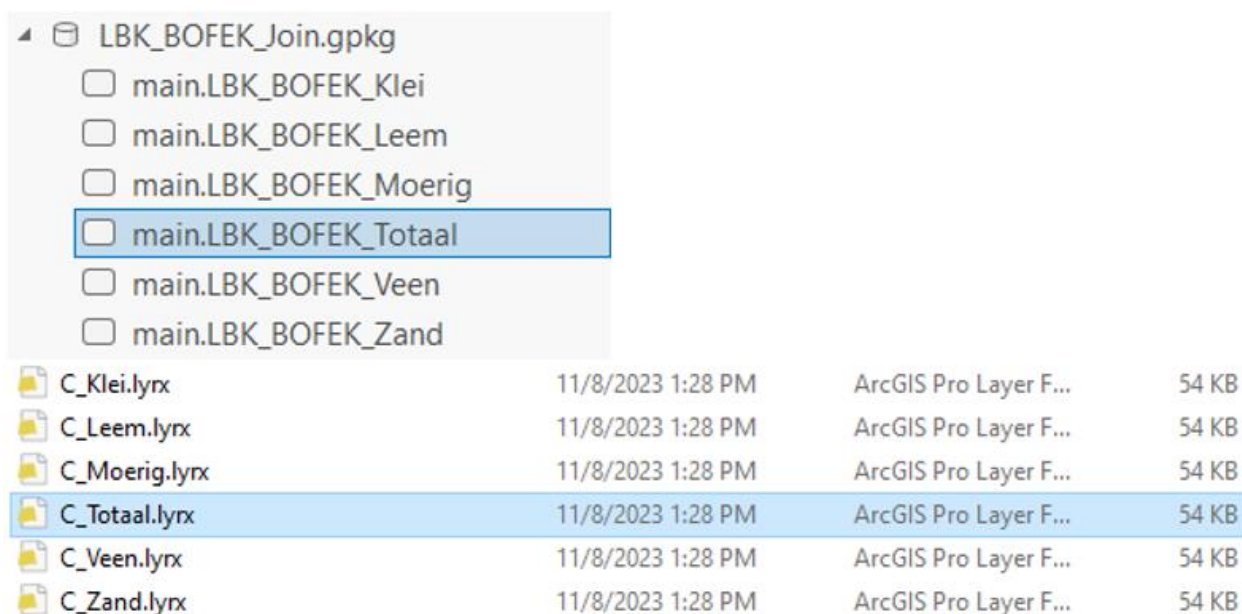


Figuur 3 Schematisatie van de koppeling van BOFEK en WDM aan LBK.

4 Resultaten

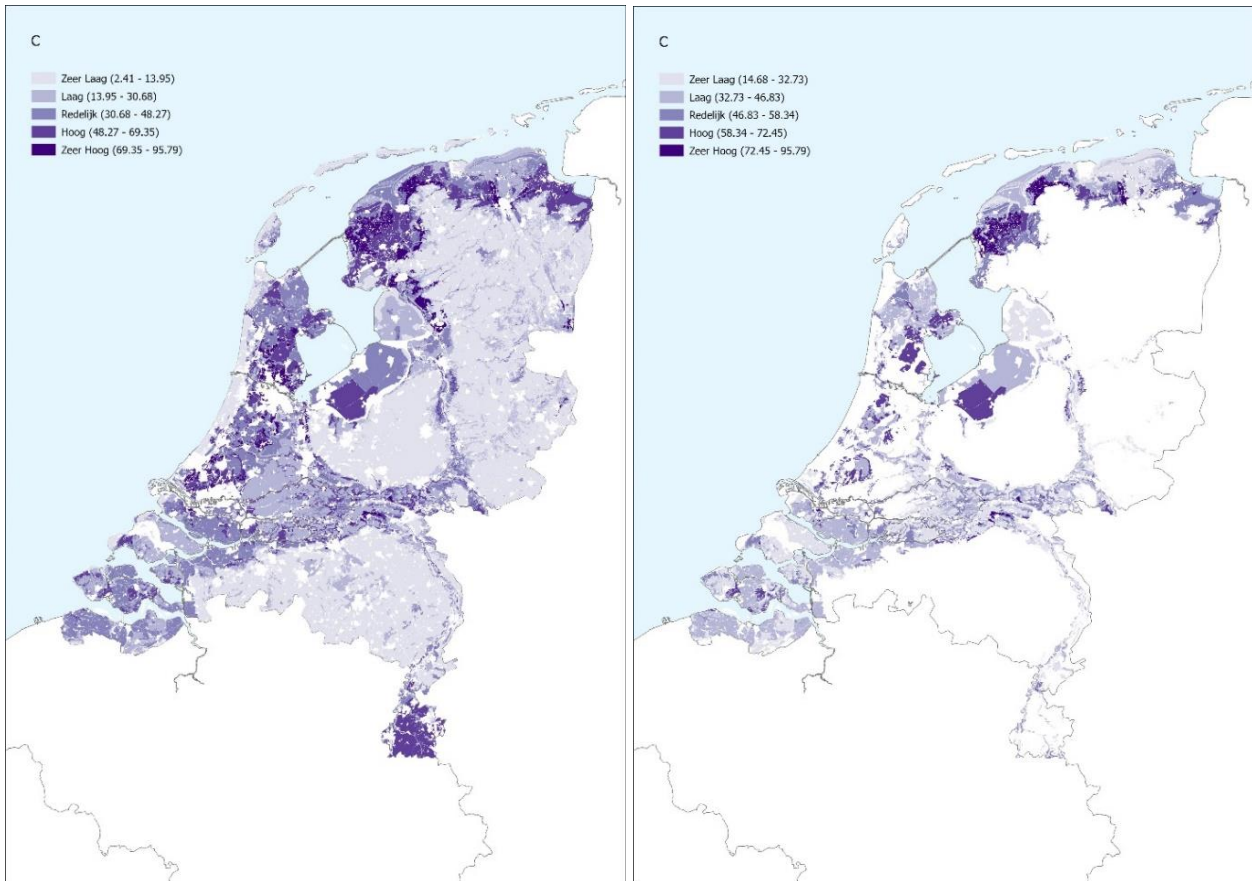
4.1 BOFEK-waarden per LBK-eenheid

Als resultaat van de LBK-BOFEK-koppeling is er door middel van de scripts een geopackage gegenereerd met hierin verschillende zogeheten 'feature lagen' (Figuur 4). Er is voor gekozen om zowel een 'feature laag' te genereren voor de gecombineerde grondsoorten van de BOFEK als per aparte hoofdgrondsoort in de BOFEK (zand, leem, klei (inclusief zavel), veen en moerig). Dit omdat de spreiding in bijvoorbeeld C-waarden aanzienlijk groter is voor het totaal aan grondsoorten dan binnen enkel de kleigronden (zie Figuur 5). Hierdoor kunnen variaties binnen de verschillende grondsoorten die wel degelijk aanwezig zijn niet duidelijk naar voren komen in de classificatie van de C-waarden. Dit omdat de legenda-indeling in de klassen zeer laag tot zeer hoog automatisch wordt gegenereerd op basis van de Jenks-methode (het optimaal groeperen van vergelijkbare waarden en de verschillen tussen klassen te maximaliseren door de grenzen te plaatsen waar de data grote verschillen vertonen). Door dit te doen voor zowel het totaal aan grondsoorten als per grondsoort apart, kan de gebruiker de classificatie gebruiken die het meest is afgestemd op de behoefte.

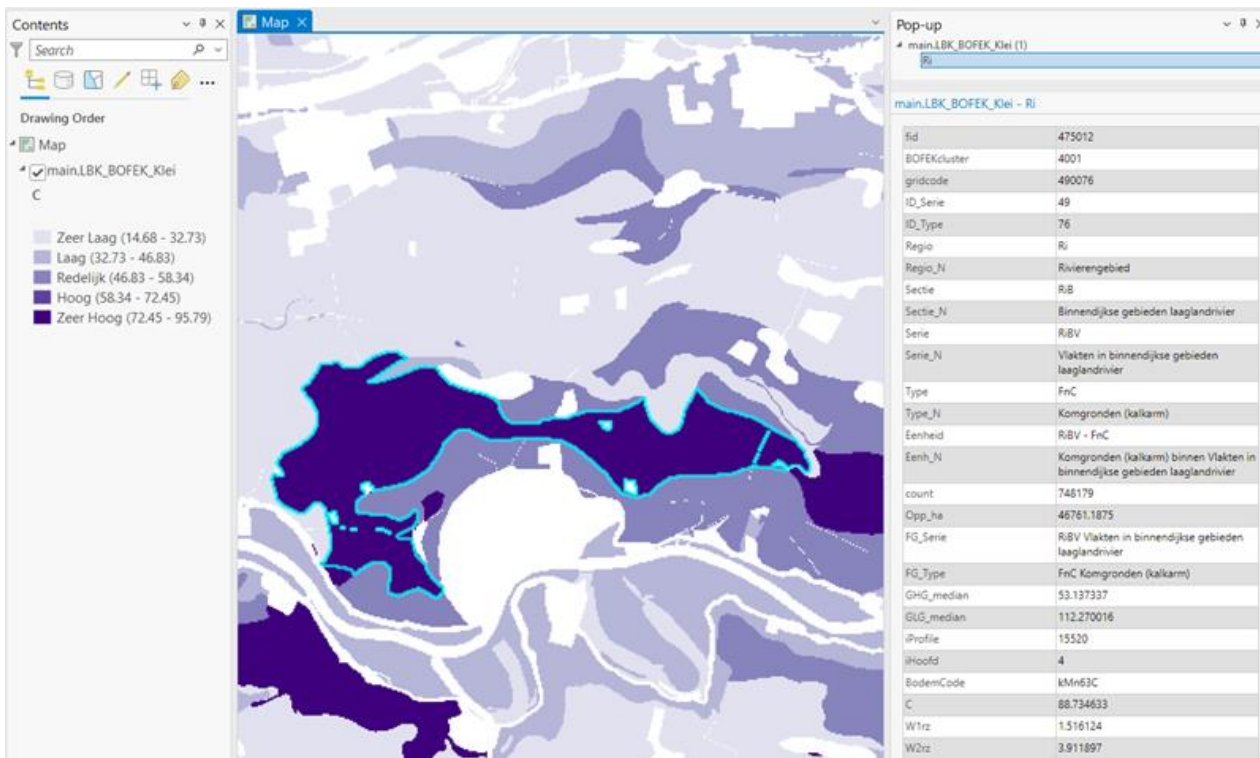


Figuur 4 Overzicht van de structuur van de LBK-BOFEK geopackage en bijbehorende layerfiles die de legenda's bevatten voor de verschillende feature-lagen.

Naast de legenda-indeling in vijf verschillende klassen die gemaakt is om een overzichtelijk kaartbeeld te behouden, is het in de feature lagen van de geopackage altijd mogelijk om de individuele waarden van de LBK-eenheden en gekoppelde BOFEK-kengetallen terug te vinden door een individuele eenheid te selecteren (Figuur 6). Hierdoor gaat er in de clustering voor visualisatie geen informatie verloren die van belang kan zijn voor de gebruiker in hun toepassing.



Figuur 5 De C-waarde per LBK-eenheid ingedeeld voor heel Nederland (links) en ingedeeld voor alle kleigronden (rechts).



Figuur 6 Voorbeeld van een LBK-eenheid in het rivierengebied waarbij naast de informatie die de LBK levert over geomorfologie en bodemvorming ook BOFEK-kengetallen worden gegeven en de GHG en GLG majority binnen de LBK-eenheid. Naast dat de C-waarde is ingedeeld in een klasse voor gebruikersgemak en overzichtelijkheid, is de unieke waarde van de majority van de C-waarden altijd terug te vinden in de data die gekoppeld zijn aan de LBK-eenheid.

5 Mogelijke toepassingen

Naast het proces van het opzetten en automatiseren van het koppelen van de Landschappelijke Bodemkaart (LBK) aan de Bodemfysische EenhedenKaart (BOFEK), is er binnen deze studie ook een korte verkenning gedaan naar aanvullende mogelijkheden voor het gebruik van de dataset nadat de koppeling tot stand is gebracht. Hiervoor is een aantal voorbeelden van mogelijk gebruik kort omschreven.

5.1 Gebruik van weerstand C

De C-waarde in de gekoppelde LBK-BOFEK-kaarten geeft de gesommeerde weerstand tegen verticale verzadigde stroming door het gehele bodemprofiel (0-120 cm). Hierbij is een hoge C-waarde een hoge weerstand tegen verticale stroming en vice versa. Deze C-waarde kan gebruikt worden om met de landschapsvormen uit de LBK-BOFEK op regionale schaal een indicatie te geven van bijvoorbeeld de mogelijke infiltratiecapaciteit van de bodem bij extreme neerslag. Een bodem met een lage weerstand tegen verticaal watertransport kan in principe snel water infiltreren bij (extreme) neerslag, ervan uitgaande dat o.a. de bodemberging voldoende is, terwijl bij een hoge C-waarde eerder rekening gehouden moet worden met het oppervlakkig bergen of oppervlakkig afvoeren van regenwater. Daarnaast kan het gebruik van de C-waarden helpen bij de ruimtelijke planning van nieuwe wijken, industrieterreinen of andere bebouwing, waarbij gebieden met een hoge C-waarde waarschijnlijk meer aanvullende maatregelen nodig hebben voor de waterhuishouding van het te ontwikkelen gebied. Er dient wel rekening gehouden te worden met het feit dat het gebruik van de dataset slechts indicatief en oriënterend is. Voor daadwerkelijk planning en uitvoering dient altijd teruggesproken te worden op veldmetingen in het gebied om te zien of de theoretische bepaling van de weerstand ook inderdaad valide is. Daarnaast is het erg waarschijnlijk dat bij het omzetten van rurale naar urbane gebieden de bodem zodanig is verstoord dat een bodemeenheid en de fysische eigenschappen daar niet meer geldig zijn.

5.2 Gemakkelijk opneembaar water in de wortelzone

Het gemakkelijk opneembaar water in de wortelzone verwijst naar de hoeveelheid water in de wortelzone (circa bovenste 30 cm) van de bodem die voor planten gemakkelijk beschikbaar is voor opname via hun wortels. Dit is belangrijk bijvoorbeeld in de landbouw en vollegrondsgroenteteelt, maar ook voor groenstroken of parken. Concreet is het een maat voor de hoeveelheid water in de bodem die makkelijk te gebruiken is voor planten in perioden van droogte, zonder dat deze afhankelijk zijn van bijvoorbeeld grondwater of irrigatie. Een hogere waarde voor het gemakkelijk opneembaar water (W_{1rz}) geeft aan dat planten langer gebruik kunnen maken van het water dat beschikbaar is in de wortelzone van de bodem. Praktisch gezien kan de indicatie van het gemakkelijk opneembaar water gebruikt worden voor bijvoorbeeld het waterbeheer van (stedelijk) groenbeheer, maar ook voor land- en tuinbouw, vooral tijdens droge perioden. Door op voorhand rekening te houden met de W_{1rz} van de bodem bij het plannen en ontwikkelen van groenstructuren, parken, teelten of (nieuwe) natuurgebieden, kunnen locaties gecreëerd worden die beter bestand zijn tegen droogte. Al met al is de hoeveelheid gemakkelijk opneembaar water in de wortelzone voor de LBK-eenheden een hulpmiddel voor het optimaliseren en efficiënt beheren van (openbaar) groen, en land- en tuinbouwgewassen.

5.3 Berekening nalevering

Het naleverend vermogen is een belangrijke factor in o.a. de bepaling van de droogtegevoeligheid van een profiel. Het is de hoeveelheid water die door een groeiseizoen heen geleverd kan worden aan de wortelzone vanuit het grondwater. De nalevering in een profiel is afhankelijk van de grondwaterstand, van het hydrofysische karakter van de bodem en van de bewortelingsdiepte. De nalevering wordt hier gedefinieerd als de hoeveelheid mm water dat nog aangeleverd kan worden vanuit het grondwater, rekening houdend met de kritieke stijghoogte (Z_{crit2}) en de bewortelingsdiepte (W_z). Hier volgt een globaal voorbeeld hoe een berekening gedaan kan worden met behulp van de hydrofysische waarden die aan de LBK zijn gekoppeld.

Er wordt aangenomen dat in het begin van het groeiseizoen de grondwaterstand zich op de mediane gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) bevindt en aan het einde van het groeiseizoen op de mediane gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG). Het groeiseizoen loopt van 1 april tot 1 oktober (183 dagen) en de grondwaterstand neemt door het seizoen af met een verloop, waarvan aangenomen kan worden dat deze gemiddeld sinusoidaal is (Figuur 7). De nalevering wordt vervolgens berekend door de tijd waarin de onderkant van de wortelzone nog in contact staat met het grondwater, rekening houdend met de kritieke stijghoogte. Deze tijd wordt dan vermenigvuldigd met de nalevering op basis van de kritieke stijghoogte waarbij voldoende water wordt geleverd voor plantengroei (i.c. 2 mm/d). Als de grondwaterstand dusdanig hoog blijft of wanneer Z_{crit2} groot genoeg blijkt waardoor het hele groeiseizoen door water aangeleverd kan worden (grondwaterprofiel), komt dat neer op een nalevering van 366 mm. Een visualisatie van deze methodiek is te zien in Figuur 7. Omdat de GVG in het model grondwaterspiegeldiepte beperkt beschikbaar is voor hoog Nederland, is er in deze exercitie gebruikgemaakt van de vuistregel dat de GVG ongeveer 30 cm dieper ligt dan de GHG.

De nalevering (N) wordt berekend volgens:

$$N = \cos^{-1} \left(\frac{2Z_{crit2} + 2W_z - GVG_m - GLG_m}{GVG_m - GLG_m} \right) * \left(\frac{\Delta t}{\pi} * q_{zcrit} \right)$$

Waarin:

N = Nalevering (mm)

Z_{crit2} = Kritieke stijghoogte waarbij 2 mm/d wordt geleverd

W_z = Bewortelingsdiepte; hier 30 cm

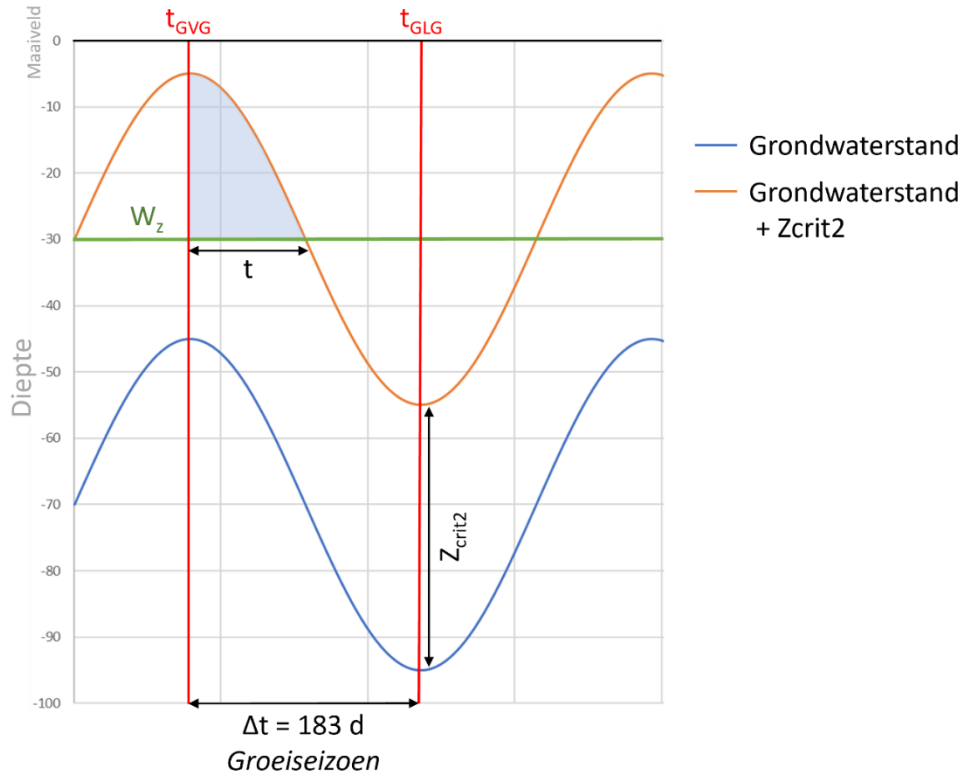
GVG_m = Mediane Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (cm -mv); hier $GHG_m + 30$ cm

GLG_m = Mediane Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (cm -mv)

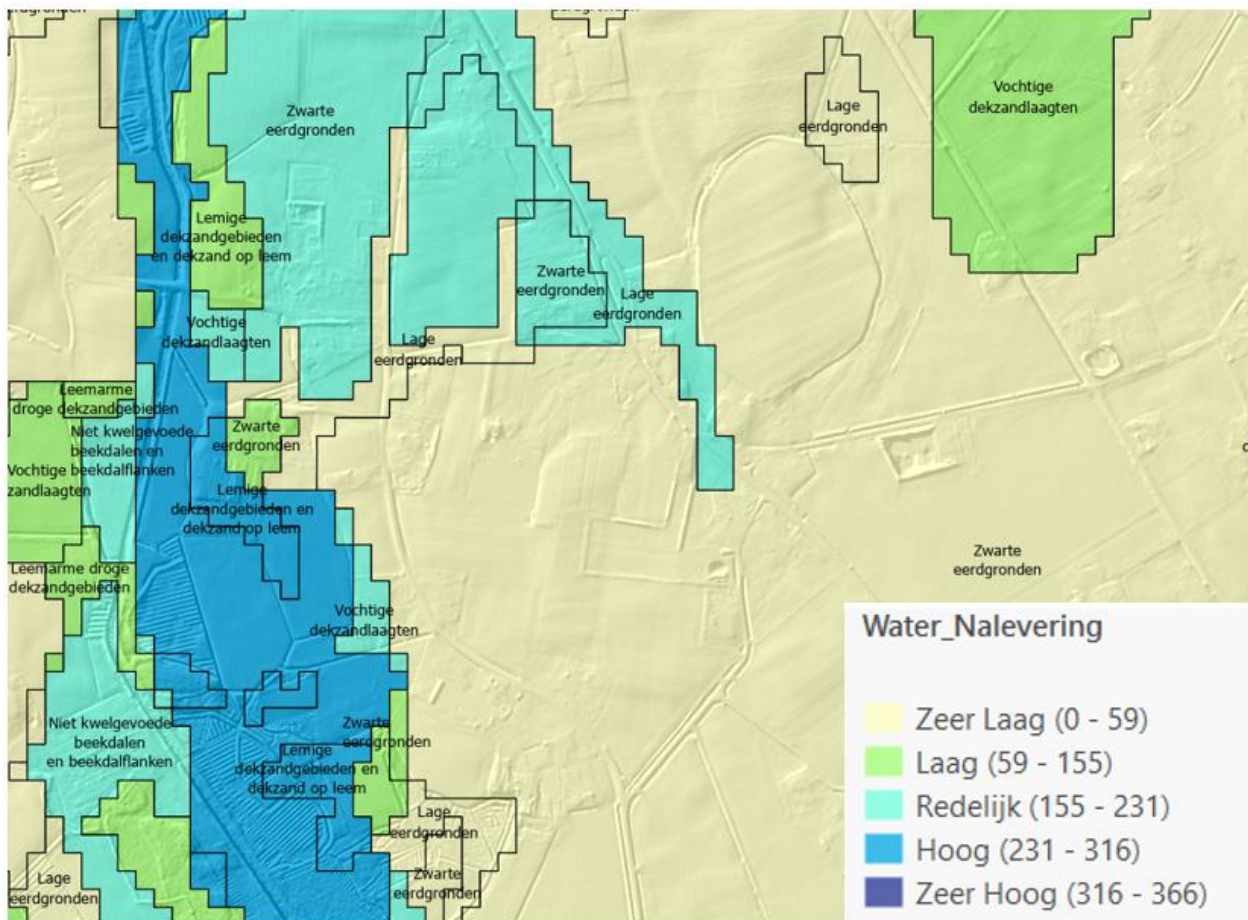
Δt = Lengte groeiseizoen; hier 183 d

q_{zcrit} = Waterflux behorende bij Z_{crit2} ; hier 2 mm/d

Een ruimtelijk beeld van de nalevering voor verschillende LBK-BOFEK-eenheden in het dekzandlandschap is te zien in Figuur 8.



Figuur 7 Visualisatie van de bepaling van de periode (t) binnen het groeiseizoen (Δt) waarin nog 2 mm/d geleverd kan worden tot de onderkant van de wortelzone (W_z), afhankelijk van de mediane GVG, de mediane GLG en de kritieke stijghoogte (Z_{crit2}).



Figuur 8 Voorbeeld van de berekende waternalevering per LBK-eenheid in het Dekzandgebied.

6 Discussie

In dit project is een methodiek ontwikkeld waarbij twee veelgebruikte basiskaarten/modellen, namelijk de Landschappelijke Bodemkaart (Van Delft & Maas, 2023) en de Bodemfysische eenhedenkaart (Heinen et al., 2021), via een serie scripts zijn gecombineerd tot een geïntegreerde dataset. Deze dataset kan op het niveau van landschappelijke eenheden een betere kwantitatieve onderbouwing geven van enkele bodemfysische parameters die van belang kunnen zijn voor onder andere klimaatadaptatie en ruimtelijke ordening. De opbouw van het script zorgt ervoor dat bij elke update van een of beide basiskaarten eenvoudig een nieuwe versie van de afgeleide LBK-BOFEK kan worden gegenereerd. Daarnaast is de koppeling op deze manier transparant en reproduceerbaar. Ondanks het succesvol uitvoeren van de koppeling zijn er ook enkele beperkingen en discussiepunten bij deze methodiek en het gebruik van de resulterende dataset.

De LBK-BOFEK-dataset geeft enkel informatie over bodemfysische eigenschappen of over het niveau van landschappelijke eenheden en is hierdoor voornamelijk geschikt voor regionale vraagstukken. Voor lokale vraagstukken, op bijvoorbeeld het niveau van een perceel, is de dataset niet geschikt. Daarnaast is het ook voor regionale vraagstukken van belang om te beseffen dat de LBK-BOFEK enkel een indicatie is van de bodemfysische eigenschappen binnen de landschappelijke eenheid. In de praktijk zal er altijd ruimtelijke variatie zijn binnen de landschappelijke eenheden.

Een andere reden om dit product alleen voor regionale toepassingen te gebruiken, is de aard van de onderliggende producten. De BOFEK bestaat uit hydrofysische kengetallen van geclusterde bodemeenheden. Een bodemeenheid op de kaart bestaat uit een combinatie van een boven- en ondergrond en bevat per laag kengetallen. Deze kengetallen zijn tot stand gekomen door verschillende metingen van vergelijkbare boven- en ondergronden te combineren. Deze metingen kunnen van verschillende bodems van verschillende locaties zijn. Dit betekent dat de kengetallen die gekoppeld zijn aan een locatie op de kaart kunnen bestaan uit samengestelde getallen van andere locaties. Dit model geeft hiermee een indicatie van de kengetallen die mogelijk verwacht kunnen worden op deze locatie, maar bestaat dus niet per se uit de precieze metingen op die locatie.

Een alternatieve manier om de koppeling tussen BOFEK en LBK te benaderen, is niet vanuit de al bestaande BOFEK-clusters, maar vanuit de basisdata die erachter zitten. Na de koppeling met de basisdata kan er een soortgelijke clustering uitgevoerd worden die nu in Heinen et al. (2021) staat beschreven. Deze clustering zou dan echter niet puur bodemfysisch gestuurd zijn, zoals nu, maar ook vanuit de onderliggende landschappelijke indeling binnen de LBK. Dit zou de kengetallen die we toepassen kunnen verbeteren in het kader van de regionale/nationale en landschappelijke schaal van de LBK. Hoewel deze verbeteringen mogelijk erg klein zijn en op dit moment buiten de scope van dit project vielen, is dit wel een aanbeveling voor mogelijke verdere ontwikkeling.

In sommige gevallen zijn de Landschappelijke bodemkaarteenheden groter in oppervlakte dan die van de bodemfysische eenhedenkaart. In deze gevallen zal ruimtelijke variatie die wel aanwezig is in de BOFEK, verloren gaan door de methodiek waarbij de waarde van de bodemfysische eenheid die het meest voorkomt binnen de LBK-eenheid aan die LBK-BOFEK eenheid worden toegekend. In de meerderheid van LBK-BOFEK-eenheden is dit echter niet het geval gezien de LBK-eenheden kleiner zijn dan die van de BOFEK.

Een voorbeeld is gegeven van een globale berekening van de nalevering op basis van de hydrofysische gegevens uit de BOFEK die zijn gekoppeld aan de LBK en een bewortelbare diepte van 30 cm. Hierbij is een aantal aannames gedaan waar rekening mee gehouden dient te worden. Een aanname is bijvoorbeeld dat de GVG zich 30 cm onder de GHG bevindt, gebaseerd op een (verouderde) vuistregel. Een betere methode zou zijn om deze uit het model grondwaterspiegeldiepte te halen, maar momenteel is deze laag in het model nog niet voor alle delen van het land beschikbaar. Een andere aanname is dat in de berekening de GVG wordt gezien als de top van de sinusoïde, terwijl dat in de praktijk de GHG zou moeten zijn. Hierdoor worden de waarden voor de nalevering iets overschat. Hier is in het korte tijdbestek geen oplossing voor bedacht.

Aangezien de uiteindelijke resultaten op dezelfde wijze zijn berekend en voornamelijk kwalitatief met elkaar vergeleken worden, wordt dit niet als een groot probleem gezien. De individuele waarden voor nalevering van dit voorbeeld zijn dus puur indicatief en kunnen niet op zichzelf gebruikt worden.

In het geheel genomen is deze studie erin geslaagd om een stap verder te komen in het integreren van landschappelijke en bodemkundige informatie. Dit met het oog op het beter ontsluiten en gebruikersvriendelijker maken van de aanwezige data en kennis in producten die gebruikt kunnen worden door een breder publiek, bijvoorbeeld voor gebruikers in de werkvelden van ruimtelijke ordening en klimaatadaptatie. Het is aan te bevelen om de LBK-BOFEK door een gebruikersgroep te laten testen op gebruikersvriendelijkheid en mogelijkheden, zodat eventuele onduidelijkheden en verbeterpunten meegenomen kunnen worden in een volgende generatie van de LBK-BOFEK. De LBK-BOFEK-dataset is echter geen vervanging van veldmetingen van de bodemfysische eenheden bij ontwikkelingen binnen landschappelijke eenheden. Het dient enkel gebruikt te worden voor het identificeren van attentiegebieden waarna nadere verkenning noodzakelijk is.

Literatuur

- Geomorfologische kaart: Wageningen Environmental Research (2023). Geomorfologische Kaart van Nederland V2023-01. <https://www.broloket.nl/ondergrondmodellen/kaart>; gedownload op 01-05-2023
- Heinen, M., F. Brouwer, K. Teuling, D. Walvoort, 2021. BOFEK2020 – Bodemfysische schematisatie van Nederland; Update bodemfysische eenhedenkaart. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3056. 84 blz.; 5 fig.; 9 tab.; 28 ref.
- Heinen, M., G. Bakker, J.H.M. Wösten. 2020. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Update 2018. Report 2987, Wageningen Environmental Research, Wageningen, <https://doi.org/10.18174/512761>
- Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft, M.C. van Riel, P.W.F.M. Hommel, A.J.M. Jansen, B. Klaver, R. Loeb, J. Runhaar & H. Smeenge, 2011. Landschapsleutel; Leidraad voor natuurontwikkeling. Wageningen, Alterra, onderdeel van Wageningen UR. Alterra-rapport 2140.
- Van Delft, S.P.J., G.J. Maas (2023). Landschappelijke Bodemkartering (LBK); Achtergronden, toepassingen en technische documentatie. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOT-technical report 248.
- Wageningen Environmental Research (2023). Bodemkaart van Nederland V2023-01. <https://www.broloket.nl/ondergrondmodellen/kaart>; [gedownload op 01-05-2023](#)
- Wageningen Environmental Research (2023). Model Grondwaterspiegeldiepte V2023-02. <https://www.broloket.nl/ondergrondmodellen/kaart>; [gedownload op 01-05-2023](#)

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

Wageningen Environmental Research
Rapport 3373
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

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



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

Rapport 3373
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

