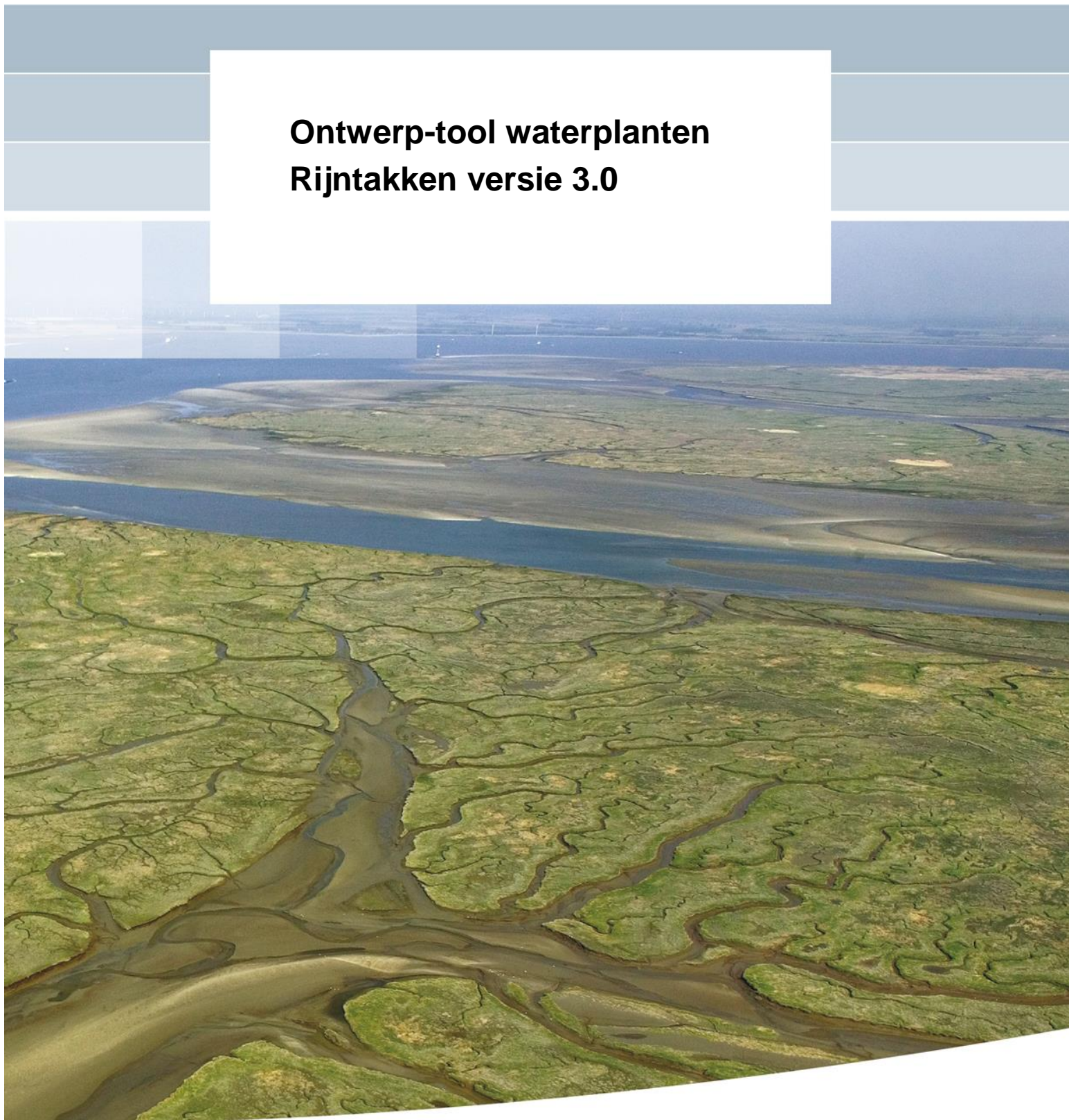


**Ontwerp-tool waterplanten
Rijntakken versie 3.0**



Ontwerp-tool waterplanten Rijntakken versie 3.0

Gerben van Geest
Wilfred Altena
Arie de Niet (Witteveen+Bos)

Trefwoorden




Waterplanten, Rijntakken, Ontwerp-tool, KRW, N2000, ecologische kennisregels

Samenvatting

De laatste decennia is er veel aandacht voor herstel en ontwikkeling van riviergebonden ecosystemen. Bij dit herstel is de terugkeer van waterplantenrijke systemen één van de doelstellingen. Bij waterbeheerders is er behoefte aan een model waarmee de effecten van maatregelen voor waterplantenontwikkeling op voorhand beoordeeld kunnen worden. Een eerste versie van dit model is in 2011 ter beschikking gesteld aan waterbeheerders. In deze opdracht is een update uitgevoerd van de kennisregels in dit model, op basis van aanvullende velddata uit de afgelopen jaren.

Voor de hoofdstroom (en de hiermee permanent verbonden wateren, zoals nevengeulen en eenzijdig aangetakte strangen) zijn nu kennisregels beschikbaar voor ondergedoken vegetatie, drijfbladplanten (nymphaeïden), helofyten, Schedefonteinkruid, Rivierfonteinkruid, Gele plomp en Riet. Voor uiterwaardplassen zijn rekenregels opgesteld voor vier kenmerkende waterplantsoorten: Gewoon kransblad (*Chara vulgaris*), Glanzig fonteinkruid (*Potamogeton lucens*), Watergentiaan (*Nymphoides peltata*), Gele plomp (*Nuphar lutea*) en twee groeivormen (ondergedoken en drijvende waterplanten). De rekenregels zijn ingebouwd in een "Ontwerp-tool Waterplanten Rijntakken, versie 3.0".

Deze tool geeft inzicht in de effecten van verschillende ontwerpkeuzes van maatregelen op de ontwikkelingsmogelijkheden voor waterplanten. De rekenregels houden sterk rekening met locatie-specifieke omstandigheden en de resultaten worden zodanig gepresenteerd dat deze direct bruikbaar zijn voor een inrichtingsplan. Zo worden de kansen voor waterplanten beoordeeld op basis van de hoogteligging, positie langs de riviertak, de hoogte van de zomerkade, bodemtype, afstand tot de rivier en ouderdom. Met deze informatie zijn richtlijnen opgesteld voor ontwikkeling en herstel van vegetatierijke systemen langs de Rijn.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	nov. 2019	Gerben van Geest Wilfred Altena		Tom Buijse		Renée Talens	
2.0	dec. 2019	Gerben van Geest Wilfred Altena		Tom Buijse		Toon Segeren	

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Leeswijzer	2
2 Beschrijving van studiegebied	3
2.1 Verschillen in hydrologie tussen riviertrajecten	3
2.2 Definitie van watertypen	7
3 Afleiding rekenregels voor de Ontwerp-tool	9
3.1 Motivatie en keuze van stuurvariabelen in het model	9
3.1.1 Hoofdstroom en aangetakte wateren	9
3.1.2 Geïsoleerde uiterwaardplassen	11
3.2 Afleiding rekenregels	13
3.2.1 Beschikbare datasets	13
3.2.2 Doelvariabelen	13
3.2.3 Stuurvariabelen	14
3.2.4 Berekening peildynamiek in de rivier	14
3.2.5 Berekening overstromingsduurklasse (geïsoleerde plas)	14
3.2.6 Berekening droogvalpercentage (geïsoleerde plas)	15
4 Modelkeuze voor de rekenregels	17
4.1 Model hoofdstroom, nevengeulen en eenzijdig aangetakte wateren	17
4.2 Model uiterwaardplassen	19
5 Handleiding voor “Ontwerp-tool Waterplanten Rijntakken, versie 3.0”	23
5.1 Doel van de Ontwerp-tool Waterplanten Rijntakken	23
5.2 Geldigheidsgebied	23
5.3 Handleiding	23
5.4 Specificeren van locatie	24
5.5 Invullen van kenmerken van plassen	24
5.6 Interpretatie resultaten	25
6 Regressiebomen voor geïsoleerde plassen	35
7 Referenties	39

1 Inleiding

De laatste decennia is er veel aandacht voor herstel en ontwikkeling van riviergebonden ecosystemen. Veel herstelprojecten worden uitgevoerd voor het realiseren van de doelstellingen van Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) en Natura2000. Voorbeelden van maatregelen die getroffen worden voor de grote rivieren zijn de aanleg van nevengeulen, het verlagen van zomerkades en het eenzijdig verbinden van plassen aan de hoofdstroom. Deze maatregelen beogen zowel een vergroting van de afvoercapaciteit van de rivier als herstel van riviergebonden ecosystemen. Bij dit herstel is de terugkeer van waterplantrijke biotopen één van de doelstellingen.

Waterplanten vertegenwoordigen een belangrijke component van ecosystemen in laaglandrivieren. Gedurende de afgelopen decennia zijn langs de Nederlandse Rijntakken grote veranderingen opgetreden in de bedekking en samenstelling van de vegetatie (Van den Brink, 1994; Van Geest & Teurlincx, 2014; Reeze et al., 2017). In de jaren vijftig van voorgaande eeuw stond in veel eenzijdig aangetakte strangen een uitbundige vegetatie van ondergedoken waterplanten en drijfbladplanten met soorten als Glanzig fonteinkruid, Watergentiaan en Gele plomp (Van Donselaar, 1961, Van der Voo & Westhoff, 1961). Ook in bovenstreams gelegen delen van de hoofdstroom groeiden destijds waterplanten. Zo bevonden zich halverwege de voorgaande eeuw diverse groeiplaatsen van Rivierfonteinkruid in de Bovenrijn (nabij Lobith) en de Waal tussen Nijmegen en Deest (Kern & Reichgelt, 1950). De afgelopen decennia zijn waterplanten sterk afgenomen in de Nederlandse Rijntakken. Deze afname werd veroorzaakt door eutrofiëring, het hoge zoutgehalte van de Rijn en het optreden van incidentele zomerhoogwaters (van den Brink, 1994). In de afgelopen 25 jaar zijn de nutriënten- en zoutconcentraties van het Rijnwater echter sterk gedaald en is het doorzicht van het water toegenomen. Niettemin blijft herstel van riviergebonden waterplantenvegetaties vaak achterwege, ook bij diverse inrichtingsprojecten langs de grote rivieren die de afgelopen jaren zijn uitgevoerd (van Geest et al., 2011). Inzicht in de factoren die de ontwikkeling van waterplanten bepalen is dus van belang voor de uitvoer van de juiste maatregelen.

Dit rapport geeft een overzicht van factoren die de ontwikkeling van waterplanten in de Nederlandse Rijntakken sturen. Hierbij zijn de effecten van deze factoren op de vegetatie zoveel mogelijk gekwantificeerd voor zover hierover informatie beschikbaar was. Deze informatie is gebruikt voor de ontwikkeling van een model, waarmee maatregelen op de kansen voor waterplantenontwikkeling beoordeeld kunnen worden. Een eerste versie van dit model, de KRW-tool Waterplanten Rijn, versie 2.5, is in 2011 ontwikkeld (Van Geest *et al.*, 2011). De afgelopen jaren zijn veel nieuwe velddata verzameld over het voorkomen van waterplanten in relatie tot sturende factoren. Aan de hand van deze data is een update uitgevoerd van de kennisregels in deze tool.

Met de “Ontwerp-tool Waterplanten Rijntakken” kunnen locaties aangegeven worden waar herstel of ontwikkeling van waterplantenrijke wateren in de Nederlandse Rijntakken een kansrijke optie is voor het behalen van de goede ecologische toestand. Eveneens wordt aangegeven welke maatregelen (gegeven het type of de lokale omstandigheden) niet succesvol zullen zijn. De rekenregels houden zodoende sterk rekening met locatie-specifieke omstandigheden en verschillen tussen riviertrajecten. Bij het opstellen van de rekenregels is uitsluitend aandacht geschonken aan factoren die met inrichtingsmaatregelen ‘gestuurd’ kunnen worden. Voorbeelden hiervan zijn het effect van aantakking op de hoofdstroom, vormgeving van de wateren (oppervlak, diepteverdeling), de Rijntak en de overstromingsduur.

1.1 Leeswijzer

Deze rapportage geeft een overzicht van de sturende factoren voor waterplantenontwikkeling langs de Nederlandse Rijntakken en de (update van) kennisregels die zijn opgesteld voor de Ontwerp-tool Waterplanten Rijntakken. De tekst is zodanig opgezet dat de hoofdstukken afzonderlijk kunnen worden gelezen. Hierdoor waren kleine dubbelingen in de tekst onvermijdelijk.

In hoofdstuk 2 wordt de hydrologie van het onderzoeksgebied beschreven. Hoofdstuk 3 en 4 geven een beschrijving van de afleiding van kennisregels, en hoofdstuk 5 bevat de handleiding van de tool.

2 Beschrijving van studiegebied

2.1 Verschillen in hydrologie tussen riviertrajecten

Deze studie omvat de volgende rivieren of riviertrajecten:

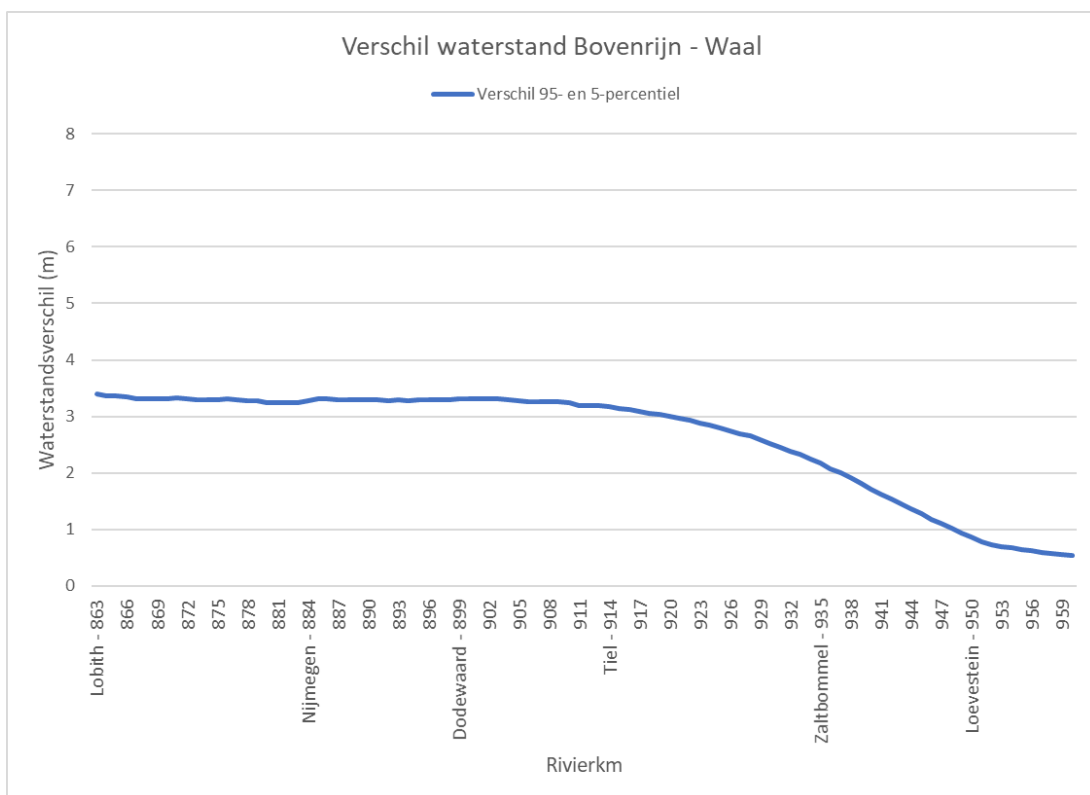
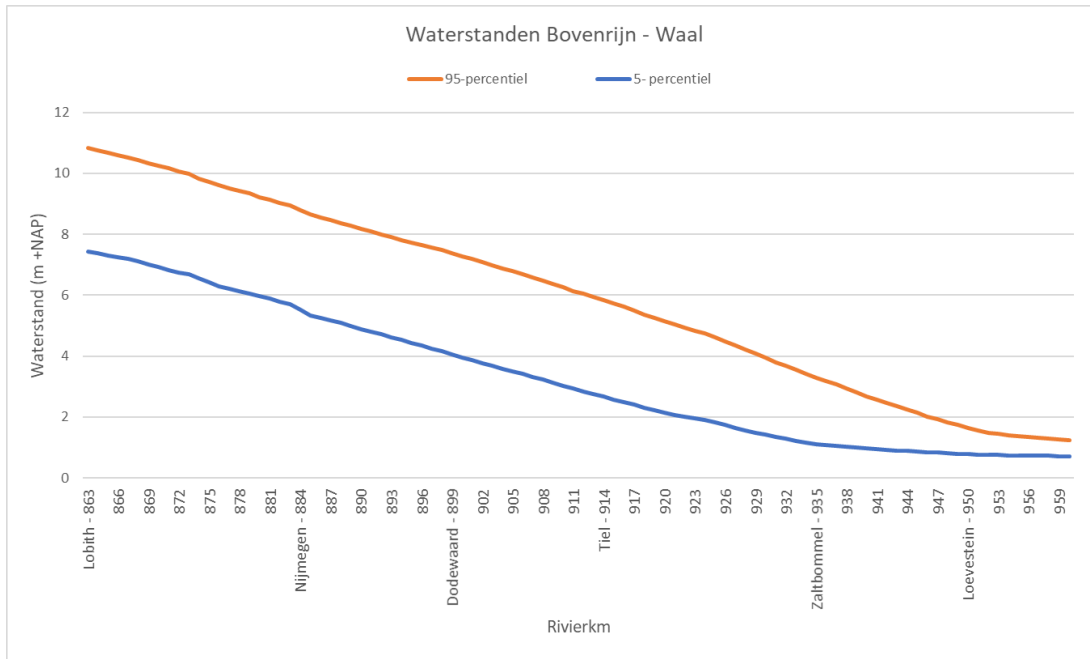
- de Boven-Rijn, Bijlands Kanaal – Waal (vanaf Lobith tot aan slot Loevestein);
- Pannerdens Kanaal – Nederrijn – Lek (stroomafwaarts tot Hagestein);
- de gehele IJssel (Arnhem - monding Ketelmeer).

Het gehele onderzoeksgebied valt onder het KRW-type R7 “Langzaam stromende rivieren op klei of zand” (Van der Molen & Pot, 2018).

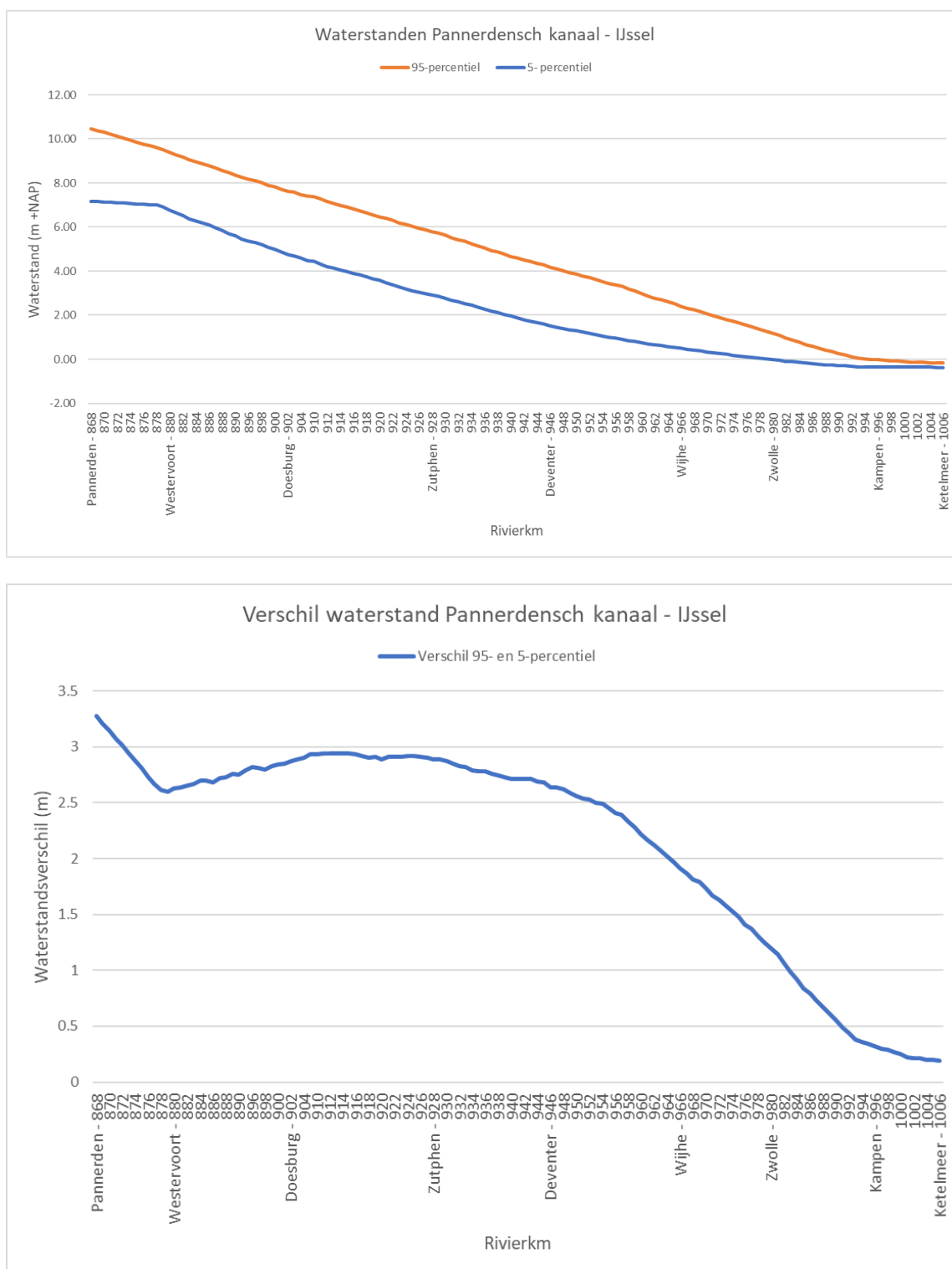
Tussen bovengenoemde riviertrajecten bestaan grote verschillen in waterstandsfluctuaties in de hoofdstroom. Fluctuaties in het waterpeil behoren tot één van de belangrijkste drijvende krachten achter de ontwikkeling van waterplanten, zowel in rivieren als stilstaande wateren (Haslam, 2006; Keddy, 2000). Hierbij zijn niet alleen de peilfluctuaties binnen een jaar, maar ook de fluctuaties tussen jaren van belang. Dit geldt zowel voor de hoofdstroom als voor geïsoleerde plassen in aangrenzende uiterwaarden. De peilfluctuaties van de rivier werken namelijk via het grondwater door op de waterstand in uiterwaardplassen, ook tijdens niet overstromde condities.

In Figuur 2.1 t/m 2.3 is het waterstandsverloop van de drie Rijntakken weergegeven. Tussen de Rijntakken bestaan grote verschillen in waterstandsfluctuaties in de hoofdstroom en zijn er tevens grote verschillen tussen boven- en benedenstroomse delen van hetzelfde traject. De grootste verschillen treden op in het bovenstroomse traject nabij Lobith. Dit geldt zowel binnen één groeiseizoen als tussen groeiseizoenen van opeenvolgende jaren. Langs grote delen van de Waal kan het peilverschil tijdens het groeiseizoen (mei - oktober) meer dan drie meter bedragen (Figuur 2.1), en over een aanzienlijke lengte van de IJssel treden peilverschillen tot meer dan 2,5 meter op (Figuur 2.2). Pas na Tiel (Waal) en Olst (IJssel) dempen deze fluctuaties versneld uit.

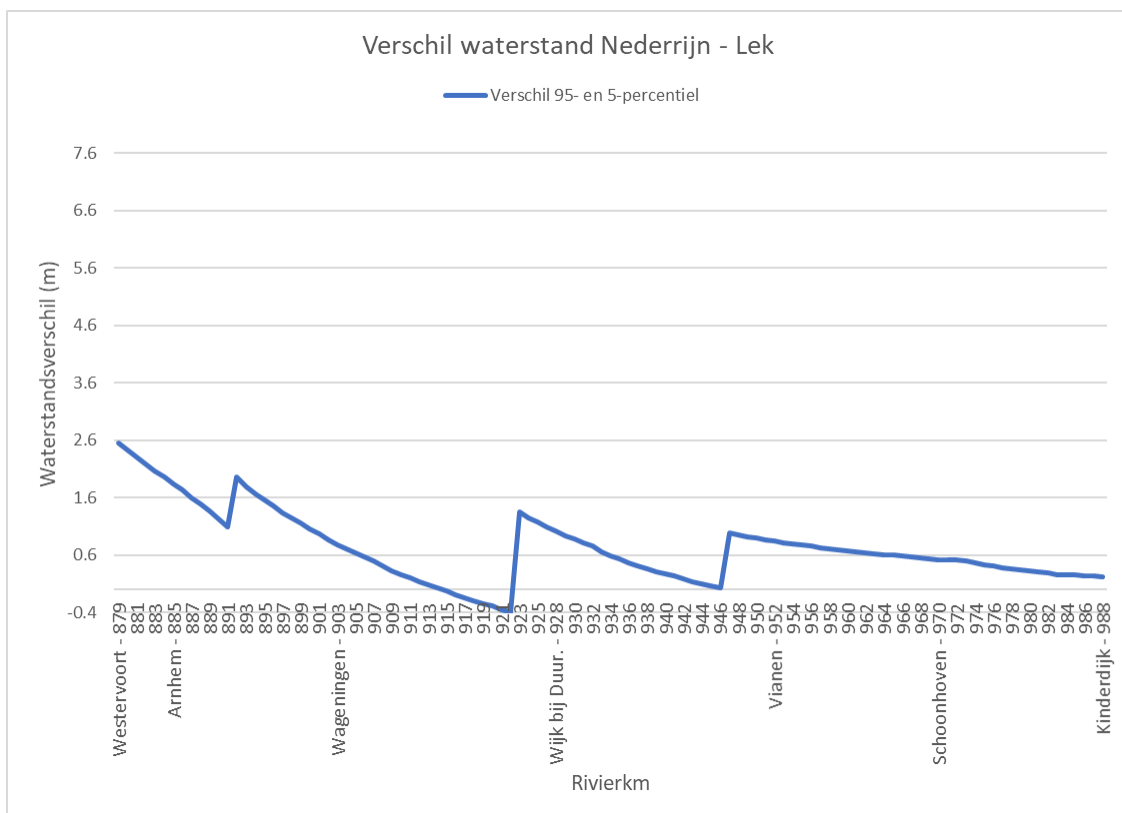
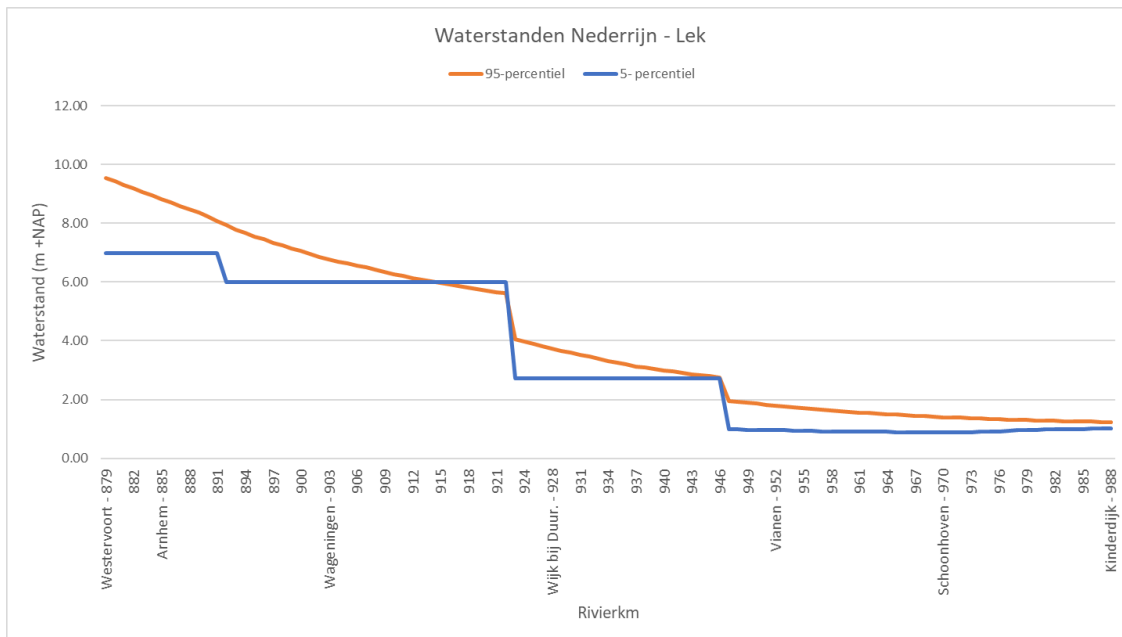
Oorspronkelijk bestond deze gradiënt in peilfluctuaties ook in de Neder-Rijn/Lek, maar hier is de variatie vrijwel verdwenen door de kanalisatie met drie stuwen, die in de vorige eeuw zijn gebouwd. Deze stuwen beïnvloeden uitsluitend de rivierpeilen bij lage afvoer maar hebben geen invloed op het overstromingsregime van de uiterwaarden. Zodoende is het natuurlijke peilregime – met periodiek lage rivierpeilen in het groeiseizoen – in dit traject vervangen door een stabiel en gemiddeld hoger waterpeil (Figuur 2.3).



Figuur 2.1 Peilverloop van de Waal in stroomafwaartse richting bij verschillende rivierpeilen in het groeiseizoen (mei t/m okt). In de onderste figuur is het verschil tussen deze rivierpeilen weergegeven (95-percentiel – 5-percentiel (tussen mei – okt, 1998-2017); overeenkomend met waterstanden van resp. 10,85 en 7,44 m +NAP bij Lobith). Deze figuren zijn gebaseerd op verhanglijnen uit 2018 die door RWS zijn aangeleverd. Deze verhanglijnen geven de relatie weer tussen de waterstand bij Lobith en stroomafwaarts gelegen locaties langs de betreffende Rijntakken.



Figuur 2.2 Peilverloop van de IJssel in stroomafwaartse richting bij verschillende rivierpeilen in het groeiseizoen (mei t/m okt). In de onderste figuur is het verschil tussen deze rivierpeilen weergegeven (95-percentiel – 5-percentiel (tussen mei – okt, 1998-2017); overeenkomend met waterstanden van resp. 10,85 en 7,44 m +NAP bij Lobith). Deze figuren zijn gebaseerd op verhanglijnen uit 2018 die door RWS zijn aangeleverd. Deze verhanglijnen geven de relatie weer tussen de waterstand bij Lobith en stroomafwaarts gelegen locaties langs de betreffende Rijntakken.



Figuur 2.3 Peilverloop van de Neder-Rijn en Lek in stroomafwaartse richting bij verschillende rivierpeilen in het groeiseizoen (mei t/m okt). In de onderste figuur is het verschil tussen deze rivierpeilen weergegeven (95-percentiel – 5-percentiel (tussen mei – okt, 1998-2017); overeenkomend met waterstanden van resp. 10,85 en 7,44 m +NAP bij Lobith). Deze figuren zijn gebaseerd op verhanglijnen uit 2018 die door RWS zijn aangeleverd. Deze verhanglijnen geven de relatie weer tussen de waterstand bij Lobith en stroomafwaarts gelegen locaties langs de betreffende Rijntakken.

2.2 Definitie van watertypen

Met de Ontwerp-tool kunnen locaties aangegeven worden waar herstel of ontwikkeling van waterplantenrijke wateren in de Nederlandse Rijntakken een kansrijke optie is voor het behalen van de goede ecologische toestand. De tool maakt hierbij onderscheid in verschillende typen wateren. Hieronder zijn deze watertypen nader gedefinieerd. Doorslaggevend hierbij is de aan- of afwezigheid van een open verbinding tussen de hoofdstroom en deze wateren. Onderstaande definities gelden voor een gemiddelde waterstand van de Rijn.

Binnen dit rapport wordt onderscheid gemaakt tussen:

1. Wateren die permanent met de rivier zijn verbonden, onderverdeeld in:
 - hoofdstroom van de rivier;
 - nevengeulen in uiterwaarden;
 - eenzijdig aangetakte strangen;
2. Geïsoleerde uiterwaardplassen; deze wateren hebben geen permanent open verbinding met de rivier, maar kunnen wel tijdens hoge rivierpeilen overstroomd worden.

Hieronder is een beschrijving gegeven van deze watertypen.

De **hoofdstroom** bestaat uit de hoofdgeul van de rivier, inclusief de kribvakken langs de oevers.

Een **nevengeul** loopt parallel aan de hoofdstroom van de rivier en heeft een tweezijdige verbinding met de rivier (Figuur 2.4). Nevengeulen liggen in uiterwaarden, en niet in de hoofdstroom.



Figuur 2.4. De nevengeul van de Vreugderijkerwaard in 2003 (Foto: B. Boekhoven).

Een **eenzijdig aangetakte strang** heeft een eenzijdige open verbinding met de rivier. Deze verbinding ligt vrijwel altijd benedenstrooms (Figuur 2.5). Alleen bij hoog water kan een eenzijdig aangetakte strang gaan meestromen met de rivier. In de rest van het jaar staat het water voornamelijk stil en varieert de waterstand direct mee met het rivierpeil, vanwege de open verbinding met de rivier of onder invloed van passerende schepen.



Figuur 2.5 Eenzijdig aangetakte strangen nabij Veessen (voorgrond) en in de Duursche Waarden in 2003 (achtergrond) (Foto: B. Boekhoven).

Voor **geïsoleerde uiterwaardplassen** geldt dat er geen permanente open verbinding is met de rivier (Figuur 2.6). Bij hoog water komt een dergelijke plas tijdelijk in verbinding met de rivier en krijgt daarbij de kwaliteit van het rivierwater. Bij een laag waterpeil in de rivier kunnen plassen (deels) droogvallen door grondwatertransport richting de hoofdstroom (wegzijging) en verdamping. Bij een stijgende rivierstand zal de richting van de kwelstroom in de uiterwaarden landinwaarts zijn gericht, waardoor plassen gevoed kunnen worden door ondiep grondwater. Plassen waarbij kwel en wegzijging een belangrijke rol spelen, worden **kwelplassen of geulen** genoemd.

Grondwaterstromen spelen zich met name af in het zandige gedeelte van de bodem. De doorlatendheid van fijn zand is ongeveer 10.000 – 50.000 maal hoger dan van klei. Wanneer de bodem van een plas bedekt is met een dik kleipakket, dan spelen invloeden van kwel en wegzijging nauwelijks een rol. Bij inrichting van uiterwaarden kan gebruik gemaakt worden van deze grondwaterstromen.



Figuur 2.6. Een voorbeeld van een geïsoleerde plas in de Broomwaard bij Zuilichem in 2003 (Foto: B. Boekhoven). Tijdens de zomer en najaar zijn dergelijke plassen doorgaans niet direct verbonden met de rivier; in de winter en het voorjaar zullen dergelijke plassen vaker overstroomd worden.

3 Afleiding rekenregels voor de Ontwerp-tool

In dit hoofdstuk wordt de afleiding van de rekenregels beschreven voor de Ontwerp-tool Waterplanten Rijntakken, versie 3.0. Deze tool geeft een indicatie van de kansen voor waterplanten in verschillende watertypen langs de Nederlandse Rijntakken. Dit betreft de kansen voor ondergedoken en drijfbladplanten (nymphaeiden). Ook zijn rekenregels opgenomen voor enkele kenmerkende riviersoorten, zowel voor de hoofdstroom, nevengeulen en eenzijdig aangetakte strangen als geïsoleerde plassen. Voor beide groepen watertypen zijn verschillende modellen afgeleid, die ieder hun eigen invoervariabelen nodig hebben.

De afleiding van de rekenregels is aan de hand van de volgende stappen uitgevoerd. Allereerst is een overzicht gemaakt van relevante stuurvariabelen voor waterplanten langs rivieren. In een volgende stap zijn de rekenregels afgeleid en geïmplementeerd in de Ontwerp-tool.

3.1 Motivatie en keuze van stuurvariabelen in het model

Voor het afleiden van rekenregels is het noodzakelijk dat er een overzicht wordt gemaakt van relevante stuurvariabelen voor de vegetatie. De betekenis van het begrip 'sturend' is hierbij dat deze variabelen door inrichting gestuurd kunnen worden. Bij de keuzes van de variabelen is rekening gehouden met de beschikbaarheid van data. In dit hoofdstuk worden alleen de belangrijkste sturende variabelen genoemd waarvan voldoende data beschikbaar zijn, en die relevant zijn voor de bouw van de Ontwerp-tool. Voor een gedetailleerdere beschrijving van de sturende factoren voor vegetatie wordt verwezen naar Van Geest & Buijse (2012) en Van Geest & Teurlincx (2014).

Hieronder wordt besproken welke keuzes en aannames zijn gemaakt ten aanzien van de stuurvariabelen.

Bij het opstellen van de rekenregels zijn de watertypen gegroepeerd in:

- 1 rivier en aangetakte wateren (hoofdstroom, nevengeulen, eenzijdig aangetakte strangen en plassen);
- 2 geïsoleerde uiterwaardplassen.

Hieronder worden deze twee groepen watertypen besproken.

3.1.1 Hoofdstroom en aangetakte wateren

Voor waterplantenvegetaties in de hoofdstroom en aangetakte wateren spelen de volgende variabelen een grote rol: de waterkwaliteit, het peilregime van de rivier, de waterdiepte, doorzicht van het water, stroomsnelheid, bodemtype, golfslag en waterbeweging ten gevolge van scheepvaart (Haslam, 1987).

Tot in de jaren tachtig van voorgaande eeuw was de slechte waterkwaliteit een belangrijke reden voor het achterwege blijven van herstel van waterplantenvegetaties in de Rijn. Oorzaken hiervan waren het hoge zoutgehalte en de sterke eutrofiering, die voor aanzienlijke algengroei en troebel water zorgden. In de afgelopen 25 jaar zijn de nutriënten- en zoutconcentraties van het Rijnwater echter sterk gedaald, en is het doorzicht van het water duidelijk toegenomen (Reeze et al, 2017).

In de huidige situatie vormt de waterkwaliteit geen duidelijk knelpunt meer voor de groei van waterplantenvegetatie langs de Rijn. Om deze reden zijn parameters met betrekking tot de waterkwaliteit niet opgenomen in de tool.

Het peilregime van de rivier speelt een doorslaggevende rol voor de waterplantenontwikkeling in de Rijn. Wanneer peilfluctuaties te extreem zijn, dan kunnen waterplanten zich niet vestigen en/of handhaven. Voor ondergedoken vegetatie zijn vooral de condities tijdens de start van het groeiseizoen van belang. Waar onvoldoende licht tot op de bodem doordringt, blijft waterplantengroei achterwege. Uit onderzoek van Van Schie (2009) en veldwaarnemingen blijkt dat de vegetatie in de hoofdstroom in de maand mei op gang komt. Het uiteindelijke effect van het waterpeil hangt natuurlijk sterk af van de diepte op de betreffende locatie. Om deze reden zijn zowel het waterpeil in mei als het diepteprofiel belangrijke stuurfactoren voor waterplantengroei.

Voorts is het van groot belang dat er in de ondiepe oeverzones voldoende lang water aanwezig is voor waterplantengroei. Vooral in stroomopwaartse delen van de Rijn is er tegenwoordig een duidelijke peildaling tussen mei en juli, waardoor grote delen van de ondiepe oevers in deze periode droogvallen, en daardoor ongeschikt zijn voor waterplantengroei. Aangenomen is dat een locatie gedurende minimaal de eerste drie maanden van het groeiseizoen (mei t/m juli) water moet bevatten voor succesvolle vestiging, overleving en/of uitbreiding van waterplanten.

Uit voorgaande data-analyses bleek dat vooral verschillen in rivierpeil tussen de jaren van belang zijn. Waterplanten bereiken namelijk pas hoge bedekkingen, wanneer voor tenminste 8 van de 10 jaar op een locatie aan bovengenoemde tolerantielimieten werd voldaan (Van Geest & Teurlincx, 2014). Deze grenswaarde geldt voor soorten als Schedefonteinkruid, Rivierfonteinkruid en Gele plomp. Voor deze soorten waren voldoende groeilocaties beschikbaar voor de afleiding van rekenregels. Voor andere soorten gelden mogelijk andere grenswaarden; deze soorten komen echter niet of nauwelijks in de MWTL-dataset voor.

Naast het waterpeil speelt ook de helderheid van het water een grote rol. Immers, bij een beter doorzicht kunnen waterplanten zich op grotere diepte vestigen. De helderheid van het water varieert tussen de verschillende riviertrajecten. Zo is de helderheid groter in de gestuwde Neder-Rijn en Lek dan in de vrij afstromende Waal (Reeze et al., 2017). Troebel water kan veroorzaakt worden door zwevende kleideeltjes in het water, maar ook door een hoge biomassa aan fytoplankton (algen). Zowel de concentratie van kleideeltjes als de algenbiomassa kunnen sterk variëren in de tijd, wat een goede voorspelling moeilijk maakt. Om deze reden is in de Ontwerp-tool gekozen voor waterdiepte als verklarende factor (en niet helderheid).

De stroomsnelheid van het water is eveneens een belangrijke factor voor waterplantengroei. De tool neemt aan dat binnen de kribvakken van de hoofdstroom en in aangetakte wateren voldoende stroomluwe locaties aanwezig zijn waar waterplantengroei mogelijk is. Dit wordt door veldwaarnemingen bevestigd. Bijgevolg doet de Ontwerp-tool Waterplanten Rijntakken uitspraken over het voorkomen van waterplanten op stroomluwe locaties.

De effecten van de golfwerking door scheepvaart zijn niet in dit project betrokken. Net als peilfluctuaties heeft scheepvaart ook een grote invloed op de vegetatie. Door de sterke golfslag en sedimentdynamiek kan de groei van waterplanten namelijk sterk geremd worden. In oevergeulen die recent langs de Waal zijn aangelegd is de invloed van scheepvaart geminimaliseerd. In deze oevergeulen vestigen zich (op beperkte schaal) waterplanten, terwijl dit in de directe omgeving buiten de oevergeul niet gebeurt. In de MWTL-dataset zijn echter

geen meetpunten in oevergeulen opgenomen. Om deze reden zijn de rekenregels van dit project niet van toepassing op oevergeulen. Mogelijk dat de effecten van scheepvaart in latere studies kunnen worden bepaald.

De tool is ook niet toepasbaar voor diepe plassen die permanent verbonden zijn met de rivier. Het doorzicht in deze plassen is vaak beduidend groter dan in de rivier zelf. Hierdoor dringt licht hier verder in de waterkolom, en kunnen waterplanten tot op grotere waterdiepte groeien.

Samenvattend: voor de Ontwerp-tool zijn voor de hoofdstroom, nevengeulen en eenzijdig aangetakte wateren de volgende factoren meegenomen in het model:

- Gemiddelde waterdiepte in mei. Dit bepaalt hoeveel licht er op de bodem doorkomt.
- Afwezigheid van droogval gedurende eerste drie maanden van het groeiseizoen: er moet tenminste drie maanden water staan voor succesvolle vestiging, overleving en uitbreiding van waterplanten;
- Gemiddeld waterdiepte in juli;
- Stabiliteit van deze factoren in opeenvolgende jaren (zie hierboven).

3.1.2 Geïsoleerde uiterwaardplassen

In geïsoleerde uiterwaardplassen kunnen een groot aantal variabelen van invloed zijn op de vegetatie-ontwikkeling. De belangrijkste factoren hierbij zijn de peildynamiek van de rivier, de grootte en vormgeving van de plassen (oppervlak, diepteprofiel) en de ouderdom (Van den Brink, 1994; Van Geest, 2005a,b).

Peildynamiek van de plas

De Ontwerp-tool dient het effect van de peildynamiek van de rivier op het peilvariatie van een uiterwaardplas goed te beschrijven. Uit voorgaande onderzoeken blijkt dat het waterpeil in een geïsoleerde uiterwaardplas sterk gestuurd wordt door overstromingen vanuit de rivier en door grondwaterstromingen bij een lagere rivierwaterstand (Wolters, 2002; Van Geest *et al.*, 2005b). De directe overstromingsfrequentie en –duur van de plas door de rivier wordt bepaald door de ligging van de plas en de hoogte van de (sluisjes in de) zomerkade of oeverwal, die de plas van de rivier scheidt. Als de rivierwaterstand hoger is dan de kruinhoogte van de zomerdijk of oeverwal, is de waterstand in de plas gelijk aan de waterstand in de rivier. Wanneer de rivierwaterstand lager is dan de kruinhoogte van de zomerdijk, is de waterstand in de plas afhankelijk van het waterstandsverschil tussen de plas en de rivier en de doorlatendheid van de bodem van de plas. In onbekade uiterwaarden bepaalt de hoogteligging van de uiterwaard de overstromingsdrempel.

Tijdens niet overstroomde condities kunnen fluctuaties van het rivierpeil via het grondwater doorwerken in het peilverloop van uiterwaardplassen. Doorslaggevend hierbij is de weerstand van de bodem voor grondwatertransport. De bodemsamenstelling is hierbij van groot belang: in plassen met een zandbodem fluctueert het waterpeil sterker met de rivier mee dan in plassen met een (veel slechter doorlatende) kleibodem. Ook de afstand tot de rivier speelt een belangrijke rol: naarmate een plas dicht bij de rivier ligt, ondervindt het grondwatertransport minder weerstand en reageert het waterpeil in de plas sneller op het rivierpeil.

Vormgeving plas

De vormgeving van de plas kan eveneens een duidelijke invloed hebben op de vegetatiesamenstelling. Het diepteprofiel van de plas speelt hierbij een belangrijke rol. Allereerst is het onderscheid tussen ondiepe plassen en diepe (gestratificeerde) zandwinputten van belang. In deze studie worden alleen inrichtingsvoorstellen gegeven voor ondiepe plassen, aangezien de geplande KRW-maatregelen vrijwel alleen betrekking hebben op dit type plassen. Binnen ondiepe plassen (gemiddelde diepte < 3 meter) speelt het diepteprofiel nog steeds een belangrijke rol. In een plas die te diep is aangelegd met steile oevers valt er onvoldoende licht op de bodem, waardoor geen waterplanten tot ontwikkeling kunnen komen. Naast de diepte is ook de grootte van de plas van belang. In grote plassen heeft de wind meer invloed, waardoor er meer slibopwerveling plaatsvindt en het water troebeler is. Mede hierdoor zijn ondergedoken waterplanten vaak beperkt tot plassen die kleiner dan 1-2 hectare (Van Geest et al., 2002; Van Geest & Buijse, 2012).

Naast oppervlak en diepte is ook de verhouding tussen de lengte van de oevers en het oppervlak, en de helling van het talud van belang. Verwacht wordt dat de soortenrijkdom toeneemt bij meer grillig gevormde oevers (resultierend in een grotere oeverlengte) en een flauwere helling van het talud (meer gradiënten bij peilfluctuaties).

Ouderdom

Tot slot speelt vegetatiesuccessie een belangrijke rol voor de vegetatiesamenstelling. Naarmate een plas ouder wordt, treden er duidelijke veranderingen op in de soortensamenstelling en –abundantie. Deze verandering is deels het gevolg van opslibbing van de bodem, waardoor de plas steeds ondieper wordt en de bodem minder doorlatend voor grondwatertransport. Hierdoor valt plassen steeds minder vaak droog, waardoor soorten die kenmerkend zijn voor tijdelijke droogval vervangen worden door soorten van een stabiel waterpeil. Om deze reden is de ouderdom van de plas meegenomen als verklarende variabele voor de vegetatiesamenstelling.

Samenvattend: voor de beschrijving van het effect van de peildynamiek van de rivier op de overstromingsklasse en percentage droogval van de plas moeten de volgende data voorhanden zijn:

- Peilfluctuaties van de rivier ter hoogte van de plas;
- Kruinhoogte van de zomerkade of oeverwal;
- Afstand van de plas tot de rivier;
- Bodemtype van de plas.

Op basis van deze data worden de overstromingsduur-klasse en het percentage droogval van de plas berekend (zie paragraaf 3.2).

Voor de beschrijving van het effect van de vormgeving van de plas op de vegetatie moeten tenminste de volgende data voorhanden zijn:

- Overstromingsduurklasse;
- Percentage droogval;
- Gemiddelde diepte van de plas;
- Oppervlak van de plas;
- Ouderdom van de plas.

3.2 Afleiding rekenregels

Hieronder komen verschillende zaken aan bod die een rol spelen bij het opzetten van een data-gebaseerd model dat de kans op het voorkomen van waterplanten voorspelt. Een belangrijk vertrekpunt is de dataset zelf. In de eerste sectie zal de dataset kort worden beschreven. De daaropvolgende secties zijn gewijd aan de beantwoording van de vragen: wat wordt gemodelleerd (doelvariabele) en waarmee (verklarende stuurvariabelen). Tot slot wordt beschreven welke soorten modellen zijn overwogen en toegepast.

3.2.1 Beschikbare datasets

Voor de ontwikkeling van de modellen is gebruik gemaakt van verschillende bronbestanden. In de Tabel 3.1 is een beschrijving gegeven van de inhoud van de gebruikte bestanden. De MWTL-gegevens van waterplanten in de hoofdstroom, nevengeulen en sluisgeulen zijn vanaf 1997 t/m 2015 verzameld. Voor de geïsoleerde plassen gaat het om 70 locaties en voor de hoofdstroom (inclusief neven- en sluisgeulen) om 96 verschillende locaties (met in totaal 992 vegetatie-opnames) die over deze jaren zijn verzameld.

Voor de afleiding van rekenregels voor waterplanten is gebruik gemaakt van peilgegevens van 26 meetstations langs de Rijntakken. Voor alle locaties van de vegetatie-opnames is het gemiddelde rivierpeil in resp. mei, juli en oktober berekend, voor de jaren waarin de vegetatie-opnames zijn uitgevoerd.

Tabel 3.1 Bronbestanden

bestand	omschrijving	leverancier
Tabel_Verhanglijnen_Rijn 2018.xls	berekening gemiddelde waterstand (mei, juli) op basis van verhanglijnen ten opzichte van Lobith	RWS
Peilgegevens meetstations Rijntakken	waterstand van 26 meetstations langs Rijntakken, periode 1987-2018	RWS
MWTL-gegevens waterplanten hoofdstroom en aangetakte wateren	meetgegevens van waterplanten in hoofdstroom 1997 t/m 2015	RWS
Abiotiek 70 geïsoleerde uiterwaardplassen 1998 - 2018	abiotische gegevens geïsoleerde uiterwaardplassen	Deltares
Vegetatie 70 geïsoleerde uiterwaardplassen 1999 - 2018	meetgegevens van verschillende soorten waterplanten in de plassen in 1999 t/m 2018	Deltares

3.2.2 Doelvariabelen

Voordat er kan worden gemodelleerd moet de vraag worden beantwoord wat er gemodelleerd gaat worden. Wat zijn de doelvariabelen?

Allereerst is er gekozen om in alle wateren te kijken naar de groepen ondergedoken en drijvende (nymphaeide) waterplanten. Voor de hoofdstroom zijn hier de volgende soort(groepen) aan toegevoegd: helofyten, Schedefonteinkruid, Rivierfonteinkruid, Gele Plomp en Riet. In geïsoleerde plassen zijn tevens gegevens verzameld van 28 verschillende soorten waterplanten. Tien van deze soorten worden in meer dan 10 van de 70 plassen aangetroffen; van deze soorten zijn modellen opgesteld.

De vegetatiesamenstelling in de plassen kan sterk variëren, ten gevolge van variaties in het peilregime. Voor de Ontwerp-tool is ervoor gekozen deze variatie eruit te filteren door de vegetatiesamenstelling van elke plas over alle jaren te middelen. Hierdoor wordt een robuuster en meer 'gemiddeld' beeld van de vegetatiesamenstelling een plas gegeven dan wanneer de data van de afzonderlijke jaren in de analyse worden gebruikt.

3.2.3 Stuurvariabelen

Na keuze van de doelvariabelen moeten de stuurvariabelen worden bepaald. Op basis van ecologische kennis en de beschikbare gegevens is een keuze gemaakt voor een aantal stuurvariabelen (zie paragraaf 3.1. voor een onderbouwing van deze keuze). Tijdens het modelleren is een aantal variabelen afgevallen omdat deze niet significant bijdroegen of een hoge correlatie bleken te hebben met andere variabelen. De variabelen die uiteindelijk zijn gebruikt verschillen per soort en per locatie. In de onderstaande tabel is weergegeven welke verklarende variabelen er in de modellen zijn opgenomen.

Tabel 3.2 Verklarende variabelen die in de modellen zijn gebruikt. De overstromingsduurklassen zijn nader toegelicht in tabel 3.3.

hoofdstroom en aangetakte wateren	plassen
Gemiddelde waterdiepte in mei (meter)	Gemiddelde diepte (peil in mei in meter)
Gemiddelde waterdiepte in juli (meter)	Oppervlakte (hectare)
	Ouderdom (jaar)
	Droogvalpercentage (% van plasoppervlak)
	Overstromingsklasse (1-5)

Een aantal van de variabelen is niet direct beschikbaar en moet worden afgeleid uit andere gegevens. Dat wil zeggen dat de variabele moet worden berekend voor de locatie waar een plas of deel van een hoofdstroom zich bevindt. Dit betreffen de volgende variabelen:

- peildynamiek van de rivier:
 - op een locatie in de hoofdstroom of aangetakt water;
 - ter hoogte van een geïsoleerde uiterwaardplas;
- overstromingsklasse van een geïsoleerde plas;
- droogvalpercentage van een geïsoleerde plas;

Hieronder wordt toegelicht welke gegevens hiervoor in de Ontwerp-tool worden gebruikt.

3.2.4 Berekening peildynamiek in de rivier

De peildynamiek van de rivier op de betreffende locatie hangt af van de riviertak (Neder-Rijn/Waal/IJssel) en de rivierkilometer. Als beide bekend zijn, kan het peil ter plaatse worden berekend op basis van het bekende peil van Lobith en de verhanglijnen die door Rijkswaterstaat is aangeleverd. In deze versie van de tool is gebruik gemaakt van de Verhanglijnen uit 2018. Waarden als de gemiddelde diepte in resp. mei en juli kunnen uit de tijdreeksen worden afgeleid.

Voor geïsoleerde plassen wordt aangenomen dat het gemiddelde waterpeil in de plas in mei gelijk is aan het gemiddelde waterpeil in de rivier ter hoogte van de betreffende plas.

3.2.5 Berekening overstromingsduurklasse (geïsoleerde plas)

De overstromingsklasse hangt af van het gemiddelde aantal dagen per jaar dat een plas wordt overstroomd door de rivier.

Als de hoogte van de drempel tussen de plas en de rivier is opgegeven (meestal de zomerkade), kan de overstromingsklasse worden berekend door het aantal dagen te tellen dat het rivierpeil hoger is dan de drempel. De indeling van de overstromingsklassen is als volgt:

Tabel 3.3 Indeling overstromingsklassen

klasse	overstromingsdagen per jaar
1	< 2
2	2-19
3	20-49
4	50-149
5	≥ 150

Op basis van de opgegeven hoogte van de zomerkade/drempel en het peil bij Lobith in de periode 1998 - 2017 is bepaald in welke overstromingsklasse de plas valt. Via de beslisboom is vervolgens vastgesteld in welke overstromingsduurklasse de plas hoort en welke waarde voor de doelvariabele daarbij hoort.

3.2.6 Berekening droogvalpercentage (geïsoleerde plas)

Voor het berekenen van het droogvalpercentage van een (nieuw aan te leggen) plas is een apart model gebouwd. Daarvoor zijn metingen uit 1999 gebruikt voor de waterdiepte en jaarlijks bepaalde droogvalpercentages in een set van 70 plassen uit de jaren 1999 t/m 2010. Een product-unit-network blijkt het best in staat droogval te voorspellen. Voor het model zijn de volgende variabelen gebruikt:

Tabel 3.4 Verklarende variabelen voor droogval. De formule voor de berekening van droogval staat onder deze tabel

variabele	transformatie
afstand tot rivier (m)	$s = \log_{10}(x)$
zandbodem (1/0)	$z = x + 0,5$
diepte plas in mei (m)	$h = x$
peildaling rivier mei-oktober (m)	$d = x$

De getransformeerde variabelen worden op de volgende manier omgerekend naar het droogvalpercentage:

$$pct = 0,001 - 0,474 d^{2,89} h^{-0,515} s^{-2,23} z^{1,13} + 0,554 d^{2,79} h^{-0,788} s^{-2} z^{1,12}$$

Het model heeft een verklarende variantie (R^2) van 0,64.

4 Modelkeuze voor de rekenregels

Er zijn twee afzonderlijke sets van rekenregels gemaakt: één voor vegetatie in de hoofdstroom, nevengeulen en eenzijdig aangetakte wateren, en één voor vegetatie in de geïsoleerde uiterwaardplassen. Voor een definitie van deze watertypen wordt verwezen naar hoofdstuk 2.2. In dit hoofdstuk worden de rekenregels beschreven van waterplanten. Voor de hoofdstroom en permanent hiermee verbonden wateren zijn dit:

- Ondergedoken (submerse) vegetatie;
- Drijvende vegetatie (nymphaeiden);
- Helofyten;
- Schedefonteinkruid,
- Rivierfonteinkruid,
- Gele plomp;
- Riet.

Voor geïsoleerde plassen betreffen dit:

- Ondergedoken (submerse) vegetatie;
- Drijvende vegetatie (nymphaeiden);
- Gewoon kransblad (een kranswiersoort);
- Glanzig fonteinkruid.
- Watergentiaan;
- Gele plomp.

Voor iedere soort is een kennisregel opgesteld. Hieronder is per soort(groep) aangegeven hoe deze is opgesteld en geïmplementeerd in de Ontwerp-tool.

4.1 Model hoofdstroom, nevengeulen en eenzijdig aangetakte wateren

Op basis van het conceptueel model en beschikbare data zijn twee variabelen gebruikt voor het voorspellen van waterplanten, namelijk:

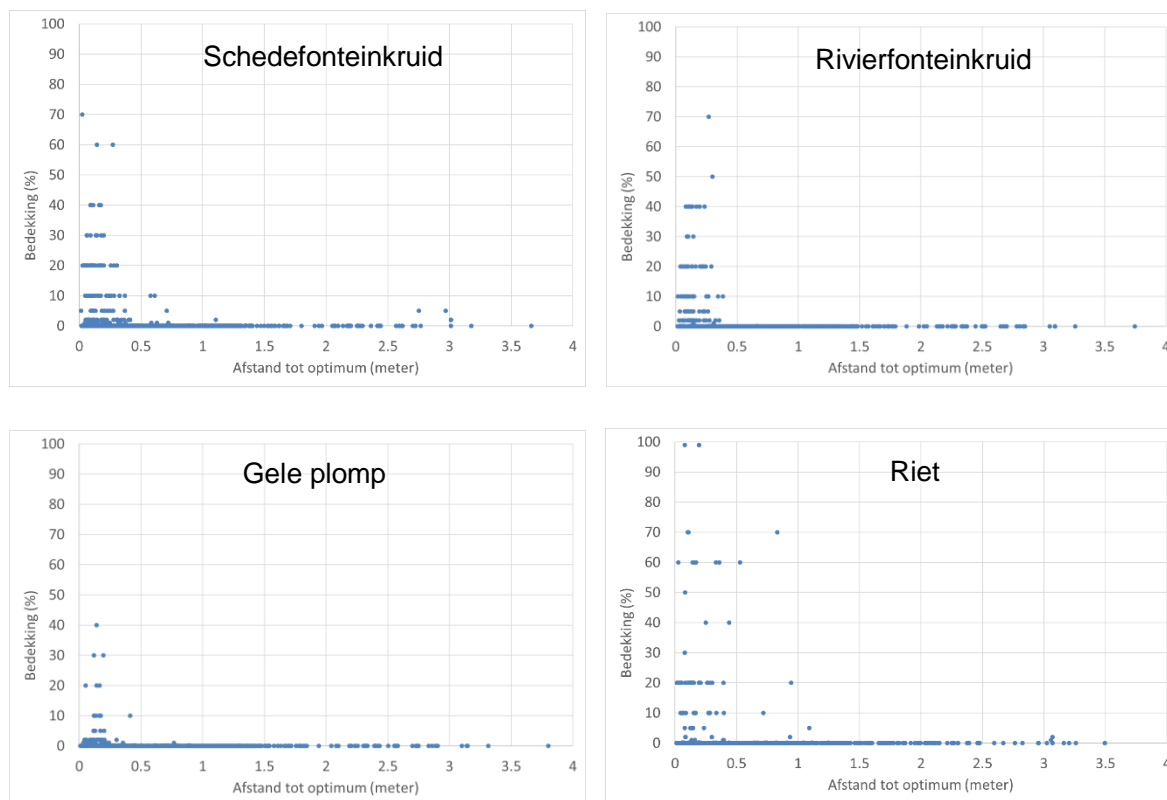
- het gemiddelde waterpeil in mei;
- het gemiddelde waterpeil in juli

Via een gewogen gemiddelde is de optimale conditie voor de aanwezigheid van de hoofdgroepen bepaald. Het gewicht is daarbij gelijk gesteld aan het bedekkingspercentage. Als de methodiek wordt toegepast worden de volgende optimale condities geschat (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Schatting optimale conditie voor de groei van waterplanten in de hoofdstroom en aangetakte wateren.
Optimum = gemiddeld peil mei

Soort of groeivorm	Gemiddeld peil mei (m) (t.o.v. bodem)	Gemiddeld peil juli (m) (t.o.v. bodem)	Bandbreedte tot optimum (m)	Maximale bedekking in veld (%)
Ondergedoken (groeivorm)	1,18	0,90	0,75	70
Drijvend (groeivorm)	1,16	0,87	0,55	50
Helofyten (groeivorm)	1,10	1,02	1,90	70
Schedefonteinkruid (<i>P. pectinatus</i>)	1,19	1,09	0,75	70
Rivierfonteinkruid (<i>P. nodosus</i>)	1,12	1,04	0,40	70
Gele plomp (<i>Nuphar lutea</i>)	1,06	1,03	0,45	40
Riet (<i>Phragmites australis</i>)	1,11	0,86	1,00	100

Uitgaande van deze optimale conditie kan in elk jaar worden gekeken wat het verschil is tussen het optimum in mei en oktober. Omdat het om grootheden in dezelfde schaal gaat, kan het verschil eenvoudig worden uitgedrukt in een afstand tot het optimum. De afstand wordt berekend als de Euclidische norm van het verschil (wortel van de som van de kwadraten). De berekende afstand blijkt een behoorlijke maat voor het bedekkingspercentage in dat jaar. Dat wordt ondersteund door Figuur 4.1. waarin de afstand tot het optimum is uitgezet tegen de bedekking van verschillende soorten waterplanten. Op basis van deze figuur is geconcludeerd dat Schedefonteinkruid en Rivierfonteinkruid voorkomen tot een straal van resp. 75 en 40 cm rond het optimum. Riet is iets minder kritischer en komt voor binnen een afstand van 100 cm. Helofyten hebben een veel grotere bandbreedte voor peilfluctuaties (tot 1,90 meter vanaf optimum). Gegeven hun optimale waterdiepte van 1,02 meter betekent dit dat helofyten dus ook op het land kunnen groeien. Voor het model is uitgegaan van het maximale bedekkingspercentage in het optimum (zoals in het veld voor de betreffende soort(groep) is vastgesteld), en een lineaire interpolatie vanuit het optimum naar de maximale afstand.



Figuur 4.1 Bedekking van Schedefonteinkruid, Rivierfonteinkruid, Gele plomp en Riet ten opzichte van de optimale waterdiepte in mei. De afstand is tweezijdig dus zowel ondieper als dieper.

Implementatie van de rekenregels in de Ontwerp-tool

In de Ontwerp-tool wordt bij een gegeven diepte in de hoofdstroom, nevengeul en/of eenzijdig aangetakte strang de afstand tot het optimum berekend voor elk jaar in de periode 1998 t/m 2017. Het geschatte bedekkingspercentage is het gemiddelde van de bedekkingspercentages in die jaren. De soort moest in tenminste 8 van de 10 jaar voorkomen om de locatie als 'geschikt' te beoordelen. Bij een lagere kans van voorkomen wordt de locatie ongeschikt geacht en is het totale percentage gelijk gesteld aan 0. Doordat in de Ontwerp-tool over de jaren 1998 t/m 2017 wordt gemiddeld, geven de berekende percentages een realistisch beeld voor de locaties waar ook daadwerkelijk waterplanten kunnen worden aangetroffen.

4.2 Model uiterwaardplassen

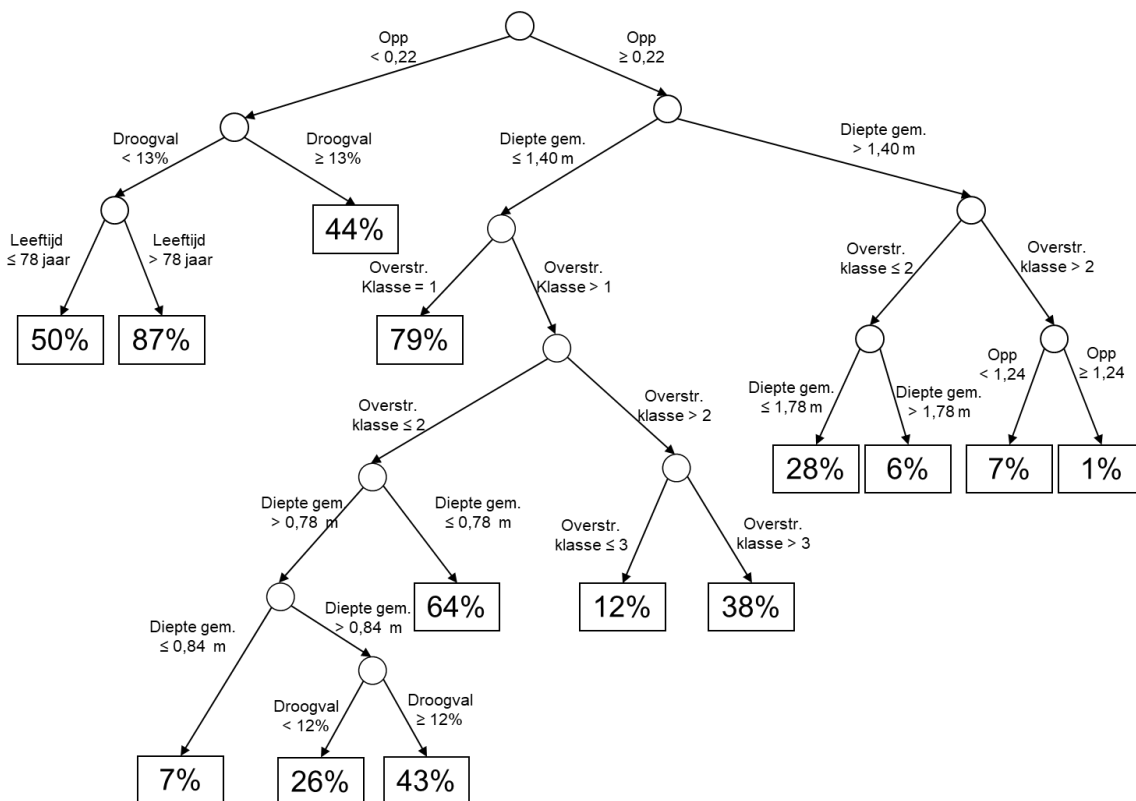
Voor het voorspellen van de aanwezigheid van waterplanten zijn verschillende modellen overwogen en getest. In de onderstaande Tabel 4.2. is een overzicht weergegeven met voor- en nadelen van de modelkeuzes.

Tabel 4.2 Beschrijving mogelijke modellen

model	omschrijving	voordeel	nadeel
neuraal netwerk	black-box netwerk gebaseerd op gewogen sommen van inputs en transferfuncties; wordt getraind op basis van input-output combinaties	flexibel voorspellende kracht	veel vrijheidsgraden risico op overfitting niet interpreteerbaar
product unit netwerk	white-box netwerk gebaseerd op producten van inputs; wordt getraind op basis van input-output combinaties	interpreteerbaar te vereenvoudigen transporteerbaar	transformatie van variabelen nodig grote zoekruimte
regressieboom	indeling in categorieën op basis van gezamenlijke kenmerken	interpreteerbaar transporteerbaar	bepert toepasbaar buiten brondataset

Black- en white-box neural netwerken bleken niet goed in staat om de waargenomen bedekkingspercentages goed te voorspellen. Een regressieboom bleek een geschiktere aanpak (Tabel 4.3).

Een regressieboom maakt op basis van de verklarende variabelen een classificatie van de plassen. Daarbij komen plassen met soortgelijke kenmerken in één klasse terecht. Aan elke klasse is één waarde voor de doelvariabele gekoppeld. In de modellering is voor de classificatie als randvoorwaarde meegegeven dat elke klasse tenminste 2 plassen bevat. De kracht van een regressieboom is dat via een boomstructuur een eenvoudige indeling kan worden gemaakt in de verklarende eigenschappen. Via de regressieboom kan worden vastgesteld in welke klasse een nieuw aan te leggen plas zich gaat bevinden.



Figuur 4.2 Regressieboom voor ondergedoken waterplanten in een geïsoleerde plas. % = bedekkingspercentage van een plas (voor uitleg zie tekst)

Uitleg voor het lezen van een regressieboom

De regressieboom in Figuur 4.2 moet van boven naar beneden gelezen worden: het belangrijkste onderscheid voor waterplanten ligt in de eerste knip, hier op de variabele 'plasoppervlak (Opp.)' bij een knipwaarde van 0,22 ha. In de volgende stap rechts in de afbeelding wordt een splitsing gemaakt op basis van de gemiddelde waterdiepte: plassen met waterdiepte $\leq 1,40$ meter worden hier gesplitst van plassen met waterdiepte $> 1,40$. Op deze manier kan de tabel naar beneden worden opgelopen. In de eindknopen staat de bedekking van de waterplanten weergegeven, uitgedrukt in een percentage ten opzichte van het plasoppervlak.

Regressiebomen individuele soorten

Naast de hoofdgroepen is er ook gekeken naar het modelleren van individuele soorten die in meer dan 10 verschillende plassen worden aangetroffen (Tabel 4.3). Voor al deze soorten is de verklaarde variantie (R^2) groter dan 0.5, en kan een voldoende betrouwbare regressieboom worden gemaakt worden. In de Ontwerp-tool zijn echter alleen soorten opgenomen die kenmerkend zijn voor riviersystemen. Op deze manier biedt de Ontwerp-tool de mogelijkheid om niet alleen de totale bedekking van ondergedoken en drijfbladplanten te schatten, maar ook voor het voorkomen van kenmerkende riviersoorten. Het betreft de volgende soorten:

- Gewoon kransblad (*Chara vulgaris*);
- Glanzig fonteinkruid (*Potamogeton lucens*);
- Watergentiaan (*Nymphoides peltata*);
- Gele plomp (*Nuphar lutea*).

Vegetaties met Glanzig fonteinkruid behoren tot het N2000 habitatype "Meren met Krabbenscheer en fonteinkruiden (H3159)".

De regressiebomen van bovenstaande soorten staan in Hoofdstuk 6.

Implementatie van de regressiebomen in de Ontwerp-tool

De regressiebomen zijn ingebouwd in de Ontwerp-tool. Enkele variabelen zijn niet direct beschikbaar, en worden afgeleid uit andere gegevens die de gebruiker moet invoeren. Op basis van deze gegevens wordt de gemiddelde waterdiepte in mei, het droogvalpercentage en de overstromingsduurklasse berekend (zie paragraaf 3.2 voor verdere uitleg). De waterdiepte in mei en het droogvalpercentage zijn afhankelijk van de NAP-hoogte van een bepaalde locatie in een plas. Deze variabelen worden aan de hand van de regressiebomen per stap van 0,10 m in de Ontwerp-tool doorgerekend. Op basis hiervan presenteert de Ontwerp-tool kansen op waterplanten over een range van NAP-hoogtes.

Bij de interpretatie van de resultaten van de Ontwerp-tool moet rekening worden gehouden dat de resultaten een **gemiddeld** beeld van geven van de vegetatiebedekking over een periode van meerdere jaren. Zo kan een voorspeld bedekkingspercentage (door de Ontwerp-tool) van 50% in werkelijkheid betekenen dat de plas in het ene jaar geheel bedekt is met waterplanten (100% bedekking), terwijl de plas in het daaropvolgende jaar geheel troebel is, en waterplanten geheel afwezig zijn (0% bedekking).

Tabel 4.3 Aanwezigheid van waterplanten in uiterwaardplassen en de verklarende variantie (R^2) van drie verschillende modellen

Soort(groep)	Aanwezig in x (van 70) plassen	Neuraal netwerk	Product unit netwerk	Regressie- boom
ondergedoken	60	0,48	0,54	0,80
drijvend	35	0,42	0,20	0,68
vegetatie-arm water	70	0,55	0,39	0,85
<i>Alisma gramineum</i> - Smalle waterweegbree	4			
<i>Callitriche spec.</i> - Sterrenkroos spec.	4			
<i>Ceratophyllum demersum</i> - Grof hoornblad	16	0,18	0,48	0,58
<i>Chara vulgaris</i> - Gewoon kransblad	18	0,94	0,91	0,93
<i>Elodea canadensis</i> - Brede waterpest	1			
<i>E. nuttallii</i> - Smalle waterpest	39	0,24	0,08	0,55
<i>Hottonia palustris</i> - Waterviolier	1			
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> - Kikkerbeet	1			
<i>Myriophyllum spicatum</i> - Aarvederkruid	1			
<i>Nitella capillaris</i> - Kleinhoofdig glanswier	5			
<i>Nuphar lutea</i> - Gele plomp	23	0,30	0,21	0,77
<i>Nymphoides peltata</i> - Watergentiaan	22	0,22	0,21	0,63
<i>Oenanthe aquatica</i> - Watertorkruid	2			
<i>Persicaria amphibia</i> - Veenwortel	6			
<i>Potamogeton acutifolius</i> - Spits fonteinkruid	1			
<i>P. crispus</i> - Gekroesd fonteinkruid	2			
<i>P. lucens</i> - Glanzig fonteinkruid	21	0,06	0,06	0,69
<i>P. natans</i> - Drijvend fonteinkruid	1			
<i>P. pectinatus</i> - Schedefonteinkruid	35	0,13	0,22	0,70
<i>P. pusillus</i> - Tenger fonteinkruid	21	0,70	0,29	0,73
<i>P. trichoides</i> - Haarfonteinkruid	34	0,41	0,29	0,67
<i>Ranunculus circinatus</i> - Stijve waterranonkel	6			
<i>Utricularia vulgaris</i> - Gewoon blaasjeskruid	2			
<i>Zannichellia palustris</i> - Zannichellia	16	0,21	0,02	0,77

5 Handleiding voor “Ontwerp-tool Waterplanten Rijntakken, versie 3.0”

Het wordt sterk aanbevolen om voorgaande hoofdstukken te lezen voordat de Ontwerp-tool wordt gebruikt. Op basis van deze informatie kunnen de uitkomsten van tool beter worden geïnterpreteerd.

5.1 Doel van de Ontwerp-tool Waterplanten Rijntakken

De Ontwerp-tool is geïmplementeerd met het volgende doel:

- Het bieden van beslissingsondersteuning voor maatregelen in de uiterwaarden door inzicht te geven in de effecten van verschillende ontwerpkeuzes op de kansen voor waterplantenrijke systemen.

Voor twee varianten kan worden bepaald wat het effect is op de kans dat waterplanten zich vestigen op de aangegeven locatie. De varianten zijn:

- Hoofdstroom, nevengeul en eenzijdig aangetakte strangen;
- Geïsoleerde uiterwaardplas.

5.2 Geldigheidsgebied

De modellen in de tool zijn gebaseerd op observaties van drijvende, ondergedoken en helofytensoorten langs de Rijntakken. De geldigheid van de tool beperkt zich tot het stroomgebied van die rivieren en is representatief voor de situatie vanaf 1998. De tool is niet zonder meer toepasbaar op andere rivieren (zoals bijvoorbeeld de Maas) of het zoetwatergetijdengebied.

Het geldigheidsgebied beperkt zich tot:

- locaties langs de rivieren Bovenrijn, Waal, Nederrijn/Lek/Pannerdensch kanaal, IJssel;
- de ecologische situatie vanaf 1998;
- riviermorphologie en -dynamiek die overeenkomt met de verhanglijnen van 2018 (Rijkswaterstaat);
- bemonsterde waterplantsoorten.

5.3 Handleiding

De interface bevat twee verschillende gekleurde velden. De grijze velden kan (moet) de gebruiker veranderen. Veranderingen kunnen gevolgen hebben voor de blauwe velden. De waarden in deze velden worden steeds opnieuw berekend na een wijziging in een grijs veld door de gebruiker.

Legenda:	
	veld kan/moet worden ingevuld
	veld wordt berekend op basis van andere velden

Bij het gebruik van de tool moeten de volgende stappen worden doorlopen.

5.4 Specificeren van locatie

De gebruiker moet opgeven voor welke locatie de maatregelen moeten worden doorgerekend. Daarbij kan (via een dropdown-menu in cel B4) gekozen worden uit de drie riviertakken uit het geldigheidsgebied. De tool geeft onmiddellijk aan wat begin en eind van de riviertak zijn. Vervolgens moet de rivierkilometer worden ingevuld (cel B7). De waarde moet tussen het aangegeven begin en einde van het riviertraject liggen.

Als de locatie bekend is, berekent de tool onmiddellijk de peildynamiek ter plaatse. De berekening is gebaseerd op het historische peil bij Lobith en de verhanglijnen van Rijkswaterstaat (uit 2018). De berekening kan enkele seconden in beslag nemen. Het resultaat van de berekening is (onder andere) de minimale en maximale waterstand in de rivier in de periode 1998 - 2017 voor de opgegeven locatie. Deze waarden worden in het scherm getoond. Op basis van de minimale waterstand kiest de tool een realistische range van bodemhoogtes waarvoor de kans op waterplanten wordt bepaald. Buiten deze range is de kans op waterplanten nihil.

3	Locatie		
4	Riviertak	IJssel	
5	Begin riviertak	878	km
6	Eind riviertak	1006	km
7	Rivierkm	960	km
8	minimale waterstand in de jaren 1998-2017	41	cm NAP
9	maximale waterstand in de jaren 1998-2017	561	cm NAP
10			
11	ondergrens realistische bodemhoogte	-210	cm NAP
12	bovengrens realistische bodemhoogte	560	cm NAP
13			

5.5 Invullen van kenmerken van plassen

Vanwege het karakter van de onderliggende modellen hoeft de gebruiker voor de hoofdstroom, nevengeulen en eenzijdige aangetakte strangen geen verdere kenmerken op te geven. In het model is peildynamiek in de rivier voor deze situaties allesbepalend voor de aanwezigheid van waterplanten.

Bij plassen spelen meerdere kenmerken een rol. Deze kunnen voor twee plassen tegelijk worden ingevuld. De naam die de gebruiker voor de plassen kan opgeven wordt alleen gebruikt om de plassen te onderscheiden.

De variabelen die bij plassen een rol spelen zijn: oppervlak, leeftijd, afstand tot de rivier, de samenstelling van de bodem en de hoogte van de drempel (zomerkade, oeverwal) tot de rivier. Aan elk van deze kenmerken zijn beperkingen opgelegd voor de minimale en maximale waarde van deze variabelen. De rekenregels zijn namelijk alleen toepasbaar binnen de range van waarden zoals deze voor elke variabele in de brongegevens aanwezig is. Wanneer bij het invullen de minimale of maximale waarde wordt overschreden, dan verschijnt een melding op het scherm.

15	variant Geul, Hoofdstroom of Aangetakte Strang	Geul	
16			
17	variant Uiterwaardplas	Plas A	Plas B
18	naam	jonge plas	oude plas
19	oppervlak	0.2	5 ha
20	leeftijd	50	200 jaar
21	afstand tot de rivier	600	600 m
22	samenstelling bodem	1 zand	1 zand
23	hoogte zomerkade / drempel naar rivier	550	550 cm NAP
24	overstromingsdagen/jaar	0	0 dagen/jaar
25	overstromingsklasse	1 (<2 dg/jr)	1 (<2 dg/jr) klasse

Op basis van de hoogte van de drempel wordt berekend hoeveel dagen per jaar het rivierpeil ter plaatse boven de drempel uitkomt. Dat levert een aantal overstromingsdagen per jaar op. De overstromingsklasse hangt af van het aantal overstromingsdagen.

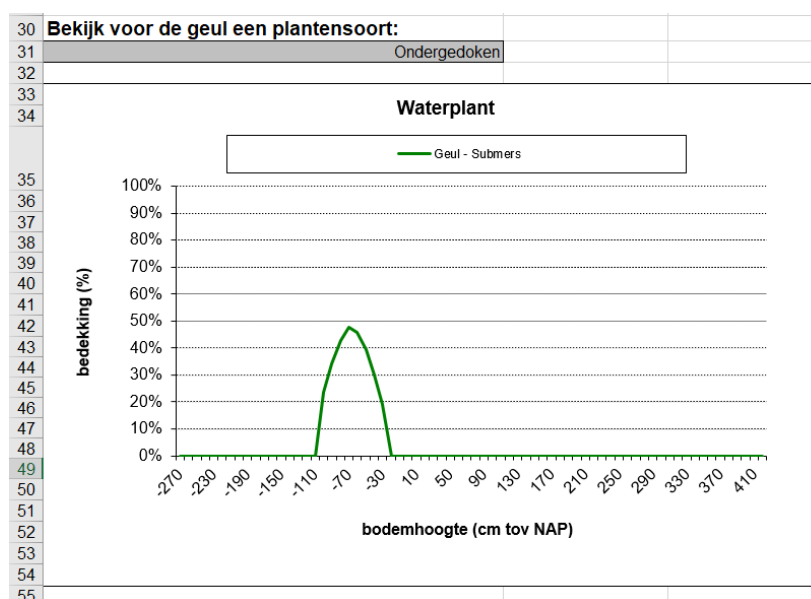
Het droogvalpercentage hangt af van de diepte van de plas. Naast de diepte wordt de droogval van een plas beïnvloed door het bodemtype (zand of klei), de afstand van de plas tot de rivier en de peilvariatie in de rivier.

5.6 Interpretatie resultaten

Als alle kenmerken zijn ingevuld wordt de kans berekend op waterplanten bij verschillende bodemhoogtes. Het is sterk afhankelijk van de locatie en de peildynamiek of er überhaupt waterplanten mogelijk zijn, in welke mate ze voorkomen en bij welke bodemhoogtes.

Middels een dropdown menu kunnen de resultaten per soort worden weergegeven. Er zijn twee dropdown menu's: één voor de hoofdstroom (inclusief nevengeulen en eenzijdig aangetakte wateren) en één voor geïsoleerde uiterwaardplassen. Door op het grijze veld te klikken kan dit menu worden geopend.

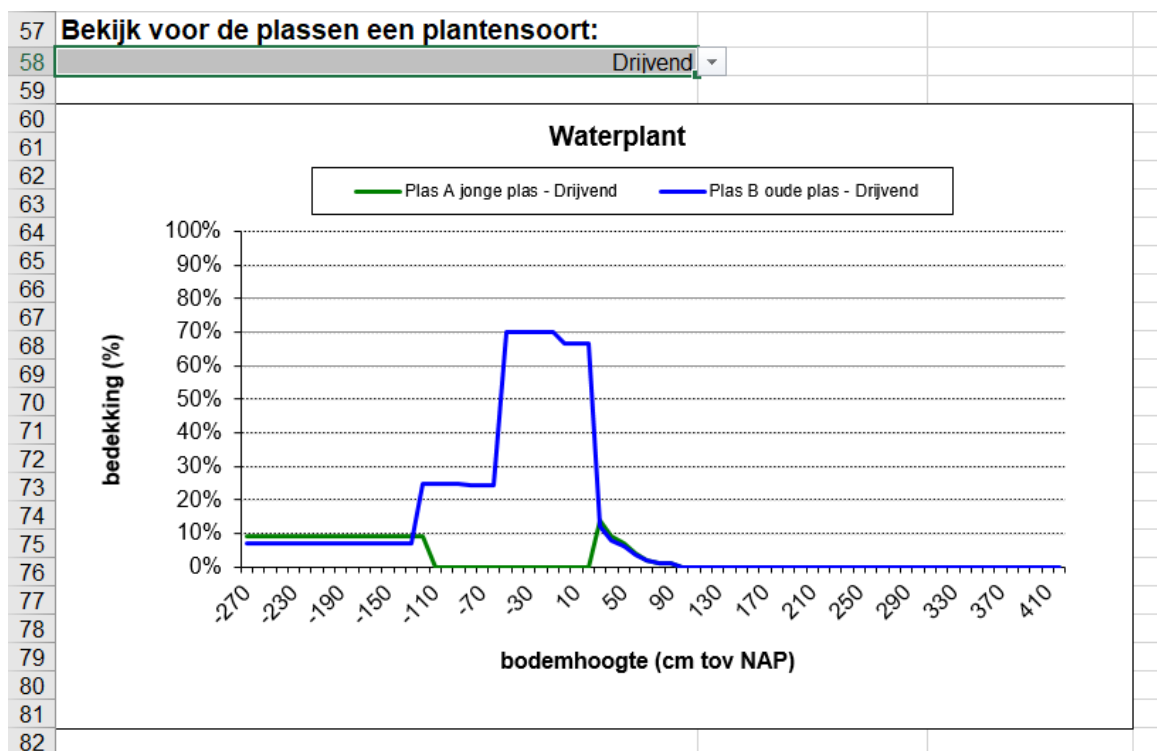
In onderstaande afbeelding is het effect voor ondergedoken waterplanten in de (hoofd)geul weergegeven.



Voor de hoofdgeul (en permanent hiermee verbonden wateren) kan voor de volgende soort(groep)en worden bekeken wat de geschatte bedekking is over een periode van een aantal jaren. Het gaat dan om:

- Ondergedoken vegetatie;
- Drijvende vegetatie;
- Helofyten;
- Schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*);
- Rivierfonteinkruid (*Potamogeton nodosus*);
- Gele plomp (*Nuphar lutea*)
- Watergentiaan (*Nymphoides peltata*)
- Riet (*Phragmites australis*).

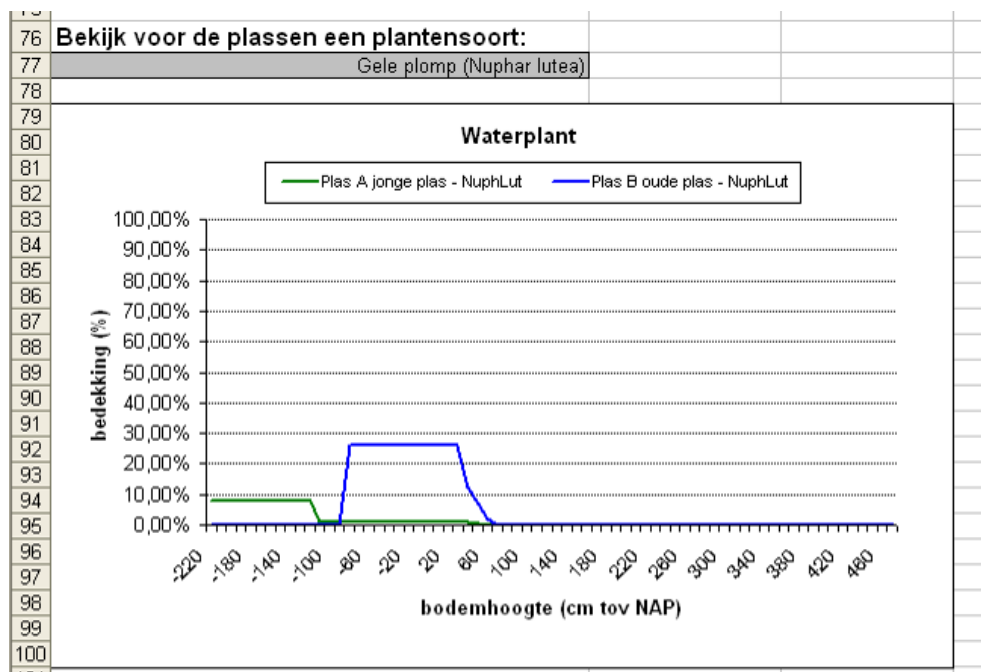
Ter illustratie is in onderstaand figuur voor geïsoleerde uiterwaardplassen het effect op drijvende waterplanten weergegeven. Plas B is duidelijk gunstiger voor drijvende waterplanten.



De berekende bedekkingspercentages zijn schattingen gebaseerd op de peildynamiek in de periode 1998 - 2017. Het bedekkingspercentage betreft dus een langjarig gemiddelde. De bedekking zal in de praktijk van jaar tot jaar (sterk) variëren.

Voor geïsoleerde uiterwaardplassen kan voor vier afzonderlijke soorten worden bekeken wat de geschatte bedekking is over een periode van een aantal jaren. Het gaat dan om:

- Gewoon kransblad (*Chara vulgaris*)
- Gele plomp (*Nuphar lutea*)
- Watergentiaan (*Nymphoides peltata*)
- Glanzig fonteinkruid (*Potamogeton lucens*)



Door op het grijze veld te klikken kan een andere soort worden weergegeven.

Naast de soorten kan het droogvalpercentage (gemiddeld over de jaren 2001-2009) en opnieuw de hoofdgroepen ondergedoken en drijvend worden weergegeven. Over het algemeen vindt de overgang van 0 naar 100% droogval in een beperkte range plaats. De scherpte van de overgang hangt af van de diepte van de plas, en het bodemtype, afstand van de plas tot de rivier en de peilfluctuaties in de hoofdstroom.

Rekenvoorbeeld

Ter illustratie van de werking van de tool een voorbeeld.

Stel er worden bij Herxen (langs de IJssel) in het kader van de Kaderrichtlijn Water maatregelen genomen. Daarbij moet een keuze worden gemaakt tussen het aanleggen van een nevengeul of het uitgraven van de uiterwaarden met een aantal plassen. De maatregelen hebben niet alleen effect op waterstand ter plaatse, maar ook op waterplanten. Met behulp van de tool kan worden gekeken wat het effect is van verschillende maatregelen op de kans dat zich er waterplanten vestigen.



Voor het beoordelen van wat voor waterplanten de beste maatregel is, voeren we de gegevens in. Herxen ligt ter hoogte van rivierkm 970 aan de IJssel:

3	Locatie		
4	Riviertak	IJssel	
5		Begin riviertak	878 km
6		Eind riviertak	1006 km
7	Rivierkm		970 km
8		minimale waterstand in de jaren 1998-2017	12 cm NAP
9		maximale waterstand in de jaren 1998-2017	477 cm NAP
10			
11		ondergrens realistische bodemhoogte	-240 cm NAP
12		bovengrens realistische bodemhoogte	480 cm NAP
13			

Het valt onmiddellijk op dat de peilvariatie bij Herxen behoorlijk groot is. Het verschil tussen de hoogste en de laagste waterstand is bijna 5 meter.

De volgende stap is het invullen van de maatregelen.

Stel dat er in dit geval de keuze moet worden gemaakt tussen het aanleggen van een kleine plas wat verder van de rivier, een grote plas dichtbij de rivier en een nevengeul.

15	variant Geul, Hoofdstroom of Aangetakte Strang	Geul		
16				
17	variant Uiterwaardplas	Plas A	Plas B	
18	naam	kleine plas	grote plas	
19	oppervlak	0.2	5	ha
20	ouderdom van de plas	25	25	jaar
21	afstand tot de rivier	300	20	m
22	samenstelling bodem	1 zand	1 zand	
23	hoogte zomerkade / drempel naar rivier	280	280	cm NAP
24	overstromingsdagen/jaar	21	21	dagen/jaar
25	overstromingsklasse	3 (20-50 dg/jr)	3 (20-50 dg/jr)	klasse

Voor geul, hoofdstroom of aangetakte strang hoeft niets te worden ingevuld.

Voor de twee uiterwaardplassen wel. De namen 'kleine plas' en 'grote plas' worden ingevuld. De kleine plas heeft een oppervlak van 0,2 hectare, de grote 5 hectare. De grote plas ligt noodzakelijkerwijs dichterbij de rivier (20 m) dan de kleine plas (300 m). De ondergrond bij Herxen bestaat uit zand. Als de zomerkade wordt gelegd op 280 cm t.o.v. NAP, berekent de tool dat er 21 overstromingsdagen per jaar te verwachten zijn. De plassen vallen daardoor net in overstromingsklasse 3.

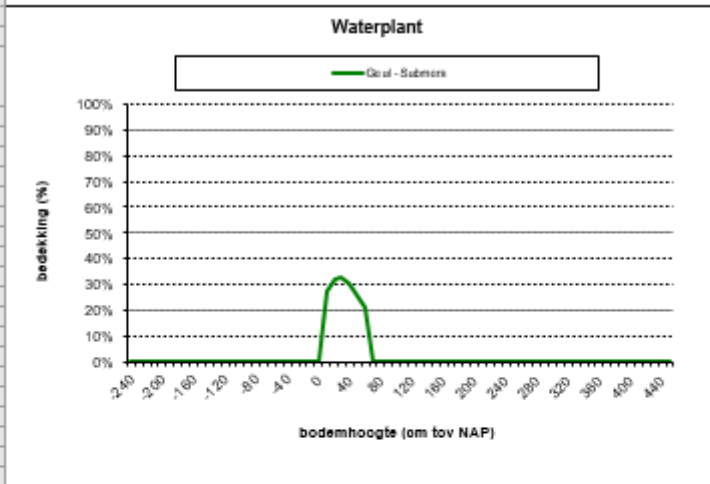
We zijn geïnteresseerd in de vestiging van waterplanten over een termijn van 25 jaar vanaf nu en vullen dat getal in bij de ouderdom van de plassen.

Na het invullen van alle gegevens berekent de tool direct de verwachte bedekkingspercentages voor waterplanten uit. Voor ondergedoken waterplanten in de geul ziet de grafiek er als volgt uit:

27 **Resultaat berekening:**

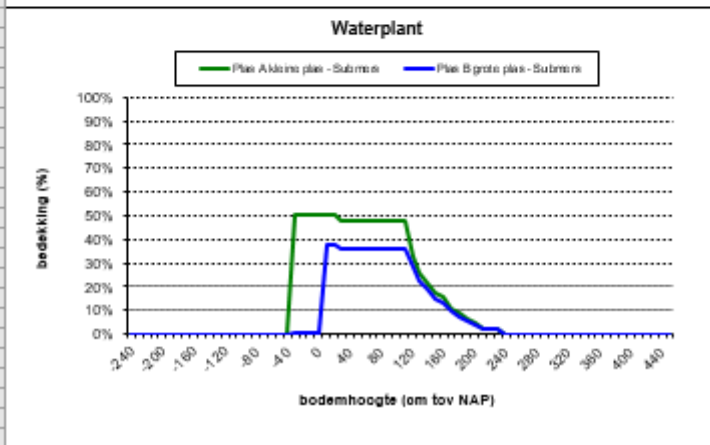
30 **Bekijk voor de geul een plantensoort:**

Ondergedoken



57 **Bekijk voor de geïsoleerde uiterwaardplassen een plantensoort:**

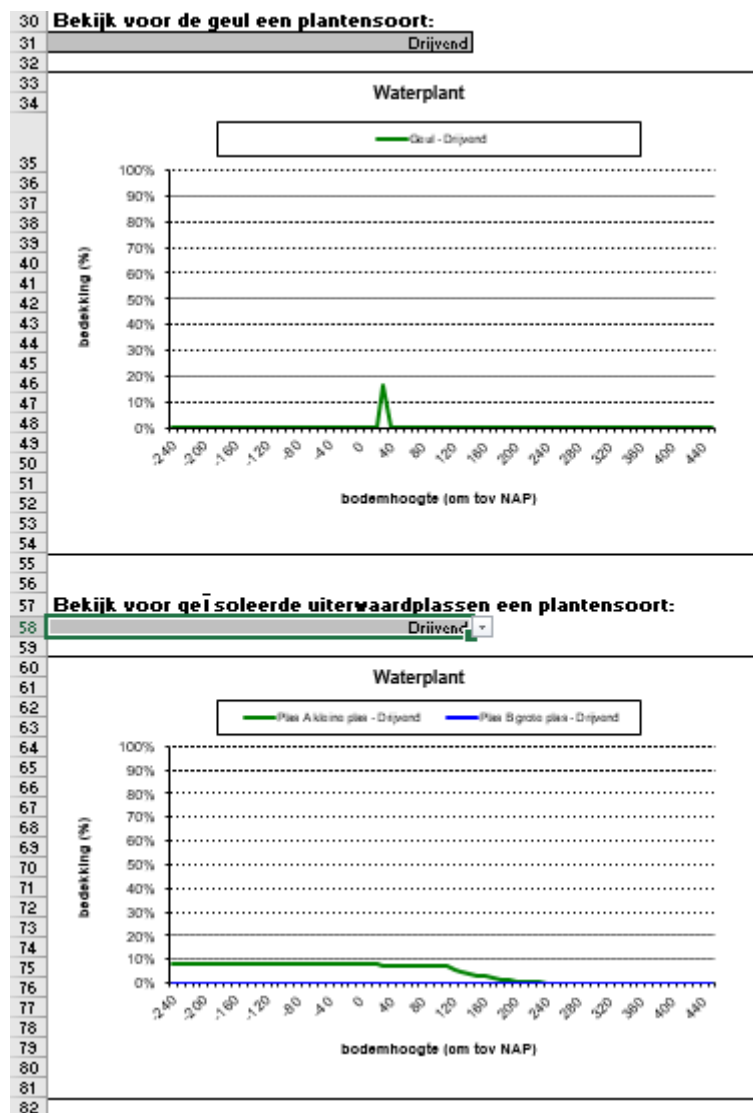
Ondergedoken



Uit de grafiek valt op te maken dat ondergedoken waterplanten:

- 1 alleen in een geul met bodem tussen 0 m NAP en 0,8 m NAP kunnen voorkomen, tot circa 30% bedekking);
- 2 de kleine plas qua percentage gunstiger is dan de grote plas (50% tegen 40%);
- 3 in de kleine plas voorkomen tussen een bodemhoogte van -0,40 en 2,40 m NAP;
- 4 in de grote plas kunnen voorkomen tussen 0 en 2,40 m NAP.

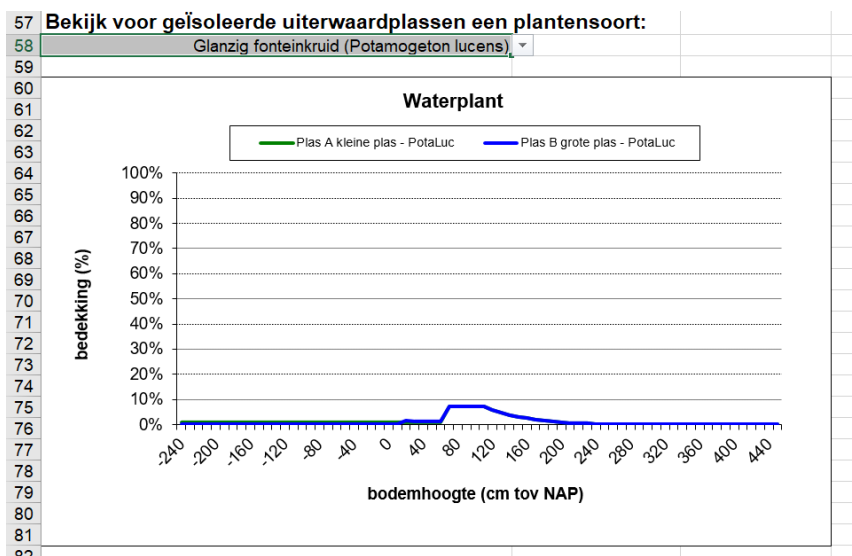
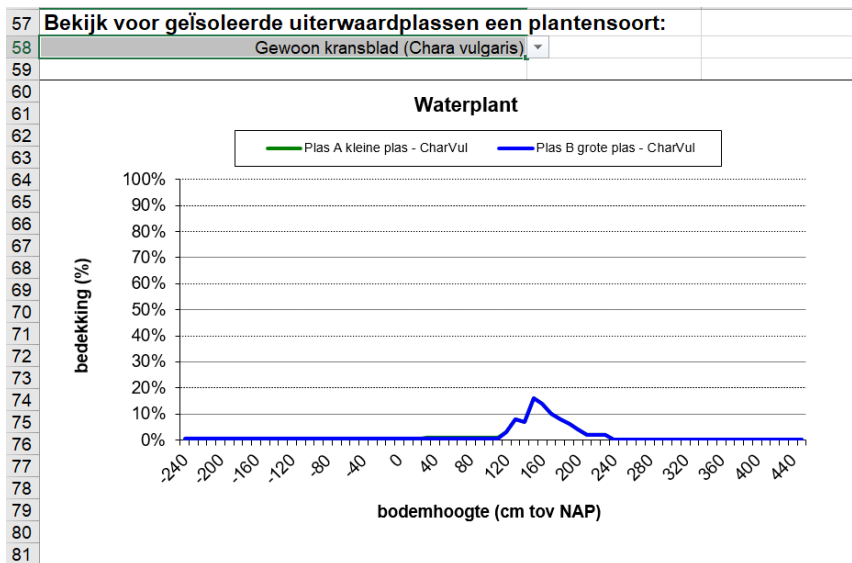
Voor drijvende waterplanten ziet de grafiek er als volgt uit:



Drijvende waterplanten:

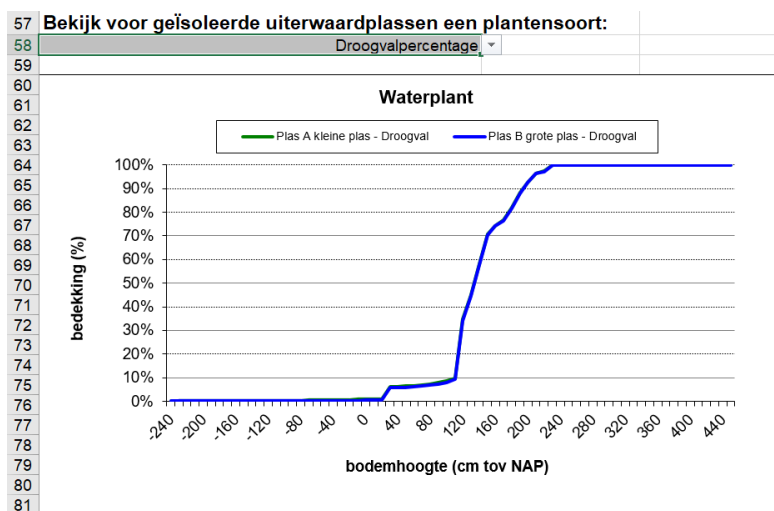
- kunnen in lage bedekkingen in de geul voorkomen, binnen een nauwe diepterange (20-40 cm NAP);
- maken in de grote plas geen kans;
- kunnen bij de kleine plas in geringe mate (tot 9%) voorkomen, zolang de bodem maar lager is dan 2 m NAP;

Er kan ook nog worden gekeken naar twee specifieke soorten: Gewoon kransblad en Glanzig fonteinkruid. De verwachte bedekkingen van beide soorten zijn hieronder weergegeven.

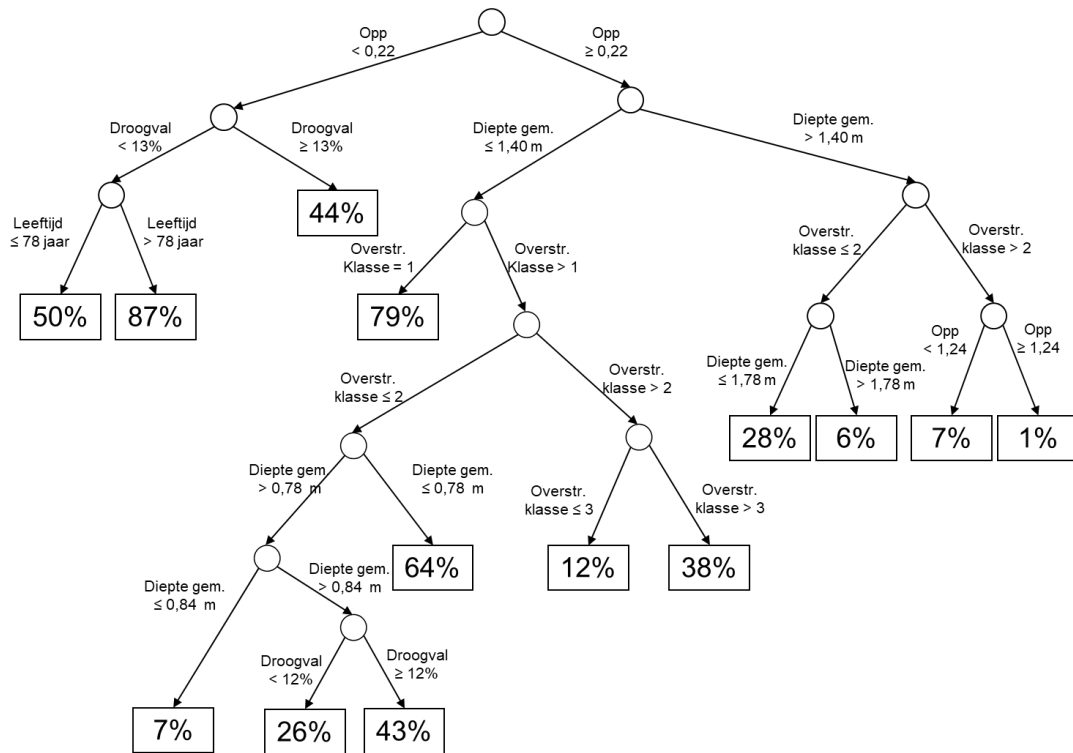


Voor Glanzig fonteinkruid moet de bodemhoogte van de plas tussen 0,7 m NAP en circa 1.6 m NAP liggen. Voor Gewoon kransblad ligt deze range tussen 1,20 – 2,30 m NAP. Aan de hand van deze informatie kan men het diepteprofiel zodanig maken, dat meerdere soorten er kunnen voorkomen.

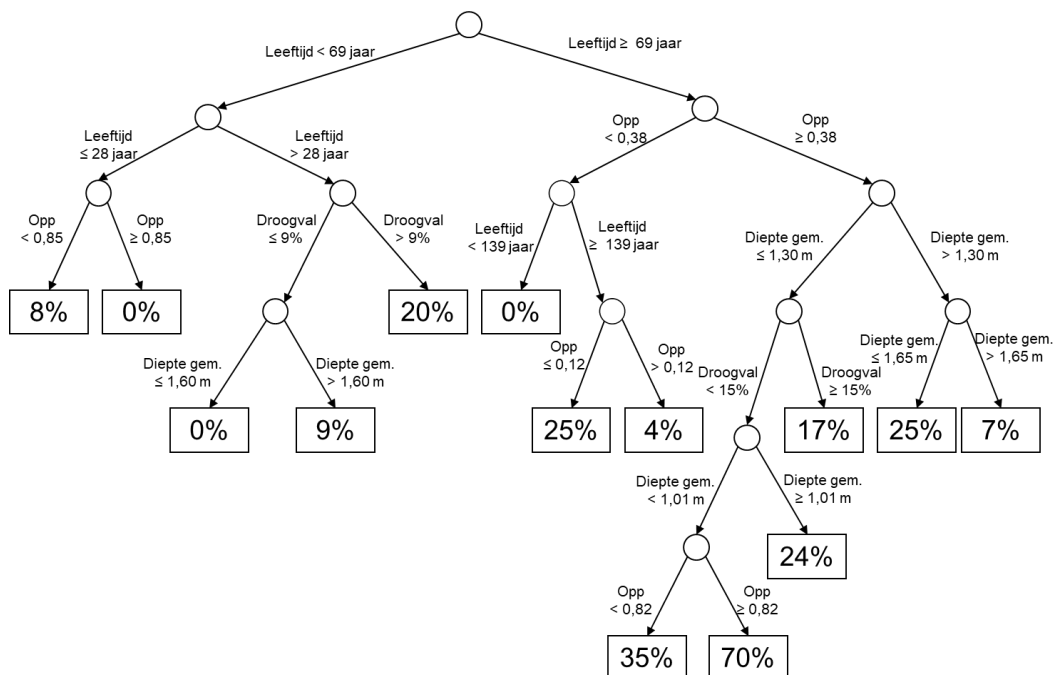
Het droogvalpercentage van de plassen is ook interessant om nader te bekijken. De grote plas valt wel droog, de kleine plas niet (zie hieronder). Dat wordt in dit geval veroorzaakt doordat de grote plas veel dichterbij de rivier ligt en dus sterker reageert op peildaling in de rivier.



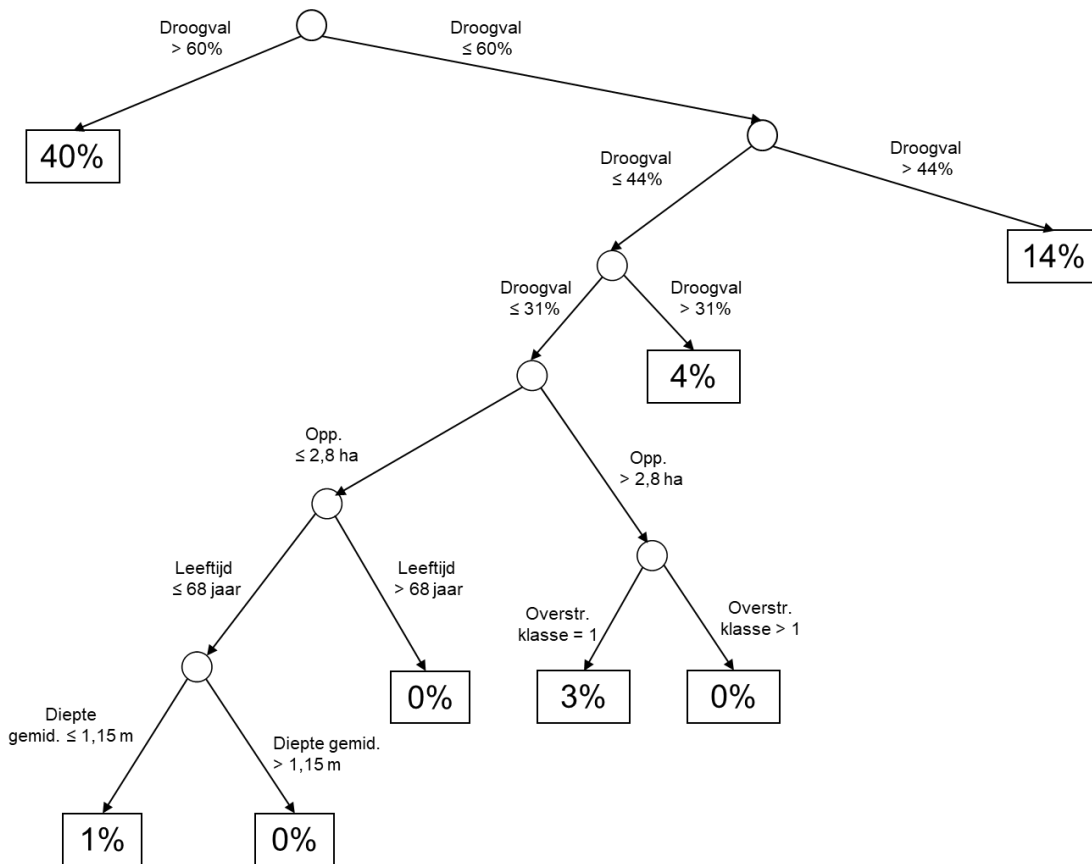
6 Regressiebomen voor geïsoleerde plassen



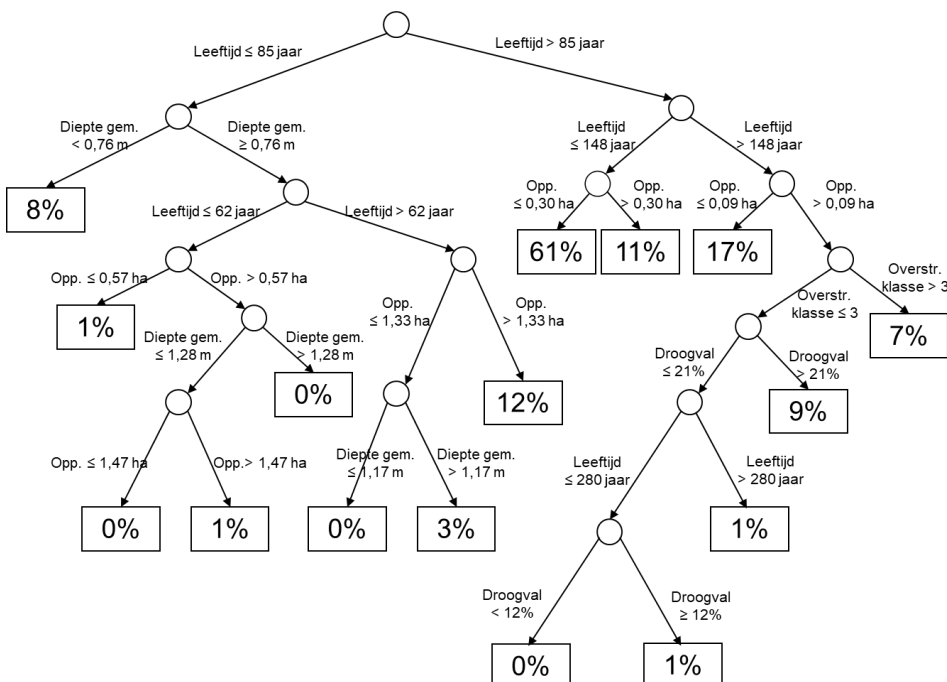
Figuur 6.1 Regressieboom voor ondergedoken waterplanten (voor uitleg zie tekst HS 4)



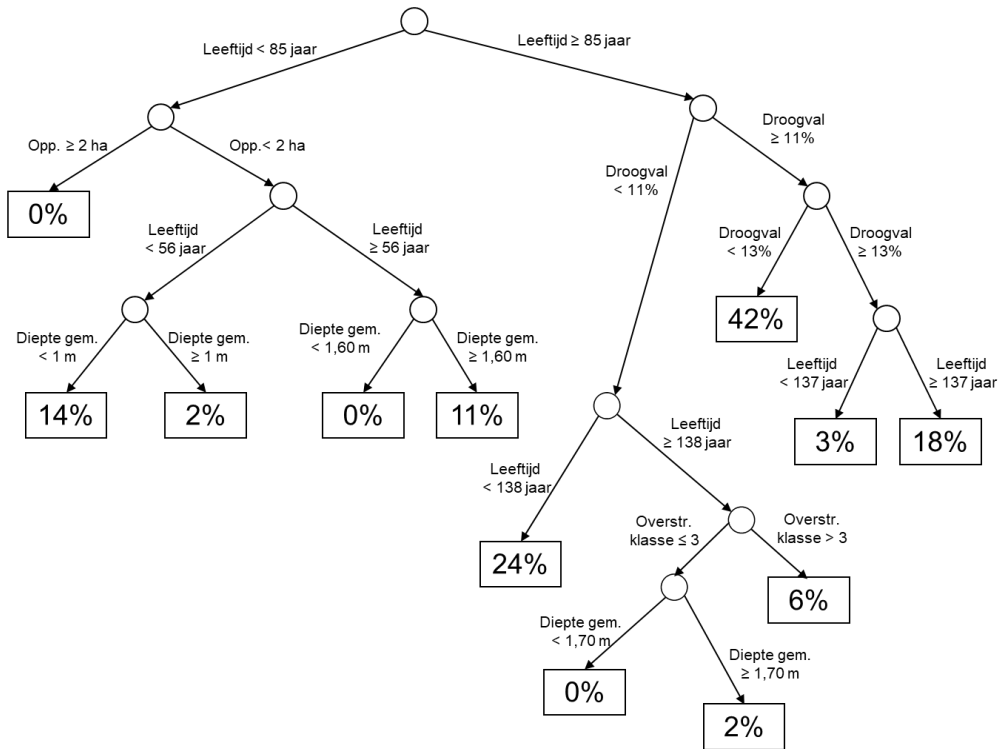
Figuur 6.2 Regressieboom voor drijvende waterplanten (voor uitleg zie tekst HS 4)



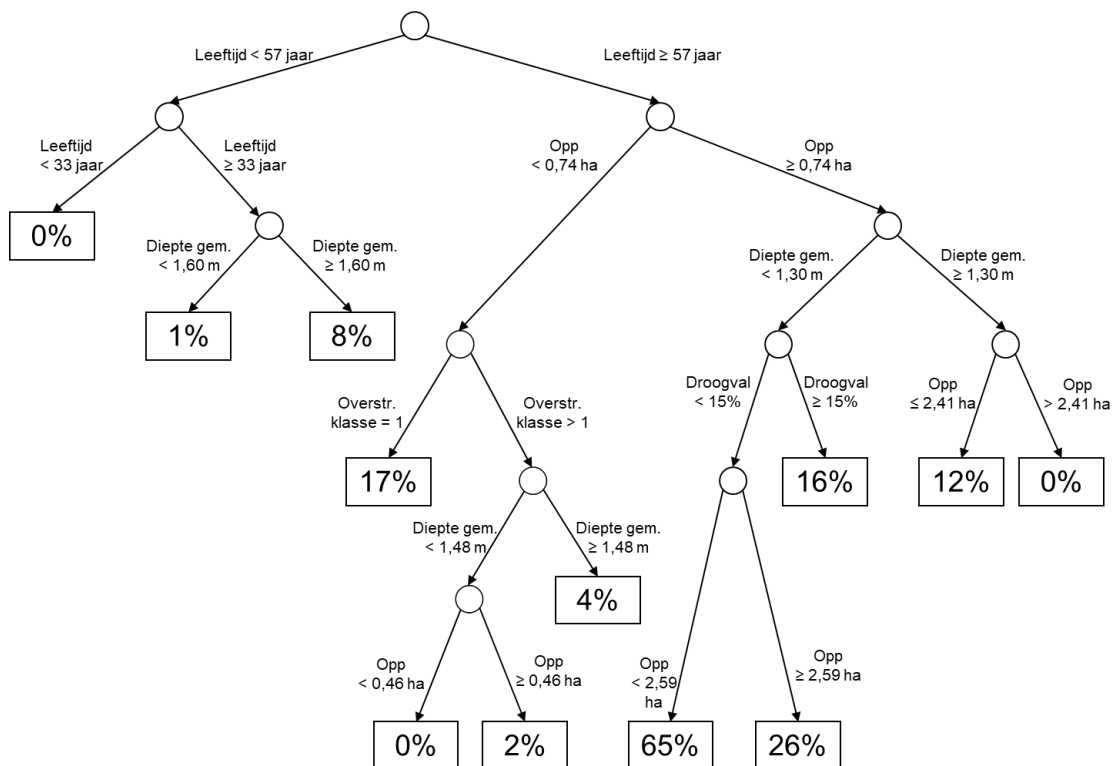
Figuur 6.3 Regressieboom Gewoon kransblad – *Chara vulgaris* (voor uitleg zie tekst HS 4)



Figuur 6.4 Regressieboom Glanzig fonteinkruid – *Potamogeton lucens* (voor uitleg zie tekst HS 4)



Figuur 6.5 Regressieboom Watergentiaan – *Nymphoides peltata* (voor uitleg zie tekst HS 4)



Figuur 6.6 Regressieboom Gele plomp – *Nuphar lutea* (voor uitleg zie tekst HS 4)

7 Referenties

- Haslam, S.M. (1987) River plants of Western Europe; The macrophytic vegetation of watercourses of the European Economic Community Cambridge University Press, Cambridge etc., 512 pp.
- Keddy, P. & L.H. Fraser (2000) Four general principles for the management and conservation of wetlands in large lakes: The role of water levels, nutrients, competitive hierarchies and centrifugal organization. *Lake & Reservoirs: Research and Management* 5: 177-185.
- Kern, J. H. & Th. J. Reichgelt (1950) Over enige kritische planten van onze flora. *Nederlandsch Kruidkundig Archief* 57: 244-26.
- Reeze, B., A. van Winden; J. Postma; R. Pot; J. Hop & W. Liefveld (2017) Watersysteemrapportage Rijntakken 1990 – 2015. Ontwikkelingen waterkwaliteit en ecologie. Bart Reeze Water & Ecologie, Harderwijk.
- Van den Brink, F.W.B. (1994) Impact of hydrology on floodplain lake ecosystems along the Lower Rhine and Meuse. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen. 196 p.
- Van der Molen, D.T. & R. Pot (2018) Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2017. STOWA rapport 2018-49.
- Van der Voo, E.E. & V. Westhoff (1961) An autecological study of some limnophytes and helophytes in the area of the large rivers. *Wentia* 5: 163-258.
- Van Donselaar, J, 1961. On the vegetation of former river beds in the Netherlands. *Wentia* 5: 1-85.
- Van Geest GJ, F.C.J.M. Roozen, H. Coops, R.M.M. Roijackers, A.D. Buijse, E.T.H.M. Peeters & M. Scheffer (2002) Vegetation abundance in lowland floodplain lakes determined by surface area, age and connectivity. *Freshwater Biology* 48: 440-454.
- Van Geest G.J., H. Coops, R.M.M. Roijackers, A.D. Buijse & M. Scheffer (2005a) Succession of aquatic vegetation driven by reduced water-level fluctuations in floodplain lakes. *Journal of Applied Ecology* 42: 251-260.
- Van Geest G.J., H. Wolters, F.C.J.M. Roozen, H. Coops, R.M.M. Roijackers, A.D. Buijse & M. Scheffer (2005b). Water-level fluctuations affect macrophyte richness in floodplain lakes. *Hydrobiologia* 539: 239-248.
- Van Geest, G. & T. Buijse (2012) Kansen voor waterplanten in semi-stagnante uiterwaardplassen. *De Levende Natuur* 113 (6): 280-286.
- Van Geest, G. & S Teurlincx (2014) Invloed van peilfluctuaties op waterplanten in de hoofdstroom en permanent verbonden wateren langs de Rijn. *De Levende Natuur* 115 (3): 90-95.

- Van Geest, G; A. de Niet & S Teurlincx (2011) Waterplanten langs de Nederlandse Rijntakken. Huidige waarden, Aanbevelingen voor inrichting, KRW-tool. Deltares rapport.
- Van Schie, J. (2009) Monitoring waterplanten vooroeverproject Lek 2008. Waterdienst Lelystad.
- Wolters, H. (2002) Onderzoek Ecologie Rivierengebied – Hydrologie. Rijkswaterstaat RIZA.