

A network diagram consisting of various-sized light blue circles connected by thin white lines, set against a solid blue background. The circles are of different diameters and are scattered across the page, with some having multiple connections.

KWR 2025.082 | September 2025

Gebruikershandleiding Probe Duinen

Colofon

Gebruikershandleiding Probe Duinen

KWR 2025.082 | September 2025

Projectnummer

405354

Projectmanager

Edu Dorland

Opdrachtgevers

Dunea, PWN & Waternet

Auteurs

Sharon Clevers, Jelmer Nijp, Henk Krajenbrink, Mark Morley

Kwaliteitsborger

Edu Dorland i.o.m. Ruud Bartholomeus

Verzonden naar

Dunea, PWN, Waternet, Evides

Keywords

PROBE, DPWE, gebruikersschil, handleiding, klimaatverandering, ecologie, vegetatie, duinen

Jaar van publicatie
2025

Meer informatie

Sharon Clevers
T +31 30 606 9645
E Sharon.Clevers@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

September 2025 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Inhoud

Colofon	2
Inhoud	3
1 Inleiding	4
1.1 Achtergrond en doel	4
1.2 Leeswijzer	5
2 Handleiding interface	6
2.1 Installatie	6
2.2 Stap 1: Initialisatie-fase	7
2.3 Stap 2: Analyses uitvoeren	10
2.4 Uitvoer bekijken	12
3 De werking van Probe duinen	14
3.1 Algemeen	14
3.2 Stap 1: Initialisatie	15
3.3 Stap 2 en 3: Scenario berekeningen en bepalen kansrijkdom vegetatie	16
4 Beschrijving van invoerbestanden	17
4.1 Algemeen	17
4.2 Invoer voor initialisatie	18
4.3 Invoer voor scenario's	20
5 Nabewerking van Probe Duinen uitvoer	21
6 Literatuur	22
I Voorbeeld invoerkaarten	23
II Voorbeeld uitvoerkaarten	29
III Te voorspellen plantengemeenschappen	32

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doel

Dit document is een handleiding voor het gebruik van de gebruikersinterface van PROBE-1, verderop in deze handleiding 'Probe Duinen' genoemd. In dit document wordt stap voor stap uitgelegd hoe de gebruikersinterface werkt en hoe u hiermee scenario's kunt doorrekenen. Alvorens in te gaan op de werking volgt hieronder een korte historie van de totstandkoming van Probe Duinen.

In 2006 is het model PROBE-1 (PRObability-Based Ecological target assessment; Witte *e.a.* (2007)) ontwikkeld om te voorspellen hoe (combinaties van) veranderingen in waterhuishouding, depositie van stikstof en fosfor, maaien, plaggen en vegetatiestructuur doorwerken op duinvegetatie. Dit model kwam voort uit de behoefte van duinwaterbedrijven om een model te hebben waarmee relatief eenvoudig inzicht kan worden gekregen in hoe beheers- en inrichtingsmaatregelen de natuur in de duinen veranderen. PROBE-1 biedt zo ondersteuning in het selecteren van bijvoorbeeld de meest kostenefficiënte, ambitieuze of kansrijke inrichting en beheer. Gesimuleerde gevolgen van veelbelovende maatregelen kunnen worden gebruikt om een pakket maatregelen op te stellen waarmee gestelde doelen het best kunnen worden bereikt. In Witte *e.a.* (2006) wordt de totstandkoming en werking van PROBE-1 uitgebreid beschreven.

PROBE-1 is niet geschikt om te voorspellen hoe effecten van klimaatverandering en reliëf (via inkomende straling en neerslag) doorwerken op vegetatie. Daarom is PROBE-1 doorontwikkeld naar PROBE-1D, waarbij wel met deze factoren rekening gehouden wordt (Witte *e.a.*, 2015). Ook wordt in deze versie het effect van organisch materiaal op bodemfysische eigenschappen meegenomen. PROBE-1D is iets complexer in werking en vraagt om meer (ruimtelijke) invoergegevens. De ontwikkelde gebruikersschil die in deze gebruikshandleiding wordt beschreven betreft nog de eerste versie PROBE-1, dus zonder inachtneming van klimaatverandering. In de toekomst zou deze echter met relatief beperkte inspanning uitgebreid kunnen worden naar PROBE-1D zodat ook de effecten van klimaatverandering meegenomen kunnen worden. Hiertoe zijn vooraf vele berekeningen met het onverzadigde zone model SWAP (Kroes *e.a.*, 2017) uitgevoerd om het vochtgehalte in de wortelzone te simuleren onder verschillende combinaties van hellingshoek, hellingoriëntatie, organisch stofgehalte en geohydrologische eigenschappen. Uit de simulaties zijn twee klimaatrobuuste maten afgeleid die het vochtregime beschrijven: zuurstofstress en transpiratiestress. Deze worden op hun beurt gerelateerd aan indicatiewaarde voor vocht. Op deze manier kunnen via statistische relaties (zogenheten metarelaties) de bodemvochtcondities afgeleid worden op basis van kaarten van GLG, GVG, organisch stofgehalte en reliëf.

Dan is er nóg een PROBE-versie voor de duinen: PROBE-3. In deze modelversie wordt de factor tijd meegenomen, zodat terugkoppelingen tussen bodemontwikkeling, vegetatie, water, en klimaat kunnen worden gesimuleerd (Fujita *e.a.*, 2016). Juist in de successie van pioniersvegetaties via korte vegetaties naar struwelen en bossen zijn deze interacties van grote betekenis. Dit model vraagt echter meer rekenkracht, waardoor het niet mogelijk is het voor een groot gebied (met voldoende hoge resolutie) door te rekenen.

Behalve voor de duinen is er ook een versie van PROBE ingebouwd in de Waterwijzer Natuur ((Witte *e.a.*, 2018; Nijp *e.a.*, 2022). De Waterwijzer Natuur (WWN) wordt landelijk toegepast om vergelijkbare vragen als PROBE-1 te beantwoorden. De hoofdstructuur van WWN is vergelijkbaar, alleen wordt het toegepast op alle vegetaties van

Nederland en is niet specifiek voor de vegetaties van duinen ontwikkeld. In de WWN worden de voedselrijkdom en zuurgraad met de procesmodellen CENTURY (Fujita *e.a.*, 2013) en VSD+ (Bonten *e.a.*, 2016) berekend. De toepassing van de WWN is bovendien generieker: de voorspelde vegetatie-eenheden zijn ecotoopgroepen (Runhaar & Van't Zelfde, 2003), dus niet plantengemeenschappen van de duinen zoals dat bij PROBE-1 het geval is.

Uit bovenstaande is af te leiden dat Probe Duinen continu in ontwikkeling is. Nieuwe kennis wordt ingebouwd om zodoende de kwaliteit van de voorspellingen te verbeteren, zodat aangesloten kan worden bij vragen die leven in de maatschappij en drinkwaterbedrijven. Tot dusver ontbrak het aan een gebruiksvriendelijke interface, wat een brede toepassing van het model in de weg stond. Met deze handleiding hopen wij de het gebruiksgemak van Probe Duinen te bevorderen, zodat het model ondersteuning kan bieden in de besluitvorming rondom beheer- en inrichtingsmaatregelen in de duinen.

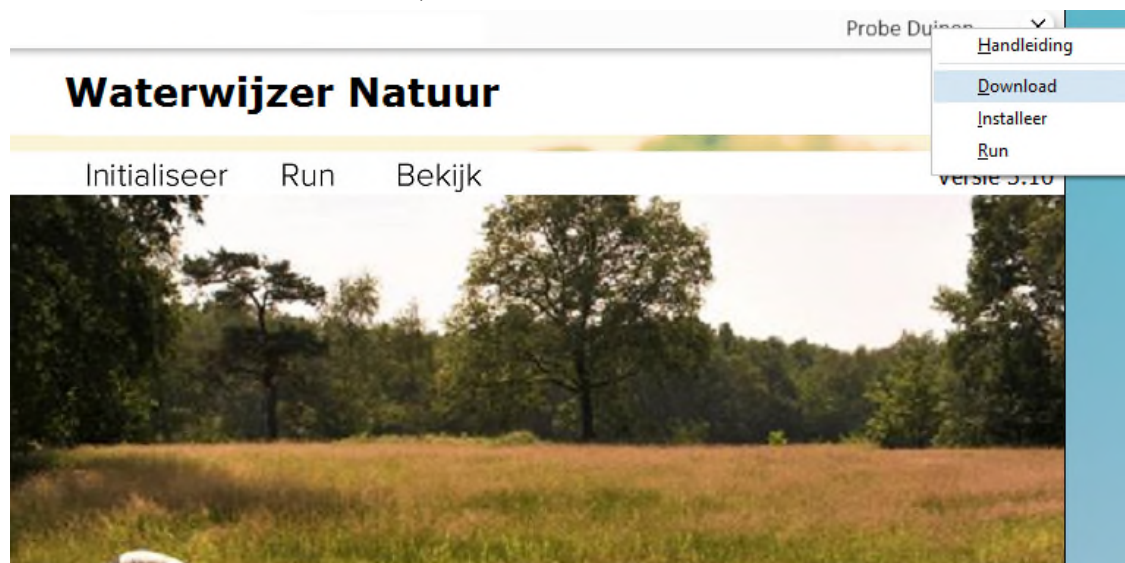
1.2 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt beschreven hoe Probe Duinen geïnstalleerd kan worden, gevolgd door een beschrijving van de werking van de gebruikersinterface. In Hoofdstuk 3 wordt de werking van Probe Duinen inhoudelijk beschreven. In Hoofdstuk 4 staan de eisen voor de invoerbestanden. Hoofdstuk 5 dient ter inspiratie, om te illustreren hoe de uitvoer nabewerkt kan worden om meer inzichten en enkele relevante samenvattende statistieken te verkrijgen met de uitvoer.

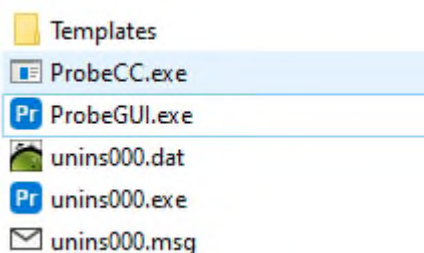
2 Handleiding interface

2.1 Installatie

Probe Duinen kan worden geïnstalleerd vanuit de gebruikersschil van Waterwijzer Natuur versie 3.10 (WWN). Klik hiervoor rechts boven in het scherm op 'Probe Duinen'.



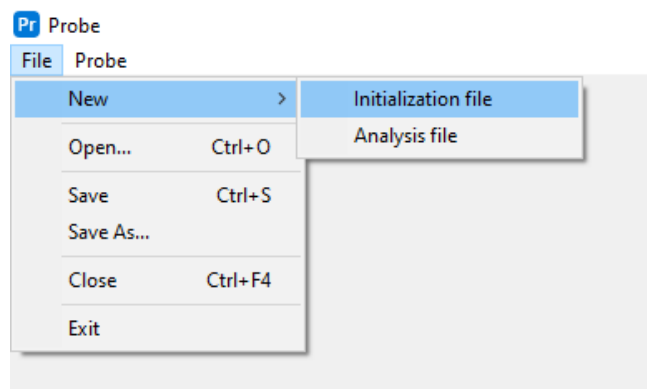
Door op 'Download' te klikken wordt het installatiebestand *ProbeDuinenSetup.exe* gedownload naar de map *Schil* binnen de map waarin WWN is geïnstalleerd. Kies vervolgens 'Installeer' om Probe Duinen te installeren. Het programma wordt automatisch geïnstalleerd in de map *Probe* binnen de map waarin WWN is geïnstalleerd. Als de installatie gereed is, vindt u hierin de volgende bestanden:



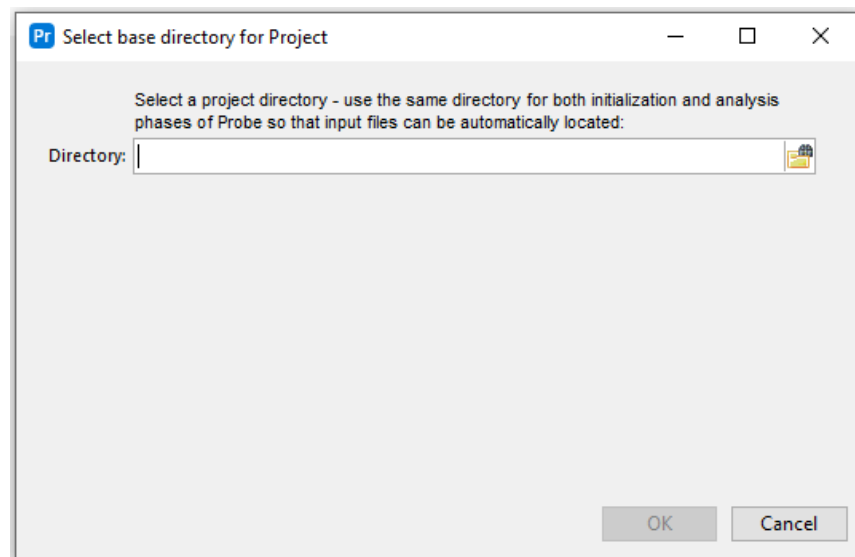
LET OP: in de meeste gevallen zal het niet mogelijk zijn om Probe Duinen te starten via 'Run' in het dropdown-menu. U moet Probe Duinen buiten WWN opstarten via het bestandje *ProbeGUI.exe*. Tip: maak een snelkoppeling naar dit bestandje en plaats die bijvoorbeeld op de plek waar u ook een snelkoppeling naar WWN hebt geplaatst. In de map *Templates* staan bestanden die zijn meegeleverd met PROBE, waarvan gebruik gemaakt wordt bij de berekeningen. Hier hoeft u als gebruiker verder niets aan te veranderen.

2.2 Stap 1: Initialisatie-fase

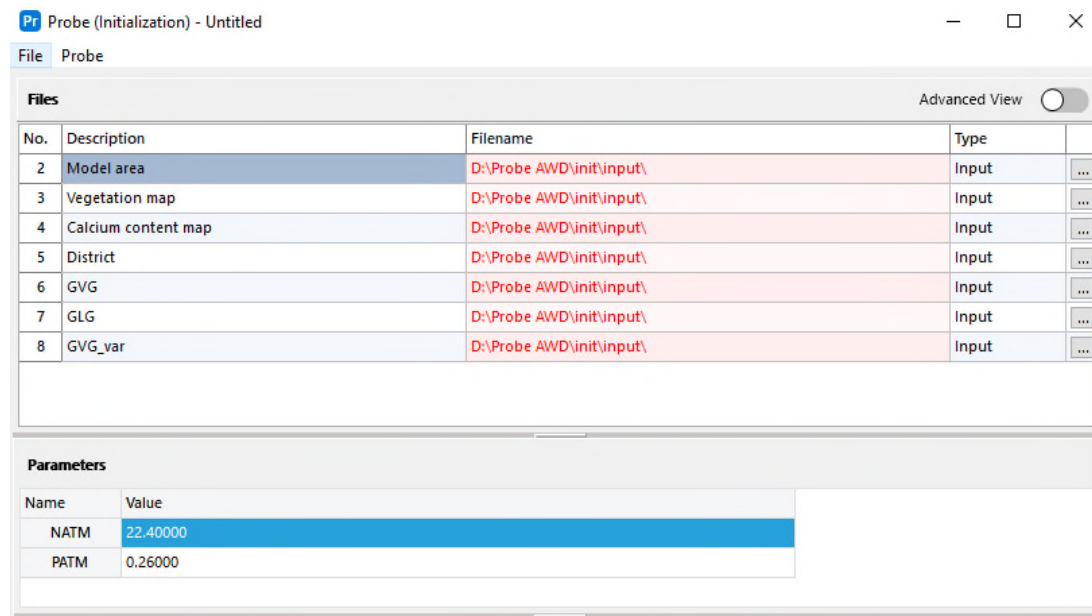
Om een nieuwe initialisatie te starten gaat u naar: 'File > New > Initialization file'



U krijgt vervolgens de vraag waar u uw project wilt opslaan. Dit kan op een locatie naar keuze zijn. Na het kiezen van deze map worden de meegeleverde omrekenstabellen naar deze map gekopieerd en worden uw uitvoerbestanden hier automatisch opgeslagen.

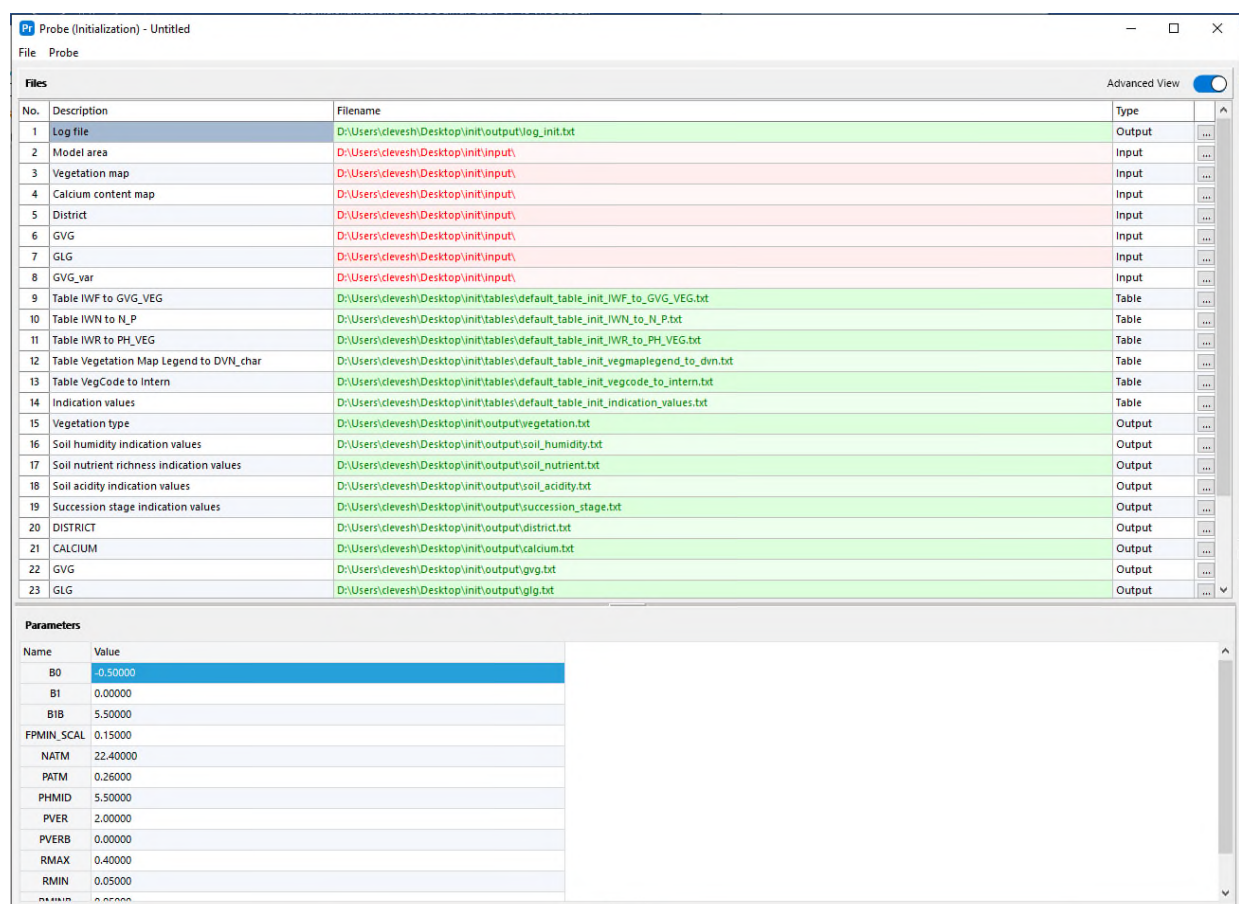


Klik op OK. Er wordt nu automatisch een map *init* met daarin een map *input*, *output* en *tables* (bevat de omrekenstabellen) aangemaakt binnen uw projectmap. U ziet nu in Probe Duinen een overzicht van de verwijzingen naar inputbestanden van de initialisatie. Standaard verwijzen de paden naar de map *init\input*. U kunt ervoor kiezen om in deze map uw inputbestanden te zetten, maar dat is niet noodzakelijk. Het voordeel van het plaatsen van inputbestanden in de map *init\input* is dat de interface al standaard naar deze locatie verwijst, waardoor de bestanden met een paar klikken te selecteren zijn. Klik op de '...' aan het eind van iedere regel en selecteer het juiste input bestand. Indien een bestand is geselecteerd wordt de regel groen. Onderaan de pagina is de stikstofdepositiewaarde (standaard 22,4 kg N/ha/jaar) en fosfordepositiewaarde (standaard 0,26 kg P/ha/jaar) te vinden. Deze kunnen gewijzigd worden.



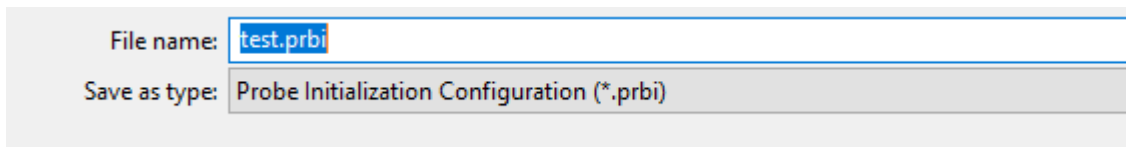
Via het schuifje naast 'Advanced View' rechtsboven zijn de paden te zien naar de standaard omrekenstabellen en de plek waar de uitvoer van de initialisatie wordt gezet. Deze paden kunnen indien gewenst nog gewijzigd worden. Wilt u dat niet, dan is het niet nodig om naar 'Advanced view' te gaan.

Daarnaast zijn via 'Advanced view' nog meer parameters te zien waarmee Probe Duinen rekt. Wij adviseren dringend om deze parameters op de standaardwaarden te houden.

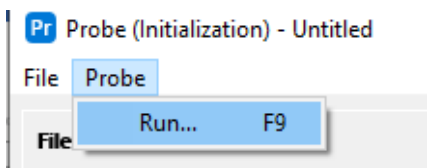


Voer de berekeningen voor de initialisatie fase als volgt uit:

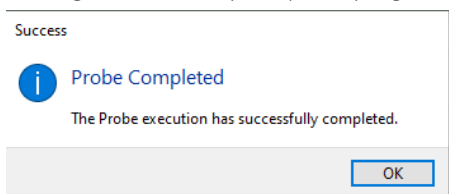
1. Ga naar 'File > Save' en sla uw werk op. Let op: sla uw werk op als *[naam].prbi*, verwijder het * dat hier standaard staat.



2. Klik vervolgens op 'Probe > Run'



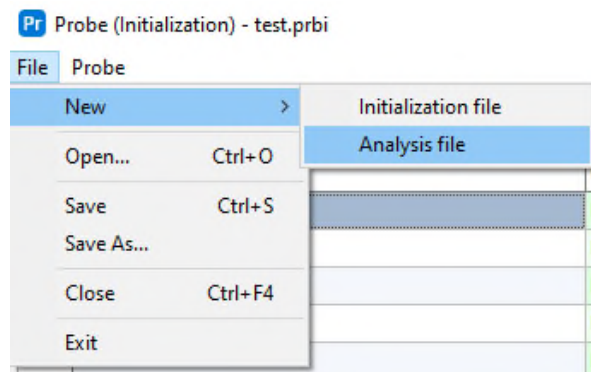
3. Wacht terwijl het programma rekent, dit duurt circa 10 seconden (afhankelijk van de grootte van uw studiegebied en computer). Het programma geeft een bericht als de initialisatie succesvol is afgerond:



De uitvoer van de modelinitialisatie dient als invoer voor de daadwerkelijke analyse en scenarioberekeningen (stap 2). U kunt meerdere analyses doen om meerdere scenario's door te rekenen. De initialisatie hoeft hiervoor maar één keer uitgevoerd te worden.

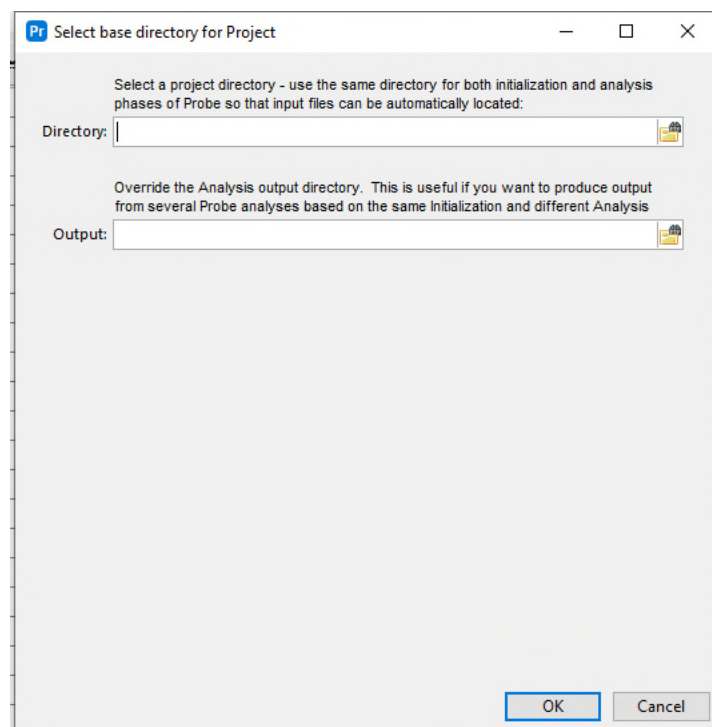
2.3 Stap 2: Analyses uitvoeren

Om een nieuwe scenario-analyse te starten gaat u naar: 'File > New > Analysis file'



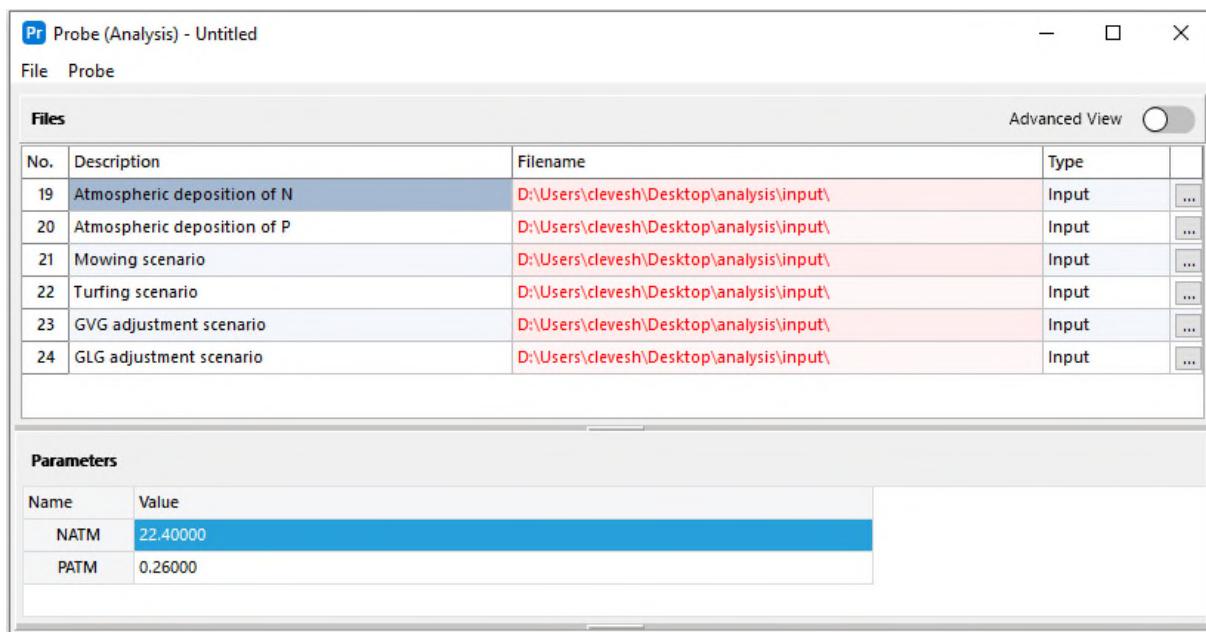
U krijgt vervolgens de vraag waar u uw analyseproject wilt opslaan. Dit kan op een locatie naar keuze zijn. Na het kiezen van deze map worden de omrekenstabellen naar deze map gekopieerd. Automatisch wordt als map van uw uitvoerbestanden dezelfde locatie gekozen. Wilt u dat de uitvoerbestanden naar een andere map worden weggeschreven, dan kunt u achter 'Output:' een andere map selecteren.

Zorg dat u voor iedere scenarioberekening (dus iedere analyse) een andere map bij 'Output' selecteert. Selecteert u een map die u al eerder hebt gekozen, dan zal Probe Duinen de uitvoerbestanden van de vorige analyse automatisch overschrijven.



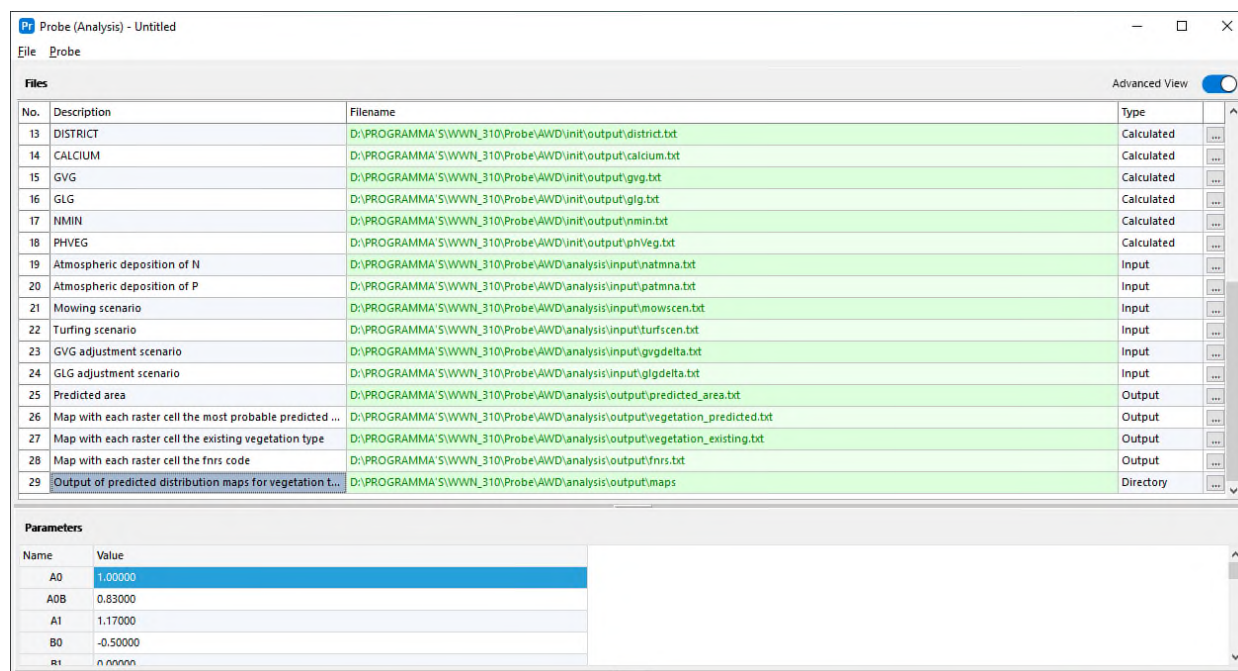
Klik op 'OK'. Er wordt nu automatisch een map *analysis* met daarin de mappen *input*, *output* en *tables* (bevat de standaard meegeleverde tabellen) aangemaakt binnen uw projectmap. U ziet nu in Probe Duinen een overzicht van de verwijzingen naar inputbestanden van uw analyse. Dit zijn de bestanden die uw scenario karakteriseren. Standaard verwijzen de paden naar de map *analysis\input*. U kunt ervoor kiezen om in deze map uw inputbestanden te zetten, maar dat is niet noodzakelijk. Het voordeel van het plaatsen van de inputbestanden in de map *analysis\input* is dat

de interface al standaard naar deze locatie verwijst, waardoor de bestanden met een paar klikken te selecteren zijn. Klik op de ‘...’ aan het eind van iedere regel en selecteer het juiste input bestand. Indien het juiste bestand is geselecteerd wordt de regel groen. Onderaan de pagina is de stikstofdepositiewaarde (standaard 22,4 kg N/ha/jaar) en fosfordepositiewaarde (standaard 0,26 kg P/ha/jaar) te vinden. Deze kunnen indien gewenst gewijzigd worden.



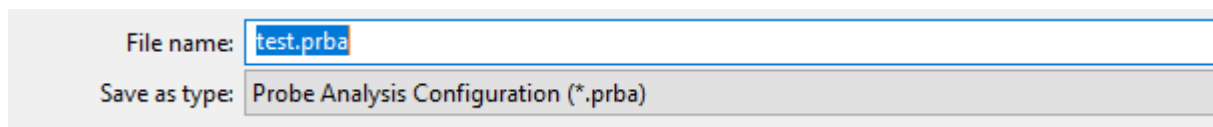
Via het schuifje naast ‘Advanced View’ rechtsboven zijn de locaties en namen te zien van de standaard omrekenstabellen en van de uitvoer van de initialisatie-fase (die als input dient voor uw analyses). Deze paden kunnen indien gewenst nog gewijzigd worden. Daarnaast zijn via ‘Advanced view’ nog meer parameters te zien waarmee Probe Duinen rekent. Wij adviseren dringend om deze parameters op de standaard waarden te houden. Tot slot vindt u hier de locaties en kaarten van de resultaten van de analyse.

LET OP: zorg ervoor dat de bestandsmap voor de verspreidingskaarten voor vegetatietypen (regel 29, ‘Output of predicted distribution maps for vegetation types’) ook daadwerkelijk bestaat! Standaard stelt het programma dit in *output\maps*, maar dit mapje *maps* wordt niet vanzelf aangemaakt. Als de map niet bestaat, worden de verspreidingskaarten niet opgeslagen na de analyse, maar Probe Duinen geeft hiervan geen foutmelding.

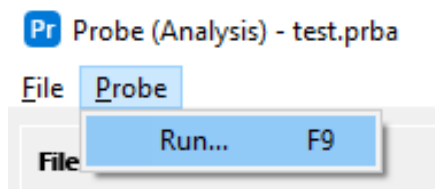


Draai de scenario-analyse als volgt:

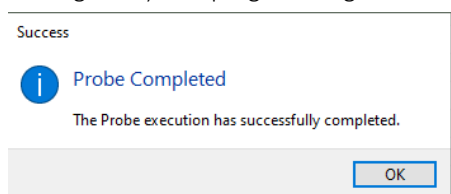
1. Ga naar File > Save en sla uw werk op als *[naam].prba*, verwijder het * dat hier standaard staat.



2. Klik vervolgens op Probe > Run



3. Wacht terwijl het programma rekent, dit duurt circa 10 seconden (afhankelijk van de grootte van uw studiegebied). Het programma geeft een bericht als de analyse succesvol is afgerond:



2.4 Uitvoer bekijken

De uitvoerbestanden van de Probe analyse worden geplaatst in de map die u tijdens de analyse in stap 2 hebt geselecteerd. Deze bestanden zijn in ArcGIS (ArcMap of ArcGISPro) in te lezen door middel van de tool "ASCII to Raster". Daarna zijn de resultaten visueel te bekijken en vervolganalyses mee uit te voeren. De uitvoerbestanden zijn in Tabel 2-1 gepresenteerd. Voor meer toelichting over de uitvoer en de nabewerking hiervan, zie Hoofdstuk 5. In Bijlage 2 zijn voorbeeld uitvoerkaarten van een scenario berekening weergegeven (casus Amsterdamse Waterleiding duinen).

Tabel 2-1 uitvoerbestanden van de analyse van Probe Duinen

Bestandsnaam	Beschrijving	Eenheid
<i>vegetation_existing.txt</i>	Kaart met voor elke rastercel de huidige vegetatietypes	Getallen gekoppeld aan de huidige plantengemeenschappen (zie bijlage 3).
<i>vegetation_predicted.txt</i>	Kaart met voor elke raster cel in het modelgebied het voorspelde vegetatietype met de hoogste kansrijkdom onder de condities van het doorgerekende scenario.	Getallen gekoppeld aan de te voorspellen plantengemeenschappen (zie bijlage 3).
<i>fhrs.txt</i>	Deze kaart combineert de indicatiewaarden opeenvolgend voor vocht (F), voedselrijkdom (N), en zuurgraad (R), en het successiestadium (S).	Codering voor de indicatiewaarden (zie hoofdstuk 5).
<i>predicted_area.txt</i>	Deze tabel geeft voor alle vegetatietypen het voorspelde areaal in het modelgebied	hectare
<i>[Naam plantgemeenschap].txt</i>	Kansrijkdomkaarten voor alle voorspelde vegetatietypen	% kans van voorkomen

3 De werking van Probe duinen

3.1 Algemeen

Probe Duinen (PROBE-1) is ontwikkeld om ruimtelijk te voorspellen hoe (combinaties van) veranderingen in grondwaterstand, atmosferische depositie van stikstof en fosfor, en/of maai- en plagbeheer doorwerken op duinvegetatie. Bij de ontwikkeling van Probe Duinen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd (Witte *e.a.*, 2006):

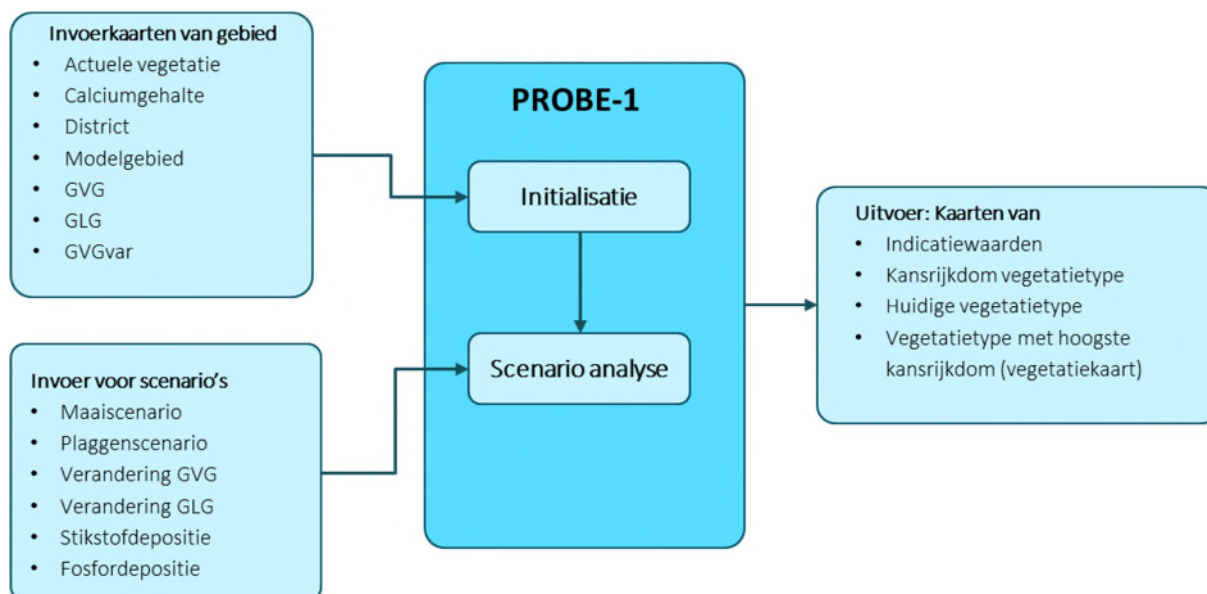
- Gebaseerd op bestaande gegevens en kennis, zonder extra veldwerk of experimenten.
- In staat te voorspellen hoe verandering van onderstaande omgevingsfactoren doorwerken op duinvegetatie:
 - Waterhuishouding, grondwaterstand
 - Atmosferische depositie van stikstof en fosfor
 - Vegetatiestructuur
 - Maai-beheer
 - Plagbeheer
- Snel in gebruik (binnen een half uur op standaard PC door te rekenen).
- Door snelheid interactief: in korte tijd een maatregel doorrekenen en op basis daarvan een nieuwe berekening starten totdat een gewenst pakket aan maatregelen is getroffen.
- Uitvoer vlakdekkend en op associatieniveau volgens De Vegetatie van Nederland (DVN) (Schaminée *e.a.*, 1998; Stortelder *e.a.*, 1999a).
- De ruimtelijke schaal is betekenisvol voor de terreinbeheerder. In praktijk komt dit neer op een ruimtelijke resolutie van 5×5 of 10×10 meter.
- Gebruik maken van simpele rekenregels, zonder dat de betrouwbaarheid in het geding komt. Deze eis vloeit voort uit het nastreven van een snel model, maar ook dwingt het de modelbouwers tot het boven water krijgen van de meest relevante ecologische processen.
- Generieke en flexibele modelopzet.

De relatie tussen standplaatsfactoren (zoals de grondwaterstand en de bodem-pH) en plantengemeenschappen wordt in Probe Duinen gelegd via indicatiewaarden van plantengemeenschappen. Hierbij is gebruik gemaakt van de indicatiewaarden vocht (IF), voedselrijkdom (IN), en zuurgraad (IR) volgens het ecotopensysteem (Runhaar *e.a.*, 2004). De reden hiervoor is dat er onvoldoende betrouwbare meetgegevens (zoals van de bodem-pH) bestaan voor alle vegetatietypen om te kunnen voorspellen hoe veranderingen in deze standplaatscondities doorwerken op de kansrijkdom van de betreffende vegetatietypen.

Bij de berekening van effecten met Probe Duinen kunnen drie hoofdstappen worden onderscheiden, die schematisch zijn weergegeven in Figuur 3-1:

1. Initialisatie van het model
2. Bepaling van hoe veranderingen (waterhuishouding, depositie, beheer) de indicatiewaarden beïnvloeden
3. Doorvertaling verandering indicatiewaarden naar verandering kansrijkdom vegetatie.

Bij de initialisatie worden de indicatiewaarden in de referentiesituatie voor het modelgebied bepaald. Vervolgens kunnen scenario's worden doorgerekend in de analyse. In de volgende tekst gaan we hier wat dieper op in, maar zie Witte *e.a.* (2006) voor de volledige inhoudelijke achtergrond van Probe Duinen.



Figuur 3-1 Schematische weergave van invoer en uitvoer van PROBE-1 (Probe Duinen).

3.2 Stap 1: Initialisatie

Bij de initialisatie van Probe Duinen worden standplaatscondities voor de uitgangssituatie afgeleid (Figuur 3-2). Dit gebeurt aan de hand van een actuele vegetatiekaart (rasterbestand, zie Hoofdstuk 4). Hieruit leidt Probe Duinen per plantengemeenschap eerst indicatiewaarden af met een opzoektabel, gebaseerd op plotgemiddelde indicatiewaarden die zijn afgeleid uit de vegetatiesamenstelling van meer dan 35.000 vegetatieopnamen (Witte *e.a.*, 2018). Deze indicatiewaarden worden omgezet naar abiotische standplaatscondities. Voor de vaststelling van de uitgangssituatie van vocht kan Probe Duinen gebruik maken van zowel de uitvoer van een grondwatermodel (GLG), als van de indicatieve informatie die de vegetatiekaart verschaft. Beide bronnen kunnen zowel apart als door elkaar worden gebruikt, naar gelang de aanwezigheid en betrouwbaarheid van de gegevens. Met een grondwatermodel wordt bijvoorbeeld de grondwaterstand berekend, met een bepaalde onzekerheidsmarge. De grondwaterstand kan echter ook, met een andere onzekerheid, worden bepaald aan de hand van de vochtindicatie van de vegetatie. De grondwaterstand waar Probe Duinen mee rekent is het naar onzekerheid gewogen gemiddelde van beide schattingen. Ontbreekt de vegetatiekaart of indiceert de vegetatie zeer droge omstandigheden (onzekerheid over diepte grondwaterstand oneindig groot), dan wordt de grondwaterstand in de uitgangssituatie volledig gebaseerd op het grondwatermodel. Is, daarentegen, op een bepaalde locatie de grondwaterstand niet gemodelleerd, dan kan PROBE deze geheel baseren op de vegetatiekaart (Witte *e.a.*, 2006).

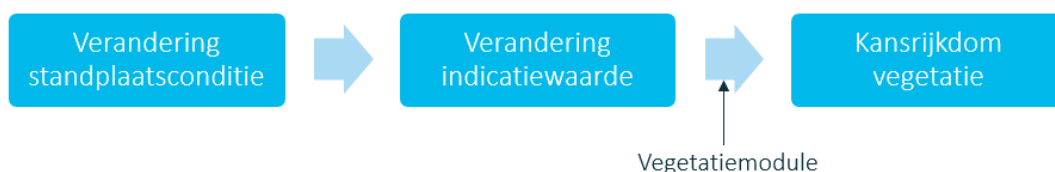


Figuur 3-2 Schematische weergave van de initialisatie van Probe Duinen.

3.3 Stap 2 en 3: Scenario berekeningen en bepalen kansrijkdom vegetatie

De PROBE-1 gebruiker kan scenario's aanleveren van veranderingen in waterhuishouding (grondwaterstand), beheer (maaien en plaggen) en depositie (stikstof en fosfor). Probe Duinen rekent vervolgens uit hoe deze veranderingen doorwerken op indicatiewaarden voor vocht, voedselrijkdom en zuurgraad (Figuur 3-3). Deze berekeningen zijn gebaseerd op proceskennis en onderzoek uit literatuur.

Op basis van de indicatiewaarden in de nieuwe situatie wordt, per structuurklasse, de kansrijkdom van vegetatietypen voorspeld. Zie Tabel 3-1 voor de voorspelde plantengemeenschappen. Deze vegetatiemodule is gebaseerd op Bayesiaanse classificatie met Gaussian Mixture Density fitting. Deze vegetatiemodule is gekoppeld aan een bestand met bijna veertigduizend tot associaties geassocieerde vegetatieopnamen (associaties volgens De Vegetatie van Nederland; Schaminée et al., 1995-1999). Probe Duinen is echter niet gebonden aan het associatieniveau: het is betrekkelijk eenvoudig om kansfuncties af te leiden voor verbonden, plantengemeenschappen volgens de typologie van Staatsbosbeheer, natuurdoeltypen, ecologische groepen, enzovoorts. Al deze vegetatie-indelingen kunnen worden gebruikt zonder dat de structuur van het model verandert. Met Probe Duinen kan dus flexibel worden ingespeeld op de behoefte van de gebruiker, en op nieuwe inzichten (bijvoorbeeld een gewijzigde indeling in natuurdoeltypen van de rijksoverheid of de provincie) (Witte *e.a.*, 2006). Momenteel is deze vegetatiemodule alleen gebaseerd op indicatiewaarde voor vocht, voedselrijkdom, en zuurgraad, maar hier zouden ook andere ruimtelijk beschikbare variabelen voor gebruikt kunnen worden die vegetatie beschrijven (planteneigenschappen als vegetatiehoogte, biomassa, of indicatiewaarde voor saliniteit).



Figuur 3-3 Schematische weergave van de scenario berekening in PROBE-1

Tabel 3-1. Overzicht van de voorspelde plantengemeenschappen per structuurklasse, volgens De Vegetatie van Nederland systematiek. Overgenomen uit Witte *e.a.* (2006).

Pionier	Kort			Struweel		Bos
14CA01	00R500	09BA03*	14DG01	17AA02	37RG03	33DG02*
14CA02	06AB01	09BA04	14RG03	31AB03	37RG04	40AA02
23AB01	06AC04	09RG01*	14RG09	33AA01		41DG03
23RG01	08BB04	09RG02	14RG10	36AA02		42AA02
27AA02	08RG03	14AA02	14RG11	37AC01		43AA01
	08RG07	14BB02	18RG01	37AC02		43AA02
	09AA01	14CB01	19AA03	37AC03		43AA03
	09AA02	14CB02	20AA01	37RG02		

4 Beschrijving van invoerbestanden

4.1 Algemeen

Alle invoerbestanden in Probe Duinen dienen als ascii-raster aangeleverd te worden (extensie *.asc of *.txt). Verder is het belangrijk dat ze exact hetzelfde modeldomein beschrijven en dezelfde resolutie en oorsprong hebben. Dit komt er op neer dat de 'header' van de ascii bestanden hetzelfde is. Dit is eenvoudig te controleren door te dubbelklikken op het rasterbestand (zie hieronder voor voorbeeld): alle getallen (behalve de NODATA_value) moeten voor alle bestanden hetzelfde zijn. Met GIS-bewerkingen zijn de invoerbestanden op hetzelfde domein uit te snijden ('clip to raster') en aan te passen zodat ze dezelfde oorsprong ('snap to raster') en resolutie ('resample') hebben.

De resolutie waarop uitvoer wordt geproduceerd hangt af van de resolutie van de modelinvoer. Doorgaans wordt gerekend met een resolutie van 5×5 of 10×10 meter. Met deze resolutie wordt recht gedaan aan de fijnschalige topografie en blijft tegelijkertijd het benodigde geheugen om de resultaten op te slaan behapbaar.

```
ncols          21
nrows         4050
xllcorner     268350
yllcorner     558100
cellsize       25
NODATA_value  -999
```

Wellicht vanzelfsprekend, maar ook dienen alle invoerbestanden dezelfde projectie te hebben (hetzelfde coördinatenstelsel). Voor Nederland wordt meestal het nieuwe Rijksdriehoekstelsel (Amersfoort RD New; EPSG:28992) gehanteerd.

Bij de interface zijn een aantal standaard omreken Tabellen meegeleverd. Deze tabellen roept PROBE automatisch aan tijdens de berekeningen.

4.2 Invoer voor initialisatie

In Tabel 4-1 is de benodigde modelinvoer gepresenteerd. Naast deze invoerkaarten kan de waarde van depositie van stikstof (kg N/ha/jaar) en fosfor (kg P/ha/jaar) ingesteld worden. In Bijlage 1 zijn voorbeeld invoerkaarten gepresenteerd (casus Amsterdamse Waterleiding duinen; Nijp, 2022).

Tabel 4-1. Overzicht van door de gebruiker aangeleverde ruimtelijke informatie.

Kaart	Beschrijving	Eenheid en/of acceptabele waarden
Vegetatiekaart	Actuele vegetatiekaart met bijbehorende legenda (zie volgende)	Gehele getallen, in de praktijk vaak 1 t/m het aantal vegetatie-eenheden op de vegetatiekaart
Legenda vegetatiekaart	Een koppeltabel voor de getallen op de vegetatiekaart naar de bijbehorende plantengemeenschap (klasse, verbond, orde, (sub)associatie).	Zie Figuur 4-1
Calcium	Kaart van calciumconcentratie in de wortelzone	% drooggewicht
District	Renodunaal versus Waddendistrict (ten noorden van Bergen): heeft effect op oplosbaarheid van fosfor	1 t/m 7
Modelgebied	Beschrijft voor welke rastercellen een modelberekening uitgevoerd dient te worden. Berekeningen worden gedaan voor alle rastercellen die een andere waarde dan de NA waarde hebben.	Alle gehele getallen of decimale getallen zijn acceptabel.
GVG*	Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand. Idealiter is deze berekend volgens traditioneel recept (Heesen van, 1971).	cm-mv, met positieve waarden beneden maaiveld
GLG*	Gemiddeld laagste grondwaterstand. Idealiter is deze berekend volgens traditioneel recept. (Heesen van, 1971).	cm-mv, met positieve waarden beneden maaiveld
GLGvar	Variantie van GLG. Hogere waarden geven hogere onnauwkeurigheid van GLG weer. Standaardwaarde is 150 cm. (Heesen van, 1971).	cm ²

* Positieve waarde = grondwaterstand onder maaiveld

Actuele vegetatiekaart en bijbehorende legenda

De actuele vegetatiekaart dient in de typologie van De Vegetatie van Nederland te worden aangeleverd (Schaminée *e.a.*, 1995; Stortelder *e.a.*, 1999b). Er is inmiddels ook een gereviseerde versie van deze typologie uitgevoerd, te herkennen aan het voorafgaan van de letter 'r', maar die is (nog) niet operationeel in Probe Duinen. De betreffende vegetatie-eenheden kunnen worden aangeleverd op verschillende hiërarchische niveaus: klasse, orde, verbond, associatie en subassociatie. Hoe verfijnder hiërarchische niveau, hoe nauwkeuriger de uitgangssituatie in beeld gebracht wordt. Alhoewel het mogelijk is de vegetatie te beschrijven op klasse- of orde-niveau, wordt dit afgeraden. De vegetatiekaart geeft getallen weer, waarbij elk getal een plantengemeenschap voorstelt. De vertaaltabel van getal naar plantengemeenschap heeft het format zoals weergegeven in Figuur 4-1, dat met een tekstverwerker als

Notepad of notepad++ te maken is. Met GIS-programma's kan de koppeling tussen getal en code van plantengemeenschap geëxporteerd worden. De bovenste twee regels kunnen gelijk gehouden worden. De waarde bij 'DATAROWS' (167) geeft het aantal plantengemeenschappen in de tabel weer en dient te worden aangepast. Denk bij de totstandkoming van dit bestand er aan dat hoofdletters en scheidingstekens (een tab) identiek zijn aan het voorbeeld.

```

1 COLS .....2
2 HEADERROWS .....1
3 DATAROWS .....167
4 VALUE → DVNCODE
5 1 → 37AC03
6 2 → 23AB01A
7 3 → 43RG03
8 4 → 43
9 5 → 14RG01
10 6 → 42AA01
11 7 → 05RG03
12 8 → 16RG01
13 9 → 14CB01
14 10 → 41DG03
15 11 → 14CB01A
16 12 → 14CA01C

```

Figuur 4-1. Voorbeeld van een deel van de legenda van de vegetatiekaart. In de linkerkolom het getal op de kaart en in de rechterkolom de bijbehorende code van de betreffende plantengemeenschap. Tabs zijn weergegeven met de oranje pijlen, spaties met oranje stippen. Merk op dat de getallen die de klasse en associatie weergeven altijd bestaan uit twee cijfers en anders aangevuld worden met een begeleidende nul. Zo is de Associatie van Wegedoorn en Eenstijlige meidoorn weergegeven met '03' en niet met '3'.

GVG en GLG

De invoerkaarten van GVG en GLG (centimeters, met positieve waarden onder maaiveld) worden idealiter berekend over een periode van 30 jaar. De reden hiervoor is dat de GVG en GLG zo de variatie in weersomstandigheden reflecteren en daarmee 'klimaatrepresentatief' zijn. De gekozen periode omvat daardoor niet toevallig een extreem droge of natte periode. De GVG en GLG zijn in de meeste toepassingen afkomstig van een grondwatermodel.

4.3 Invoer voor scenario's

De invoer die nodig is voor het doorrekenen van een scenario is in Tabel 4-2 weergegeven. In Bijlage 1 zijn voorbeeld invoerkaarten voor een scenario gepresenteerd (casus Amsterdamse Waterleiding duinen).

Tabel 4-2 Overzicht van door de gebruiker aangeleverde scenario invoer informatie

Kaart	Beschrijving	Eenheid en/of acceptabele waarden
Verandering van GVG *	Kaart van de verandering in de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand	cm-mv
Verandering van GLG *	Kaart van de verandering in de gemiddeld laagste grondwaterstand	cm-mv
Maaiscenario	Kaart met de locaties die wel (waarde 1) en niet (waarde 0) gemaaid worden.	Waarde 1 = maaien Waarde 0 = niet maaien Nodata waarde = niet maaien
Plaggen scenario	Kaart met de locaties die wel/niet geplagd zijn. Weergave in plagdikte (cm) en waarde 0 indien geen sprake is van plaggen.	cm
Stikstofdepositie	Kaart met de stikstofdepositie	kg N/ha/jaar
Fosfordepositie	Kaart met de fosfordepositie	kg P/ha/jaar

* Positieve waarde = scenario leidt tot diepere grondwaterstand onder maaiveld

5 Nabewerking van Probe Duinen uitvoer

De uitvoer van de Probe Duinen interface bestaat uit:

- Kaart met voor elke raster cel in het modelgebied het huidige vegetatietype
- Kaart met voor elke raster cel in het modelgebied het voorspelde vegetatietype met de hoogste kansrijkdom onder de condities van het doorgekende scenario. De getallen op de kaart zijn gekoppeld aan de te voorspellen plantengemeenschappen (zie Bijlage 3).
- Kansrijkdomkaarten voor alle voorspelde vegetatietypen
- Kaart met een codering voor de indicatiewaarden voor het gebied (standaard met bestandsnaam fnrs.txt):
Deze kaart combineert de indicatiewaarden opeenvolgend voor vocht (F), voedselrijkdom (N), en zuurgraad (R), en het successiestadium (S). De eerste twee getallen (positie 1,2) geven de indicatiewaarde voor vocht (bijvoorbeeld 32 = indicatiewaarde 3.2). Op vergelijkbare wijze geven de daarop volgende twee getallen (positie 3,4) de indicatiewaarde voor voedselrijkdom, en de daaropvolgende twee getallen (positie 5,6) de indicatiewaarde voor zuurgraad. Tenslotte geeft het laatste getal het successiestadium weer.

Positie	1	2	3	4	5	6	7
Betekenis	F	F	N	N	R	R	S

1. Indicatiewaarde vocht: waarde van 1 tot 4. Hogere waarden = lagere grondwaterstand
2. Indicatiewaarde zuurgraad: waarde van 1 tot 3. Hogere waarden = basischere standplaats
3. Indicatiewaarde voedselrijkdom: waarde van 1 tot 3. 1=voedselarm, 2=matig voedselrijk, 3=zeer voedselrijk.

De uitvoer wordt geleverd in ASCII tekst bestanden. Deze bestanden zijn in ArcGIS (ArcMap of ArcGISPro) in te lezen door middel van de tool "ASCII to Raster". Daarna zijn de resultaten visueel te bekijken en vervolganalyses mee uit te voeren. In Bijlage 2 zijn voorbeeldkaarten voor de Amsterdamse Waterleidingduinen weergegeven.

De uitvoer van PROBE-1 levert ruimtelijke inzichten op over effecten van scenario's op natuurpotenties, zowel op basis van voorspelde standplaatscondities (via indicatiewaarden) en kansrijkdom van plantengemeenschappen. Met deze kaarten wordt de basisinformatie geleverd van de ecohydrologische effectvoorspelling. Vaak is het echter wenselijk om de resultaten te aggregeren naar statistieken per (deel)gebied en verschilkaarten te construeren. Enerzijds zal de benodigde nabewerking afhangen van de precieze vraagstelling, anderzijds zijn er een aantal generieke nabewerkingen die in veel gevallen zinvolle samenvattende informatie geven.

Hierbij valt te denken aan het areaal van plantengemeenschappen voor de referentiesituatie en voor scenario's, een vertaling naar habitat/of beheertypen om beter aan te sluiten bij beleidsdoelstellingen, en een kruistabel waarin is af te lezen hoe in welke vegetatietypen de vegetatie als gevolg van maatregelen veranderen. Dergelijke nabewerkingsstappen kunnen in nieuwe versies van Probe Duinen verder worden doorontwikkeld en ingebouwd.

Zowel de actuele vegetatiekaart als de voorspelde vegetatie-eenheden in Probe Duinen volgen nu nog de oorspronkelijke systematiek van De Vegetatie van Nederland (Schaminée *e.a.*, 1998; Stortelder *e.a.*, 1999a). Inmiddels is deze systematiek gereviseerd en is ook een vertaling beschikbaar. Deze vertaling kan achteraf gemaakt worden, maar kan ook 'ingebakken' worden in Probe Duinen. Verder zijn er verschillende vegetatiemodules van Probe Duinen in omloop, waarbij het aantal en de te voorspellen vegetatie-eenheden verschilt. Het zou goed zijn als er afstemming plaatsvindt, zodat een goed beargumenteerde eenduidige vegetatiemodule uniform voor alle duinwaterbedrijven kan worden toegepast.

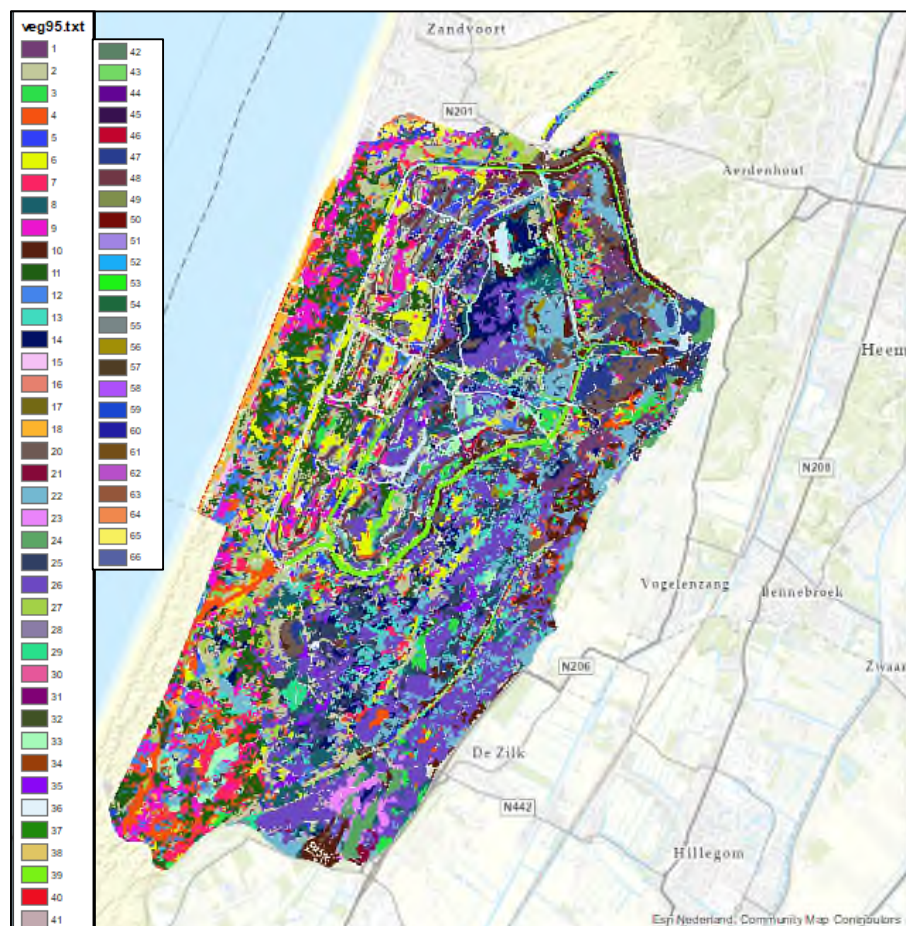
6 Literatuur

- Bonten, L.T., Reinds, G.J. & Posch, M. (2016) A model to calculate effects of atmospheric deposition on soil acidification, eutrophication and carbon sequestration. *Environmental modelling & software*, **79**, 75-84.
- Fujita, Y., Bartholomeus, R.P. & Witte, J.-P.M. (2016) *PROBE-3: A succession model for ecosystem services (BTO report)*, Nieuwegein. KWR.
- Fujita, Y., Van Bodegom, P.M., Olde Venterink, H., Runhaar, H. & Witte, J.-P.M. (2013) Towards a proper integration of hydrology in predicting soil nitrogen mineralization rates along natural moisture gradients. *Soil Biology and Biochemistry*, **58**, 302-312.
- Heesen van, H.C. (1971) De weergave van het grondwaterstandsverloop op bodemkaarten; in: Boor en Spade, vol 17, pag 127-149.
- Kroes, J., Van Dam, J., Bartholomeus, R., Groenendijk, P., Heinen, M., Hendriks, R., Mulder, H., Supit, I. & Van Walsum, P. (2017) *SWAP version 4* Wageningen Environmental Research.
- Nijp, J.J., de Wit, J., Clevers, S., Dorland, E., Reinds, G.-J., Kros, H., Fuijta, Y., Hoefsloot, P. & Witte, J.-P.M. (2022) *Waterwijzer Natuur Fase 3 - Klimaatrobuuste modellering van effecten van zuur- en stikstofdepositie op natuur*, Nieuwegein. KWR, WENR, NMI, FWE.
- Nijp, J.J. (2002). Effect capaciteitsuitbreiding waterwinning op natuur in de Amsterdamse Waterleidingduinen. Effectvoorspelling met model PROBE-duinen. KWR 2022.039. Nieuwegein. KWR.
- Runhaar, J. & Van't Zelfde, M. (2003) Bepaling ecotooptype en toetsing indeling in ecologische soortengroepen van vegetaties.
- Runhaar, J., van Landuyt, W., Groen, C.L.G., Weeda, E.J. & Verloove, F. (2004) Herziening van de indeling in ecologische soortengroepen voor Nederland en Vlaanderen. *Gorteria*, **30**, 12-26.
- Schaminée, J.H.J., Stortelder, A.H.F. & Westhoff, V. (1995) *De Vegetatie van Nederland. Inleiding tot de plantensociologie: grondslagen, methoden en toepassingen*. Opulus press, Uppsala/Leiden.
- Schaminée, J.H.J., Weeda, E.J. & Westhoff, V. (1998) *De vegetatie van Nederland*. Opulus Press, Uppsala, SE, Leiden, NL.
- Stortelder, A.H.F., Schaminée, J.H.J. & Hommel, P.W.F.M. (1999a) *De Vegetatie van Nederland. Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen*.
- Stortelder, A.H.F., Schaminée, J.H.J. & Hommel, P.W.F.M. (1999b) *De vegetatie van Nederland*. Opulus Press, Uppsala, SE, Leiden, NL.
- Witte, J., de Haan, M., Raterman, B. & Aggenbach, C. (2006) *PROBE: versie 1: effecten van grondwaterbeheer, atmosferische depositie, maaien en plaggen*. Kiwa.
- Witte, J., Runhaar, J., Bartholomeus, R., Fujita, Y., Hoefsloot, P., Kros, J., Mol, J. & de Vries, W. (2018) *De waterwijzer natuur: Instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op terrestrische natuur*. Stowa.
- Witte, J.P.M., de Haan, M.W.A. & Hootsmans, M.J.M. (2007) PROBE: een model voor vegetatiedoelen. *Landschap*, **24**, 77-88.

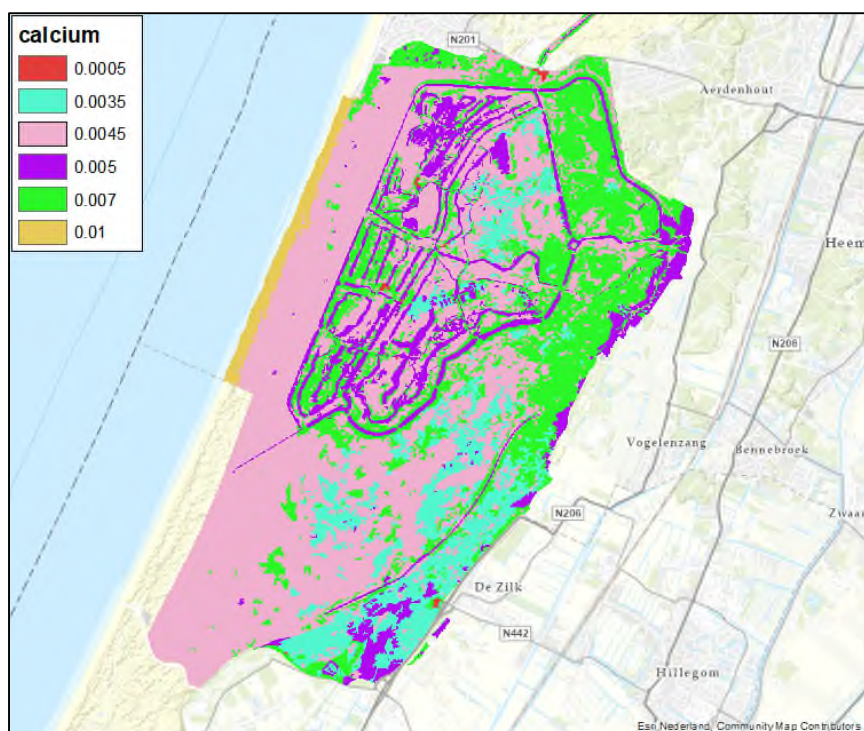
I Voorbeeld invoerkaarten

I.1 Invoer voor initialisatie: voorbeeldkaarten Amsterdamse Waterleidingduinen

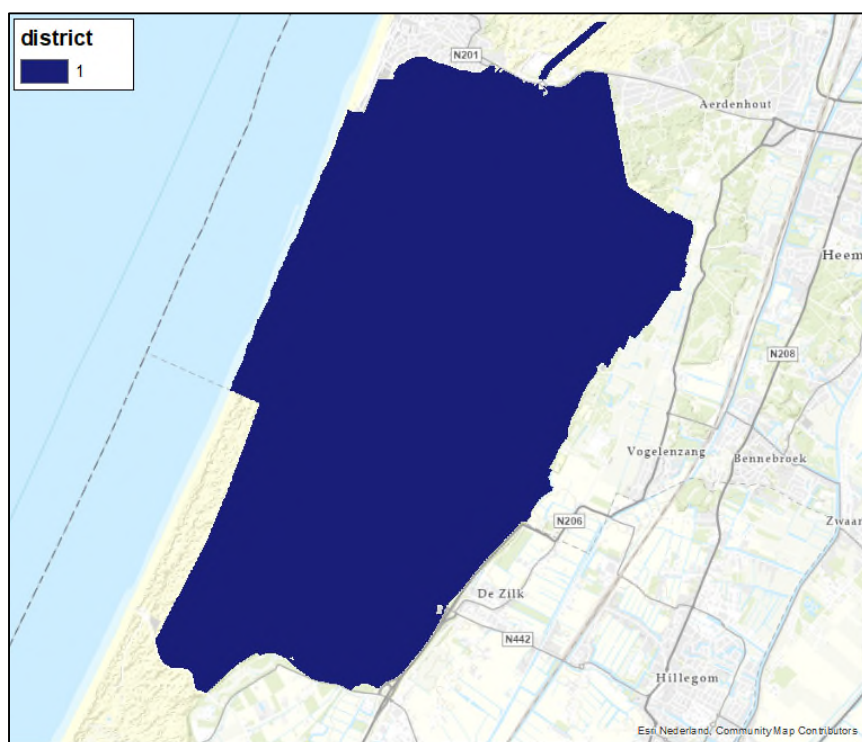
Onderstaande kaarten komen uit de rapportage van Nijp (2022), voor meer toelichting over de specifieke gegevens van dit gebied kunt u deze studie raadplegen.



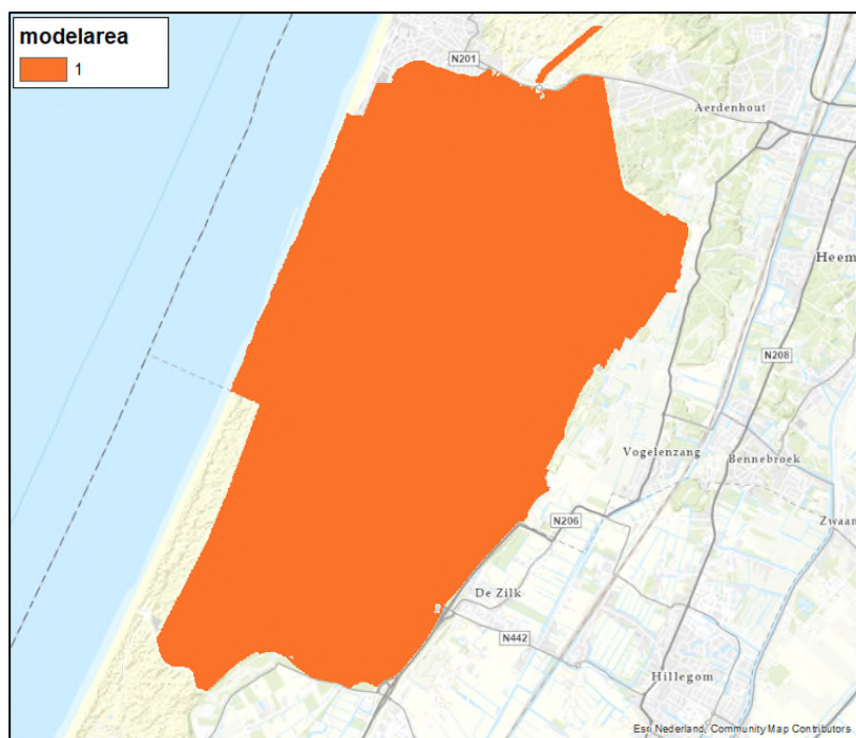
Figuur 6-1 Voorbeeld vegetatiekaart voor invoer PROBE-1. Elk getal is een plantengemeenschap.



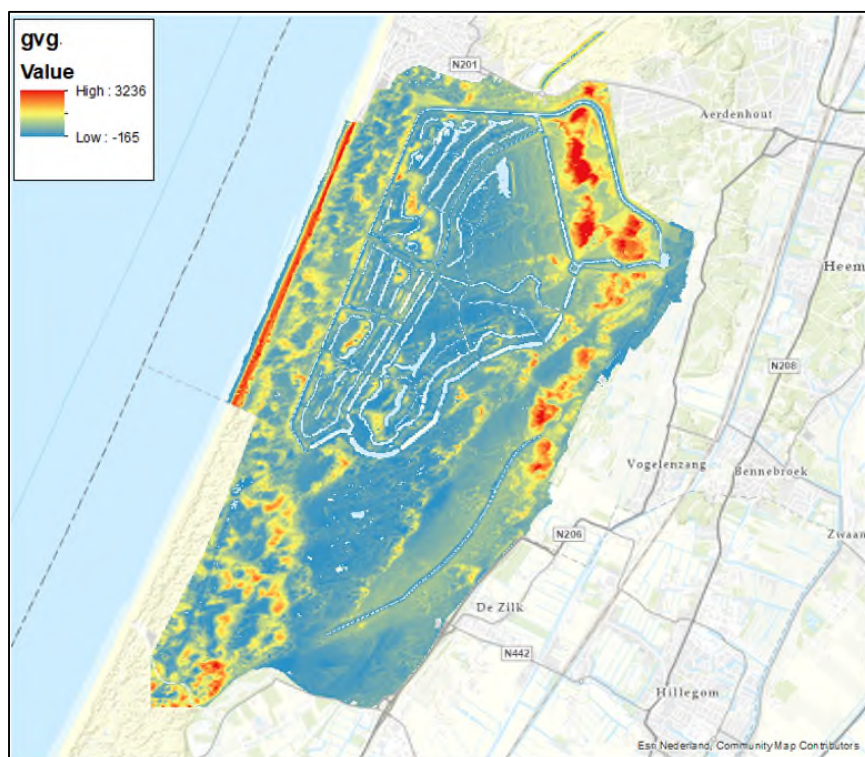
Figuur 6-2 Voorbeeld calciumkaart (% drooggewicht) voor invoer PROBE-1.



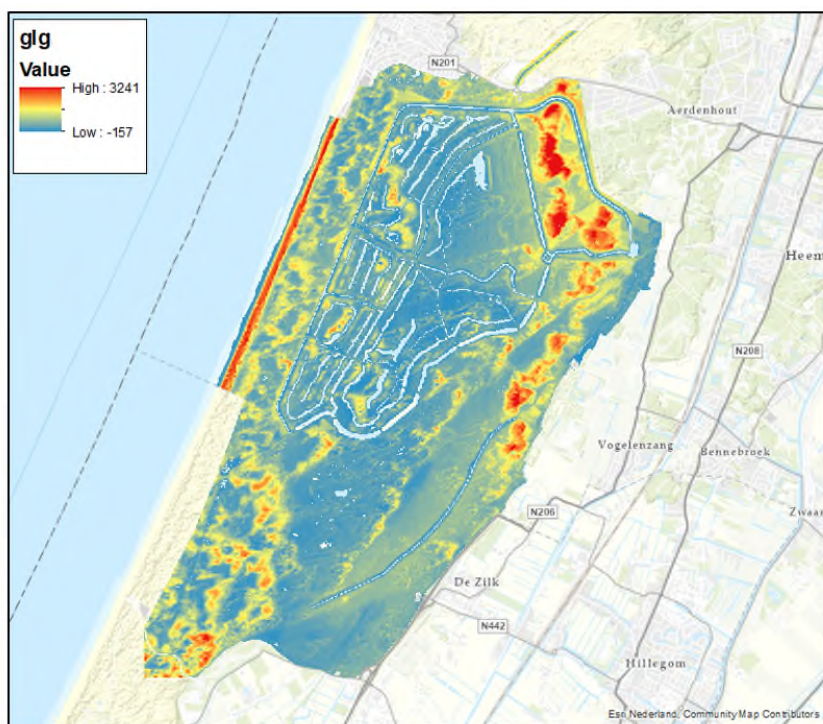
Figuur 6-3 Voorbeeld districtkaart voor invoer PROBE-1. Het gehele modeldomein valt onder het Renodunaal district.



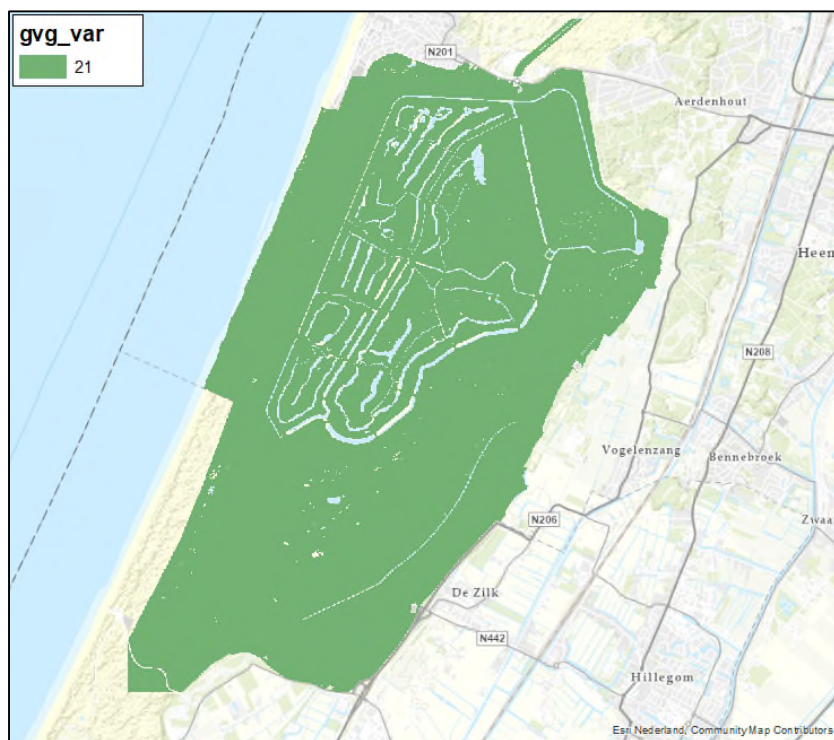
Figuur 6-4 Voorbeeld modelgebiedkaart voor invoer PROBE-1, wat aangeeft voor welke rastercellen berekeningen worden uitgevoerd.



Figuur 6-5 Voorbeeld GVG-kaart voor invoer PROBE-1 (cm beneden maaiveld).



Figuur 6-6 Voorbeeld GLG-kaart voor invoer PROBE-1 (cm beneden maaiveld).



Figuur 6-7 Voorbeeld GVG-variantiekaart voor invoer PROBE-1.

I.II Invoer voor scenario berekening: voorbeeldkaarten Amsterdamse Waterleidingduinen

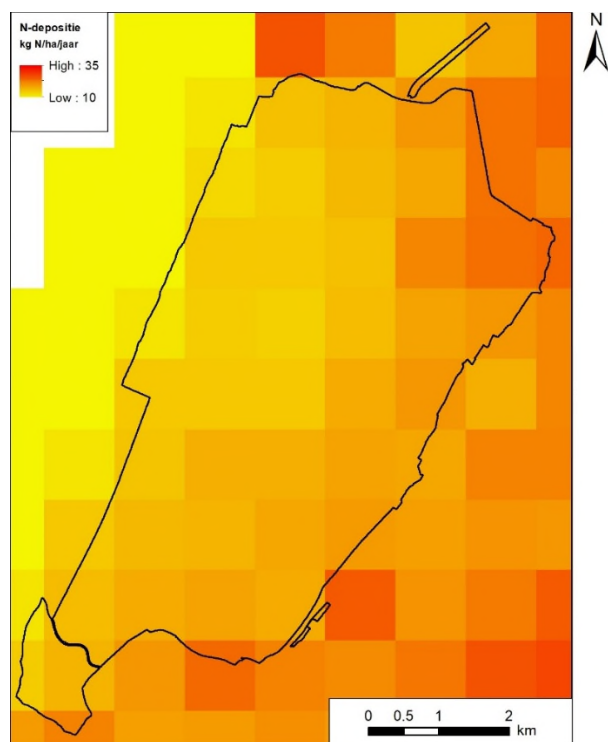
Onderstaande kaarten komen uit de rapportage van Nijp (2022), voor meer toelichting over de specifieke gegevens van dit gebied kunt u deze studie raadplegen.



Figuur 6-8 Voorbeeld GVG-veranderingskaart voor invoer PROBE-1



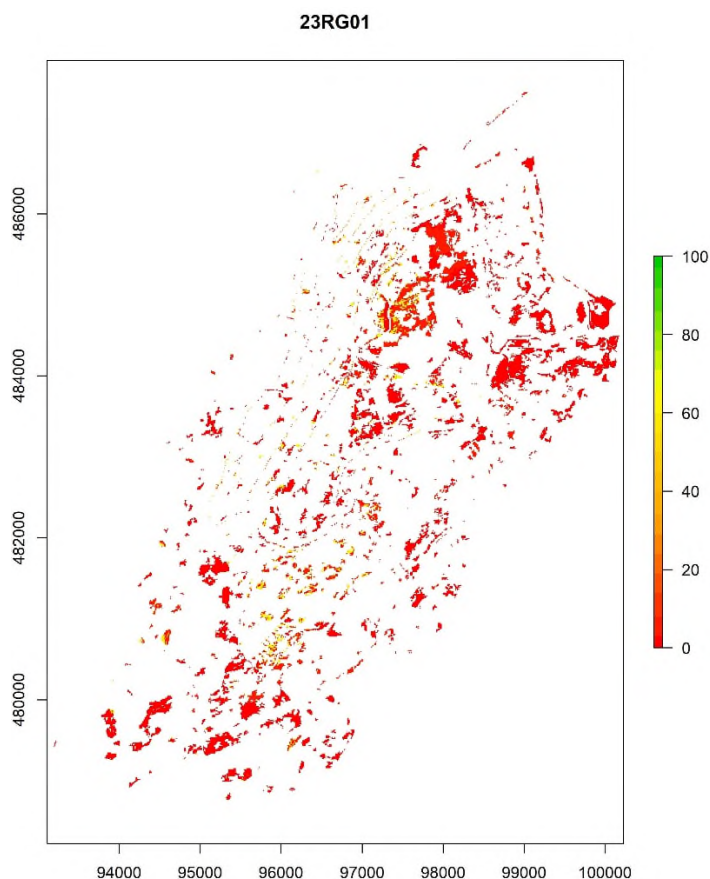
Figuur 6-9 Voorbeeld GLG-veranderingskaart voor invoer PROBE-1



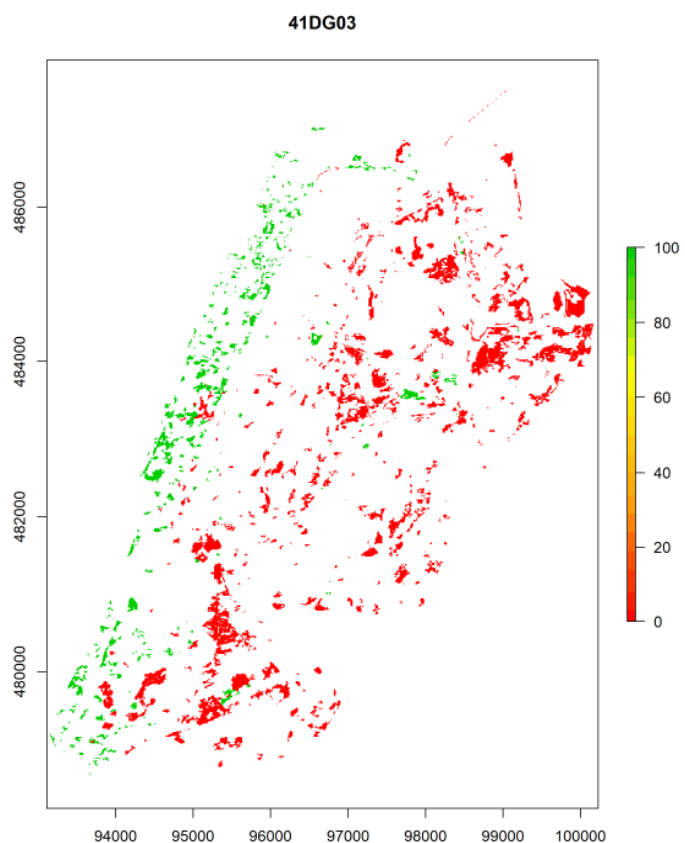
Figuur 6-10 Voorbeeld stikstofdepositiekaart voor invoer PROBE-1

II Voorbeeld uitvoerkaarten

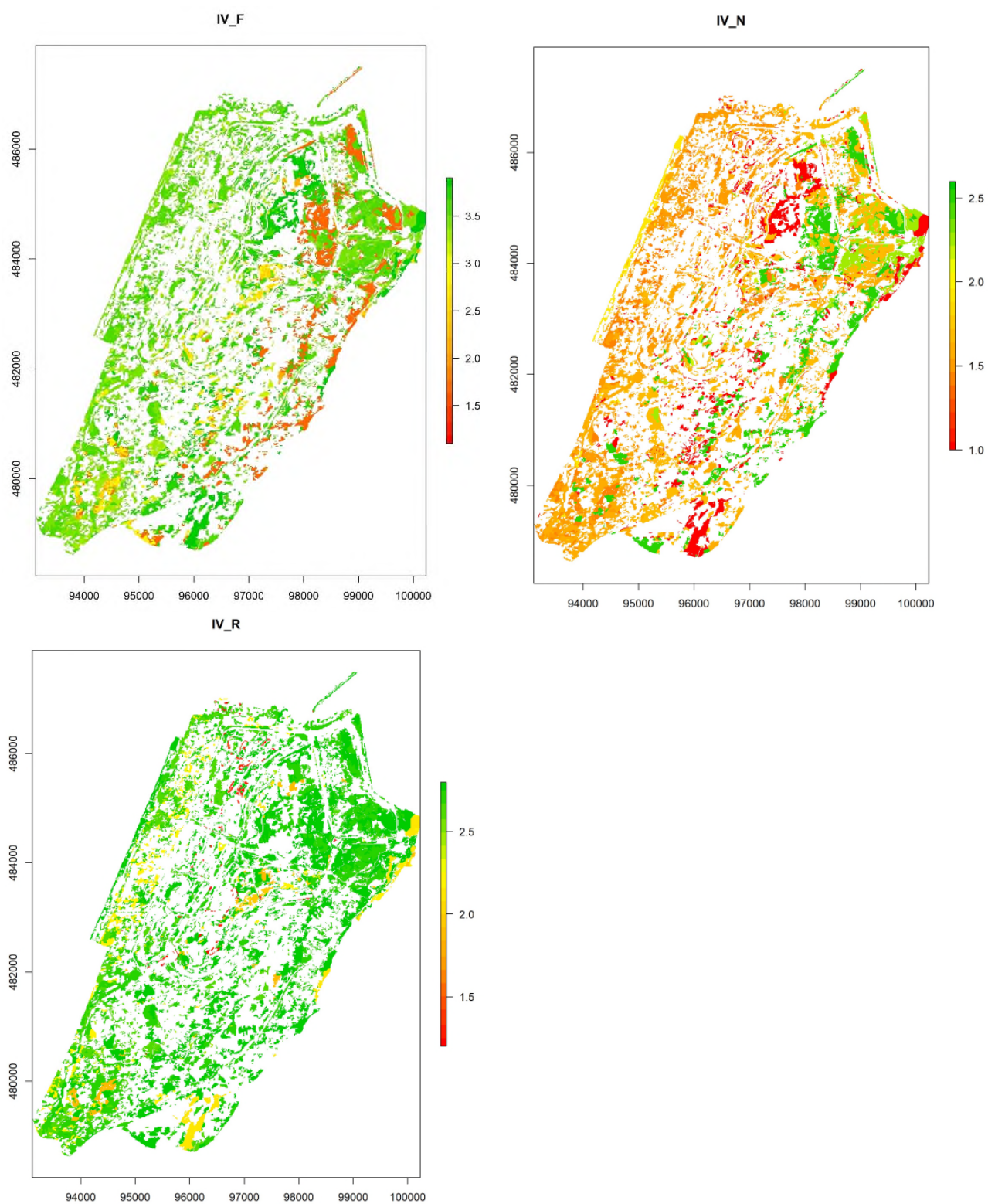
Onderstaande kaarten komen uit de rapportage van Nijp (2022), voor meer toelichting over de specifieke gegevens en resultaten van dit gebied kunt u deze studie raadplegen.



Figuur 6-11 Kansrijkdomkaart van plantengemeenschap Rompgemeenschap van Helm en Zandzegge (23RG01). Te zien is dat de kansrijkdom van deze plangemeenschap relatief laag is in het gebied.



Figuur 6-12 Kansrijkskaart van plantengemeenschap Zandzegge en Duinriet (41DG03). Te zien is dat de kansrijksdom van deze plantengemeenschap in het westelijk deel van het gebied hoog is en in de rest van het gebied relatief laag is.



Figuur 6-13 Kaarten met de indicatiewaarden voor vocht (F), voedselrijkdom (N), en zuurgraad (R), afgeleid uit de uitvoer van Probe.

III Te voorspellen plantengemeenschappen

Structuur	Getal op kaart	Plantengemeenschap
Pionier	1	23RG01
	2	14CA01
	3	14CA02
	4	23AB01
	5	27AA02
Kort	6	14RG09
	7	14RG03
	8	14DG01
	9	14AA02
	10	14RG11
	11	14CB01
	12	00R500
	13	14RG10
	14	08RG03
	15	14CB02
	16	08BB04
	17	08RG07
	18	18RG01
	19	09BA04
	20	14BB02
	21	20AA01
	22	06AC04
	23	09AA01
	24	09RG02
	25	09AA02
	26	19AA03
	27	06AB01
Struweel	28	37RG03
	29	37RG02
	30	37RG04
	31	37AC02
	32	36AA02
	33	31AB03
	34	33AA01
	35	37AC03
	36	37AC01
	37	17AA02
Bos	38	43AA03
	39	42AA02
	40	41DG03
	41	43AA01
	42	43AA02
	43	40AA02

