



Basiskaarten en hydrofysische gegevens van het natuurlijke systeem: actualisatie in het stroomgebied van de Raam (waterschap Aa en Maas)

C. Teuling, D.J.J. Walvoort, T.T.L. Harkema, G. Bakker, P.A. Gerritsen, M. de Keizer, H.L.E. de Groot en T.P. van Tol-Leenders

| WOT-Rapport 163



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

**Basiskaarten en hydrofysische gegevens van het natuurlijke systeem:
actualisatie in het stroomgebied van de Raam (waterschap Aa en Maas)**

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

WOT Natuur & Milieu voert wettelijke onderzoekstaken uit op het beleidsterrein natuur en milieu. Deze taken worden uitgevoerd om een wettelijke verantwoordelijkheid van de minister van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) te ondersteunen. WOT Natuur & Milieu zorgt voor rapportages en data voor (inter)nationale verplichtingen op het gebied van agromilieu, biodiversiteit en bodeminformatie, en werkt mee aan producten van het Planbureau voor de Leefomgeving zoals de Balans van de Leefomgeving.

Disclaimer WOT-publicaties

De reeks 'WOT-rapporten' bevat onderzoeksresultaten van projecten die kennisorganisaties voor WOT Natuur & Milieu hebben uitgevoerd.

WOT-rapport 163 is het resultaat van onderzoek dat gefinancierd is door het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN).

Basiskaarten en hydrofysische gegevens van het natuurlijke systeem: actualisatie in het stroomgebied van de Raam (waterschap Aa en Maas)

Kees Teuling, Dennis Walvoort, Tom Harkema, Gerben Bakker, Paul Gerritsen, Marlies de Keizer, Hugo de Groot, Dorothee van Tol-Leenders

Met bijdragen van: Fokke Brouwer, Koen Dijkstra, Frank Gerritsen, Willy de Groot, Martin Knotters, Diederik van Ameijde, Stijn Dekker, Pieter Dijk, Gijs Eijgenraam, Hessel Woolderink, Simone Verzandvoort

Wageningen Environmental Research

BAPS-projectnummer WOT-04-013-003 t/m -006 en -015

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, december 2024

WOT-rapport 163

ISSN 1871-028X

DOI [10.18174/680514](https://doi.org/10.18174/680514)

Referaat

Teuling, C., D.J.J. Walvoort, T.T.L. Harkema, G. Bakker, P.A. Gerritsen, M. de Keizer, H.L.E. de Groot, T.P. van Tol-Leenders (2024). *Basiskaarten en hydrofysische gegevens van het natuurlijke systeem: actualisatie in het stroomgebied van de Raam (waterschap Aa en Maas)*. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOT-rapport 163.

De Bodemkaart, de Geomorfologische Kaart van Nederland en het Grondwaterspiegeldieptemodel zijn basiskaarten voor de beschrijving van het natuurlijke systeem in Nederland. Hydrofysische gegevens zijn essentieel voor het modelleren van water in de bodem. Deze kaarten en gegevens zijn in 2023 geactualiseerd in het stroomgebied van de Raam in het waterschap Aa en Maas (provincie Noord-Brabant). Een nieuwe methode is gebruikt, waarin veldwerk en kartering gecombineerd zijn in één gebied en waarin digitale bodemkartering is toegepast. Deze methode geeft een efficiëntere kartering van een hogere kwaliteit. De kaarten en gegevens zijn opgenomen in de Basisregistratie Ondergrond en zijn voor gebruikers toegankelijk in [BROloket](#) en [bodemdata.nl](#).

Trefwoorden: basiskaarten natuurlijk systeem, actualisatie, Basisregistratie Ondergrond

Abstract

Base maps and hydrophysical data on the natural system: update for the Raam catchment area (Aa en Maas regional water authority)

The Soil Map of the Netherlands, the Geomorphological Map of the Netherlands and the Water Table Depth Model are base maps for describing the natural system in the Netherlands. Hydrophysical data are essential for modelling water flow in soils. In 2023 these maps and data were updated for the Raam catchment, which is in the management area of the Aa en Maas regional water authority (province of Noord-Brabant). A new method was used in which field work and mapping were combined in one area and digital soil mapping techniques were used. This is an efficient method that produces maps of high quality. The maps and data have been included in the National Key Registry of the Subsurface (BRO) and are available to users via the [BROloket](#) and [bodemdata.nl](#) portals.

Foto omslag: Paul Gerritsen

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/680514> of op www.wur.nl/wotnatuurenmilieu. WOT Natuur & Milieu verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2024 **Wageningen Environmental Research**
Postbus 47, 6700 AA Wageningen
E-mail: kees.teuling@wur.nl

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (unit binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research),
Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 54 71, info.wnm@wur.nl, www.wur.nl/wotnatuurenmilieu.



Dit werk is gelicentieerd onder de Creative Commons CC-BY-NC licentie. Zie voor de licentieverwaarden: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.nl>

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

WOT Natuur & Milieu aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Woord vooraf

Bodeminformatie is essentieel voor opgaven die we in Nederland hebben, zoals het beperken van en het aanpassen aan klimaatverandering, transitie van de landbouw en woningbouw. Het is dan ook heel fijn dat deze informatie via de Basisregistratie Ondergrond (BRO) voor iedereen toegankelijk is. Elk jaar werken we aan het actualiseren van deze bodeminformatie, of het nu gaat over de Bodemkaart, de Geomorfologische Kaart van Nederland of het Grondwaterspiegeldieptemodel en de hydrofysische gegevens. Deze actualisaties sluiten aan op de behoeftes die er in Nederland zijn. In de praktijk betekent dit dat niet al deze bodemkundige informatie in hetzelfde gebied en in hetzelfde jaar geactualiseerd wordt, maar afgelopen jaar was dit wel het geval. Een mooi moment om samen te leren, door de verschillende disciplines met bijbehorende kennis in het stroomgebied van de Raam samen te brengen. In dit rapport beschrijven we onze bevindingen en aanbevelingen voor toekomstige actualisaties.

Onze dank gaat uit naar alle collega's die hebben bijgedragen aan het actualiseren en beschrijven van deze bodemkundige informatie. Ook bedanken we Joachim Hunink, Chris van Rens en Frank van der Bolt van waterschap Aa en Maas voor de samenwerking; het veldbezoek samen met hen in het stroomgebied van de Raam en de door hen aangeleverde gegevens waren van grote meerwaarde voor dit project.

Dorothee van Tol-Leenders,
Interne contactpersoon bij Wageningen Environmental Research voor het thema Bodem en Landgebruik,
onderdeel van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (WOT N&M)

Inhoud

Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.2 Projectdoel	13
1.3 Projectafbakening	13
1.4 Betekenis voor gebruikers	14
2 Gegevens van het bodem-watersysteem actualiseren	15
3 Stroomgebied van de Raam	16
4 Geomorfologische Kaart	19
4.1 Toelichting op de Geomorfologische Kaart van Nederland	19
4.2 Methoden	19
4.2.1 Veldkartering	19
4.2.2 Digitale kartering	20
4.2.3 Toekenning aardkundige waarden	20
4.2.4 Nauwkeurigheid	21
4.3 Geactualiseerde Geomorfologische Kaart	22
4.3.1 Landvormen	22
4.3.2 Voorbeeld van een aardkundig waardevol gebied	24
5 Bodemkaart	26
5.1 Toelichting op de Bodemkaart	26
5.2 Methoden	26
5.2.1 Boormonsterbeschrijvingen	26
5.2.2 Digitale bodemkartering	28
5.3 Geactualiseerde Bodemkaart	29
6 Hydrofysische gegevens van de bodem	31
6.1 Toelichting op de hydrofysische gegevens	31
6.2 Methoden	31
6.2.1 Veldmonsters verzamelen	31
6.2.2 Boormonsterbeschrijvingen	32
6.2.3 Bepaling hydrofysische gegevens in het laboratorium	32
6.2.4 Validatie en nauwkeurigheid	33
6.3 Geactualiseerde hydrofysische gegevens	33
7 Grondwaterspiegeldieptemodel	35
7.1 Toelichting op het Grondwaterspiegeldieptemodel	35
7.2 Gegevens	35
7.3 Methodiek	36
7.4 Geactualiseerd Grondwaterspiegeldieptemodel	36
7.5 Validatie	38
8 Verwerking geactualiseerde kaarten en gegevens in BIS en BRO	39
8.1 Opname in BIS Nederland	39
8.2 Uitgifte aan BRO	40
8.3 Toegankelijkheid voor gebruikers	41

9	Toepassing van de kaarten en gegevens	42
10	Ervaringen met het combineren van veldwerk en kartering	44
11	Conclusies en aanbevelingen	46
	Literatuur	47
	Verantwoording	50
Bijlage 1	Richtlijnen boren	51
Bijlage 2	Begrippenlijst	53
Bijlage 3	Hydrofysische gegevens	54
Bijlage 4	Toegang tot de basiskaarten en hydrofysische gegevens	57
Bijlage 5	Communicatieproducten	59

Samenvatting

Actuele informatie over het bodem- en watersysteem in Nederland is belangrijk voor de ruimtelijke inrichting van het land en het beheren van landschap en watersystemen. De Bodemkaart van Nederland, de Geomorfologische Kaart van Nederland en het Grondwaterspiegeldieptemodel zijn basiskaarten voor de beschrijving van het natuurlijke systeem in Nederland. Hydrofysische gegevens van de bodem kenmerken het gedrag van water en opgeloste stoffen in de bodem.

De basiskaarten en achterliggende gegevens uit grondboringen en grondwaterpeilbuizen zijn aangeleverd aan de Basisregistratie Ondergrond (BRO), een centrale registratie met publieke gegevens over de Nederlandse ondergrond. De hydrofysische gegevens uit bodemanalyses zullen in 2025 worden aangeleverd. Wageningen Environmental Research (WENR) beheert de bodemkundige gegevens voor het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur. Onderdeel daarvan is het jaarlijks actualiseren van de kaarten en achterliggende informatie in delen van het land.

Tot 2021 werden de drie basiskaarten en achterliggende gegevens afzonderlijk geactualiseerd in verschillende gebieden waarvoor de informatie verouderd was. In 2023 is de actualisatie op een andere manier uitgevoerd, waarbij het veldwerk en de kartering voor de drie kaarten en de hydrofysische gegevens gecombineerd zijn in één gebied. Dit is gedaan om de kaarten en gegevens beter op elkaar te laten aansluiten en veldopnamen en het verzamelen van hulpinformatie efficiënter uit te voeren. Het stroomgebied van de Raam in waterschap Aa en Maas is gekozen voor de gecombineerde actualisatie, in een samenwerking met het waterschap Aa en Maas.

De basiskaarten zijn geactualiseerd in het stroomgebied van de Raam. Op 387 locaties zijn bodemprofielbeschrijvingen gemaakt. Voor de Bodemkaart is een methode gebruikt waarin expertkennis van bodemkundigen is geïntegreerd met digitale karteertechnieken. Deze methode maakt gebruik van de bodemprofielbeschrijvingen en omgevingsinformatie uit het maaiveldhoogtebestand (AHN4), de vorige versie van de Bodemkaart en de in deze ronde geactualiseerde versie van het Grondwaterspiegeldieptemodel. De voordelen van deze methode zijn dat de toekenning van bodemtypen reproduceerbaar is en de betrouwbaarheid (of nauwkeurigheid) van de kaart is gekwantificeerd. De nauwkeurigheidsinformatie is relevant als de Bodemkaart in beleid als basiskaart wordt gebruikt.

De Geomorfologische Kaart is in groter detail geactualiseerd in aardkundig waardevolle gebieden van de provincie Noord-Brabant. Hydrofysische gegevens zijn verzameld voor vijf onderscheidende eenheden in 36 grondmonsters. De basiskaarten en gegevens zijn in oktober 2024 uitgeleverd aan de BRO en zijn voor gebruikers toegankelijk op de geoportalen van de overheid ([BROloket en PDOK](#)) en in het geoportaal van WENR ([bodemdata.nl](#)).

Het verzamelen en bewerken van de gegevens voor de drie basiskaarten leverde verschillende voordelen: tijdsbesparing door het gebruik van hulpinformatie en veldopnamen voor meerdere modellen en een verbetering van de kwaliteit. Voor waterschap en provincie leverde de actualisatie informatie op die direct bruikbaar is voor hun taken.

Een knelpunt in de gecombineerde actualisatie was de afstemming van het veldwerk voor de Bodemkaart en Geomorfologische Kaart en het geringe aantal grondboringen. Grondboringen en kartering voor de Bodemkaart moeten in een vroeg stadium worden uitgevoerd, zodat deze gegevens gebruikt kunnen worden voor de begrenzing van kaartvlakken in de Geomorfologische Kaart.

Summary

Having up-to-date information on the soil and water system in the Netherlands is crucial for spatial and land use planning and for managing the landscape and water systems. The Soil Map of the Netherlands, the Geomorphological Map of the Netherlands and the Water Table Depth Model are base maps for describing the natural system in the Netherlands. Hydrophysical data on soil describe the behaviour of water and dissolved substances in the soil.

The base maps, hydrophysical data and the underlying data from soil augerings, soil analyses and groundwater observation wells were supplied to the National Key Registry of the Subsurface (BRO), a central repository of public data on the subsurface in the Netherlands. Wageningen Environmental Research (WENR) manages the soil data for the Ministry of Agriculture, Fisheries, Food Security and Nature (LNV). This includes an annual update of the maps and underlying information in parts of the country.

Until 2021 the three base maps and underlying data were updated separately in different areas where the information had become outdated. In 2023 a different approach was used for the update in which field work and mapping for the three maps and the hydrophysical data were combined in one area. This was done to make the maps more compatible and improve the efficiency of field surveys and the collection of supporting information. The Raam catchment area in the territory of the Aa en Maas regional water authority was chosen as the location for the combined update, in a joint project with the Aa en Maas regional water authority.

The base maps for the Raam catchment area were updated. Soil profile descriptions were made for 387 sites. For the Soil Map a method was used in which the expertise of soil scientists was integrated into digital mapping techniques. This method makes use of the soil profile descriptions and environmental information from the digital elevation model (AHN4), the previous version of the Soil Map and the version of the Water Table Depth Model updated in this round. The advantages of this method are that the determination of soil types is reproducible and the reliability (or accuracy) of the map is quantified. The accuracy information is relevant when the Soil Map is used as a base map for policymaking purposes.

The Geomorphological Map was updated in greater detail for geomorphologically valuable sites in the province of Noord-Brabant. Hydrophysical data were collected for five differentiating units in 36 soil samples. The base maps and data were submitted to the BRO in October 2024 and are accessible to users via the government portals ([BROloket](#) and [PDOK](#)) and the WENR geoportal ([bodemdata.nl](#)).

Collecting and processing the data for the three base maps has various advantages, including time savings from using supplementary information and field data for multiple models and an improvement in quality. The update provided information that can be used directly by the regional water authority and the provincial government in the exercise of their tasks.

A bottleneck in the combined update method was coordinating the field work for the Soil Map and Geomorphological Map and the limited number of soil augerings. Soil augering and mapping for the Soil Map should be carried out at an early stage to ensure the data can be used for delineating the map units in the Geomorphological Map.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Bodemkaart, de Geomorfologische Kaart van Nederland en het Grondwaterspiegeldieptemodel zijn basiskaarten voor de beschrijving van het bodem-watersysteem in Nederland. Deze kaarten, en de achterliggende gegevens uit grondboringen, bodemanalyses en grondwaterpeilbuizen, zijn onderdeel van de Basisregistratie Ondergrond (BRO).

De BRO komt voort uit de Wet basisregistratie ondergrond. Het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) is volgens de deze wet bronhouder van deze kaarten en gegevens en is verantwoordelijk voor de kwaliteit en het onderhoud van deze informatie. Wageningen Environmental Research (WENR) houdt de kaarten en gegevens (registratieobjecten genoemd in de BRO) voor het ministerie actueel als onderdeel van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu. Dat gebeurt in jaarlijkse actualisatie van de kaarten en achterliggende informatie. De kaarten en broninformatie worden beheerd in het Bodemkundig Informatiesysteem Nederland (BIS Nederland). Na iedere actualisatie worden de kaarten en bijbehorende gegevens geleverd aan de BRO en gepubliceerd met een toelichtend rapport.

Tot 2021 werden de drie basiskaarten en gegevens uit bodemprofielen afzonderlijk geactualiseerd in verschillende gebieden: de Bodemkaart in gebied A, de Geomorfologische Kaart in gebied B en het Grondwaterspiegeldieptemodel in gebied C. De keuze van die gebieden werd bepaald door de datum van de meest recente kartering en door veranderingen die waren opgetreden in het bodem-watersysteem sinds die kartering. Gebieden werden ook geselecteerd als een provincie of waterschap een speciale vraag had over het werkgebied. In 2023 is de actualisatie op een andere manier uitgevoerd, waarbij het veldwerk en de kartering gecombineerd zijn in één gebied. De verwachte voordelen hiervan zijn:

- Een integrale aanpak voor kartering van bodem, terreinvormen en grondwaterspiegel is mogelijk.
- Verzamelde gegevens in het gebied kunnen voor meerdere kaarten en opdrachtgevers worden gebruikt.
- Toestemming vragen aan grondeigenaren voor veldopnamen en het stroomlijnen van contacten met bevoegde instanties kan in één ronde gedaan worden voor alle kaarten en gegevensbestanden.
- De verschillende basiskaarten krijgen een uniformere actualiteit en sluiten beter op elkaar aan.

In de actualisatie van 2023 wilden we nagaan of de gecombineerde aanpak de verwachte voordelen opleverde. Het stroomgebied van de Raam in waterschap Aa en Maas is gekozen voor de gecombineerde actualisatie, in een samenwerkingsverband met het waterschap.

1.2 Projectdoel

Doel van dit project is om de basiskaarten, hydrofysische gegevens en achterliggende gegevens van het bodem-watersysteem in de Basisregistratie Ondergrond actueel te maken voor het stroomgebied van de Raam in het beheergebied van waterschap Aa en Maas. Een tweede doel is om ervaring op te doen met de gecombineerde aanpak voor de actualisatie.

1.3 Projectafbakening

Het onderzoeksgebied van dit project is het stroomgebied van de laaglandbeek de Raam. De Bodemkaart en het Grondwaterspiegeldieptemodel geven geen informatie over stedelijke gebieden. Voor de Geomorfologische Kaart zijn deze gebieden wel ingevuld.

1.4 Betekenis voor gebruikers

Waterschap Aa en Maas heeft WENR in 2022 benaderd met het verzoek om het Grondwaterspiegeldiepte-model te actualiseren voor haar werkgebied. Het waterschap heeft ook belangstelling voor de actualisatie van de andere registratieobjecten en is actief betrokken bij de werkzaamheden van WENR voor dit doel. Daarom is gekozen voor een gebied in het beheergebied van waterschap Aa en Maas om de actualisatie van alle registratieobjecten in gecombineerde vorm uit te voeren. Het stroomgebied van de Raam is geselecteerd omdat voor dit gebied de grootste behoefte bestaat aan geactualiseerde gegevens en omdat er een grote variatie aan bodemtypen, landvormen en grondwaterspiegeldiepten voorkomt.

Naast landelijke overheden en waterschap Aa en Maas kunnen ook andere partijen gebruikmaken van de nieuwe gegevens. Dit zijn onder meer de gemeenten Land van Cuijk en Maashorst, ZLTO-afdeling Land van Cuijk en de provincie Noord-Brabant.

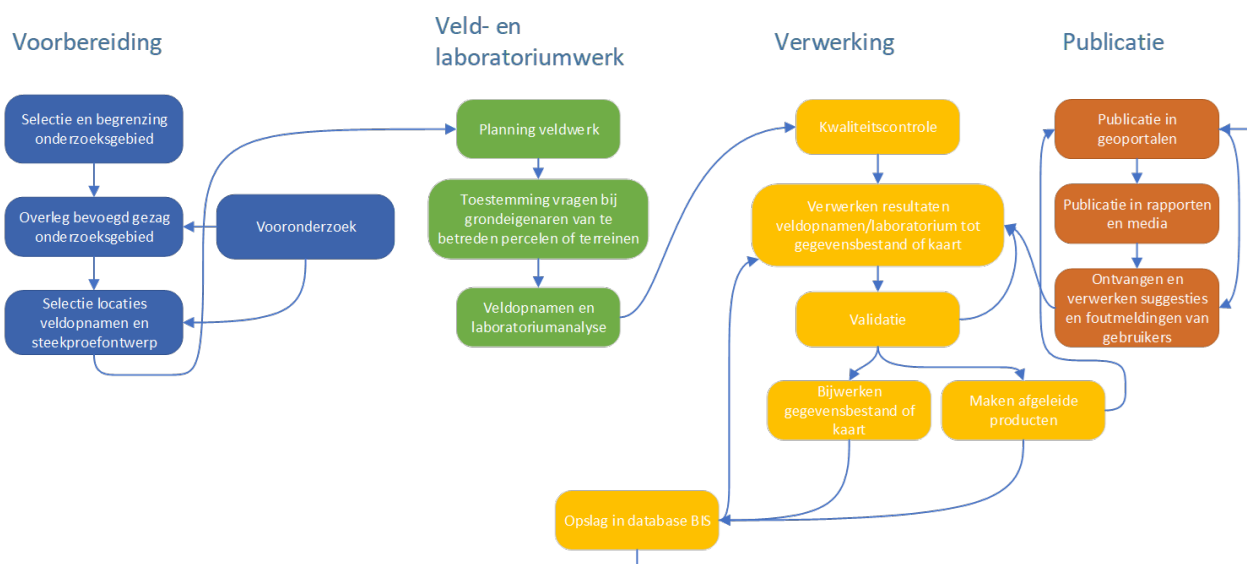
2 Gegevens van het bodem-watersysteem actualiseren

Gegevens van het bodem-watersysteem

Het ministerie van LNV is conform de Wet BRO bronhouder van onder andere de volgende registratieobjecten die in de Basisregistratie Ondergrond zijn opgenomen (afkortingen verwijzen naar Engelse namen gebruikt in de BRO):

- bodemkundig booronderzoek: boorprofielen (BHR-P) en analyses (BHR-P-A);
- wandprofielen (SFR) en analyses (SFR-A);
- model: De bodemkaart 150.000 (SGM);
- model: Geomorfologische Kaart 150.000 (GMM);
- model: Grondwaterspiegeldieptemodel (WDM).

Als bronhouder is het ministerie verantwoordelijk voor de kwaliteit, het onderhoud en het beheer van de genoemde data en modellen en voor het afhandelen van meldingen. Het ministerie heeft deze taak uitbesteed aan WENR, die nieuwe gegevens verzamelt voor de registratieobjecten in het veld en het laboratorium en deze gegevens bewerkt voor opslag in de database BIS Nederland (Figuur 2.1). Vanuit deze database worden gegevens uitgeleverd aan de BRO en gepubliceerd in geoportalen en rapporten.



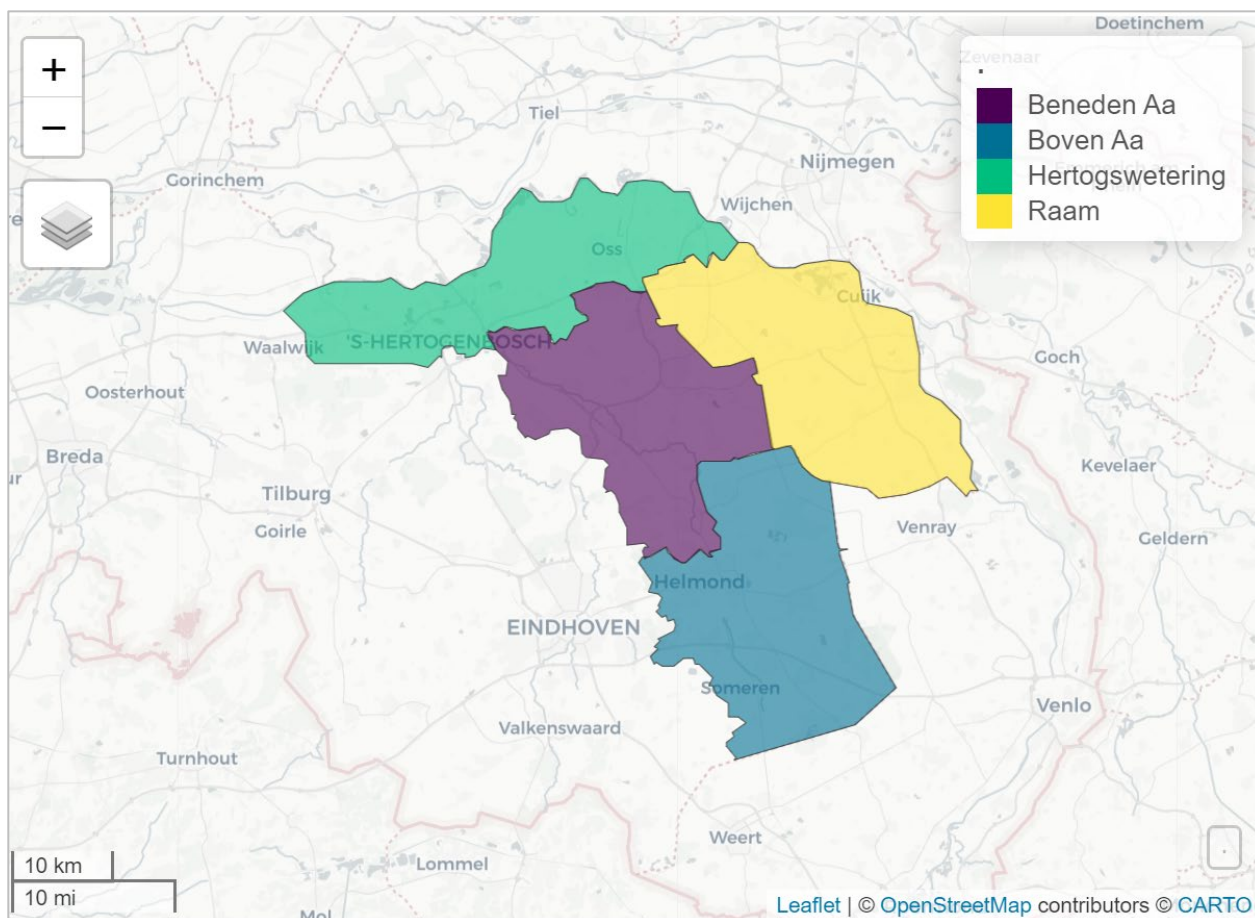
Figuur 2.1 Activiteiten in het actueel maken van gegevens en modellen in de database BIS Nederland, ingedeeld naar deeltrajecten van voorbereiding, veld- en laboratoriumwerk, verwerking en publicatie.

Voordelen van gecombineerd actualiseren in één gebied

Alle registratieobjecten moeten worden geactualiseerd om de data en modellen zo actueel mogelijk te krijgen en te houden. Concreet betekent dit dat er wordt waargenomen in het veld, bodemprofielen worden beschreven, bodemmonsters worden genomen en analyses in het laboratorium worden uitgevoerd. Door in hetzelfde gebied te actualiseren kan er voor alle drie de modellen gebruikt gemaakt worden van dezelfde steekproef en kunnen begrenzings van bodems en landvormen beter op elkaar afgestemd worden. In 2023 werd de actualisatie van alle registratieobjecten in één gebied uitgevoerd.

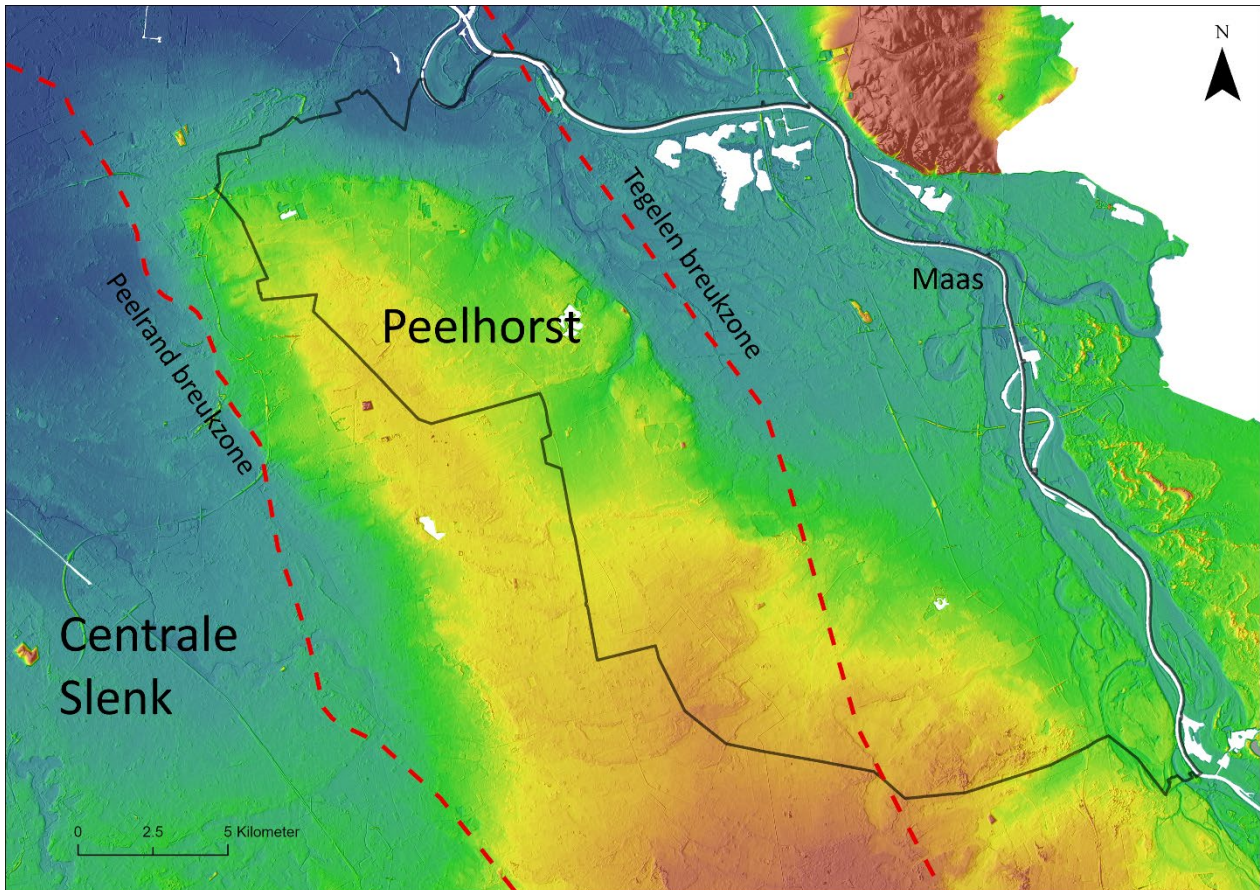
3 Stroomgebied van de Raam

Het beheergebied van waterschap Aa en Maas ligt in het oostelijk deel van de provincie Noord-Brabant (zie Figuur 3.1). Het gebied heeft een oppervlakte van 161.000 hectare en wordt aan de noord- en noordoostzijde begrensd door de Maas, aan de zuidkant door provincie Limburg en aan de westkant door waterschap De Dommel. Het beheergebied is opgedeeld in vier districten: Beneden Aa, Boven Aa, Hertogswetering en Raam. De afbakening is gebaseerd op deelstroomgebieden en genoemd naar de belangrijkste watergangen daarin.



Figuur 3.1 Beheersgebied van waterschap Aa en Maas met in geel de ligging van het deelgebied van de Raam.

Voor bodem en landschap in het gehele beheergebied van waterschap Aa en Maas zijn een aantal geologisch-geografische eenheden belangrijk: de Centrale Slenk, de Peelhorst en het rivierengebied (Figuur 3.2). De Centrale Slenk en de Peelhorst zijn gevormd door een aantal breuken die lopen van zuidoost naar noordwest, waarlangs afschuivingen hebben plaatsgevonden. Op sommige plaatsen zijn deze breukzones goed waar te nemen in het landschap door grote verschillen in reliëf op korte afstand. Bodemlagen schuiven langs de breuken en daardoor is de waterdoorlatendheid op sommige plaatsen laag. Water kan dan alleen via kwel (ook wel *wijst*, zie Figuur 3.3) of via het oppervlaktewater van de hoge (Peel)horst naar de lager gelegen slenk stromen. Ten oosten van de Peelhorst stroomt het water via de Raam richting de Maas en ten westen daarvan stroomt het water via de Aa in de Maas bij 's-Hertogenbosch. Voor het stroomgebied van de Raam zijn voornamelijk de Peelhorst en het rivierengebied van toepassing.



Figuur 3.2 Hoogtemodel AHN4 met daarop de globale ligging van het onderzoeksgebied (zwarte omlijning) ten opzichte van de centrale slenk, de Peelhorst en de Maas.

Peelhorst

De bovenste bodemlaag op de Peelhorst bestaat voornamelijk uit eolische afzettingen (vooral dekzand), met daaronder op veel plaatsen grofzandige of grindrijke fluviaatiele afzettingen. Soms zijn deze fluviaatiele afzettingen niet bedekt en liggen ze aan het oppervlakte.

De randgebieden van de Peelhorst zijn al lange tijd bewoond: de dorpen Boekel, Volkel, Uden en Nistelrode liggen aan de westzijde en Mill, Wanroij, Ledeaeker, St. Anthonis en Oploo aan de oostzijde. Hier liggen grote complexen van oude bouwlanden (enkeerdgronden). Een groot deel van de Peelhorst is pas veel later ontgonnen (vanaf de negentiende eeuw) door verbeterde technieken in waterbeheer en landontginning en uiteindelijk de invoer van kunstmest. Het landgebruik bestaat voornamelijk uit bouwland en grasland met op de stuifzandgebieden beplante naaldbossen.

Rivierengebied

Het rivierengebied wordt vooral gekenmerkt door de rivierterrassen van de Maas die ten (noord)oosten liggen van de Peelhorst. In het reliëf is een patroon van de pleistocene vlechtende Maas te zien met een wirwar van geulen met daartussen platen. De sedimenten die hier zijn afgezet zijn relatief grofzandig, soms met een relatief recent kleidek.

De meeste bewoning in dit gebied bevindt zich aan de rand van de oude Maasterrassen en het huidige Maasdal. Hier ligt een strook van plaatsen zoals Cuijk, Boxmeer, Beugen en Vierlingsbeek, die allen relatief hoog in het landschap liggen dicht bij de Maas. Deze strook langs de Maas is al van oudsher in gebruik en heeft grotendeels gefungeerd als bouwland. Verder van de Maas, richting de Peelhorst, is de bewoning schaarser omdat dit gebied van nature lager en relatief nat is. Dorpen zoals Haps en Rijkevoort bevinden zich op de enkele hoger gelegen locaties in het landschap. Dit deel van de Maasterrassen is grotendeels pas vanaf de negentiende eeuw ontgonnen. Ondertussen is vrijwel het gehele gebied in gebruik genomen en bestaat het landgebruik hier grotendeels uit bouw- en grasland.



Figuur 3.3 Karakteristieke (rode) wijstgronden nabij het Sint Annabos te Uden (foto: Tom Harkema).

4 Geomorfologische Kaart

4.1 Toelichting op de Geomorfologische Kaart van Nederland

De Geomorfologische Kaart van Nederland is een landsdekkend kaartmodel dat de vormen van het Nederlandse aardoppervlak en hun ontstaansgeschiedenis in detail beschrijft. Geomorfologie, de wetenschap achter deze kaart, richt zich op het bestuderen van landvormen en de processen die bij de vorming een rol spelen of hebben gespeeld.

De kaart beschrijft de vorm en ontstaanswijze van de meest voorkomende landvormen in Nederland zoals duinen, rivierterrassen en stuwwallen. Voor elke landvorm wordt aangegeven tot welke (sub)groep deze behoort, de mate van het reliëf, de genese (ontstaanswijze) en de ouderdom (Programma Basisregistratie Ondergrond 2024a). Daarnaast biedt de kaart aanvullende informatie over afwijkende geologische afzettingen in de bovengrond en bijzonderheden in het reliëf, evenals over de invloed van actieve geomorfologische processen.

Deze informatie is van groot belang voor ruimtelijke vraagstukken zoals klimaatadaptatie, natuurbeheer, infrastructuur en cultureel erfgoed. Omdat zowel de ondergrond als bovengrond een cruciale rol spelen in deze domeinen, is de kaart een integraal onderdeel van de Basisregistratie Ondergrond (BRO) en daarmee publiekelijk toegankelijk. Dit maakt de kaart een waardevol instrument voor overheden, wetenschappers en ingenieurs bij het nemen van beslissingen over landgebruik en omgevingsbeheer.

4.2 Methoden

Bij de kartering voor de Geomorfologische Kaart wordt het protocol 'geomorfologisch karteren' gevolgd, dat in detail staat beschreven in het *Kwaliteitsdocument van de Geomorfologische Kaart van Nederland* (Van der Meij en Maas 2020). In de volgende paragrafen wordt het proces kort toegelicht, in combinatie met specificaties voor het gekarteerde gebied.

4.2.1 Veldkartering

Voor de actualisatie van de Geomorfologische Kaart voor het stroomgebied van de Raam is gebruik gemaakt van de boringen die zijn gedaan voor de actualisatie van het Grondwaterspiegeldieptemodel en de Bodemkaart en die zijn opgenomen in de BRO (zie hoofdstuk 5). Aanvullend aan deze geregistreerde boringen zijn 'tussenboringen' gedaan om overgangen tussen bodemkundige of geomorfologische eenheden aan te duiden. Van tussenboringen wordt geen volledige beschrijving gemaakt; om die reden worden deze boringen niet geregistreerd in de BRO. Ze leveren echter waardevolle informatie over terreinvormen, bodem en grondwaterspiegeldiepte, die we opslaan in het Bodemkundig Informatiesysteem Nederland.

Voorafgaand aan de veldwerkcampagne zijn binnen het stroomgebied van de Raam (geo)morfologisch interessante locaties geïdentificeerd op basis van de bestaande Geomorfologische Kaart (Wageningen Environmental Research 2023). Het gaat hier bijvoorbeeld om locaties met sterk variabel reliëf zoals stuif- en dekzandgebieden, steilranden en rivierduinen. Hierbij zijn ook de locaties aangewezen die volgens de provincie Noord-Brabant zijn aangeduid als aardkundig waardevol (Provincie Noord-Brabant, z.d., a). Aardkundig waardevolle gebieden (of aardkundig erfgoed) zijn combinaties van landvormen, bodem, waterstromen en ondergrond in een gebied die iets vertellen over de ontstaanswijze.

Bij deze locaties is aan de veldwerkers gevraagd om meer tussenboringen te doen en, waar mogelijk, ook geomorfologische beschrijvingen te maken tijdens het bodemkundig veldwerk. Dit zijn ook de locaties waar

velddagen zijn gepland voor specifieke geomorfologische boringen, veldcontroles en een gezamenlijk veldbezoek waaraan alle projectmedewerkers hebben deelgenomen.

Verder zijn als hulpbronnen de boorbeschrijvingen van oudere veldcampagnes geraadpleegd, bijvoorbeeld voor detailbodempkarteringen. Deze boorbeschrijvingen zijn niet allemaal digitaal beschikbaar (in de BRO of in het BIS) en zijn uit het fysieke archief gehaald.

4.2.2 Digitale kartering

Het 'geomorfologisch karteren Nieuwe Stijl' is toegepast tijdens de actualisatie. Hierbij wordt gekarteerd in een digitale GIS-omgeving zoals ArcGIS Pro, waarin verschillende databronnen tegelijk met elkaar vergeleken kunnen worden.

De basis van de kartering is de oude Geomorfologische Kaart. Deze kaart geeft een goede indicatie van welke landvormen aanwezig zijn en waar deze ongeveer liggen. De precieze begrenzing van de landvormen komt echter niet altijd overeen met de werkelijkheid omdat deze is gedaan met analoge databronnen, zoals hoogtepuntenkaarten. Met behulp van een digitaal hoogtemodel, zoals het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), kunnen we de begrenzingen controleren en corrigeren waar nodig. Daarnaast kunnen ook kleinere landvormen ingetekend worden die op basis van het AHN geïdentificeerd worden. De meest recente versie, AHN4, is gebruikt voor deze actualisatie.

Naast deze twee basisbronnen zijn andere bronnen gebruikt tijdens de actualisatie van de Geomorfologische Kaart. Een volledige lijst van de meest gebruikte bestanden is te vinden in het kwaliteitsdocument (Van der Meij en Maas 2020). Hierin staan onder andere (historisch) topografische kaarten, andere BRO-modellen (Programma Basisregistratie Ondergrond, 2024b) en boringen. Aangezien geologie en breukzones in dit gebied een grote rol spelen zijn de geologische modellen van de BRO, voornamelijk GeoTOP, veelvuldig gebruikt. Voor deze actualisatie zijn ook specifieke bronnen gebruikt waarmee extra detail gegeven kon worden. Voor het Maasdal is onder andere gebruik gemaakt van de archeologische verwachtingskaart van Isarin et al. (2015), de paleogeografische kaart van Woolderink en Cohen (2018) en de zandbanenkaart van Cohen et al. (2009). Kaartbladen 7-8 en 12-13 van het historisch topografische Tranchot-Müffling kaartwerk (Tranchotkaart 1802-1820) zijn ook geraadpleegd tijdens de actualisatie.

Oude gedetailleerde bodempkarteringen die beschikbaar waren voor het gebied zijn vertaald en gedigitaliseerd, voor zover dat nog niet eerder gedaan was. Daarbij zijn voor detailkarteringen binnen de aardkundig waardevolle gebieden Overloonsche duinen en Maashorst ook de bijbehorende veldkaarten, met daarop gegevens over de boorpunten, uit het fysieke archief gehaald en gedigitaliseerd. Hierdoor gebruiken we niet alleen de detailkarteringen maar ook de boringen waarop de karteringen gebaseerd zijn.

Bij de actualisatie van gebieden die zijn aangegeven als aardkundig waardevol door de provincie Noord-Brabant, is ook specifiek rekening gehouden met verstoorde gebieden. Hierbij is de 'vergraven grondenkaart' gebruikt (Maas et al. 2016), in combinatie met het AHN. Ook oudere versies van het AHN (1-3) kunnen inzicht geven in relatief recente vergravingen, waardoor deze locaties ook zijn meegenomen in de actualisatie. Aangezien de informatie voor AHN4 voor grote delen van het gekarteerde gebied in de periode 2020-2021 is ingewonnen, zijn de meest recente vergravingen niet of in beperkte mate meegenomen.

4.2.3 Toekenning aardkundige waarden

Het project voor de actualisatie van de Geomorfologische Kaart voor het stroomgebied van de Raam binnen Waterschap Aa & Maas valt deels samen met het project waarin de Geomorfologische Kaart voor de aardkundig waardevolle gebieden van de provincie Noord-Brabant wordt geactualiseerd. De provincie wil meer inzicht krijgen in de staat van de landvormen binnen aardkundig waardevolle gebieden om ruimtelijke plannen beter te kunnen beoordelen. De oude Geomorfologische Kaart stamt uit het analoge tijdperk, waardoor begrenzingen en het detailniveau niet goed meer passen bij het huidige beleid. Een actualisatie van de Geomorfologische Kaart was hierdoor noodzakelijk.

In 2004 heeft de provincie een kaart laten opstellen van gebieden met een grote ecologische, cultuur-historische en/of geologische betekenis voor het ontstaan van het Brabantse landschap (Provincie Noord-Brabant z.d., b). De provincie wil deze gebieden behouden. Initiatiefnemers kunnen met behulp van deze kaart bijvoorbeeld nagaan met welke aardkundige waarden er rekening moet worden gehouden in ruimtelijke plannen. Inmiddels worden er 43 verschillende aardkundig waardevolle gebieden onderscheiden binnen de provincie. Enkele bekende voorbeelden zijn de Biesbosch en de Loonse en Drunense Duinen.

Binnen het gekarteerde gebied voor het stroomgebied van de Raam vallen (deels) negen aardkundig waardevolle gebieden: Overloonsche Duinen, Maasterrassen, Land van Cuijk, Geest en Steilrand Mill vallen volledig binnen het gebied. Maashorst, Keentse Uiterwaard, Grote Koolwijk en het Peelrandbreukstelsel vallen er deels binnen. Dit duidt op de grote variatie aan waardevolle landvormen die binnen het gekarteerde gebied te vinden zijn. Buiten deze negen gebieden zijn de overige 34 aardkundig waardevolle gebieden in de provincie Noord-Brabant ook in de afgelopen twee jaar gekarteerd.

In de aardkundig waardevolle gebieden is de Geomorfologische Kaart geactualiseerd op een schaal van circa 1:25.000 of kleiner. Dit is een gedetailleerder niveau dan noodzakelijk is voor de actualisatie die jaarlijks wordt uitgevoerd voor de BRO (circa 1:50.000), waardoor kleinere landvormen ook meegenomen worden en begrenzingen met meer zorgvuldigheid kunnen worden uitgewerkt. Naast de gedetailleerde classificatie van landvormen binnen deze gebieden is, op verzoek van de provincie, ook rekening gehouden met de gaafheid van de gekarteerde landvormen middels een 'gaafheidsscore'. Deze score is van invloed op de aardkundige waarde die een landvorm (nog) heeft. Zo scoort binnen het stroomgebied van de Raam het zandwingebied van de Kraaijenbergse Plassen bijvoorbeeld zeer laag qua gaafheid en scoren de rivierduincomplexen de Vortumsche en Groeningsche Bergen relatief hoog omdat deze nog grotendeels intact zijn. De gaafheidsscore is geen onderdeel van het BRO-model voor de Geomorfologische Kaart en wordt hier niet verder uitgewerkt. De gaafheidsscore heeft wel invloed gehad op de begrenzing van vlakken in de Geomorfologische Kaart in de aardkundig waardevolle gebieden.

4.2.4 Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van de Geomorfologische Kaart is moeilijk te kwantificeren; het is een 2D-kaartmodel waarmee we 3D-landvormen in kaart proberen te brengen. Doordat de ondergrond is opgebouwd uit verschillende lagen met verschillende genese, is het aan de karteerder te bepalen welke in kaart gebracht moet worden. In sommige gevallen is er geen eenduidige keus en kunnen meerdere interpretaties technisch gezien juist zijn. In het gekarteerde gebied bevindt zich bijvoorbeeld de Maashorst, een grote landvorm die in het algemeen bedekt is met een laag dekzand. Afhankelijk van de interpretatie kan op een locatie hier een horst gekarteerd worden of een dekzandvorm, terwijl beide interpretaties technisch gezien juist zijn.

Voor het documenteren van de kwaliteit van de Geomorfologische Kaart (Van der Meij en Maas 2020) is onderzoek gedaan naar de overeenkomst tussen de kaarten, gemaakt door verschillende vakexperts. De overeenkomst bleek tussen 60 en 70% te zijn. Deze waarden kunnen we beschouwen als een benadering van de kwaliteit van de Geomorfologische Kaart. Omdat we de verschillende modellen gelijktijdig en in samenhang actualiseren (Bodemkaart, Geomorfologische Kaart en Grondwaterspiegeldieptemodel) verwachten we dat de nauwkeurigheid van de Geomorfologische Kaart verbeterd is ten opzichte van eerdere actualisaties.

Doordat bij de actualisatie is samengewerkt tussen teams van de verschillende BRO-modellen, hebben er meer rondes van interne controles op karteringen plaatsgevonden door een groter team van karteerders, veldwerkers en andere experts, met name in de aardkundig waardevolle gebieden. Een goede afstemming van de kartermethode heeft plaats kunnen vinden tussen de geomorfologische experts. Daarnaast hebben de karteerders in dit gebied gebruik kunnen maken van meer recente boorinformatie en invloed kunnen uitoefenen op de keuze van locaties voor deze boringen. De boringen uit deze veldcampagne worden gezien als extra hulpinformatie, die bovenop de standaard veldcontroles voor de geomorfologische karteringen gebruikt kan worden.

De standaard veldcontroles van karteringen hebben voornamelijk plaatsgevonden in de aardkundig waardevolle gebieden in het stroomgebied van de Raam. Dit was noodzakelijk om ook binnen deze gebieden genoeg nauwkeurigheid te kunnen garanderen, ook voor de meer gedetailleerde karteerschaal (1:25.000 of kleiner).

4.3 Geactualiseerde Geomorfologische Kaart

4.3.1 Landvormen

Het gekarteerde gebied (te zien in Figuur 4.1) is grofweg in tweeën op te delen: de Peelhorst, die een bruine kleur heeft op de kaart, en de Maasterrassen, die een groene kleur hebben op de kaart. De hooggelegen Peelhorst is ontstaan door relatieve tektonische opheffing en de ondiepe ondergrond bestaat uit oude (Midden-Pleistoceen), grove Maassedimenten met daarop een laag van dekzand. De Maasterrassen liggen ten (noord)oosten van de Peelhorst, met als oostgrens het huidige Maasdal en de Maas zelf. Ze liggen, vergeleken met de Peelhorst, een stuk lager in het landschap. Net als de Peelhorst bestaat de ondiepe ondergrond van de Maasterrassen uit relatief grove Maassedimenten, echter deze zijn een stuk jonger (Laat Pleistoceen). Ook hier zijn de Maassedimenten over het algemeen bedekt met een laagje dekzand, dat vooral in de hoger gelegen delen van het landschap een rol kan spelen in de morfologie. Vooral in het huidige Maasdal en in het noordelijke deel van de oudere Maasterrassen worden aan het oppervlak recente overstromingssedimenten en kleiige afzettingen aangetroffen (zie ook de Bodemkaart, hoofdstuk 5).

Peelhorst

Ondanks dat aan het oppervlak van de Peelhorst een laag dekzand ligt, is de voornaamste geomorfologische landvorm binnen dit gebied de *'plateau-achtige horst'* (F01) (bruin op de kaart)¹. Het reliëf dat door de tektonische opheffing wordt veroorzaakt vinden we in dit geval belangrijker om te karteren dan het dekzand-reliëf. De aanwezigheid van het dekzand wordt wel aangegeven in de kartering met de toevoeging 'd'. Locaties waar het Maassediment relatief ondiep ligt (40–80 cm onder maaiveld) worden gekenmerkt door de toevoeging 'r' aan de code.

Dekzandvormen

Op locaties waar veel dekzand te vinden is, of waar het lokaal voor veel verschillen in reliëf zorgt, worden dekzandvormen gekarteerd. Deze vormen zijn:

- een *dekzandrug* (B53) in het geval van een enkele rug;
- *dekzandwelvingen* (L51) in het geval van een complex van dekzandreliëf op korte afstand en
- *dekzandvlakten* (M51 of M53) op locaties met weinig reliëf.

Stuifzandvormen

Op locaties waar het dekzand is verstoven, vaak door menselijk toedoen, worden stuifzandvormen gekarteerd. Duidelijke en individueel karteerbare *stuifduinen* (B58) worden afgewisseld met *stuifzandvlakten* (M54) en met het karakteristieke, zeer gevarieerde *stuifzandreliëf* (L54), dat niet op individueel niveau gekarteerd wordt. Een goed voorbeeld hiervan is het aardkundig waardevolle stuifzandgebied de Overloonsche Duinen (Figuur 4.2).

Andere landvormen

Aan de oostkant van de Peelhorst zijn nog enkele andere landvormen gekarteerd, zoals de donkerbruin gekleurde *horstglooiing* (H01) en de *steilranden* (A41), die de scherpe overgang tussen de Peelhorst en de Maasterrassen aanduiden. Op deze overgang liggen ook (*droge*) *dalen* (R21/R23) en *beekdalen* (R42). Deze dalen wateren in een karakteristieke noordoostelijke richting af naar de Maasterrassen.

Terrasvormen

Binnen de Maasterrassen zijn voornamelijk terrasvormen gekarteerd. Het grootste oppervlak bestaat uit de landvorm *terrasvlakte* (M42) voor de locaties waar er relatief weinig reliëf te vinden is. Microreliëf is op sommige locaties binnen deze vlakte nog wel te vinden, maar in de meeste gevallen is dit kleinschalige reliëf

¹ Informatie over landvormen is te vinden in de online legenda van de Geomorfologische Kaart van Nederland. Voor deze eenheid zie: <https://legendageomorfologie.wur.nl/?eenheid=M42>.

verdwenen door egalisatie. De terrasvlakte ligt algemeen gezien het verst van de huidige Maas af. Dichter bij de Maas is relatief meer reliëf te vinden, waardoor hier landvormen worden gekarteerd zoals *dalvlakteterras* (E44) en *terrasafzettingsswelingen* (L41). Tussen deze terrasvormen in zijn allerlei oude afwateringspatronen te herkennen, die worden gekarteerd als *restgeulen* (R43) of als *dalvormige laagten* (R23). Tussen deze geulen zijn voormalige platen te vinden die worden gekarteerd als *terrasrest-rug* (B43).

Rivierdalvormen

Het huidige Maasdal wordt gekarteerd als *rivierdalbodem* (R41). Enkele *rivierduincomplexen* (B57) zijn in het huidige Maasdal nog te herkennen. De legenda van Geomorfologische Kaart, zoals vastgelegd in de BRO, biedt weinig nuance binnen de terrasvormen voor wat betreft het reliëf. Om toch kleine reliëfverschillen tussen de vormen aan te kunnen geven worden de toevoegingen *relatief laaggelegen* (L) en *relatief hooggelegen* (H) veel gebruikt. Net als op de Peelhorst worden delen van de Maasterrassen bedekt met een laag dekzand die met de toevoeging 'd' wordt aangeduid binnen de gekarteerde vlakken. Op enkele locaties is het dekzandreliëf dusdanig duidelijk dat de landvormen aangeduid worden als dekzandvormen. Ook de toevoeging 'c' voor cultuur- of esdek is op een aantal locaties binnen het gekarteerde gebied te vinden, voornamelijk op de hoger gelegen dekzandruggen, dalvlakteterrassen en terrasrest-ruggen.

Landvormen door menselijke activiteit

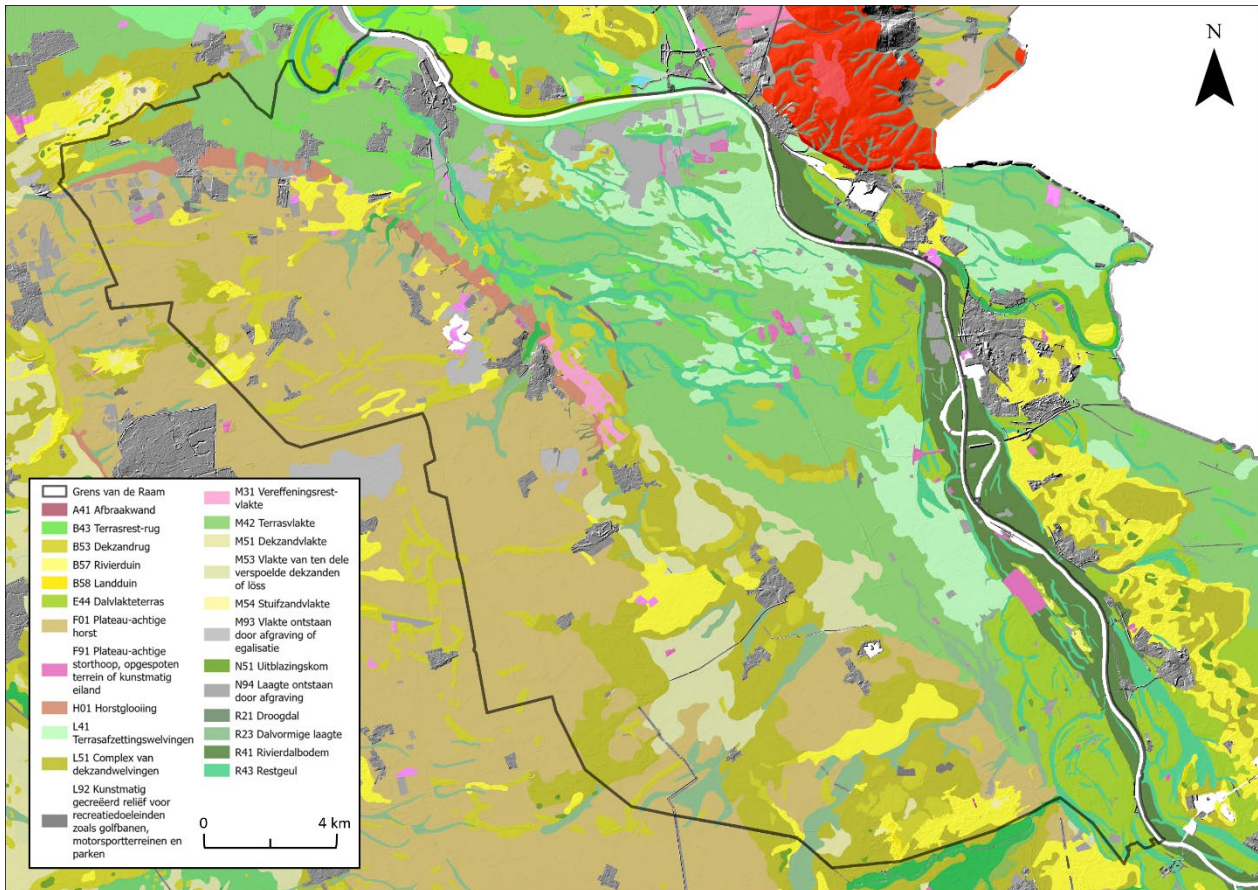
Zowel op de Peelhorst als op de Maasterrassen zijn er duidelijke invloeden van de mens te zien in de vorm van onder andere bebouwing, egalisatie, afgravingen en stortplaatsen. Daar waar het landschap dusdanig is aangetast dat de originele landvormen niet meer te herkennen zijn, worden *antropogene vormen* gekarteerd. Een voorbeeld hiervan zijn de Kraaijenbergse plassen in het noorden van het gekarteerde gebied. Deze plassen zijn door de mens gegraven zandwinningslocaties. Hierdoor is het originele landschap niet meer te herkennen en worden deze vormen als groeves (N91) gekarteerd. Niet alle aantastingen worden als antropogeen gekarteerd. Aantastingen van het landschap, waarin de oorspronkelijke landvorm nog redelijk te herkennen is, worden aangegeven met de toevoeging 'E' aan de code van de landvorm. Dit komt bijvoorbeeld voor bij stukjes Maasdal, die relatief ondiep zijn afgegraven.

Stedelijk gebied

In de Bodemkaart, het Grondwaterspiegeldieptemodel en in de oude Geomorfologische Kaart (versies tot 2019) is het stedelijk gebied buiten beschouwing gelaten. Bij de actualisatie van de huidige Geomorfologische Kaart wordt het stedelijk gebied, waar mogelijk, ingevuld. Om het stedelijk gebied niet alleen te vullen met grijze vlakken met de ontstaanswijze 'antropogeen', wordt de focus gelegd op wat er nog aanwezig is qua landvormen, ondanks de verstedelijking. Op locaties waar de verstedelijking van de landvorm heeft geleid tot (grootschalige) aantasting wordt dit aangegeven met de toevoeging 'E' en in het ergste geval als *antropogene vorm*. Hiervoor is gekozen omdat veel steden op een logische, en cultuurhistorisch waardevolle, locatie zijn gesticht, zoals op een relatief hoge en droge rivierduin (donk) of aan een beekje dat voor water en vruchtbare bodems zorgde. Door deze landvormen onder de stad door te tekenen (met een antropogene kanttekening) zijn ze toch herkenbaar.

Veranderingen als gevolg van de actualisatie

Bij de actualisatie van de Geomorfologische Kaart is er vooral gekeken naar de bovengenoemde landvormen en hoe deze waren ingetekend op de vorige versie van de kaart. De begrenzing van de vormen is verfijnd, het detailniveau is vergroot - waardoor ook kleinere vormen zijn ingetekend - en de samenhang tussen de verschillende vormen is beter in kaart gebracht. Dit is met name bereikt door nauw samen te werken met de actualisatie van de Bodemkaart. Deze samenwerking leverde voordelen (zie hoofdstuk 10), maar gaf ook druk op de planning van de kartering. De karteringen van alle aardkundig waardevolle gebieden en de Maasterrassen zijn afgerond en verwerkt in de nieuwste versie van de Geomorfologische Kaart. De kaart is geleverd aan de BRO en wordt gepubliceerd in de geoportalen BROloket, PDOK en bodemdata.nl (zie ook bijlage 4). De kartering van de Peelhorst kon op dit moment nog niet worden ingepast in de kaart en wordt daarom meegenomen in de volgende versie van de Geomorfologische Kaart.

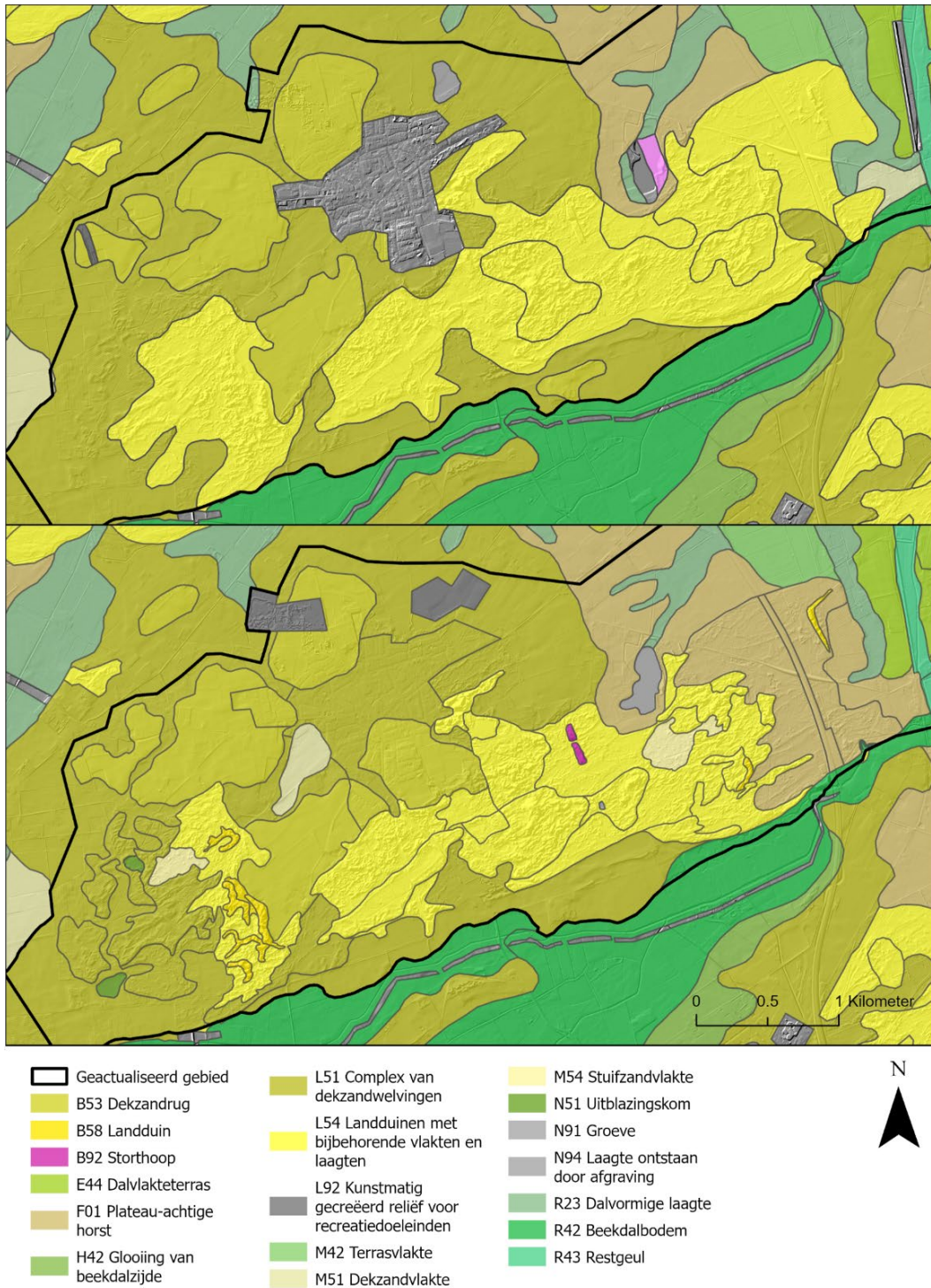


Figuur 4.1 Geactualiseerde Geomorfologische Kaart van het stroomgebied van de Raam in Waterschap Aa en Maas.

4.3.2 Voorbeeld van een aardkundig waardevol gebied

Figuur 4.2 laat een voorbeeld zien van een gedetailleerde geomorfologische kartering voor het aardkundig waardevolle gebied de Overloonsche Duinen. In vergelijking met de oude Geomorfologische Kaart (onderste figuur in Figuur 4.2) is een duidelijk verschil te zien in detailniveau. Er zijn meer vormen ingetekend en de begrenzing past beter bij de landvormen. Het areaal aan stuifzandvormen (geel op de kaart) is hier beperkt tot het gebied waar dit daadwerkelijk (dominant) voorkomt. Ook zijn 'nieuwe' landvormen ingetekend, zoals de uitblazingskommen in het westen van het gebied. Deze waren waarschijnlijk te klein om te karteren met de oude karteermethoden.

Ook voor landvormen die op de kaart dezelfde kleur hebben, zijn verschillen aangegeven. Deze verschillen zijn te zien door te kijken naar de lichtgrijze lijnen die de grenzen van vlakken aangeven. Bij de dekzandwelvingen (L51) wordt er bijvoorbeeld onderscheid gemaakt door middel van de variatie in bovengrond en bij het stuifzand (L54) in de variatie in reliëf. De exacte verschillen binnen landvormen met dezelfde kleur zijn te raadplegen in de digitale versie van de kaart.



Figuur 4.2 De Overloonsche Duinen op de oude (uitgave 2023 - boven) en de bijgewerkte Geomorfolologische Kaart (uitgave 2024 - onder).

5 Bodemkaart

5.1 Toelichting op de Bodemkaart

De Bodemkaart van Nederland is een landsdekkend kaartmodel dat ruimtelijke bodemkundige informatie geeft van de Nederlandse ondergrond tot een diepte van 1,20 m onder maaiveld. De Bodemkaart wordt gemaakt met informatie uit grondboringen, waarnemingen in het veld en informatie uit andere kaarten. De kaart geeft informatie over de aard en samenstelling van de bodem met een verdere onderverdeling naar bodemvorming, veensoort, afwijkende lagen in het profiel, kalkgehalte en verstoringen door vergravingen en egalisatie.

5.2 Methoden

5.2.1 Boormonsterbeschrijvingen

Om het gebied zo efficiënt mogelijk in kaart te brengen verzamelen we met relatief weinig boringen veel informatie. Tijdens de veldcampagne wordt er voor de drie basiskaarten in de Basisregistratie Ondergrond (BRO) informatie verzameld (zie ook hoofdstuk 1). We hanteren de volgende uitgangspunten in de opzet van het boorplan:

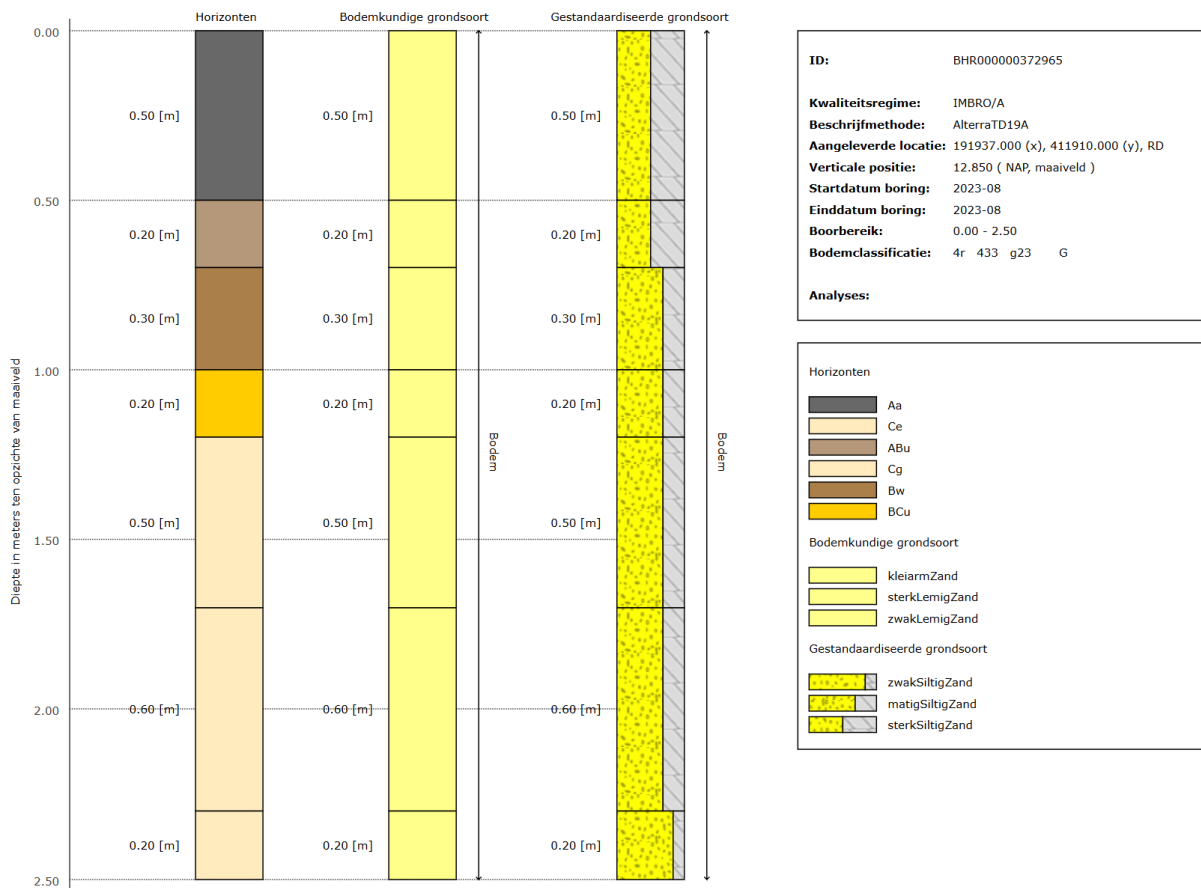
- De boringen moeten goed verspreid zijn over het onderzoeksgebied.
- We gebruiken bestaande peilbuislocaties voor het berekenen van het Grondwaterspiegeldieptemodel.
- We gebruiken relevante bestaande boormonsterbeschrijvingen (Figuur 5.2).
- We prioriteren locaties waar de meeste variatie in de bodem verwacht wordt.

Naast deze randvoorwaarden voor het kiezen van de boormonsterlocaties, maken we ook gebruik van locaties die al bezocht worden voor de Nederlandse Bosinventarisatie ([NBI](#)). Hier worden soortgelijke boormonsterbeschrijvingen gemaakt, die ook gebruikt kunnen worden in dit onderzoek.

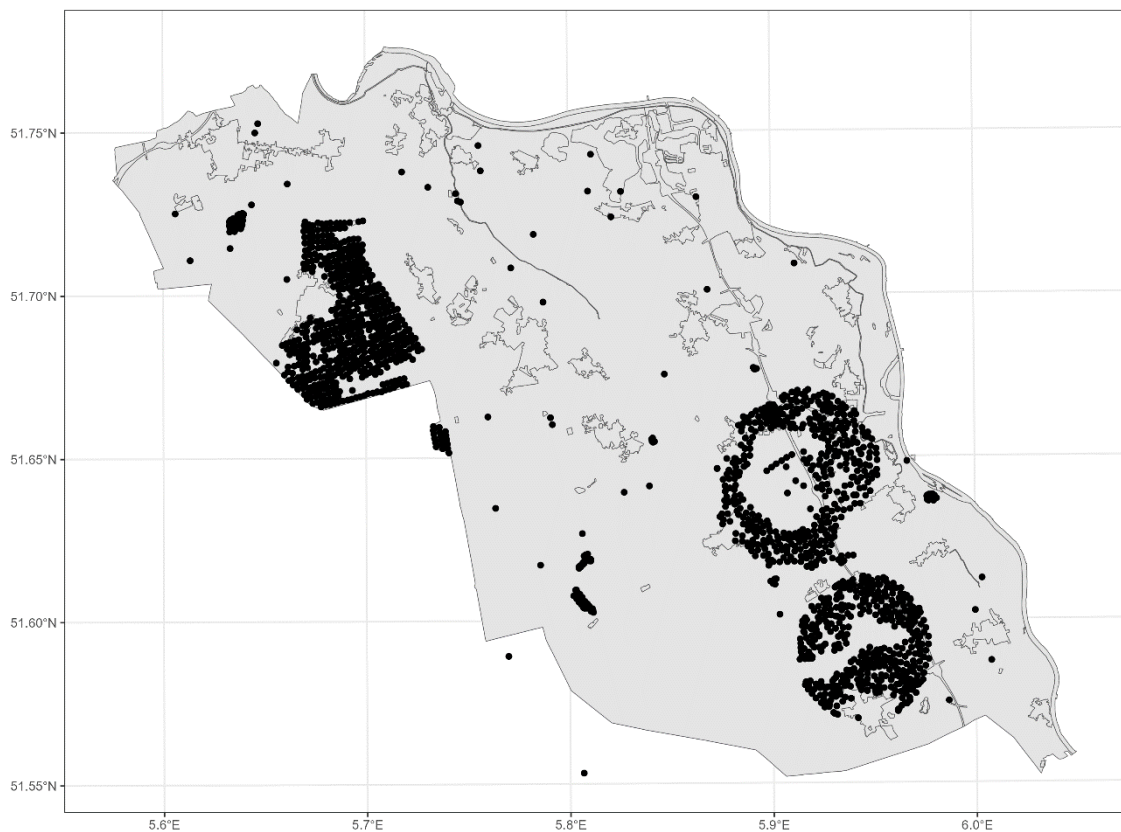
Rekening houdend met deze uitgangspunten is een ontwerp gemaakt van de locaties voor de grondboringen (zie Figuur 5.3). Het ontwerp bestaat uit meerdere typen locaties die volgen uit de randvoorwaarden. Locaties van het type 'bodem' zijn gekozen omdat we daar de meeste variatie in de bodem verwachten. Locaties van het type 'centroïde' zijn gekozen om de boringen zo goed mogelijk te verspreiden over het gebied. Hiervoor is gebruik gemaakt van *spatial coverage sampling* (Walvoort et al. 2010 en 2023a; Brus 2022). Daarnaast beschrijven we het bodemprofiel op de locaties waar we gebruikmaken van peilbuisinformatie (type 'peilbuis' in Figuur 5.3) en benutten we bodemprofielbeschrijvingen van locaties van de Nederlandse Bosinventarisatie (type 'NBI').

In 2023 zijn in totaal op 387 locaties bodemkundige boormonsterbeschrijvingen opgesteld volgens de richtlijnen voor bodemkundige profielbeschrijvingen (Ten Cate et al. 1995). Daarnaast zijn op al deze locaties grondwaterspiegeldieptes opgenomen. Boormonsterbeschrijvingen bevatten informatie over lagen in het bodemprofiel: onder meer over textuur, kleur, gehalte aan organische stof, ijzer en kalk, consistentie en oorsprong. De boormonsterbeschrijvingen bevatten ook de benodigde informatie voor het classificeren van bodemtypes in de Bodemkaart en gedeeltelijk ook voor het classificeren van geomorfologische landvormen.

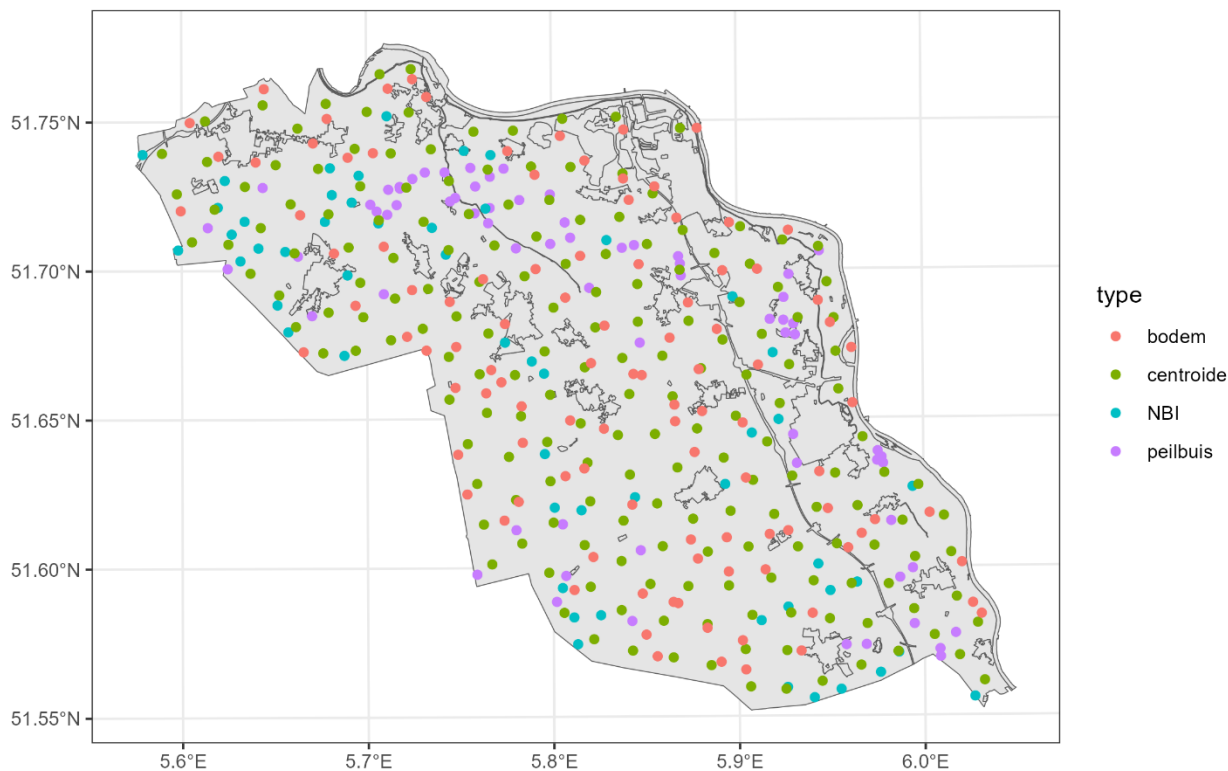
De bodemkundige boormonsterbeschrijvingen zijn aangeleverd aan de BRO en zijn beschikbaar via de officiële portalen (BROloket en PDOK, zie bijlage 4) onder de naam *Bodemkundig booronderzoek* (BHR-P). Daarnaast zijn de boormonsterbeschrijvingen in te zien op het geoportaal [Bodemdata.nl](#) onder de ingang Bodemprofielen. Figuur 5.1 geeft een voorbeeld van hoe een boormonsterbeschrijving eruitziet in BROloket.nl.



Figuur 5.1 Voorbeeld van een boormonsterbeschrijving in de Raam zoals gepresenteerd op BROloket (<https://www.broloket.nl/ondergrondgegevens>).



Figuur 5.2 Overzicht van al beschikbare boringen in het onderzoeksgebied.



Figuur 5.3 Overzicht van boormonsterlocaties in het onderzoeksgebied.

5.2.2 Digitale bodemkartering

De bodemkaart wordt vervaardigd door expertkennis die gedurende vele decennia is opgebouwd, te integreren met moderne digitale karteertechnieken (*digital soil mapping*). Dit moet leiden tot een methode die niet alleen bodemklassen goed voorspelt, maar tevens reproduceerbaar is en de betrouwbaarheid van de kaart kwantificeert.

Het bodemtype is een zogenaamde nominale variabele. Deze variabele bestaat uit namen zoals 'podzolgronden' en 'eerdgronden' of specifiek: 'moderpodzolgronden', 'humuspodzolgronden' of 'enkeerdgronden'. In tegenstelling tot continue variabelen, zoals de koolstofvoorraad in de bodem of het zuurbufferend vermogen van de bodem, zijn nominale variabelen lastiger ruimtelijk te interpoleren.

Om ruimtelijke interpolatie te vereenvoudigen hebben we een nieuwe methode ontwikkeld die de bodemkaart stapsgewijs opbouwt met behulp van een beslisboom, die gevoed wordt met kaarten die vervaardigd zijn op basis van profielbeschrijvingen (zie bijlage 1) en omgevingsinformatie zoals het maaiveldhoogtebestand (AHN4), de vorige versie van de bodemkaart en de actuele versie van het Grondwaterspiegeldiepte-model (hoofdstukken 4 en 7). Deze methodiek is nu ook mogelijk door de integrale aanpak in het veldwerk, waarbij we meer informatie per boorlocatie ophalen dan we normaal alleen voor de bodemkaart nodig zouden hebben.

De profielbeschrijvingen op de boorlocaties worden eerst geclassificeerd op basis van de volgende differentiërende kenmerken:

- de dikte van het veenpakket;
- de diepte waarop het veen wordt aangetroffen;
- de dikte van de eerdlaag;
- het type podzol, denk daarbij bijvoorbeeld aan een humuspodzol of een moderpodzol;
- de aanwezigheid van een briklaag;
- de aard van het moedermateriaal.

Deze differentiërende kenmerken worden vervolgens ruimtelijk geïnterpoleerd van de boorlocaties naar de overige locaties in het studiegebied, zodat voor elk differentiërend kenmerk een kaart wordt verkregen. Deze kaarten zijn de bouwstenen op basis waarvan we de bodemkaart gaan construeren. Het idee daarbij is dat we de complexe ruimtelijke interpolatie van de eenheden op de bodemkaart vervangen door meerdere eenvoudigere interpolaties van differentiërende kenmerken.

Voor het ruimtelijk interpoleren van de differentiërende kenmerken maken we gebruik van *machine learning* (Wright en Ziegler 2017) en, indien machine learning onvoldoende nauwkeurige resultaten geeft, een combinatie van machine learning en geostatistische interpolatie (zie ook hoofdstuk 7).

De kaarten van de differentiërende kenmerken gebruiken we vervolgens als invoer van de beslisboom voor bodemclassificatie. Deze beslisboom is gebaseerd op het Nederlandse Bodemclassificatiesysteem (De Bakker et al. 1989; Steur et al. 1991). Bovenin de beslisboom wordt op basis van de differentiërende kenmerken voor elke locatie bepaald of het al dan niet gaat om een 'veengrond'. Als het geen veengrond betreft, dan wordt gekeken of het een moerige grond is; zo niet, dan wordt gekeken of het gaat om een eerdgrond met esdek enzovoort via podzolgronden, brikgronden naar eerdgronden zonder esdek. Mocht de locatie tot geen van deze hoofdbodemtypen (orden) behoren dan is het een vaaggrond.

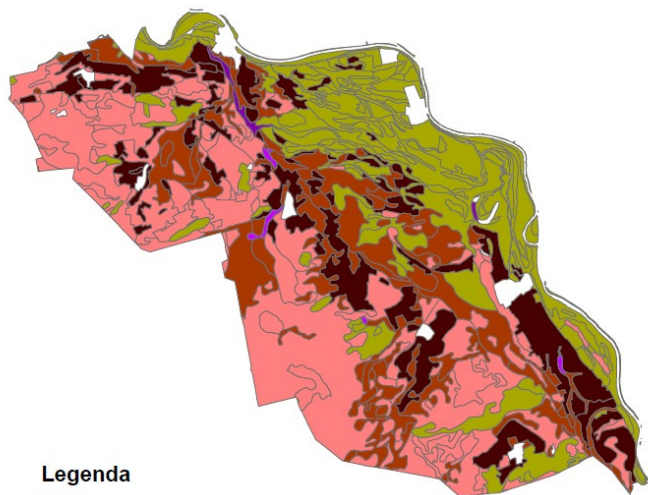
Je kunt deze beslisboom vergelijken met een gestapelde set zeven, waarin de maaswijdte van boven naar beneden afneemt. Elke zeef correspondeert met een hoofdbodemtype. In de eerste zeef blijven de locaties met veengronden achter, in de tweede de locaties met moerige gronden enzovoort tot uiteindelijk in de laatste zeef de locaties met enkeerdgronden zonder esdek achterblijven. De locaties die door de laatste zeef vallen zijn de vaaggronden.

Binnen elk van de genoemde hoofdbodemtypen kunnen we sub-bodemtypen (sub-orden) onderscheiden. Daarvoor hanteren we een aantal additionele differentiërende kenmerken zoals de aard van de bovengrond, de kalktoestand, de rijpingstoestand, de diepteklasse waar gleyverschijnselen voorkomen (roestvlekken, gereduceerde lagen), de textuurklasse en het profielverloop. We voegen dan als het ware extra zeven toe tussen de bestaande zeven van de hoofdbodemtypen. De maaswijdtes van de zeven nemen af van boven naar beneden.

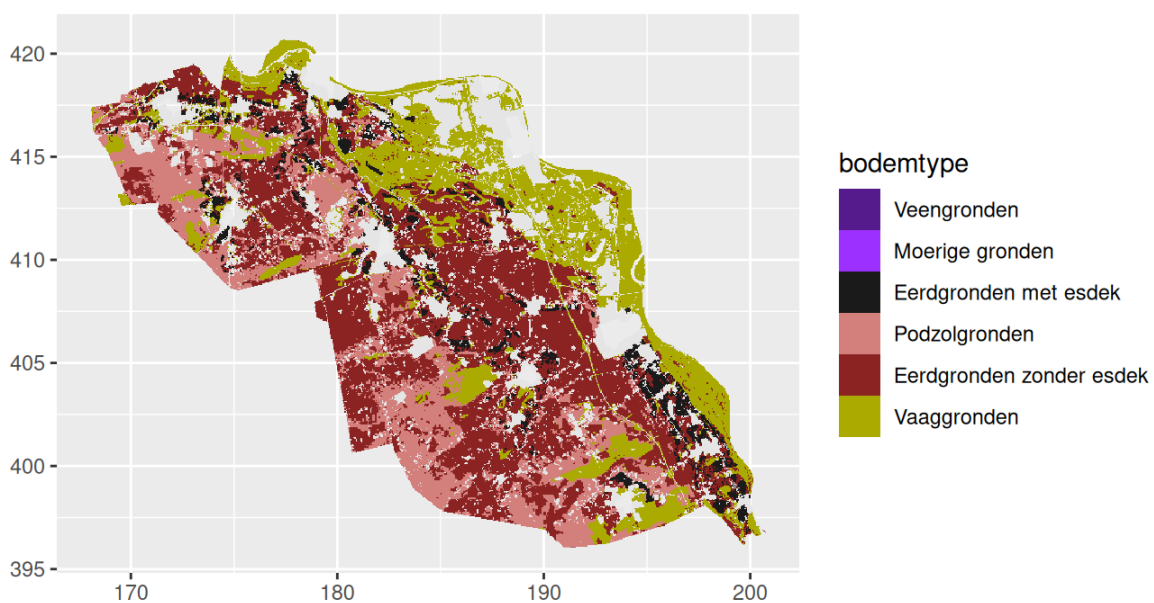
Omdat we altijd te maken hebben met meet-, bepaling- en interpretatiefouten in het veld en ruimtelijke interpolatiefouten, zullen de kaartlagen van de differentiërende kenmerken nooit foutloos zijn (dat geldt overigens voor elke kaart). De methode die wij gebruiken maakt het echter mogelijk om de fout te kwantificeren. Zo weten we van elk punt op de kaart hoe nauwkeurig elk differentiërend kenmerk is berekend. Door deze betrouwbaarheidsinformatie mee te zeven in de beslisboom kunnen we van elke locatie op de resulterende bodemkaart niet alleen het bodemtype vaststellen, maar tevens de nauwkeurigheid ervan. Deze nauwkeurigheidsinformatie kan worden gebruikt om vast te stellen in welke deelgebieden de bodemgesteldheid nog onvoldoende bekend is. Ook is deze informatie relevant als de bodemkaart als basiskaart wordt gebruikt voor het beleid. De nauwkeurigheidsinformatie kan worden gebruikt voor een betere onderbouwing van de besluitvorming met betrekking tot het landelijk gebied.

5.3 Geactualiseerde Bodemkaart

Op basis van machine learning zijn kaarten van de volgende differentiërende kenmerken gemaakt: veendikte, begindiepte van het veen, dikte van de eerdlaag, de aanwezigheid en type podzol, het type moedermateriaal en de diepte waarop gleyverschijnselen voorkomen. Deze kaarten dienen als invoer van de beslisboom ('zevenset') uit de vorige paragraaf. Het resultaat is de bodemkaart in Figuur 5.5. Figuur 5.4 geeft een bewerkte versie van de bestaande bodemkaart, geclassificeerd naar de bodemhoofdklassen. De geactualiseerde kaart is niet definitief en nog niet beschikbaar voor gebruikers; we zijn nog bezig om de procedure te verfijnen. Het voordeel van deze procedure is dat op elke cel in het bestand het meest waarschijnlijke bodemtype wordt geschat en dat ook de zekerheid ervan bekend is. Dit geeft informatie over onzekerheden in de bodemkaart, die tot nu toe nog niet inzichtelijk waren.



Figuur 5.4 Bestaande versie van de Bodemkaart voor het stroomgebied van de Raam (V2023-1), geclassificeerd naar bodemhoofdklassen (Wageningen Environmental Research, 2023a).



Figuur 5.5 Tussenproduct van de Bodemkaart van het stroomgebied van de Raam op basis van machine learning.

6 Hydrofysische gegevens van de bodem

6.1 Toelichting op de hydrofysische gegevens

Hydrofysische gegevens van de bodem beschrijven de interactie tussen water en bodem. Voorbeelden zijn waterretentie, waterdoorlatendheid, krimp en zwel, organische- stofgehalte, korrelgrootteverdeling, bodemstructuur, dichtheid en capillaire opstijging. Deze gegevens zijn nodig als invoer voor modellen van bodemwatersystemen. Deze modellen beschrijven het transport van water en opgeloste stoffen in de bodem. Water is het voornaamste transportmedium voor nitraten, fosfaten, zouten, pesticiden, antibiotica en organisch materiaal.

Hydrofysische bodemgegevens zijn nodig voor onderzoek op verschillende schaalniveaus en krijgen daarom steeds meer aandacht. Ze zijn bijvoorbeeld nodig voor studies naar bodemdaling, koolstofvastlegging, bodemverdichting of wateroverlast. De gegevens worden structureel en op wettelijke basis vastgelegd in de Basisregistratie Ondergrond (BRO).

6.2 Methoden

6.2.1 Veldmonsters verzamelen

Het verzamelen van hydrofysische gegevens is kostbaar, maar gebeurt efficiënt door het verzamelen van een klein aantal monsters per type grond. De hydrofysische informatie die verkregen wordt uit deze monsters kan gebruikt worden op andere locaties in Nederland waar deze typen grond voorkomen. De typen grond waarvoor de gegevens verzameld worden noemen we 'onderscheidende eenheden'. Deze eenheden worden onderscheiden op basis van de ligging in boven- of ondergrond, het gehalte aan organische stof, de textuur en het afzettingsmilieu.

Voor Nederland moeten alle 38 onderscheidende eenheden voldoende monsters bevatten om op betrouwbare wijze te kunnen opschalen en deze informatie toe te passen in maatschappelijk relevant onderzoek. Dit is nog niet voor alle onderscheidende eenheden het geval. Daarom werken we gericht aan het verzamelen van hydrofysische gegevens in de onderscheidende eenheden. Deze zijn in Tabel 6.1 gerangschikt naar afnemende urgentie (Bakker 2022). De nummers van de overeenkomstige bouwstenen uit de Staringreeks staan tussen haakjes indien van toepassing (Bakker 2022).

Tabel 6.1 Onderscheidende eenheden waarvoor hydrofysische gegevens nodig zijn, aangeduid met textuur en gerangschikt naar afnemende urgentie. Codes tussen () geven de bouwstenen in de Staringreeks weer.

Opschalingseenheid
kleilig silt - niet-eolisch
matig zware klei (B11) en weinig zand (B15)
zandig veen - organisch, zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand (B4) zandige leem (B13) siltige leem (B14) beekleem (O7) zeer lichte zavel (O8) - niet gevonden in de Raam, wel matig zware zavel
kleilig veen – organisch (gevonden in Mill, in het stroomgebied van de Raam; zie bijlage 3) weinig zand - organisch kleiarm silt - niet-eolisch kleilig veen (B18) (gevonden in Mill, in het stroomgebied van de Raam; zie bijlage 3) sterk lemig, zeer fijn, tot matig fijn zand (O3) siltige leem (O15) moerige tussenlaag (O18)
humusrijk – organisch siltige leem – eolisch
zandige leem - eolisch

In 2023 en 2024 is gewerkt aan de uitbreiding van hydrofysische gegevens voor de onderscheidende eenheden, waaronder die van de verschillende textuurklassen. Op basis van de bodemkaart is gezocht naar plekken in het stroomgebied van de Raam waar de gewenste eenheden verwacht worden. Op 15 juni 2023 is een bemonstering gedaan op drie plekken om een moerige tussenlaag, een kleilig veen in een voormalig beekdal en een zeer lichte zavel te vinden:

- de Gagel - Mill: in het gebied bij de Lage Raam, ten oosten van Langeboom en ten noordwesten van Mill, zijn op twee plekken monsters genomen;
- Cuijk: in het gebied tussen Grave en Cuijk, net ten zuidwesten van de Kraaijenbergse plassen, is op één plek monsters genomen.

In Mill is een kleilig veen gevonden; een van de gewenste onderscheidende eenheden. Via veldschatting werd gehoopt om ook een zeer lichte zavel te vinden in Cuijk, maar dat bleek na analyse in het laboratorium een matig lichte zavel te zijn. Verder is een zware zavel gevonden en een veengrond. Uiteindelijk is dus slechts één gewenste opschalingseenheid gevonden in de Raam. Andere onderscheidende eenheden werden gezocht buiten het gebied van de Raam. Op 25 november 2023 in Haren (Hertogswetering) en Oud-Zevenaar (buiten het gebied van waterschap Aa en Maas). Deze vallen buiten het stroomgebied van de Raam en worden hier daarom niet verder uitgewerkt.

6.2.2 Boormonsterbeschrijvingen

Tijdens het bemonsteren van de bodem voor hydrofysische gegevens worden ook boormonsterbeschrijvingen gedaan. Deze worden samen met de hydrofysische gegevens aangeleverd aan de BRO.

6.2.3 Bepaling hydrofysische gegevens in het laboratorium

Nadat de monsters in het veld zijn genomen, worden ze overgebracht naar het [Bodemhydrofysisch Laboratorium in Wageningen](#), waar de fysische eigenschappen om water te transporteren en vast te houden worden bepaald. Deze eigenschappen zijn:

- de retentiekarakteristiek (bindingskracht als functie van het vochtgehalte) NEN-EN-ISO 11274 en 11275;
- de waterdoorlatendheidskarakteristiek (doorlatendheid als functie van het vochtgehalte) NEN-EN-ISO 11275, NEN5789;
- een indicatie van de krimpeigenschappen van de grond (volume bij verschillende vochtgehalten – geen norm beschikbaar);
- korrelgrootteverdeling in grond NEN 5753;
- organische stof (volgens gloeiverliesmethode) NEN 5754;
- de dichtheid van de bodem NEN5781/ISO11272.

De retentie- en doorlatendheidsgegevens worden gemodelleerd zodat de grote hoeveelheden gegevens, die aan de retentie- en doorlatendheidscurves ten grondslag liggen, met enkele parameters kort kunnen worden beschreven. Het gebruikte model is van Mualem (1976) en van Van Genuchten (1980). De oorspronkelijke en de gemodelleerde gegevens van de verschillende gronden kunnen vervolgens als stationaire bouwstenen worden gebruikt in hydrologische modellen, waarin ze gekoppeld worden aan bodemhorizonten en niet-stationaire gegevens zoals grondwaterfluctuaties en weersveranderingen. Met die beschrijving kunnen scenarioberekeningen worden uitgevoerd. Soms worden ook gemiddelde gegevens per textuurklasse gebruikt. Deze staan beschreven in de Staringreeks Update 2018 (Heinen et al., 2020). De methoden van bepaling en verwerking van hydrofysische gegevens die in het Bodemhydrofysisch Laboratorium worden gebruikt staan beschreven in Bakker (2022).

6.2.4 Validatie en nauwkeurigheid

Analyse van grondmonsters wordt op een standaardmanier uitgevoerd, zodat deze goed te interpreteren is voor verdere verwerking en berekeningen. Tijdens de analyses worden tussentijdse controles gedaan om de betrouwbaarheid van de gegevens te waarborgen. Zodra alle gegevens bekend zijn, wordt op basis van expertkennis een synthese uitgevoerd. Daarbij wordt voor elke gegevensgroep beoordeeld of de gegevens plausibel zijn. De gegevens worden ook in samenhang beoordeeld.

Sommige laboratoriummethoden hebben een specifieke nauwkeurigheid. Deze zijn in te schatten op basis van de monsterafmetingen en de onnauwkeurigheid daarin, de meettijd en andere instellingen. De gravimetrische metingen (bulkdichtheid, LOI (gloeiverlies), vochtgehalte) hebben in het slechtste geval een onnauwkeurigheid van 5,5% van de bepaalde waarde. De onnauwkeurigheid is vastgesteld als sommatie van de onnauwkeurigheden van het bepalen van het monstervolume en van de gewichten na elke stap in het analysetraject. Dat wil niet zeggen dat de bepaling voor een duplomonster binnen deze bandbreedte ligt; er kunnen namelijk ook afwijkingen zijn door bijvoorbeeld heterogeniteit van de bodem, een wormgat of een iets afwijkende manier van bemonsteren.

De onnauwkeurigheid van een meting van de verzadigde waterdoorlatendheid is ongeveer 30% van de bepaalde waarde. Toch zien we ook hier in de praktijk grotere afwijkingen tussen duplomonsters, die verklaard kunnen worden door de eerder genoemde verschillen in het monstermateriaal. Duplomonsters zijn daarom een essentieel onderdeel in de beoordeling van een monsterlocatie; ze geven een indruk van de spreiding van de bodemsamenstelling op korte afstand.

Voor relatief eenvoudige methoden kan een meetnauwkeurigheid opgegeven worden. Voor de complexe methoden, zoals de verdampingsmethode voor de bepaling van de waterretentie en waterdoorlatendheid, is dat niet realistisch vanwege het grote aantal stappen die tijdens de metingen doorlopen moet worden. Deze metingen worden deskundig beoordeeld en vergeleken met de andere hydrofysische metingen om voldoende vertrouwen in de metingen te krijgen. Als een verkeerde combinatie wordt geconstateerd, wordt de hele serie afgekeurd en niet opgenomen in BIS Nederland en niet aangeboden aan de BRO. De hydrofysische gegevens uit dit rapport zijn nog niet openbaar toegankelijk gesteld. Gegevens tot 2019 zijn te vinden bij het BROloket en op PDOK onder BHR-P en SFR (zie bijlage 4).

6.3 Geactualiseerde hydrofysische gegevens

De volgende resultaten van de bemonstering en analyses zijn beschikbaar in bijlage 3:

- gegevens van monsters uit Mill en Cuijk;
- metingen retentiekarakteristiek;
- Mualem-Van Genuchten fitparameters voor hydrologische modellering;
- gemeten verzadigde waterdoorlatendheid K_{sm} , LOI en droge bulkdichtheid R_d ;
- krimpgegevens;
- deeltjesgrootteverdeling (textuur), M50-getal en textuurklassebenaming.

Van de gewenste onderscheidende eenheden zoals genoemd in Tabel 6.1 is alleen kleiig veen gevonden in het stroomgebied van de Raam (locatie Mill). De eenheid 'zeer lichte zavel' is in het veld ingeschat als

zodanig, maar bleek na analyse in het laboratorium een matig lichte zavel te zijn (locatie Cuijk). De resultaten zijn in dit rapport opgenomen. De overige gezochte eenheden zijn niet gevonden in de Raam, voor zover mogelijk zijn deze elders in Nederland bemonsterd. Ze maken daarom geen deel uit van deze rapportage.

In Bakker (2022, bijlage 11) is een overzicht gegeven van de beschikbare hydrofysische gegevens tot voor de actualisatie in het stroomgebied van de Raam. Er zijn nu hydrofysische gegevens beschikbaar van meer dan driehonderd grondmonsters (in de BRO minder, omdat recent alleen data tot 2019 geleverd konden worden). De meeste onderscheidende eenheden bevatten drie of meer monsters. De uitbreiding van het gegevensbestand met acht monsters uit het stroomgebied van de Raam vormt een relevante uitbreiding (3%), met een toename van 20% voor de eenheid kleilig veen.

7 Grondwaterspiegeldieptemodel

7.1 Toelichting op het Grondwaterspiegeldieptemodel

Het Grondwaterspiegeldieptemodel (WDM) is een landsdekkend bestand dat laat zien tussen welke dieptes ten opzichte van het maaiveld de grondwaterspiegel jaarlijks gemiddeld genomen fluctueert. Het model geeft voor rastercellen van 50 bij 50 m langjarige gemiddelden van een kleinste grondwaterspiegeldiepte (GHG) en een grootste grondwaterspiegeldiepte (GLG, samen GxG). Het model geeft ook een kaartlaag van grondwatertrappen (Gt). De nauwkeurigheid van het WDM wordt weergegeven in ruimtelijke cumulatieve verdelingsfuncties van de GxG. Het Grondwaterspiegeldieptemodel is gebaseerd op metingen van de grondwaterstand in peilbuizen en aanvullende waarnemingen van de grondwaterspiegeldiepte in tijdelijke open boorgaten (Wageningen Environmental Research, 2024a).

Het Grondwaterspiegeldieptemodel bestaat uit:

- de GHG, de gemiddeld kleinste grondwaterspiegeldiepte (cm);
- de GVG, de gemiddelde grondwaterspiegeldiepte in het voorjaar (cm);
- de GLG, de gemiddeld grootste grondwaterspiegeldiepte (cm);
- grondwatertrappen. Deze worden afgeleid uit de GHG en GLG;
- informatie over de betrouwbaarheid van de GHG, GVG, GLG en de grondwatertrappen, in de vorm van zogenaamde realisaties (zie De Gruijter et al. 2004; Walvoort et al. 2023b voor details).

Merk op dat het hier gaat over grondwaterspiegeldieptes en niet over grondwaterstanden. Grondwaterspiegeldieptes worden gemeten ten opzichte van maaiveld, grondwaterstanden ten opzichte van NAP.

7.2 Gegevens

Voor het Grondwaterspiegeldieptemodel wordt gebruik gemaakt van meerdere gegevens:

- Peilbuisgegevens: tijdreeksen van grondwaterspiegeldieptes die verkregen zijn met hoogfrequente automatische drukopnemers. Deze sensoren registreren elk uur automatisch de grondwaterspiegeldiepte. Tevens zijn de bijbehorende metagegevens als filterstelling, de locatie van de buis in relatie tot de omgeving, en de lokale profielopbouw van de bodem van belang. Deze gegevens zijn aangeleverd door waterschap Aa en Maas;
- Veldwaarnemingen van de grondwaterspiegeldiepte in boorgaten op een groot aantal locaties. In het verleden werden dit 'gerichte grondwaterstandsmetingen' (Te Riele en Brus 1991) of 'gerichte opnames' (Gerritsen et al. 2021) genoemd omdat gedurende twee specifieke perioden in het jaar werd gemeten: rond het 'GHG-moment' in het voorjaar en rond het 'GLG-moment' in het najaar. Om minder afhankelijk te zijn van deze momenten, en daardoor veldwerk efficiënter te kunnen plannen en een hogere boordichtheid te kunnen realiseren hebben we deze vaste momenten losgelaten;
- Informatie over omgevingsvariabelen in het gebied. Denk daarbij aan een digitaal hoogtemodel, de indeling in fysisch geografische regio's, de bodemkaart en de huidige GHG-, GVG- en GLG-kaarten.

Voordat de gegevens worden gebruikt, zijn ze eerst gecontroleerd. De peilbuisgegevens zijn onder andere gecontroleerd op filterstelling, bodemopbouw, tijdreekslengte, uitbijters (extreme meetwaarden) en locatie. De waarnemingen van de grondwaterspiegeldiepte in de boorgaten zijn geïnterpreteerd in relatie tot eventuele opmerkingen die door de veldbodembkundigen zijn gemaakt; denk aan opmerkingen over de profielopbouw en het voorkomen van 'dieper dan-waarnemingen'.

7.3 Methodiek

Nadat alle gegevens zijn gecontroleerd is voor elke peilbuis de GHG, GVG en GLG berekend volgens de methode gebruikt in Walvoort et al. (2023b). Deze grondwaterspiegeldieptekarakteristieken worden vervolgens gebruikt om regressiemodellen af te leiden waarmee de GHG, GVG en GLG kunnen worden berekend op de waarnemingslocaties. We gebruiken hiervoor een methode die gebaseerd is op stambuis-regressie (Te Riele en Brus, 1991). Deze staat beschreven in Gerritsen et al. (2021); Knotters et al. (2022) en Walvoort et al. (2023b). Op deze wijze kan voor alle boorlocaties in het stroomgebied van de Raam een GHG, GVG en GLG worden berekend.

Om van metingen op boorlocaties en peilbuislocaties tot een kaart te komen gebruiken we een ruimtelijke interpolatiemethode. We gebruiken hiervoor een ruimtelijk model dat uit twee delen bestaat. Het eerste deel beschrijft de grove ruimtelijke patronen. Dat wordt berekend op basis van een machine learning model (Wright en Ziegler 2017). Dit model gebruikt omgevingsinformatie zoals absolute en relatieve maaiveldhoogte, de bodemgesteldheid en bestaande grondwaterkaarten om de GHG, GVG en GLG te voorspellen. Het tweede deel van het model verfijnt deze ruimtelijke patronen op basis van lokale veldmetingen van de grondwaterspiegeldiepte die gedaan zijn in de veldwerkcampagne voor de actualisatie in het stroomgebied van de Raam. De methode is een variant op *Universal Kriging* (Matheron 1969; De Gruijter et al. 2004), met dat verschil dat in ons geval gebruik wordt gemaakt van kunstmatige intelligentie (AI) om de ruimtelijke patronen van de grondwaterspiegeldiepte te voorspellen.

Voor het trainen van het machine learning model zijn de volgende gegevenslagen beschikbaar:

- de vorige versie van het Grondwaterspiegeldieptemodel (BRO-WDM, De Gruijter et al. 2004);
- de GHG en GLG op basis van het grondwaterstromingsmodel WAM (beschikbaar gesteld door waterschap Aa & Maas);
- de absolute maaiveldhoogte (AHN4, PDOK);
- de relatieve maaiveldhoogtes die zijn afgeleid van AHN4. Dat wil zeggen de hoogte van een voorspelpunt ten opzichte van de mediane hoogte binnen een straal van respectievelijk 250 m, 500 m en 1000 m van dat voorspelpunt;
- de huidige versie van de Bodemkaart (BRO-SGM) (V2024-01);
- de kaart met fysisch-geografische regio's (PDOK).

Bovenstaande gegevenslagen hebben we gebruikt om het machine learning model te trainen. Niet alle gegevenslagen zijn gebruikt omdat we geen over-complex model willen dat lastig te interpreteren is. De gegevenslagen hebben we geselecteerd op basis van validatie (*out of bag validation*).

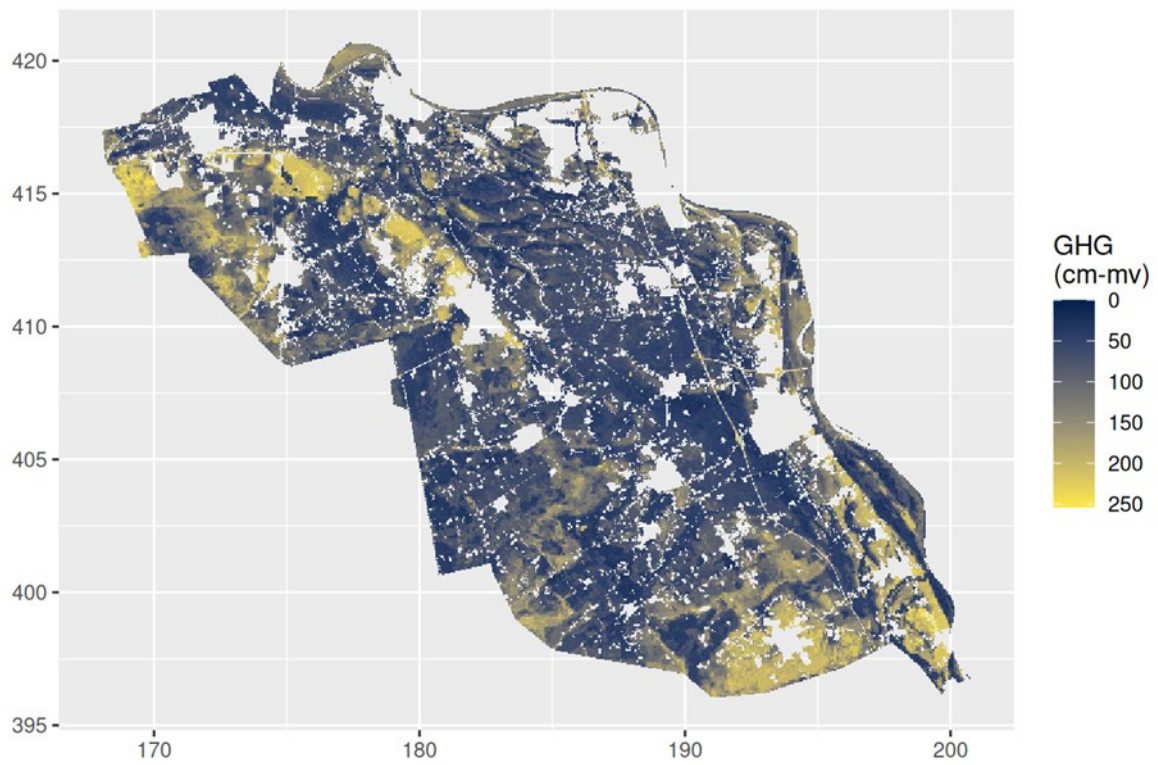
7.4 Geactualiseerd Grondwaterspiegeldieptemodel

De volgende gegevenslagen zijn geselecteerd voor het voorspellen van de GHG, GVG en GLG:

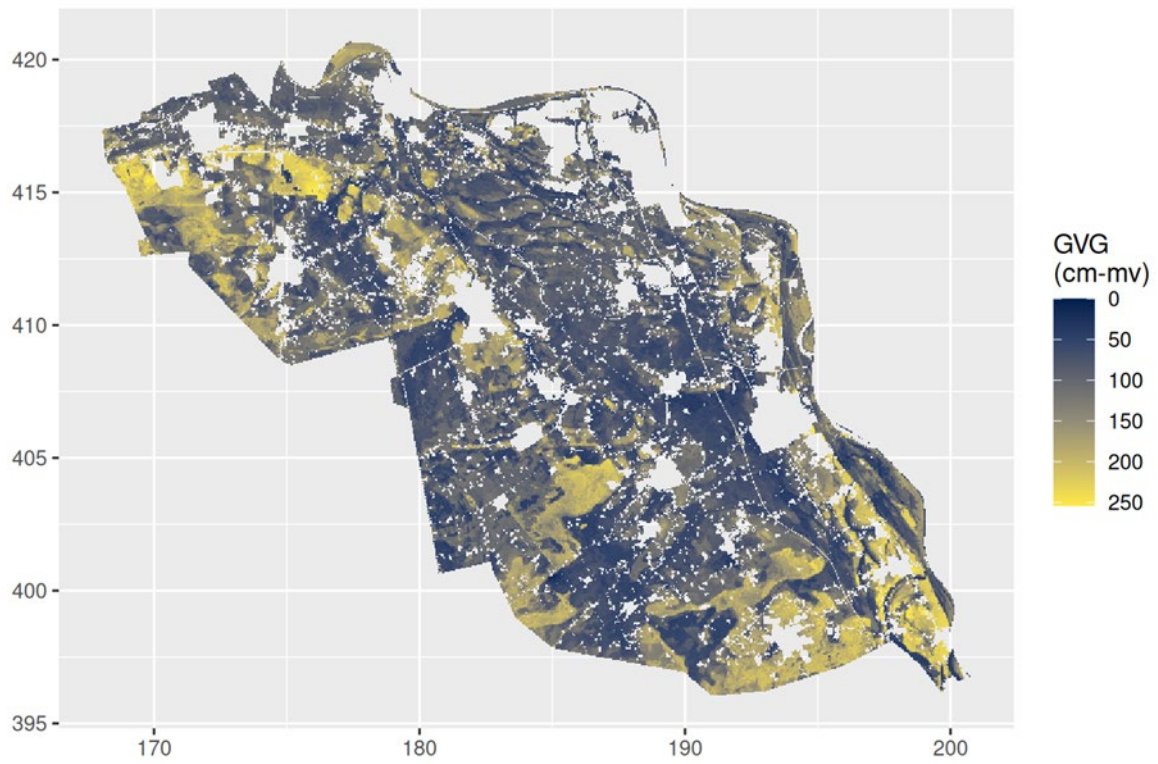
- de absolute maaiveldhoogte, de relatieve maaiveldhoogte (1000 m) en GHG-WAM² voor de GHG;
- de absolute maaiveldhoogte, de relatieve maaiveldhoogte (1000 m) en GVG-WDM voor de GVG;
- de absolute maaiveldhoogte, de relatieve maaiveldhoogte (1000 m) en GLG-WAM voor de GLG.

Figuur 7.1, Figuur 7.2 en Figuur 7.3 geven de kaarten van respectievelijk de GHG, de GVG en de GLG in cm ten opzichte van maaiveld (cm-mv). In de kaarten staan de mediane waarden van driehonderd realisaties.

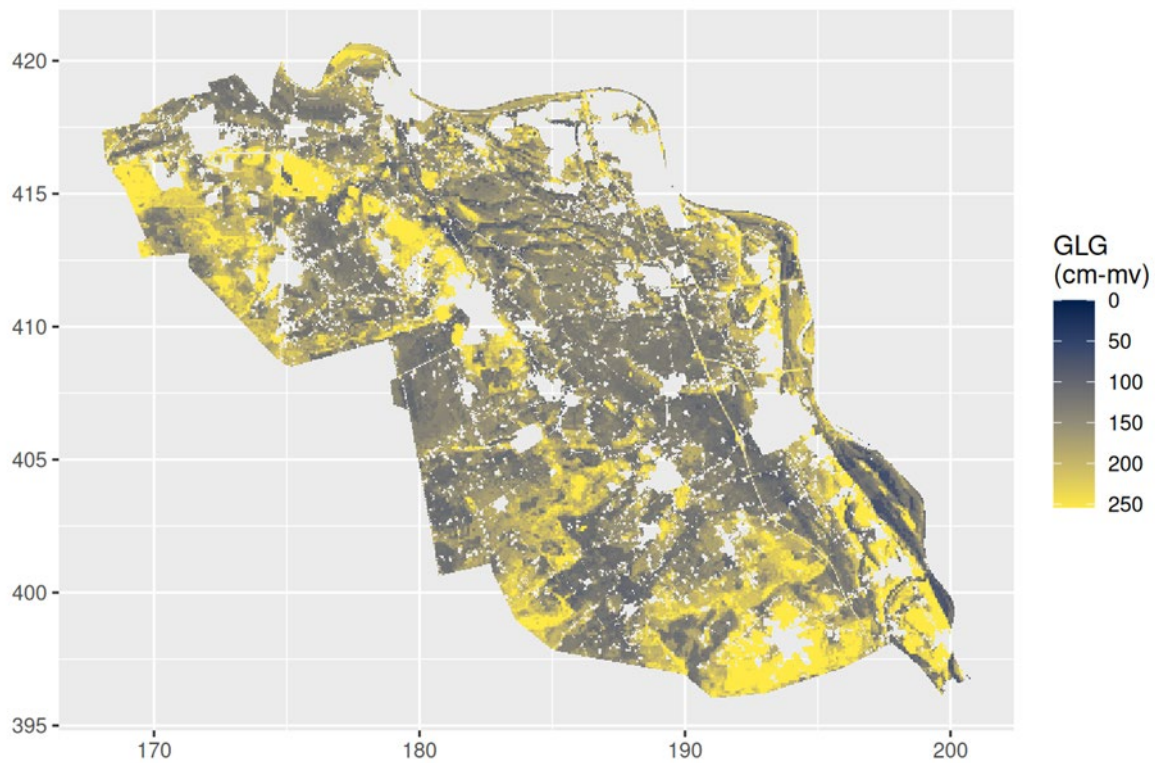
² Grondwaterstromingsmodel van waterschap Aa en Maas.



Figuur 7.1 Kaart van de GHG (cm-mv).



Figuur 7.2 Kaart van de GVG (cm-mv).



Figuur 7.3 Kaart van de GLG (cm-mv).

7.5 Validatie

De kaarten zijn gevalideerd met behulp van *leave-one-out cross-validatie* (Efron en Tibshirani 1994; Wehrens et al. 2000). Het verschil tussen de voorspelde en berekende waarden van GHG, GVG en GLG op de locaties van peilbuizen en boorgaten is de voorspelfout. De voorspelfouten worden samengevat met de volgende statistieken:

- de gemiddelde voorspelfout, (*mean error* (ME), een maat voor de systematische fout (cm)). Deze is idealiter gelijk aan nul;
- de vierkantswortel uit de gemiddelde gekwadrateerde voorspelfout (*root mean square(d) error* (RMSE)), een maat voor de totale fout (cm). Deze moet zo dicht mogelijk bij nul cm liggen;
- de gemiddelde absolute voorspelfout (*mean absolute error* (MAE)), ook een maat voor de totale fout (cm), maar minder gevoelig voor extremen dan de RMSE. Deze moet ook zo dicht mogelijk bij nul cm liggen. Een verschil tussen de RMSE en MAE duidt op het voorkomen van extremen;
- Pearsons correlatiecoëfficiënt (*r*), de mate waarin ruimtelijke patronen worden gereproduceerd. Deze is idealiter gelijk aan één.

Zie ook Walvoort et al. (2009, bijlage A) voor meer details.

De resultaten van de validatie zijn gegeven in Tabel 7.1. We zien dat Universal Kriging leidt tot een systematische fout van nul cm. De totale fout (RMSE) ligt voor alle grondwaterstatistieken onder de 17 cm. De correlatiecoëfficiënt is minimaal 0.95; de ruimtelijke patronen worden dus goed beschreven.

Tabel 7.1 Validatiestatistieken voor de GHG, GVG en GLG.

	ME (cm)	RMSE (cm)	MAE (cm)	r
GHG	0	16.4	11.9	0.95
GVG	0	16.6	11.9	0.95
GLG	0	16.8	12.4	0.96

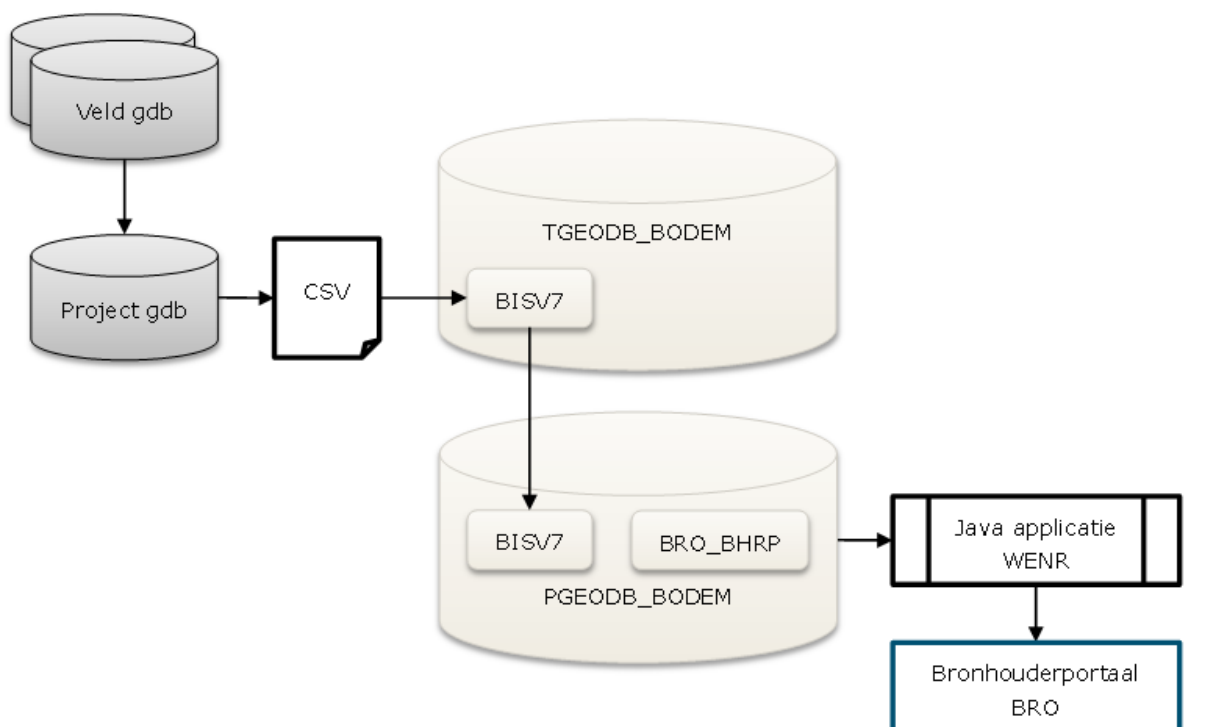
8 Verwerking geactualiseerde kaarten en gegevens in BIS en BRO

De geactualiseerde basiskaarten en hydrofysische gegevens zijn opgenomen in het Bodemkundig Informatiesysteem Nederland (BIS) van WENR en vervolgens aangeleverd aan de Basisregistratie Ondergrond (BRO). In dit hoofdstuk beschrijven we hoe de gegevens worden opgeslagen, beheerd en beschikbaar worden gesteld aan gebruikers.

8.1 Opname in BIS Nederland

In het Bodemkundig Informatiesysteem Nederland (BIS Nederland) worden de bodemgegevens in twee databases beheerd: een testdatabase (TGEODB_BODEM) en een productiedatabase (PGEODB_BODEM). Gegevens worden eerst in de testdatabase opgeslagen en verwerkt. Als er zekerheid is dat de gegevens correct zijn, worden ze in de productiedatabase opgeslagen. De productiedatabase vormt daarmee het echte informatiesysteem.

Binnen de databases TGEODB_BODEM en PGEODB_BODEM bestaan een aantal schema's (structuren om gegevens te groeperen binnen de database) (Figuur 8.1). Het schema BISV7 vormt de basis van het BIS. Nadat gegevens in het veld zijn verzameld in ArcGIS geodatabases (gdb), worden deze samengevoegd in een geodatabase voor het project. De data in die geodatabase worden gecontroleerd, waar nodig gecorrigeerd en vervolgens naar CSV-bestanden geëxporteerd. De CSV-bestanden worden ingeladen in het BISV7-schema van de testdatabase en overgezet naar de productiedatabase.



Figuur 8.1 Datastromen voor boorbeschrijvingen van veld naar BIS naar BRO.

Het BIS omvat naast de databases ook de modellen (weergaven van de basiskaarten) die als *shapefile* (voor de Bodemkaart en de Geomorfologische Kaart) en als *GeoTIFF* (voor het Grondwaterspiegeldieptemodel) worden opgeslagen. De finale versies worden op een netwerkschijf van Wageningen University & Research bewaard.

8.2 Uitgifte aan BRO

Ieder jaar levert WENR de bodemgegevens uit de grondboringen en hydrofysische gegevens (beide onderdeel van de boorbeschrijvingen) en de basiskaarten (modellen) aan de BRO. Voor de actualisatie, beschreven in dit rapport, zijn de boorbeschrijvingen geleverd over de periode maart tot oktober 2023. Elke levering van boorbeschrijvingen is direct beschikbaar via het BROloket. De hydrofysische gegevens worden geleverd in 2025 en de basiskaarten zijn in oktober 2024 geleverd aan de BRO. Hieronder beschrijven we hoe de levering verloopt.

Boorbeschrijvingen

De boorbeschrijvingen vallen onder het Bodemkundig booronderzoek (BHR-P) in de BRO (Programma Basisregistratie Ondergrond 2024c). WENR heeft een JAVA-applicatie ontwikkeld waarmee gegevens uit het BIS worden gelezen, een vertaling wordt gemaakt naar de structuur van de BRO en waarmee de gegevens via een REST-api naar de BRO worden verstuurd. Dit betekent dat er voor elke boorbeschrijving een xml-bestand wordt gegenereerd. Dit bestand wordt naar het bronhouderportaal van de BRO verstuurd, waar wordt gecontroleerd of het aan de definitie van de BRO voldoet. Als het xml-bestand wordt goedgekeurd, krijgt WENR als bevestiging een BRO-ID terug. Dit is een unieke identificatie van het registratie-object dat we op deze manier hebben laten opnemen in de BRO. Als het xml-bestand wordt afgewezen wordt de reden van afwijzing vermeld.

Binnen het schema BRO_BHRP van de productiedatabase registeren we de IDs uit het BIS (hierna bronhouder-ID genoemd) van de boorbeschrijvingen die we leveren aan de BRO met de datum van levering van de boorbeschrijving. Als we een BRO-ID terugkrijgen, zoals hierboven beschreven, dan registreren we dat de levering succesvol was en slaan we de combinatie van bronhouder-ID en BRO-ID op. Als we een afwijzing krijgen, dan registeren we de reden voor afwijzing bij het bronhouder-ID. We corrigeren de boring dan of overleggen hierover met BRO en leveren nogmaals de boorbeschrijving aan. Alle boorbeschrijvingen die gemaakt zijn voor het project van actualisatie in het stroomgebied van de Raam zijn aangeleverd aan de BRO en geaccepteerd.

Boormonsteranalyses

De boormonsteranalyses, waaronder de hydrofysische gegevens, vallen ook onder het Bodemkundig booronderzoek (BHR-P) (Programma Basisregistratie Ondergrond 2024c) in de BRO. De boormonsteranalyse is gekoppeld aan een boorbeschrijving en wordt op eenzelfde manier aangeleverd. In het BIS wordt het BRO-ID opgezocht van de boorbeschrijving die bij de analyse hoort en met dat BRO-ID wordt een xml-bestand gegenereerd om de extra informatie naar de BRO te versturen.

Modellen

De geactualiseerde modellen worden niet via een REST-api aangeleverd, maar via e-mail naar de BRO-servicedesk gestuurd. Elk model bestaat uit een aantal bestanden die in een zip-bestand worden samen-gevoegd.

Voor de Bodemkaart en de Geomorfologische Kaart zijn deze bestanden:

- de geactualiseerde kaart als gml-bestand en als gpkg-bestand;
- documentatie;
- *layer en style*-definities (QML en SLD).

Voor het Grondwaterspiegeldieptemodel worden de volgende bestanden aan de BRO geleverd:

- de geactualiseerde kaarten als netCDF-bestand;
- een aantal kaarten als GeoTIFF-bestand;
- de waarnemingen als gml-bestand en als gpkg-bestand;
- documentatie;
- *layer en style*-definities (QML en SLD).

Voor het genereren van de gml- en gpkg-bestanden voor de Bodemkaart en Geomorfologische Kaart heeft WENR ook een JAVA-applicatie ontwikkeld. Hiervoor worden de originele *shapefile* bestanden in de database geladen binnen het schema BRO_SGM (voor de Bodemkaart) en BRO_GMM (voor de Geomorfologische Kaart). De applicatie leest de data vervolgens uit de database en bouwt hieruit de benodigde bestanden voor

BRO op. Voor het genereren van de gml- en gpkg-bestanden voor het Grondwaterspiegeldieptemodel worden de waarnemingen in het schema BRO_WDM geladen.

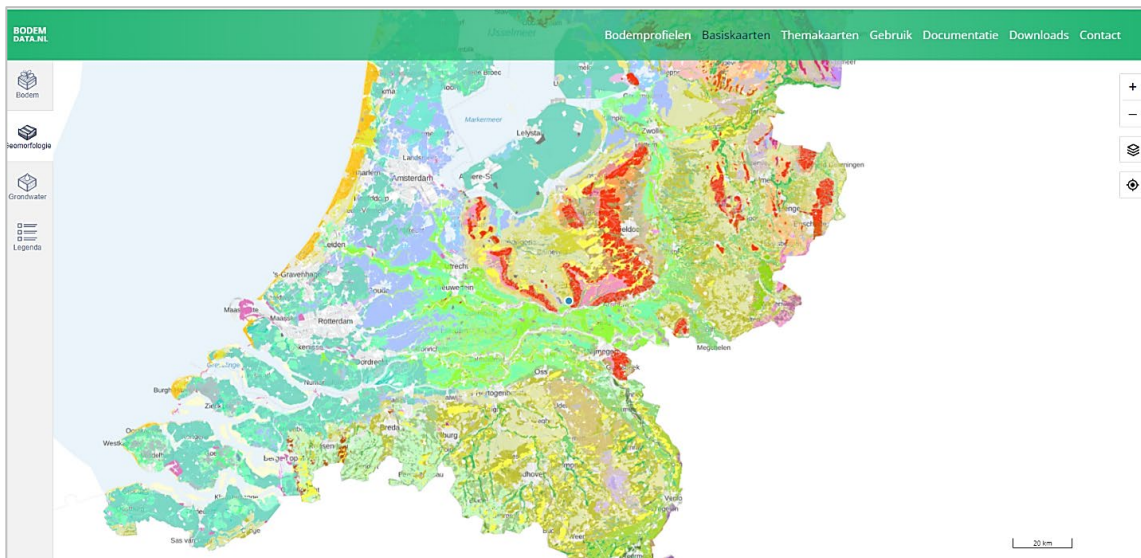
8.3 Toegankelijkheid voor gebruikers

De basiskaarten, boormonsterbeschrijvingen en hydrofysische gegevens kunnen via verschillende kanalen worden benaderd en gedownload: het [BROloket](#), de [PDOK-viewer](#) en [bodemdata.nl](#). Het BROloket en de PDOK-viewer zijn de officiële uitgiftekanalen van de BRO. Ze bieden alleen toegang tot data en modellen die voldoen aan de standaarden van de BRO en INSPIRE³. Bodemdata.nl geeft toegang tot collecties van gegevens bij WENR. Op [bodemdata.nl](#) staan ook thematische kaarten die direct of indirect uit de basiskaarten en bodeminformatie zijn afgeleid. De functionaliteit en bronlocaties van [bodemdata.nl](#), BROloket en PDOK-viewer staan beschreven in bijlage 4. In deze paragraaf geven we extra toelichting op het geoportaal [bodemdata.nl](#), omdat dit ook thematische kaarten bevat.

Bodemdata.nl

Gegevens in het Bodemkundig Informatiesysteem (BIS Nederland) worden door WENR beschikbaar gesteld aan gebruikers via het geoportaal [bodemdata.nl](#) (Figuur 8.2). Deze interactieve kaartapplicatie geeft gebruikers onder andere toegang tot de drie basiskaarten, de onderliggende gegevens en achtergrondinformatie. Bodemdata.nl is in 2021 vernieuwd:

- De website heeft een nieuw uiterlijk en de functionaliteiten zijn uitgebreid.
- Er zijn thematische kaarten toegevoegd. Dit zijn afgeleide producten van de basiskaarten of achterliggende gegevens, zoals de Veendiktekaart en de Bodemfysische eenhedenkaart (BOFEK, Heinen et al. 2021) (zie <https://bodemdata.nl/themakaarten>). In 2024 zijn kaarten van bodemorganische stof en pH toegevoegd.
- Een nieuwe versie van de Landschappelijke Bodemkaart is beschikbaar onder de ingang Themakaarten. Dit is een fysiografische kaart die ontwikkeld is om voor een breed publiek de kenmerken van het natuurlijke landschap te ontsluiten voor een toekomstbestendige inrichting en beheer van Nederland. De laatste versie is downloadbaar van Bodemdata.nl.
- Toelichtingen op de themakaarten zijn uitgebreid en de kaarten zijn nu ook direct downloadbaar.



Figuur 8.1 Impressie van het geoportaal [bodemdata.nl](#).

³ INSPIRE: richtlijn over een digitale infrastructuur voor het uitwisselen van gegevens over de leefomgeving in de Europese Unie.

9 Toepassing van de kaarten en gegevens

Gegevens over bodem, grondwater en terreinvormen worden gebruikt voor ruimtelijke planvorming en beleid op het gebied van water, natuur en landbouw. Instanties die de gegevens gebruiken zijn ministeries, provincies, waterschappen, gemeenten, adviesorganen, onderzoeksinstituten, ingenieursbureaus en onderwijsinstellingen. Ze gebruiken daarbij de basiskaarten en hydrofysische gegevens die we beschrijven in dit rapport, rechtstreeks of als invoer voor modellen of andere kaarten. We geven enkele toepassingsgebieden met voorbeelden in Kader 1. Kader 2 beschrijft hoe waterschap Aa en Maas de basiskaarten en hydrofysische gegevens gebruikt die zijn bijgewerkt voor het stroomgebied van de Raam.

Kader 1 Toepassingsgebieden van de basiskaarten van het natuurlijke systeem en hydrofysische gegevens.

- **Landbouw en voedselzekerheid** (met onderwerpen als gewasproductie, droogte- en waterschade): hydrofysische gegevens van de bodem en het Grondwaterspiegeldieptemodel kunnen gebruikt worden voor de kartering van de bodemgeschiktheid voor landbouw. Dit is gedaan voor de provincie Noord-Brabant met Waterwijzer Landbouw, een instrument voor het bepalen van effecten van veranderingen in hydrologische condities op gewasopbrengsten (Mulder et al. 2022).
- **Broeikasgasemissies vanuit de bodem**: gegevens over de opbouw van het bodemprofiel, dichtheid en organische stofgehalte worden gebruikt om schattingen te maken van de emissie van broeikasgassen uit veenweidegebieden (e.g. Van de Craats et al. 2023; Chan en Van den Akker 2022).
- **Natuurbeheer en -herstel**: informatie over bodemopbouw, organische stof en pH van de bodem en het grondwaterstandsverloop kunnen gebruikt worden om de geschiktheid van groeiplaatsen voor natuur te beoordelen (e.g. Van Delft et al. 2023). Informatie over bodem, terreinvormen en grondwaterspiegeldiepte wordt ook gebruikt in de Natuurverkenning voor Nederland; zie bijvoorbeeld WOT N&M (2022).
- **Duurzaam landgebruik en bodemgezondheid**: basiskaarten van het natuurlijke systeem worden gebruikt in studies om het Nederlandse landschap tot een gezonde leefomgeving te maken op de lange termijn. Een voorbeeld daarvan is de toepassing van systeemdenken in regionale gebiedsprocessen in het Aa-dal-Noord (De Graaf et al. 2024).
- **Waterkwaliteit**: hydrofysische gegevens, gegevens over bodemtype uit de Bodemkaart en gegevens over de grondwaterspiegeldiepte worden gebruikt om in- en afspoeling van opgeloste stoffen naar grond- en oppervlaktewater te berekenen, bijvoorbeeld van meststoffen (e.g. Groenendijk et al. 2024). Hydrofysische gegevens en gegevens uit de Bodemkaart en het Grondwaterspiegeldieptemodel worden ook gebruikt in het Landelijk Waterkwaliteitsmodel en in het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium.
- **Overstromingen en andere effecten van klimaatverandering**: bodeminformatie wordt gebruikt voor een klimaatbestendige inrichting van Nederland; zie bijvoorbeeld WENR (2022). De Klimateffectatlas van Nederland gebruikt de Bodemkaart en Geomorfologische Kaart van Nederland als invoer voor een kaart met landschapseenheden waarvoor effecten van klimaatverandering en kansen voor klimaatadaptatie verschillend zijn: de Basiskaart Natuurlijk Systeem (<https://www.klimateffectatlas.nl/nl/basiskaart-natuurlijk-systeem-nederland>). Deze kaart is gebruikt om kansen en bedreigingen van klimateffecten in beeld te brengen voor verschillende landschapstypes in Nederland (Diersmann et al. 2024).
- In **Landschapsecologische Systeemanalyses** kunnen geomorfologische kaarten en bodemkaarten gebruikt worden om fysisch-geografische eenheden in een gebied te beschrijven en van daaruit aan te geven welke soorten natuur kunnen voorkomen bij verschillende grondwateromstandigheden. De Landschappelijke Bodemkaart combineert de informatie uit de Bodemkaart en de Geomorfologische Kaart (Van Delft en Maas 2023). Een voorbeeld van deze toepassing is de Landschapsecologische Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Boven Slinge voor waterschap Rijn en IJssel en de provincie Gelderland (Iwema et al. 2024).
- **Infrastructuur schade door bodemdaling** (zwellen en krimpen en oxidatie van klei en veen als gevolg van ontwatering): informatie over de bodemopbouw, hydrofysische gegevens van de bodem, typen veen, de rijpingsgraad van de bodem en de grondwaterspiegeldiepte kunnen gebruikt worden voor prognoses van bodemdaling (Kooi et al. 2023, Bakker et al. 2017).
- **Beleid voor en voorlichting over aardkundig erfgoed**: informatie over bodem en landvormen wordt door provincies en gemeenten gebruikt om aardkundig waardevolle gebieden (ook wel aardkundig erfgoed genoemd) te identificeren. De Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed onderhoudt een kennisbank en kaartviewer van aardkundig erfgoed in Nederland (https://kennis.cultureelerfgoed.nl/index.php/Aardkundig_erfgoed).

Kader 2 Toepassing van de basiskaarten van het natuurlijke systeem en hydrofysische gegevens door waterschap Aa en Maas. Bron: Waterschap Aa en Maas in: Wageningen Environmental Research (2024).

Gebruik van bodem- en grondwaterinformatie door waterschap Aa en Maas

Bodem- en grondwaterinformatie is van belang voor waterschap Aa en Maas. Het waterschap heeft zowel te maken met wateroverlast als droogte. Geringe grondwaterspiegeldieptes zijn gunstig voor de natuur, maar kunnen in bepaalde gebieden overlast geven aan bewoners. De droogte van de afgelopen jaren zorgde voor veel schade voor de landbouw en de natuur. Droogte leidt tot droogvallende waterlopen, een afname van de waterkwaliteit (bijvoorbeeld door blauwalg) en een toename van de watervraag voor beregening door de landbouw. Uitdagingen waar het waterschap rekening mee moet houden zijn het optreden van meer weersextremen door klimaatverandering, toename van de bevolkingsdruk, een toenemende watervraag in de landbouw, verdroging in de natuur en beperkte ruimte voor waterberging.

Binnen het Grondwaterconvenant (2020/2021) werken overheden samen aan het herstel van het grondwatersysteem. Voor het realiseren van een robuust watersysteem moet het waterschap meer water vasthouden, minder water onttrekken en meer water in de grond infiltreren. Maar aanpassingen in het watersysteem hebben gevolgen voor het landgebruik voor onder andere de woningbouw en de landbouw. Kennis van het bodem- en watersysteem is belangrijk om te bepalen welke aanpassingen in het watersysteem mogelijk zijn en wat daarvan de effecten zijn.

Een deel van de informatie over bodem en grondwater is direct toepasbaar in de grondwatermodellen van het waterschap. Daarmee maakt het waterschap inschattingen van de effecten van klimaatverandering op de gemiddelde grondwaterstand in de zomer. Het model wordt ook gebruikt door gebiedsontwikkelaars voor het maken van inrichtingsplannen en kanskaarten.

Het waterschap werkt toe naar meer datagestuurde waterbeheer en breidt daarvoor meetnetten uit. Daarin worden bodemvocht, verdamping, waterstanden, afvoeren en grondwaterstanden gemeten. De actualisatie van het Grondwater-spiegeldieptemodel wordt gebruikt om de uitbreiding van het meetnet te ontwerpen.

10 Ervaringen met het combineren van veldwerk en kartering

De drie basiskaarten (kaarten van de bodem, geomorfologie en grondwaterspiegeldiepte) en hydrofysische gegevens zijn in dit project voor het eerst gelijktijdig geactualiseerd. Tot 2021 gebeurde dit voor ieder van de kaarten en de hydrofysische gegevens afzonderlijk in verschillende gebieden in Nederland. Bij iedere actualisatie werden in het veld grondboringen gedaan om het bodemprofiel te beschrijven, monsters te nemen voor het bepalen van bodemeigenschappen in het laboratorium en de grondwaterspiegeldiepte op te nemen. Ook werd hulpinformatie uit andere kaarten ingewonnen over het gebied. Na validatie werd de geactualiseerde kaart van het gebied ingepast in de bestaande landelijke kaart; dat gaf weer een nieuwe versie van de landsdekkende kaart. Zo werd dat voor de drie basiskaarten afzonderlijk gedaan.

Voor de actualisatie, gepresenteerd in dit rapport, heeft WENR een nieuwe werkwijze toegepast, waarin veldwerk en digitale kartering voor bodem, terreinvormen, grondwaterspiegeldiepte en hydrofysische gegevens worden gecombineerd in één gebied. De nieuwe aanpak is gestart in het stroomgebied van de Raam, in het beheersgebied van waterschap Aa en Maas en provincie Noord-Brabant. Het combineren van veldwerk en kartering blijkt een efficiëntere kartering van hogere kwaliteit op te leveren dan wanneer de kaarten en gegevensbestanden afzonderlijk worden geactualiseerd (zie de paragrafen over nauwkeurigheid en validatie in hoofdstukken 4-7). Hieronder bespreken we de ervaringen met de gecombineerde aanpak.

Een integrale aanpak geeft een hogere kwaliteit en kennisuitwisseling

- We hebben een integrale aanpak gebruikt voor het inwinnen, verwerken en interpreteren van gegevens voor de kaarten en hydrofysische gegevens met een team van bodemkundigen, geomorfologen, statistici en hydrologen. Dit leidde tot efficiëntieverhoging en een potentieel hogere kwaliteit van de Geomorfologische Kaart, het Grondwaterspiegeldieptemodel, en de Bodemkaart. De kwaliteitsverbetering zit met name in de actualisatie (de nieuwe kaarten weerspiegelen de huidige situatie beter dan de vorige versies) en voor het Grondwaterspiegeldieptemodel en de bodemkaart tevens in de verbeterde reproduceerbaarheid van de resultaten. De kwaliteit van het Grondwaterspiegeldieptemodel en de Bodemkaart wordt ook gekwantificeerd.
- De gecombineerde aanpak versterkte het proces van kennisuitwisseling tussen medewerkers met verschillende expertise over gebruikte methoden bij de kartering, inwinning en uitwerking van de gegevens en over de inhoud van de gegevens. De documentatie die hierover is gemaakt wordt opgenomen in het opleidingstraject voor nieuwe (veld)medewerkers.
- Het actualiseren van dezelfde gebieden met behulp van dezelfde basisgegevens leidde tot een betere aansluiting tussen de drie basiskaarten. Zo gaf de detailkartering door geomorfologen informatie voor de actualisatie van de Bodemkaart en het Grondwaterspiegeldieptemodel. Daarnaast zorgde het ervoor dat de drie modellen in hetzelfde gebied dezelfde actualiteit hebben.

Efficiënter inwinnen en toepassen van gegevens

- Het gelijktijdig inwinnen en interpreteren van hulpinformatie voor Bodemkaart en Geomorfologische Kaart bleek efficiënt omdat voor beide kaarten gebruik kon worden gemaakt van deze gegevens.
- Voor het maken van de Geomorfologische Kaart was een iteratie nodig in de begrenzing van de kaartvlakken, waarvoor bodemprofielbeschrijvingen uit grondboringen en begrenzingen van de vlakken op de Bodemkaart worden gebruikt. Bij het veldwerk in het stroomgebied van de Raam was de iteratie vertraagd omdat de vlakken van de geactualiseerde Bodemkaart nog niet beschikbaar waren voor de datum van oplevering van de opdracht voor provincie Noord-Brabant. Voor volgende actualisatiecampagnes is het belangrijk om de grondboringen en kartering voor de Bodemkaart in een vroeg stadium uit te voeren.
- Gebruik van één steekproef voor de Bodemkaart van Nederland en het Grondwaterspiegeldieptemodel (WDM) gaf tijdsbesparing in de veldopnamen.
- Bodemprofielbeschrijvingen bleken goed gebruikt te kunnen worden voor het actualiseren van de Bodemkaart, maar ook voor de Geomorfologische Kaart en het Grondwaterspiegeldieptemodel. Vanwege een gebrek aan veldcapaciteit konden echter minder boringen geplaatst en beschreven worden dan gepland. Er

werd daarom gekozen voor een methodiek waarbij minder boringen voor de actualisatie van het stroomgebied van de Raam nodig waren.

- Het lagere aantal boringen en tussenboringen gaf minder inzicht in landschapspatronen in het gebied bij veldkarterders. Hun expertise kwam daardoor minder tot uiting in de kaartproducten.
- Monsternamen voor hydrofysische gegevens in transecten leverde informatie op voor alle registratieobjecten.

Samenwerking en stroomlijnen van contacten met overheden en betrokken partijen

- De combinatie van veldwerk in het stroomgebied van de Raam maakte het mogelijk om contacten met bevoegde gezagsorganen en bij het gebied betrokken partijen te stroomlijnen (provincie, waterschap, gemeente, ZLTO en landeigenaren).
- Samenwerking met waterschap Aa en Maas leverde efficiëntie door het gebruik van meetreeksen uit grondwaterpeilbuizen, gebiedskennis van de medewerkers van het waterschap en door bemiddeling in communicatie naar grondeigenaren, overheden en organisaties in het gebied.
- Kartering voor de Geomorfologische Kaart leverde een actuele en meer gedetailleerde kartering in zeven aardkundig waardevolle gebieden in het gebied omdat het werk kon worden uitgevoerd voor een opdracht van de provincie Noord-Brabant.

Communicatie

- Voor de veldkartering moesten medewerkers van WENR terreinen betreden van particuliere grondeigenaren en gebiedsbeheerders. Daarvoor moesten zij toestemming vragen, goed uitleggen waarom zij dit werk doen en wat er met de verzamelde informatie gebeurt. Dit is een belangrijk onderdeel van de actualisatie, maar het kostte ook veel tijd omdat de contacten in het veld plaatsvonden. In een gecombineerde actualisatie kost dit minder tijd dan wanneer dit voor iedere kaart afzonderlijk gebeurt.
- Om uit te leggen waarom we dit werk doen besteedde WENR in verschillende artikelen voor een breed publiek aandacht aan de gecombineerde actualisatie van de bodem- en grondwaterinformatie. Deze zijn opgenomen in bijlage 5.

11 Conclusies en aanbevelingen

Basiskaarten en hydrofysische gegevens van het natuurlijke systeem verder uitgebreid

De Bodemkaart, Geomorfologische Kaart en het Grondwaterspiegeldieptemodel van Nederland zijn geactualiseerd in het stroomgebied van de Raam in waterschap Aa en Maas. Op 387 locaties zijn bodemprofielbeschrijvingen gemaakt. Hydrofysische gegevens zijn verzameld voor vijf onderscheidende eenheden in 36 grondmonsters. De boorbeschrijvingen zijn momenteel beschikbaar via de BRO. De basiskaarten zijn in oktober 2024 uitgeleverd aan de BRO en worden gepubliceerd via BROloket. De hydrofysische gegevens worden momenteel geleverd aan de BRO.

Voor het actualiseren van de Bodemkaart is voor het eerst een methode toegepast waarin de expertkennis van veldbodemkundigen en bestaande informatie uit bodemprofielbeschrijvingen en kaarten geïntegreerd worden met de moderne digitale karteertechniek *digital soil mapping*. De methode geeft naast een kaart van het bodemtype ook informatie over de nauwkeurigheid van de kaart. Deze nauwkeurigheidsinformatie kan worden gebruikt om vast te stellen in welke gebieden de bodemgesteldheid nog onvoldoende bekend is. Ook is deze informatie relevant als de bodemkaart als basiskaart wordt gebruikt voor beleid. De nauwkeurigheidsinformatie kan worden gebruikt voor een betere onderbouwing van besluitvorming met betrekking tot het landelijk gebied.

Het onderhouden van de kwaliteit en actualiteit van de modellen en de onderliggende gegevens is een basistaak van WENR. Daarnaast zien we echter ook een rol in het verbeteren van het gebruik van de informatie binnen de modellen en het blijven innoveren in de methodieken die ten grondslag liggen aan het maken van de basiskaarten. De nieuwe methode die in deze ronde is gebruikt voor de Bodemkaart kan verfijnd worden, bijvoorbeeld door het toevoegen van informatie over bodemeigenschappen die additioneel met eenvoudige meetmethoden kan worden ingewonnen tijdens veldcampagnes. Voorbeelden zijn pH (Van Delft et al. 2024) en organische-stofgehalte (Kempenaar et al. 2018).

Gecombineerd actualiseren van bodem- en grondwaterinformatie biedt voordelen

Het integraal verzamelen en bewerken van informatie over bodem, terreinvormen en grondwater in het stroomgebied van de Raam leverde verschillende voordelen. Gegevens werden efficiënter verzameld en benut voor het bijwerken van meerdere modellen en gegevensbestanden in één actualisatieronde. De kwaliteit van de modellen en gegevens is hierdoor verbeterd. De samenwerking met waterschap Aa en Maas en provincie Noord-Brabant bood voor WENR toegang tot kennis, gegevens en meetnetten die beschikbaar zijn bij deze overheden. Voor waterschap en provincie leverde de actualisatie informatie op die direct bruikbaar is voor hun taken. Communicatie met grondeigenaren, organisaties en andere overheden verliep gemakkelijker via deze overheden.

Leerpunten uit de gecombineerde actualisatie

- Gecombineerd actualiseren van kaarten en gegevens vraagt om afstemming van veldwerk en uitwerking van gegevens. Voor het maken van de Geomorfologische Kaart is een iteratie nodig in de begrenzing van de kaartvlakken, waarvoor bodemprofielbeschrijvingen uit grondboringen en begrenzingen van de vlakken op de Bodemkaart worden gebruikt. Een belangrijk leerpunt uit de actualisatie in het stroomgebied van de Raam is dat grondboringen en kartering voor de Bodemkaart in een vroeg stadium moeten worden uitgevoerd. In deze actualisatieronde bleek dat niet mogelijk.
- Het vragen van toestemming voor veldwerk aan grondeigenaren blijft een tijdrovend onderdeel van het veldwerk. Verkend gaat worden of toestemming voorafgaand aan het veldbezoek op andere manieren kan worden geregeld.
- De expertise van veldkarterders kwam minder tot uiting in de kaartproducten. Dat kwam voornamelijk doordat er gekozen is voor een beperkt aantal boringen in het gebied van de Raam. Bij een volgende actualisatie moet het aantal boringen ook afgestemd worden op het optimaal benutten van de expertise van de veldkarterders.

Literatuur

- Bakker, H. de, J. Schelling, D.J. Brus en C. van Wallenburg 1989. *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland: de hogere niveaus*. Pudoc. <https://edepot.wur.nl/330159>.
- Bakker, G.; Hendriks, R.F.A.; Groot, W.J.M. 2017. *Verbreding Wilhelminakanaal Tilburg: Onderzoek naar krimp van veen- en leemlagen en oxide van veenlagen*. Wageningen: Wageningen Environmental Research (Wageningen Environmental Research rapport 2826), <https://edepot.wur.nl/420191>
- Bakker, G. 2022. *Hydrofysische gegevens van de bodem: Uitbreiding gegevens in 2021 en overdracht naar de Basisregistratie Ondergrond*. WOT-technical report 216). Wageningen: WOT Natuur & Milieu. <https://doi.org/10.18174/563651>.
- Brus D.J. 2022. *Spatial sampling with R*. CRC Press. doi:10.1201/9781003258940, <https://github.com/DickBrus/SpatialSamplingwithR>.
- Cate, J.A.M ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp 1995. *Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel A: Bodem*. Wageningen: DLO-Staring Centrum. Technisch Document 19A. 222 pp. <https://edepot.wur.nl/380178>.
- Chan, P.M. en J. van den Akker 2022. *Bodemdaling door veenoxidatie: Broeikasgasemissies in veenweidegebied, waar hebben we het over?* Bodem 32 4. <https://edepot.wur.nl/651766>.
- Cohen, K.M., E. Stouthamer, W.Z. Hoek, H.J.A. Berendsen en H.F.J. Kempen 2009. *Zand in banen - zanddiepte kaarten van het Rivierengebied en het IJsseldal in de provincies Gelderland en Overijssel*. Arnhem: Provincie Gelderland.
- Craats, D. van de, M. van den Berg, J. van Huissteden, Y. van der Velde, en J. Boonman 2023. *Process-based modelling of CO₂ fluxes in Vlist*. (NOBV year report 2022 11). Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden. <https://edepot.wur.nl/650165>.
- Delft, S.P.J. van en G.J. Maas 2023. *Landschappelijke Bodemkartering (LBK); Achtergronden, toepassingen en technische documentatie* WOT-technical report 248. Wageningen: WOT Natuur & Milieu.
- Delft, B. van, J. Crujisen, T. Harkema, M. Knotters en P. Dijk, P. 2024. *pH-profielen als indicator voor zuurbuffering in de bodem*. Rapport 3336. Wageningen: Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/640483>.
- Delft, B. van, A. de Jong, P. Dijk, en P. Gerritsen, P. 2023. *Bodem en bos in Someren en Lieshout: Verkenning van de relatie tussen bodem en bosvitaliteit in twee waterwingebieden*. Rapport 3288. Wageningen: Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/636082>.
- Diersmann, M.G.D., S.P.J. van Delft en H.A.G. Woolderink 2024. Wageningen: Wageningen Environmental Research, Rapport 3384. 39 pp. <https://doi.org/10.18174/676811>.
- Efron, B. en R.J. Tibshirani, R.J. 1994. *An Introduction to the Bootstrap* (1). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429246593>.
- Gerritsen, P., D. Walvoort, en M. Knotters 2021. *Kartering grondwaterspiegeldiepte in laag Friesland: Actualisatie van een deel van het grondwaterspiegeldieptemodel van de Basisregistratie Ondergrond (BRO)*. WOt-rapport 131. Wageningen: WOT Natuur & Milieu. <https://doi.org/10.18174/547882>.
- Graaf, M. de, V. Grond, M. van Ree, B. de Rooij, G. Maas, M. Goris en H. Woolderink 2024. *Op weg naar een gezonde leefomgeving: De systeembenadering toegepast in Aa dal Noord*. Rapport 3369. Wageningen: Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/672842>.
- Groenendijk, P., T. Cals, H. Kros, L. Renaud, en J.C. Voogd 2024. *Effecten van het mestbeleid op de uit- en afspoeling van meststoffen: Berekningen ten behoeve van de Evaluatie Meststoffenwet 2024*. Rapport 3378. Wageningen: Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/675696>.
- Grujter, J. J. de, J.B.F. van der Horst, G.B.M. Heuvelink, M. Knotters, en T. Hoogland 2004. *Grondwater opnieuw op de kaart; methodiek voor de actualisering van grondwaterstands informatie en perceelsclassificatie naar uitspoelingsgevoeligheid voor nitraat*. Rapport 915. Wageningen: Alterra. <https://edepot.wur.nl/26169>.
- Heinen, M., G. Bakker, en J.H.M. Wösten 2020. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks: Update 2018*. Rapport 2978. Wageningen: Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/512761>.

- Heinen, M., F. Brouwer, K. Teuling en D. Walvoort 2021. *BOFEK2020 – Bodemfysische schematisatie van Nederland; Update bodemfysische eenhedenkaart*. Rapport 3056, 84 pp.; 5 fig.; 9 tab.; 28 ref. Wageningen: Wageningen Environmental Research.
- Isarin, R., E. Rensink, R. Ellenkamp en E. Heunks 2015. *Archeologische Verwachtingskaart Maasdal tussen Mook en Eijsden*. Amersfoort: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed.
- Iwema, J., H.A.G. Woolderink, T.T.L. Harkema, R.C.M. Verdonschot, S.P.J. van Delft, A.A. Veldhuizen en G.J. Maas 2024. *Landschapsecologische Systeemanalyse (LESA) Stroomgebied Boven Slinge en bovenlopen Keizersbeek.*, Rapport 3345. Wageningen: Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/657056>.
- Kempenaar, C., C. Dijk, F. van Egmond, F. Goldbach, G. Polder, A. Pronk en H. van Rheenen 2018. *Sensoren en gewasmodellen voor precisielandbouw: Literatuuronderzoek DISAC deelproject E-pieper*. (Rapport WPR-75. Wageningen: Wageningen Plant Research. <https://doi.org/10.18174/498321>).
- Knotters, M., D. Walvoort en P. Gerritsen 2022. *Mapping water table depths in wetlands and polder areas by probability sampling*. Geoderma 422. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115928>.
- Kooi, H., G. Bakema, J. Gunnink, R. Melman, D. Walvoort, B. Knaake, S. Jansen en G. Erkens 2023. *Bodemdalingsprognose Flevoland: versie 2023*. Rapport 11208645-002-BGS-0003. Wageningen: Deltares. <https://edepot.wur.nl/651038>.
- Maas, G.J., F. de Vries, F. Brouwer en N. Heidema 2016. *Inventarisatie GIS-bestanden met informatie over bodemverstoring*. Rapport 2751. 34 pp.; 4 fig.; 12 tab.; 10 ref. Wageningen: Wageningen Environmental Research.
- Matheron, G. 1969. *Le krigeage universel. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Fascicule 1*. Parijs: Edité par l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. 83 pp.
- Meij, W.M. van der en G.J. Maas 2020. *Kwaliteitsdocument van de Geomorfologische Kaart van Nederland*. WOT-technical report 195. 40 pp.; 6 fig.; 3 tab.; 10 ref. Wageningen: WOT Natuur & Milieu.
- Mualem, Y. 1976. *A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media*. Wageningen: Water Resources Research (12): 513–522. <https://doi.org/10.1029/WR012i003p00513>.
- Mulder, M., D. Walvoort, F. Brouwer, D. van Tol-Leenders en S. Verzaandvoort 2022. *Bodemgeschiedheidskaarten voor landbouw in de provincie Noord-Brabant: Een toepassing van Waterwijzer Landbouw*. WENR Rapport 3206 Wageningen: Wageningen: Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/576638>.
- Programma Basisregistratie Ondergrond 2024a. 'Geomorfologische Kaart (GMM). BRO | Basisregistratie Ondergrond.' <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/modellen/geomorfologische-kaart-gmm> (geraadpleegd in januari 2024).
- Programma Basisregistratie Ondergrond 2024b. 'Modellen. BRO | Basisregistratie Ondergrond.' <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/modellen> (geraadpleegd in januari 2023).
- Programma Basisregistratie Ondergrond 2024c. 'Bodemkundig booronderzoek (BHR-P). BRO | Basisregistratie Ondergrond'. (geraadpleegd in januari 2023) <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/bodemgrondonderzoek/booronderzoek-bhr/bodemkundig-booronderzoek-bhr/> (geraadpleegd in januari 2023)
- Provincie Noord-Brabant (z.d., a). 'Aardkundig waardevolle gebiedenkaart Noord-Brabant. Geoportaal van de Aardkundig waardevolle gebiedenkaart'. <https://noord-brabant.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ae83285be89f4501b60b1346cf9c3acd> (geraadpleegd tussen november 2022 en november 2024).
- Provincie Noord-Brabant (z.d., b). 'Aardkundig waardevolle gebieden. Onderdeel van de website van de Provincie Noord-Brabant'. (<https://www.brabant.nl/onderwerpen/natuur-landschap/brabantse-landschappen/aardkundig-waardevolle-gebieden/>) (geraadpleegd tussen november 2022 en november 2024).
- Riele, W.J.M. te en D.J. Brus 1991. *Methoden van gerichte grondwaterstandsmetingen voor het schatten van de GHG*. Wageningen, DLO Staring Centrum. Rapport 158. <https://edepot.wur.nl/304228>.
- Steur, G.G.L., W. Heijink, H. de Bakker, O.H. Boersma en C. Hamming 1991. *Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50000: algemene begrippen en indelingen*. Wageningen: DLO Staring Centrum. <https://edepot.wur.nl/117853>.
- 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

-
- Wageningen Environmental Research 2022. 'De bodem is onze basis: Bodeminformatie helpt ons bij klimaatuitdagingen'. Longread op de website van Wageningen Environmental Research. <https://www.wur.nl/nl/show-longread/de-bodem-is-onze-basis-bodeminformatie-helpt-ons-bij-klimaatuitdagingen.htm> (geraadpleegd op 10 november 2024).
- Wageningen Environmental Research 2023. 'Geomorfologische Kaart van Nederland V2023-01'. <https://www.broloket.nl/ondergrondmodellen/kaart> (gedownload op 1 april 2024).
- Wageningen Environmental Research 2023a. 'Bodemkaart van Nederland V2023-01'. www.bodemdata.nl (bewerkt op 27 november 2024).
- Wageningen Environmental Research 2024. 'Actuele bodeminformatie voor een leefbaar landschap.' Nieuwsbericht over het symposium van het Bodemkundig Informatiesysteem Nederland op 29 februari 2024. <https://www.wur.nl/nl/nieuws/actuele-bodeminformatie-voor-een-leefbaar-landschap-2.htm> (geraadpleegd op 22 november 2024).
- Wageningen Environmental Research 2024a. 'Bodemdata.' Website met actuele informatie over bodem, terreinvormen en grondwaterspiegel in Nederland. <https://bodemdata.nl/basiskaarten> (geraadpleegd op 28 november 2024).
- Walvoort D.J.J., D.J. Brus en J.J. de Gruijter 2010. *An R package for spatial coverage sampling and random sampling from compact geographical strata by k-means*. Computers & Geosciences (36): 1261–1267. doi:10.1016/j.cageo.2010.04.005.
- Walvoort D., D. Brus en J. de Gruijter 2023a. *spsosa: Spatial Coverage Sampling and Random Sampling from Compact Geographical Strata*. <https://CRAN.R-project.org/package=spsosa>.
- Walvoort, D., P. Gerritsen, en M. Knotters 2023b. *Kartering grondwaterspiegeldiepte in de provincie Flevoland: Actualisatie van een deel van het Grondwaterspiegeldieptemodel (WDM) voor de Basisregistratie Ondergrond (BRO)*. WOT-technical rapport 153. Wageningen: WOT Natuur & Milieu. <https://doi.org/10.18174/634188>.
- Walvoort, D.J.J., J. Roelsma, R.J. Löschner-Wolleswinkel en T.P. van Tol-Leenders 2009. *Validatie van modelsystemen voor het voorspellen van de oppervlaktewaterkwaliteit en -kwantiteit in het stroomgebied 'de Schuitenbeek': fases 1, 2 en 3*. Reeks monitoring stroomgebieden(8-II).Wageningen: Alterra. <https://edepot.wur.nl/138248>.
- Wehrens, R., H. Putter en L.M.C. Buydens 2000. *The bootstrap: a tutorial*. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. (54):35-52. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(00\)00102-7](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(00)00102-7).
- Wettelijke onderzoekstaken Natuur & Milieu (WOT N&M) (2022). 'Storymaps Natuurverkenning 2050'. <https://storymaps.arcgis.com/collections/31d381ab470643708349f1dce75bb60e> (geraadpleegd op 10 november 2024).
- Woolderink, H.A.G. en K.M. Cohen 2018. *Digital Basemap for the Lower Meuse Valley Palaeogeography*. <https://doi.org/10.17026/dans-xkk-f29b>, DANS Data Station Archaeology V3.
- Wright, M. N. en A. Ziegler 2017. *ranger: A Fast Implementation of Random Forests for High Dimensional Data in C++ and R*. *Journal of Statistical Software*, 77(1), 1–17. <https://doi.org/10.18637/jss.v077.i01>.

Verantwoording

WOT-rapport: 163

BAPS-projectnummer: WOT-04-013-003 t/m -006 en -015

WOT Natuur & Milieu hecht grote waarde aan de kwaliteit van eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard deel uit van het kwaliteitsbeleid.

Dit project werd begeleid door Dorothée van Tol-Leenders (Wageningen Environmental Research) (Interne contactpersoon) en Frans Lips (Ministerie van LNVN) (Externe contactpersoon).

De auteurs bedanken betrokkenen voor hun bijdrage aan het tot stand komen van deze rapportage, en referent René Rietra voor zijn nuttige commentaren.

Gereviewd door

functie: onderzoeker duurzaam bodemgebruik

naam: René Rietra

datum: 28-11-2014

Akkoord Extern contactpersoon

functie: senior beleidsmedewerker landbouw en digitalisering, Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur

naam: Dhr. Frans Lips

datum: 12-12-2024

Akkoord Intern contactpersoon

naam: Dorothée van Tol-Leenders

datum: 3-12-2024

Bijlage 1 Richtlijnen boren

Project 5200047835 BRO Bodemkaart 2023 Actualisatie Bodemkaart, Grondwatermodel en Geomorfologische Kaart van het stroomgebied van de Raam

Maart 2023

Instructies voor het maken van boorbeschrijvingen

Het doel van dit project is het actualiseren van de Bodemkaart van Nederland voor het stroomgebied van de Raam, in combinatie met het actualiseren van het Grondwaterspiegeldieptemodel en de Geomorfologische Kaart. De methode die we hiervoor willen gebruiken is een digitale bodemkartering (DSM). We maken daarbij primair gebruik van gegevens uit boorbeschrijvingen. Er zijn in dit gebied nog onvoldoende actuele boorbeschrijvingen beschikbaar. Daarom zijn er circa 350 locaties aangewezen voor het maken van nieuwe beschrijvingen van de bodemprofielopbouw en het eenmalig opnemen van de grondwaterspiegeldiepte. Er is geen onderverdeling in kalibratie- en validatiepunten. Het veldwerk in het stroomgebied van de Raam start in maart 2023 en loopt door tot het najaar van dit jaar. De 350 locaties moeten dit jaar sowieso bezocht worden. Als er later in het jaar blijkt dat er meer boringen mogelijk zijn, kan het aantal locaties uitgebreid worden naar 500.

Locaties

In totaal dienen er in het stroomgebied van de Raam dus minimaal 350 locaties bezocht te worden. De locaties zitten in een shapefile in VeldGIS. Bij het maken van de boorbeschrijvingen is het niet noodzakelijk dat je de nummering aanhoudt van de aangegeven punten. Het belangrijkste is dat er telkens een volledige boorbeschrijving wordt gemaakt. Het stroomgebied van de Raam is voor dit doel opgedeeld in 46 veldkaarten. Een veldkaart is in dit project onverdeelbaar en wordt dus volledig door één karteerder uitgewerkt. Per veldkaart kun je zelf bepalen in welke volgorde je de locaties bezoekt en nummert. Maak onderling duidelijke afspraken over de verdeling van de veldkaarten om te voorkomen dat een veldkaart dubbel wordt uitgewerkt.

Prioritering

Er is in dit onderzoek geen sprake van gerichte opnames op GHG- of GLG-momenten. Dit betekent dat we flexibel zijn in het moment waarop we het veld in gaan. Alsnog zal de eerste prioriteit in de rivierengebieden liggen. Dit heeft te maken met het feit dat de hoger gelegen gebieden eerst voor een deel gekarteerd zullen worden voor de Geomorfologische Kaart. Dit kan (grotendeels) op basis van de AHN. Wanneer deze kaarten beschikbaar zijn, valt alle prioritering weg.

Bepaling locatie in het veld

Indien mogelijk wordt de boorbeschrijving opgesteld op de locatie met de aangegeven x- en y-coördinaten. Wanneer dat niet lukt kun je in de nabijheid een beschrijving opstellen. Wanneer de locatie in bebouwd gebied ligt of wanneer je geen toestemming krijgt, kun je het punt verplaatsen naar een buurperceel. Bij het kiezen van een andere locatie moet je zo dicht mogelijk in de buurt blijven (zeker binnen dezelfde veldkaart).

Boordiepte, boorbeschrijving en meting grondwater

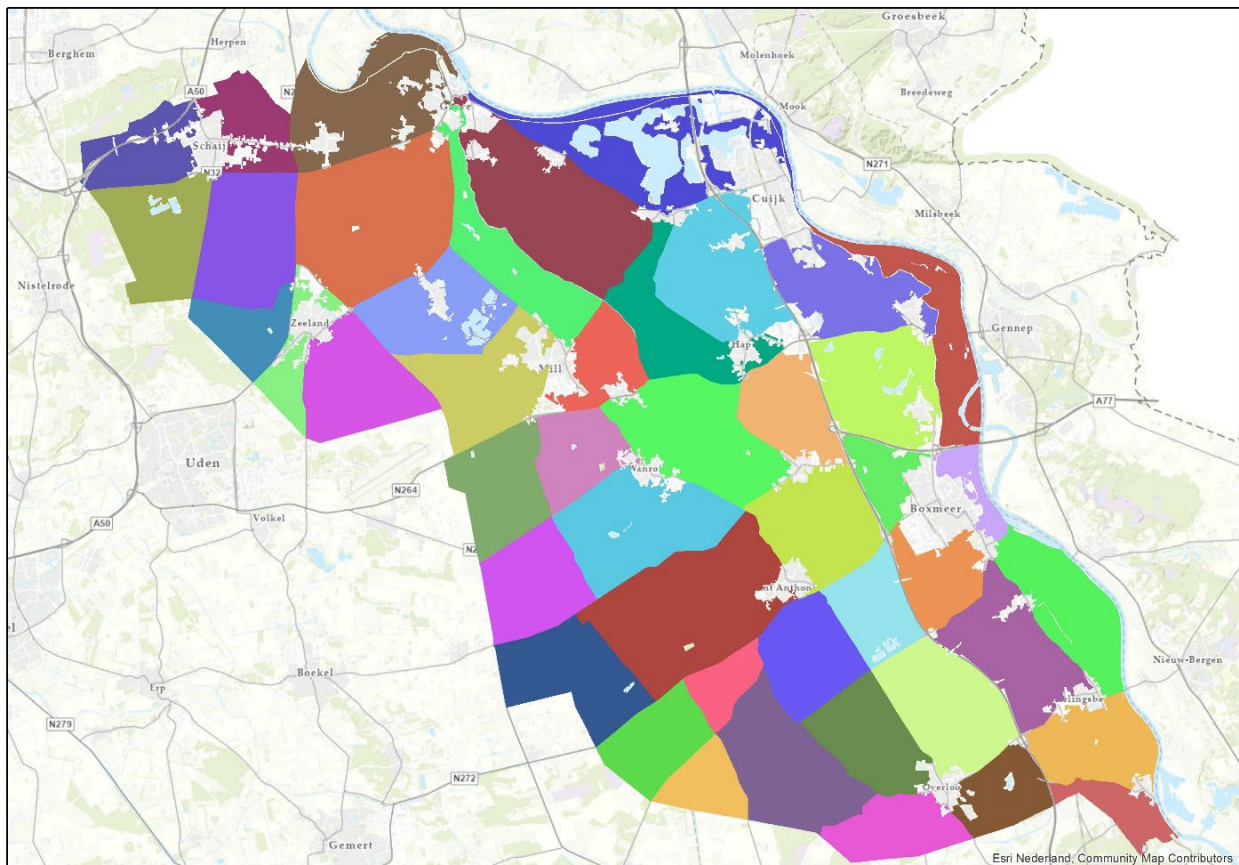
Het profiel uitboren tot minimaal 1,5 m – mv. (bij gebruik van de guts is het aan te bevelen om de gehele diepte tot circa 2,1 m - mv. te beschrijven). Wanneer je binnen deze diepte nog geen vrij grondwater verwacht, moet je de diepte verlengen tot er vrij grondwater te meten valt of tot maximaal 2,5 m diep. Het is niet nodig om elke locatie twee keer te bezoeken voor de GHG en GLG. Elke opname wordt één keer uitgevoerd en is onafhankelijk van het moment in het jaar. Dit moment moet wel genoteerd worden. Bij elk punt een volledige boorbeschrijving maken met boorstatenformulier in VeldGIS, inclusief een schatting van de GHG en GLG.

Bij een sterk verstoorde bodemopbouw (wanneer lagen/horizonten niet meer op hun oorspronkelijke diepte liggen) drie boringen verrichten en dan een beschrijving maken van de meest voorkomende, of anders de 'gemiddelde' profielopbouw. Verwerking aangeven in de standaardpuntencode. Bij aantreffen van een (grof) mengsel van klei en veen, deze componenten afzonderlijk beschrijven, bijvoorbeeld 1A/ en 1Cg/ en daarbij de mengverhouding aangeven (in percentages). Bij verwerking van horizonten met gelijksoortig moeder-materiaal (organische stof, textuur en geocode) hoeft dit niet en kan een beschrijving volstaan binnen één laag, bijvoorbeeld 1A/Cg.

Wanneer het grondwater in het boorgat is ingesteld - meestal na een dag, maar bij grind en grof zand mogelijk al vrij snel na de beschrijving - in het boorgat een stand meten van de actuele grondwaterspiegel in cm nauwkeurig ten opzichte van het maaiveld en deze, inclusief de datum, vermelden op de betreffende boorbeschrijving. Voor deze notatie het vakje A gebruiken (let op; een andere oplossing is prima, maar dan wel afstemmen met alle andere karteerders, zodat iedereen het op dezelfde manier uitwerkt).

Probeer in het veld rekening te houden met de texturen die gezocht worden voor de dataset van hydrofysische gegevens:

- kleilig silt (5-8% lutum, <50% zandfractie);
- weinig zand (C1 in organische stofdriehoek);
- matig zware klei (35-50% lutum).



Bijlage 2 Begrippenlijst

Begrippen in verband met de Bodemkaart.

Begrip	Betekenis
Standaardpuntencode	Code waarin samengevatte informatie uit een profielbeschrijving wordt weergegeven.
Bodemvlak	Een enkel vlak of polygoon binnen een bodemkaart die middels een bodemcode toebehoort aan een bodemeenheid.
Bodemhoofdklasse	De meest grove onderverdeling van bodems binnen het bodemclassificatiesysteem dat gehanteerd wordt voor de Bodemkaart van Nederland (De Bakker et al. 1989).
Bodemklasse	Ook wel bodemclassificatie genoemd, is de indeling van bodems binnen het bodemclassificatiesysteem dat gehanteerd wordt voor de Bodemkaart van Nederland (De Bakker et al. 1989). Dit is een verdere onderverdeling van de bodemhoofdklassen.
Bodemeenheid	De meeste gedetailleerde eenheid van de Bodemkaart van Nederland. In de meeste gevallen bestaat deze uit een bodemklasse met incidenteel een toevoeging van bijzondere kenmerken en/of hellingklasse. Overige gevallen zijn in dit onderzoek minder van belang, informatie hierover is te vinden in de legenda van de bodemkaart ⁴ .
Bodemcode	Weergave van de bodemeenheid in een code.

Begrippen in verband met BIS en BRO.

Begrip	Betekenis
REST-api	Representational State Transfer Application Programming Interface: machine-to-machine communicatie op basis van protocollen en standaarden uit de REST-software-architectuur.
BIS-ID of bronhouder-ID	Identificatie van een boorbeschrijving in het Bodemkundig Informatiesysteem
BRO-ID	Identificatie van een object in de Basisregistratie Ondergrond
Registratie-object (BRO)	Eenheid in de data-architectuur van de Basisregistratie ondergrond.

⁴ <https://legenda-bodemkaart.bodemdata.nl/begrippen>

Bijlage 3 Hydrofysische gegevens

Tabel B3.1 *Monstergegevens Mill en Cuijk. BPK: code voor bodemprofielen gebruikt in de veldopname.*

Locatie	Monster-naam	Datum monstername	Begin-Einddiepte (cm-mv)	Profiel (BPK)-nummer	Horizont-code
Mill	Mill1.1F	15-6-2023	5-15	8426010103	1Aag
Mill	Mill1.2F	15-6-2023	5-15	8426010103	1Aag
Mill	Mill1.3F	15-6-2023	5-13	8426010103	1Aag
Mill	Mill1.4F	15-6-2023	5-13	8426010103	1Aag
Mill	Mill1.5F	15-6-2023	5-10	8426010103	1Aag
Mill	Mill1.6F	15-6-2023	5-10	8426010103	1Aag
Mill	Mill1.7F	15-6-2023	5-15	8426010103	1Aag
Mill	Mill1.8F	15-6-2023	5-15	8426010103	1Aag
Mill	Mill2.1F	15-6-2023	40-50	8426010102	2Cw
Mill	Mill2.2F	15-6-2023	40-50	8426010102	2Cw
Mill	Mill2.3F	15-6-2023	40-48	8426010102	2Cw
Mill	Mill2.4F	15-6-2023	40-48	8426010102	2Cw
Mill	Mill2.5F	15-6-2023	40-45	8426010102	2Cw
Mill	Mill2.6F	15-6-2023	40-45	8426010102	2Cw
Mill	Mill2.7F	15-6-2023	40-50	8426010102	2Cw
Mill	Mill2.8F	15-6-2023	40-50	8426010102	2Cw
Cuijk	Cuij1.1F	16-6-2023	58-68	8426017102	2Cu1
Cuijk	Cuij1.2F	16-6-2023	58-66	8426017102	2Cu1
Cuijk	Cuij1.3F	16-6-2023	58-63	8426017102	2Cu1
Cuijk	Cuij1.4F	16-6-2023	58-63	8426017102	2Cu1
Cuijk	Cuij1.5F	16-6-2023	58-68	8426017102	2Cu1
Cuijk	Cuij1.6F	16-6-2023	58-66	8426017102	2Cu1
Cuijk	Cuij1.7F	16-6-2023	58-63	8426017102	2Cu1
Cuijk	Cuij1.8F	16-6-2023	58-63	8426017102	2Cu1
Cuijk	Cuij1.9F	16-6-2023	68-78	8426017102	2Cu2
Cuijk	Cuij1.10F	16-6-2023	68-76	8426017102	2Cu2
Cuijk	Cuij1.11F	16-6-2023	68-73	8426017102	2Cu2
Cuijk	Cuij1.12F	16-6-2023	68-73	8426017102	2Cu2
Cuijk	Cuij1.13F	16-6-2023	68-78	8426017102	2Cu2
Cuijk	Cuij1.14F	16-6-2023	68-76	8426017102	2Cu2
Cuijk	Cuij1.15F	16-6-2023	68-73	8426017102	2Cu2
Cuijk	Cuij1.16F	16-6-2023	68-73	8426017102	2Cu2
Cuijk	Cuij1.17F	16-6-2023	58-68	8426017102	2Cu1
Cuijk	Cuij1.18F	16-6-2023	58-68	8426017102	2Cu1
Cuijk	Cuij1.19F	16-6-2023	68-78	8426017102	2Cu2
Cuijk	Cuij1.20F	16-6-2023	68-78	8426017102	2Cu2

Tabel B3.2 *Metingen retentiekarakteristiek: volumetrische vochtgehalten ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) per drukhoogte h (cm H_2O).*

Monster	drukhoogte h (cm)									
	-3	-10	-30	-60	-100	-300	-1000	-3000	-14000	-10 ⁶
Mill1.5F	0.635	0.611	0.599	0.562	0.529	0.472	0.438	0.314	0.227	0.041
Mill1.6F	0.668	0.628	0.583	0.531	0.493	0.437	0.405	0.325	0.243	0.042
Mill2.5F	0.799	0.765	0.722	0.684	0.656	0.611	0.582	0.362	0.237	0.038
Mill2.6F	0.821	0.802	0.768	0.731	0.705	0.661	0.636	0.438	0.269	0.044
Cuij1.3F	0.348	0.321	0.292	0.253	0.223	0.19	0.164	0.174	0.127	0.02
Cuij1.4F	0.328	0.313	0.293	0.256	0.233	0.202	0.183	0.168	0.121	0.021
Cuij1.7F	0.352	0.329	0.3	0.256	0.235	0.192	0.170	0.174	0.127	0.02
Cuij1.8F	0.335	0.313	0.276	0.234	0.211	0.186	0.168	0.168	0.121	0.021
Cuij1.11F	0.336	0.322	0.309	0.275	0.248	0.213	0.191	0.166	0.109	0.021
Cuij1.12F	0.348	0.324	0.313	0.277	0.25	0.227	0.201	0.151	0.131	0.019
Cuij1.15F	0.361	0.337	0.317	0.282	0.259	0.233	0.213	0.166	0.109	0.021
Cuij1.16F	0.339	0.328	0.297	0.256	0.229	0.203	0.176	0.151	0.131	0.019

Tabel B3.3 Mualem-van Genuchten-fitparameters voor hydrologische modellering. NB: Ksf is de gefitte verzadigde waterdoorlatendheid. Deze kan afwijken van de werkelijk gemeten verzadigde waterdoorlatendheid Ksm.

Monster	WCS	WCR	Ksf	a	n	m	L
Mill1.3F	0.65374	0	151.9137	0.01871	1.19982	0.16654	8.88779
Mill1.4F	0.64708	0	229.0566	0.01748	1.20804	0.17222	9.43784
Mill2.3F	0.81567	0	101.6153	0.0291	1.19697	0.16456	10.67295
Mill2.4F	0.81576	0	65.89849	0.02148	1.21605	0.17767	9.57244
Cuij1.2F	0.34514	0	137.7392	0.0318	1.22079	0.18086	5.28039
Cuij1.6F	0.34464	0	227.2321	0.03182	1.20965	0.17331	6.90687
Cuij1.10F	0.34668	0	287.9945	0.03509	1.21484	0.17684	4.02326
Cuij1.14F	0.34284	0	455.1528	0.02974	1.23665	0.19136	6.70705

Tabel B3.4 Gemeten verzadigde waterdoorlatendheid Ksm, gloeiverlies LOI (Eng: Loss On Ignition) en droge bulkdichtheid Rd. NB: Ksm is de werkelijk gemeten verzadigde waterdoorlatendheid. Deze kan afwijken van de gefitte verzadigde waterdoorlatendheid Ksf.

Monster	Ksm (cm/d)	LOI (m%)	Rd (g/cm ³)
Mill1.1F	426.9		
Mill1.2F	348.4		
Mill1.3F			0.920
Mill1.4F			0.900
Mill1.5F			0.896
Mill1.6F			0.814
Mill1.7F		15.8	
Mill1.8F		15.7	
Mill2.1F	127.6		
Mill2.2F	102.4		
Mill2.3F			0.306
Mill2.4F			0.341
Mill2.5F			0.375
Mill2.6F			0.342
Mill2.7F		39.6	
Mill2.8F		57.0	
Cuij1.1F	174		
Cuij1.2F			1.650
Cuij1.3F			1.572
Cuij1.4F			1.66
Cuij1.5F	1107.4		
Cuij1.6F			1.710
Cuij1.7F			1.609
Cuij1.8F			1.583
Cuij1.9F	12.8		
Cuij1.10F			1.695
Cuij1.11F			1.661
Cuij1.12F			1.698
Cuij1.13F	34.6		
Cuij1.14F			1.723
Cuij1.15F			1.602
Cuij1.16F			1.605
Cuij1.17F		1.8	
Cuij1.18F		1.7	
Cuij1.19F		1.7	
Cuij1.20F		1.6	

Tabel B3.5 Krimpgegevens: verandering in gewicht en volume bij uitdroging, gemeten bij drie vochtgehalten: 1) nagenoeg verzadigd, 2) nabij $pF=3$ en 3) stoofdroog na drogen bij 105 °C. D_{ave} : gemiddelde diameter van het monster; H_{ave} : gemiddelde hoogte van het monster.

Monster	massa (g)	D_{ave} (cm)	H_{ave} (cm)	Stoofdroog
Mill1.3F	999.72	10.2	8	nee
Mill1.3F	857.12	10.2	8	nee
Mill1.3F	599.28	10.1	7.6	ja
Mill1.4F	991.43	10.2	8	nee
Mill1.4F	878.05	10.1	7.9	nee
Mill1.4F	585.76	9.8	7.8	ja
Mill2.3F	697.06	10.2	8	nee
Mill2.3F	535.11	10	7.8	nee
Mill2.3F	198.96	9	6.5	ja
Mill2.4F	727.29	10.2	8	nee
Mill2.4F	561.8	10	8	nee
Mill2.4F	221.871	9	6.8	ja
Cuij1.2F	1300.83	10.2	8	nee
Cuij1.2F	1166.68	10.2	8	nee
Cuij1.2F	1074.64	10.2	8	ja
Cuij1.6F	1321.88	10.2	8	nee
Cuij1.6F	1191.57	10.2	8	nee
Cuij1.6F	1113.34	10.2	8	ja
Cuij1.10F	1317.58	10.2	8	nee
Cuij1.10F	1204.66	10.2	8	nee
Cuij1.10F	1103.75	10.1	8	ja
Cuij1.14F	1320.15	10.2	8	nee
Cuij1.14F	1223.23	10.2	8	nee
Cuij1.14F	1121.99	10.1	8	ja

Tabel B3.6 Deeltjesgrootteverdeling (textuur) (%), mediane deeltjesgrootte (M50-getal) en textuurklassebenaming.

Monster	Klassegrenzen van de korrelgroottes (μm)										Textuurklasse- benaming o.b.v. metingen of veldschatting*(%)	
	0	2	16	50	63	105	150	210	420	M50		
	2	16	50	63	105	150	210	420	2000			
Mill1.7F												(humusrijk, zware zavel)
Mill1.8F												(humusrijk, zware zavel)
Mill2.7F												(kleilig veen)
Mill2.8F												(veen)
Cuij1.17F	14.4	6.7	7	2.1	8	15.5	17.1	24.9	4.2	186		matig humusarm, matig lichte zavel
Cuij1.18F	14.8	5.7	6.2	2.4	8.3	17	17.3	23.2	5.1	181		zeer humusarm, matig lichte zavel
Cuij1.19F	14.7	5.8	5.2	1.7	7.9	16.7	20.4	23.8	3.7	182		zeer humusarm, matig lichte zavel
Cuij1.20F	13.9	5.1	5.1	1.6	8.2	16.4	19.8	25.6	4.5	186		zeer humusarm, matig lichte zavel

* Bij monsters met een LOI > 15% is het niet mogelijk om een textuurklassemeting te doen. Voor de monsters in Mill zijn de benamingen daarom gebaseerd op veldschattingen. Deze zijn tussen haakjes weergegeven. De andere benamingen en het M50-getal zijn gebaseerd op metingen.

Bijlage 4 Toegang tot de basiskaarten en hydrofysische gegevens

Advies voor gebruik van de kanalen op basis van de ervaring van de gebruiker met GIS:

- Voor een 'snelle view' of voor gebruikers die weinig of geen GIS-kennis hebben volstaan de BRO/PDOK servers.
- Gebruikers met ervaring met GIS kunnen plug-in services gebruiken binnen het GIS-pakket (bijvoorbeeld ArcGIS of QGIS) voor PDOK. Deze maken het mogelijk om kaarten in te laden die via PDOK worden aangeboden.
- Voor de complexere ruimtelijke analyses die reproduceerbaar moeten zijn kan men gebruik maken van scripting (Python, R, Julia, ...) en via web services communiceren met PDOK/BRO. Dit kan ook binnen sommige GIS-systemen.

Kanaal Beheerder	BROloket Ministerie van BZK	PDOK-Viewer Publieke Dienstverlening Op de Kaart (PDOK)	Bodemdata.nl Wageningen Environmental Research
Type gegevens (afkorting in BRO)			
Bodemkundige boormonsterbeschrijvingen (BHR-P) en bodemkundige profielbeschrijvingen/wandonderzoek (SFR) ⁵	https://www.broloket.nl/ondergrondgegevens <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen voor regionale en lokale toepassingen • Opvragen basisgegevens booronderzoek en visuele weergave boormonsterprofiel op locaties • Downloaden basisgegevens en visuele weergave boormonsterprofielen voor selecties van boorlocaties 	https://app.pdok.nl/viewer <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen en downloaden 	https://bodemdata.nl/bodemprofielen <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen voor regionale en lokale toepassingen in combinatie met thematische kaarten • Opvragen algemene boorpuntinformatie en algemene profielopbouw in tabelvorm in profielbeschrijvingen • Opvragen van analysegegevens bodemmonsters bij profielbeschrijvingen • Selecties van boorpunten op de kaart • Documentatie in de vorm van actualisatierapporten en toelichtingsboekjes bij kaartbladen 1960-1990 • Video's en storymaps met informatie over totstandkoming en gebruik
Geomorfologische Kaart 1:50.000 (GMM)	https://www.broloket.nl/ondergrondmodellen/kaart <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen voor regionale toepassingen • Individuele landvormen selecteren en weergeven • Informatie kaarteenheden opvragen • Downloaden (gehele kaartbestand) voor gebruik in GIS-applicatie 	https://app.pdok.nl/viewer <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen voor regionale toepassingen in combinatie met andere geodatasets van Nederlandse overheden • Informatie kaarteenheden opvragen • Downloaden (gehele kaartbestand) voor gebruik in GIS-applicatie • Gebruik maken van WMS 	https://bodemdata.nl/basiskaarten <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen voor regionale en lokale toepassingen in combinatie met thematische kaarten • Video's en storymaps met informatie over totstandkoming en gebruik

⁵ Hydrofysische gegevens zijn onderdeel van registratieobject BHR-P van de BRO.

Kanaal Beheerder	BROloket Ministerie van BZK	PDOK-Viewer Publieke Dienstverlening Op de Kaart (PDOK)	Bodemdata.nl Wageningen Environmental Research
Type gegevens (afkorting in BRO)			
Bodemkaart 1:50.000 (SGM)	https://www.broloket.nl/ondergrondmodellen/kaart <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen voor regionale toepassingen • Individuele bodemeenheden selecteren en weergeven • Informatie kaarteenheden opvragen • Downloaden (gehele kaartbestand) voor gebruik in GIS-applicatie 	https://app.pdok.nl/viewer <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen voor regionale en landelijke toepassingen in combinatie met andere geodatasets van Nederlandse overheden • Informatie kaarteenheden opvragen • Downloaden (gehele kaartbestand) voor gebruik in GIS-applicatie • Gebruik maken van WMS 	https://bodemdata.nl/basiskaarten <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen voor regionale en lokale toepassingen in combinatie met thematische kaarten • Video's en storymaps met informatie over totstandkoming en gebruik
Grondwaterspiegeldieptemodel (WDM)	https://www.broloket.nl/ondergrondmodellen/kaart <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen voor regionale toepassingen • Waarden van GHG, GLG, GVG en grondwatertrappen opvragen voor rastercellen (50 bij 50 m) • Downloaden (gehele kaartbestand) voor gebruik in GIS-applicatie 	https://app.pdok.nl/viewer <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen voor regionale en landelijke toepassingen in combinatie met andere geodatasets van Nederlandse overheden • Waarden van GHG, GLG, GVG en grondwatertrappen opvragen voor rastercellen (50 bij 50 m) • Downloaden (gehele kaartbestand) voor gebruik in GIS-applicatie • Gebruik maken van WMS 	https://bodemdata.nl/basiskaarten <ul style="list-style-type: none"> • Raadplegen voor regionale en lokale toepassingen in combinatie met thematische kaarten • Waarden van GHG, GLG, GVG en grondwatertrappen opvragen voor rastercellen (50 bij 50 m)

Bijlage 5 Communicatieproducten

Het project heeft de volgende communicatieproducten geleverd:

- Persbericht over het veldwerk in stroomgebied van de Raam in 2023: *WENR maakt in 2023 de bodemkaart in Land van Cuijk weer actueel*. Doel van het persbericht was om grondeigenaren en inwoners van het gebied te informeren over het veldwerk. Het persbericht is verspreid door ZLTO, de gemeente Land van Cuijk en lokale kranten.
- Artikel op de website van Wageningen University & Research: *Basiskaarten van het bodem-watersysteem actueel houden*;
- Interview en artikel in de regionale krant De Maasdriehoek, uitgave dinsdag 11 juli 2023: *Op basis van de kleur kun je al veel zeggen over de grond*;
- Interview voor artikel in de nieuwsbrief van de Basisregistratie Ondergrond, uitgave dinsdag 30 januari 2024: *Strijd tegen de droogte vraagt om veel data en samenwerking*;
- Artikel op de website van Wageningen University & Research: *Waardevol landschap: aardkundig waardevolle gebieden in Nederland op de kaart*.

Recent verschenen WOT-rapporten

150	Walther, C.M., D. Stomph en R.I. van Dam (2023). <i>Sociale impact van de landbouwtransitie.</i>
151	Brouwer, F., F.B.T. Assinck, T.T.L. Harkema, C. Teuling en D.J.J. Walvoort (2023). <i>Actualisatie van de bodemkaart in de gemeente Vijfheerenlanden; Herkartering van de verbreiding van veen.</i>
152	Kuindersma, W., J. van den Berg, F.G. Boonstra, D.A. Kamphorst (2023). <i>De weerbaarheid van beleidsintegratie in de veenweiden; Het gebied Aldeboarn-De Deelen.</i>
153	Walvoort D.J.J., P. Gerritsen, M. Knotters (2023). <i>Kartering grondwaterspiegeldiepte in Flevoland; Actualisatie van een deel van het grondwater-spiegeldieptemodel van de Basisregistratie Ondergrond (BRO).</i>
154	Aar, M.C.A. van, A. Jellema, F. Langers en D. van Doren (2023). <i>Provinciaal beleid voor het versterken van de relatie tussen natuur en economie; Een inventarisatie van provinciale invullingen van de ambitie 'natuur en economie' uit het Natuurpact.</i>
155	Sanders, M.E., F. Langers, R. ter Harmsel, L.A.G. van Duijvendijk, W. Kuindersma (2023). <i>Methodevernieuwing voor ex-postbeleidsevaluatie natuurherstel; Casus 'geelbuikvuurpad' en 'grijze duinen'.</i>
156	Kamphorst, D.A. en J.L.M. Donders (2023). <i>Groen voor gezondheidspreventie: ervaringen in twee gemeenten; Een verkenning van sturingsmogelijkheden om het benutten van groen voor gezondheidspreventie te bevorderen.</i>

157	Eldik, Z.C.S. van & R.I. van Dam (2024). <i>Maatschappelijke visies op de toekomst van landbouw en natuur; Achtergrondrapport Landbouw-Natuurverkenning.</i>
158	Bouwma, I.M., M.J. Josemans, R. Pouwels, L.B. Sparrius, P. van Els, H. Sierdsema, G. Bos, C.A.M. van Swaay, L.G.J. van Bussel, J. Schild, P. Giesen, R. Michels & P.C. Roebeling (2024). <i>Het effect van natuurherstelmaatregelen op vaatplanten, dagvlinders en broedvogels; Een systematische literatuuranalyse en beoordeling van vier gebieden op basis van SNL-monitoring.</i>
159	Walther, C.M., D. Kamphorst, W. Nieuwenhuizen (2024). <i>Financieringsregelingen voor omschakeling van agrarische bedrijven tegen het licht.</i>
160	Gerritsen, A.L., R.A.M. Schrijver, C.M. Walther, H.J. Agricola. (2024). <i>Natuur en landbouw versterken in gebiedsprocessen; Inzicht in relatiegerichte interventielogica's in gebiedsgerichte aanpakken.</i>
161	Kamphorst, D.A., W. Nieuwenhuizen, P.P. Kuiper & F. Harleman (2024). <i>Drie decennia natuurrealisatie in de Krimpenerwaard; Inzicht in de werking en doorlooptijd van grondinstrumenten.</i>
162	Mattijssen, T.J.M., T.A. de Boer, R. Michels, D. van Wonderen (2024). <i>De inzet van burgers voor natuur en groen in Nederland; Een representatieve enquête onder groene vrijwilligers.</i>
163	Teuling, C., D.J.J. Walvoort, T.T.L. Harkema, G. Bakker, P.A. Gerritsen, M. de Keizer, H.L.E. de Groot, T.P. van Tol-Leenders (2024). <i>Basiskaarten en hydrofysische gegevens van het natuurlijke systeem: actualisatie in het stroomgebied van de Raam (waterschap Aa en Maas).</i>



Thema Bodem en Landgebruik

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 54 71
E info.wnm@wur.nl
wur.nl/wotnatuurenmilieu

ISSN 1871-028X



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.
