

# Geheimen van diepe plassen ontsluit

Diepe zandwinplassen zijn de laatste jaren steeds vaker in het nieuws in verband met het bergen van, met name, baggermateriaal. Deze lege vlekken in het landschap lijken een ideale oplossing voor het bergen van ongewenste bagger, waardoor tevens een ondiepe plas ontstaat met volop mogelijkheden voor begroeiing met waterplanten. Deze nieuwe plas zou een hogere natuurwaarde hebben dan de 'diepe dode bak', waarbij alleen waterplanten groeien aan de oevers. Maar is dit wel zo? Wat weten we eigenlijk van de huidige kwaliteit van de diepe plassen? Is deze wel zo slecht dat die met een verondieping zal verbeteren?

Laura Seelen, John Bruinsma, Thea Huijsmans & Lisette de Senerpont Domis

## Aanleiding

In de provincie Noord-Brabant liggen, verspreid over de gehele provincie, 146 diepe zandwinputten. Deze diepe putten zijn sinds begin 20<sup>e</sup> eeuw gegraven om het zand te kunnen gebruiken voor de ophoging van (snel)wegen, bouwterreinen enz., waarbij ze vaak achterbleven als 'lege' vlekken in het landschap, zonder eindbestemming. Tijdens de werkzaamheden vulden deze diepe zandwinputten zich met diep en ondiep grondwater en regenwater. Vaak gelegen in dicht bevolkte gebieden, bieden de diepe plassen niet alleen ontspanning als zwemplas, visstek of duikplas, maar vervullen ze een belangrijke rol in de (water)natuurbeleving van een groot deel van de Nederlandse bevolking. Momenteel zijn deze diepe putten (> 6 m) met enige regelmaat in beeld voor andere gebruiksmogelijkheden, zoals waterberging en verondieping (Osté et al., 2010). Bij een verondieping wordt materiaal, zoals bagger, gebruikt om de plas minder diep te maken waarbij als argument wordt aangevoerd dat met een dergelijke ingreep de ecologische kwaliteit van de plas verbetert. In de huidige Kader Richtlijn Water (KRW) monitoring worden - vanwege hun vaak kleine oppervlak- de meeste diepe plassen buiten beschouwing gelaten, wat resulteert in een vaak onregelmatige, of zelfs helemaal geen, bemonstering, waardoor er weinig informatie is over de ecologische kwaliteit van deze plassen. In het geval van de officiële aangewezen diepe zwemwater-

ren vindt er hooguit een chemische en bacteriologische bemonstering plaats. Daarnaast zijn de meeste plassen relatief klein en geïsoleerd, afgesloten van andere oppervlaktewateren en soms zelfs in privé bezit. De fysisch-chemische en ecologische waterkwaliteit is hierdoor vaak onbekend. In dit artikel beschrijven we de belangrijkste bevindingen voortkomende uit het

'Diepe plassen project' van de Provincie Noord-Brabant en het Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW). Door de ondergedoken waterplantensoortensamenstelling te bekijken en te koppelen aan enkele stuurfactoren testen we de hypothese of diepe plassen de dode en lege wateren zijn, zoals ze vaak worden omschreven. Voor de eerste keer wordt zo

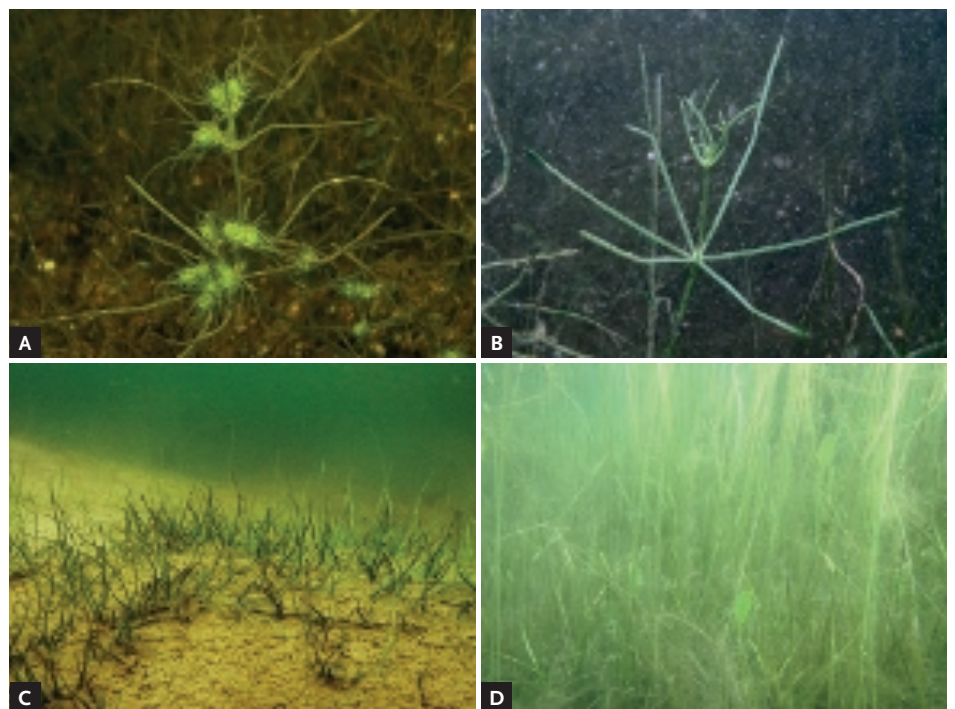


Foto 1. Enkele gevonden macrofyten (Rode Lijst soorten): A. *Tolypella prolifera*, B. *Nitellopsis obtusa*, C. *Pilularia globulifera*, D. *Luronium natans* (foto's A-C: van de Weyer & Schmidt, 2011; D: John Bruinsma).

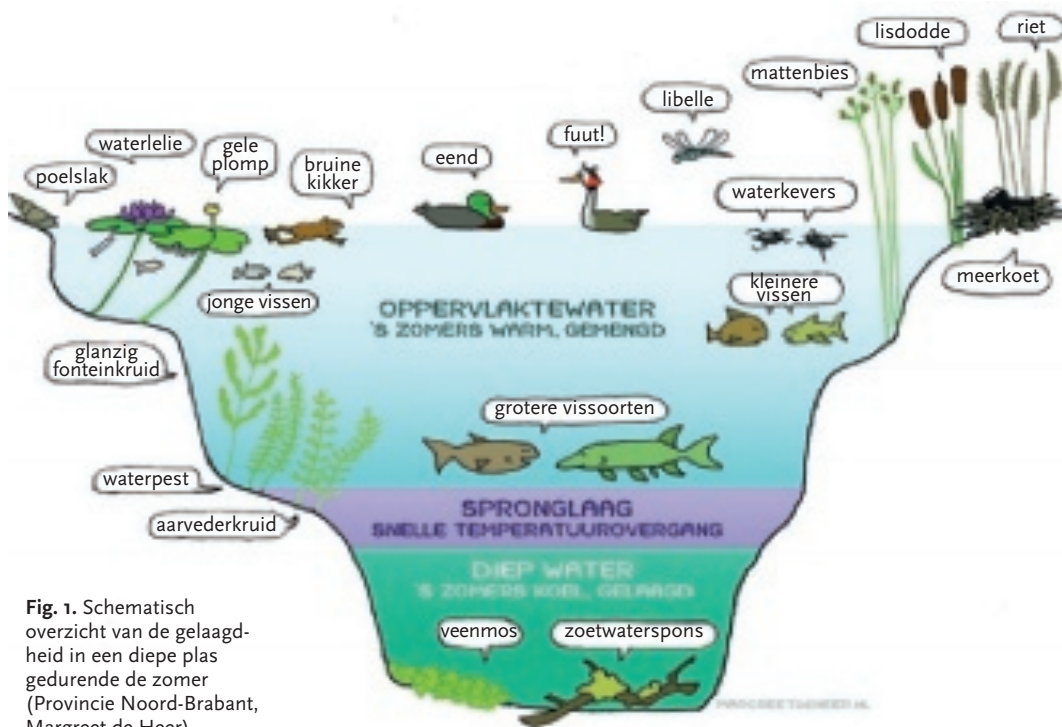


Fig. 1. Schematisch overzicht van de gelaagdheid in een diepe plas gedurende de zomer (Provincie Noord-Brabant, Margreet de Heer).

op grote ruimtelijke schaal inzicht verkregen in het functioneren van diepe plassen (kader 1).

### Aanpak

Om de natuurwaarden van diepe plassen te bepalen zijn in de zomer van 2014 en 2015 51 van de in totaal 146 in Noord-Brabant gelegen diepe zandwinplassen bemonsterd. Deze selectie is vastgesteld door op basis van bestaande kennis van onder meer geologische ondergrond, pleistocene ondergrond, connectiviteit en kwel- of infiltratiegebied, de plassen te clusteren (Yang, 1993). Uit de resulterende zes clusters zijn willekeurig acht tot negen plassen per cluster gekozen voor veldbezoek. Met behulp van een sonar is een dieptekaart gemaakt waarna fysische en chemische parameters, zoals nutriënten en pH, zijn bepaald in de waterbodem en in een mengmonster van de gehele waterkolom. Hiernaast zijn van verschillende biologische groepen abundantie en soorten bepaald: van algen, zoöplankton, en met behulp van scubaduiken, van de ondergedoken waterplanten (macrofyten). Van deze laatste groep presenteren we hier de resultaten om de waarde van diepe plassen in Noord-Brabant aan te tonen.

### Bevindingen biodiversiteit

De biodiversiteit van een ecosysteem is op verschillende manieren te beschrijven.

Door naar de soortenrijkdom van ondergedoken macrofyten per diepe plas te kijken (alfa diversiteit) is een eerste inschatting te maken van de diversiteit per plas. Door hierna de beta diversiteit te bepalen, een maat voor het verschil aan soorten tussen de verschillende diepe plassen, is te kwantificeren hoe uniek een gevonden macrofyten-vegetatie is in vergelijking met de andere diepe plassen (Whittaker, 1972). In totaal zijn 80 soorten macrofyten aangetroffen in de 51 bezochte Brabantse diepe plassen. Dit betreft enkel ondergedoken en drijvende waterplanten, waarbij de oevervegetatie niet wordt meegeteld. Van deze 80 soorten worden 19 soorten aangeduid op de Rode Lijst als vrij zeldzaam (z), zeldzaam (zz) en zeer zeldzaam (zzz) (foto 1) (NDF, 2018; Siebel et al., 2013; Sparrius et al., 2014). Voorbeelden uit deze lijst zijn groot boomglanswier (*Tolypella prolifera*: zzz), sterkranswier (*Nitellopsis obtusa*: zz), pilvaren (*Pilularia globulifera*: z) en drijvende waterweegbree (*Luronium natans*: z). In 31 van de 51 plassen zijn kranswieren aangetroffen, waarbij het zeldzame brokkelig kranswier (*Chara contraria* var. *contraria*: z) in maar liefst 12 plassen is gevonden. In twee plassen zijn zelfs vijf verschillende soorten kranswieren bij elkaar aangetroffen. Deze groep ondergedoken waterplanten duidt op een goede waterkwaliteit en is over het algemeen een doelsoort voor waterbeheer

### Kader 1.

## Hoe werken diepe plassen?

Diepe plassen ontstaan in het landschap doordat gegraven putten zich vullen met regen-, ondiep en/of diep grondwater. Ze onderscheiden zich van ondiepe plassen door het stabiel stratificeren van de waterkolom. Hierbij vormt zich door het jaar heen een temperatuur-gelaagdheid in het water (Osté et al., 2010; fig. 1). In de vroege zomer ontstaan er door de diepte drie waterlagen. De waterlaag aan de oppervlakte kan 3 tot 8 meter diep zijn en dit is tevens de laag waar het meeste leven te vinden is. Gemiddeld rond de 6 meter vinden we de spronglaag (of thermocline) waar het water plotseling veel kouder wordt. Het diepe water is koud, ongeveer 4-6 graden en er leeft minder dan in de bovenste laag. Het is donker(der) en soms is er niet genoeg zuurstof voor vissen. Echter, alles wat in het oppervlaktewater dood gaat, zakt naar beneden en wordt in deze diepe laag afgebroken door bacteriën. De mate van afbraak is afhankelijk van o.a. de zuurstofconcentratie, zuurgraad, temperatuur en substraatbeschikbaarheid. Naar mate het jaar vordert, koelt het water af en mengt de gehele waterkolom waardoor nutriënten gevangen in het diepe water, weer beschikbaar worden voor het gehele voedselweb.

in Nederland (NDF, 2018). Kranswieren worden, als pioniersoorten, vooral in de randmeren, laagveenplassen en duinpannen van Nederland gevonden. De diepe plassen bieden een extra biotoop voor Nederland voor deze gewenste kranswierenvegetaties, inclusief de zeldzame soorten.

In de plassen met een diverse macrofyten-gemeenschap lijkt er sprake te zijn van een zonering van soorten. Waar fonteinkruiden, aarvederkruid en smalle waterpest zijn aangetroffen tot een maximale diepte van 9,2 meter, kwamen de kranswieren vanaf de oever tot op een diepte van 16,8 meter voor. Binnen de kranswierenfamilie was er ook een duidelijke differentiatie te zien.

Legenda

● Diepe zandwinplassen

Aantal macrofytensoorten

- 0
- 2
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15

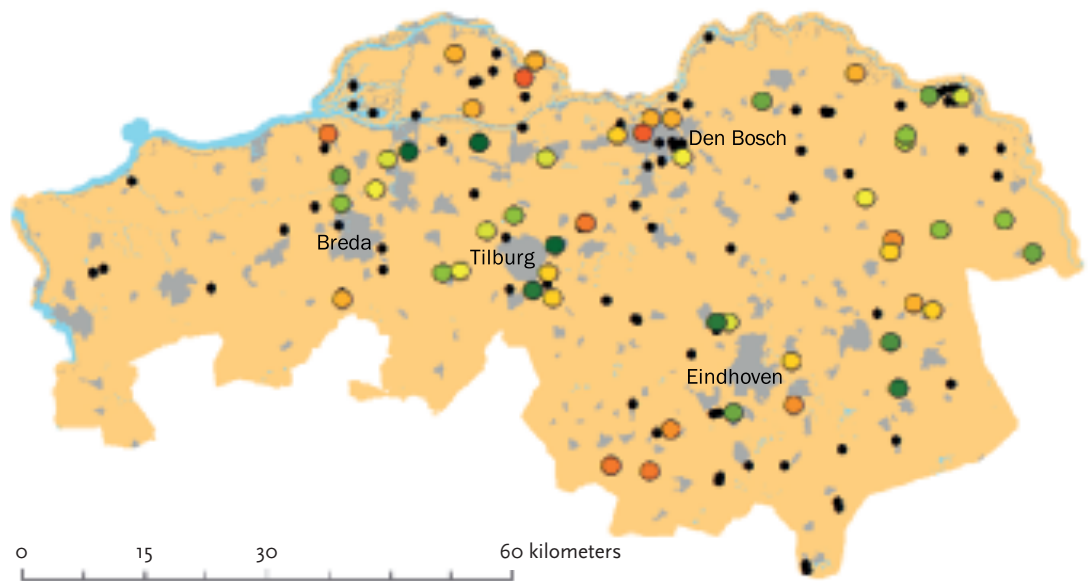


Fig. 2. Diepe zandwinplassen in Noord-Brabant (zwart) en soortenrijkdom onderwaterplanten in de bezochte diepe plassen voor het 'Diepe plassen project' Noord-Brabant (groen-rood).

Waar het genus *Chara* tot rond de 9 meter voorkwam, zijn tot 16,8 meter de glanswieren (*Nitella*) en sterkranswier (*Nitellopsis*) in hoge dichtheden gevonden.

Het totaal aantal soorten ondergedoken waterplanten aangetroffen per plas verschilt enorm en loopt van 0 tot 15 soorten per plas. We verwachtten dat dichtbij elkaar gelegen plassen vergelijkbare patronen in diversiteit zouden laten zien, en daarmee het omliggende landgebruik reflecteren. De hydrologische component die deze diversiteitspatronen zou kunnen verklaren valt buiten dit onderzoek, aangezien lokale grondwaterstromen, uitzonderingen nagelaten, niet bekend zijn voor deze plassen. We verwachten dat het landgebruik via grondwater een extra link zou kunnen hebben aangezien bijvoorbeeld jarenlange bemesting het grondwater kan verrijken waardoor er eutrofer water de plas bereikt. De achterliggende oorzaak blijft echter landgebruik. Het omliggende landgebruik lijkt niet alléén verantwoordelijk voor de diversiteitspatronen gevonden over Noord Brabant (fig. 2). Soortenrijke en soortenarme plassen kunnen vlak bij elkaar liggen. De specifieke functie die de plas vervult lijkt tevens een rol te spelen. Zo zijn er in visplassen, voornamelijk voor de karpervisserij, gemiddeld 7,1 macrofytensoorten gevonden, terwijl er in zwem- of natuurwateren, gemiddeld 9,3 macrofytensoorten zijn aangetroffen (Mann-Whitney U toets,  $p = 0,03$ ).

Het absoluut aantal gevonden macrofytensoorten per plas geeft echter niet veel

inzicht over het belang van individuele plassen voor de biodiversiteit van diepe plassen op grotere schaal. Zo kan een plas met 12 algemeen voorkomende macrofytensoorten minder betekenen voor de regionale biodiversiteit dan een plas met 6 zeldzame unieke macrofytensoorten. Om inzicht te krijgen in dit verschil is per plas de lokale contributie aan de regionale diversiteit berekend, de 'local contribution to beta diversity' (LCBD) score. Hierbij wordt de relatieve bijdrage per plas, ten opzichte van de totale ondergedoken macrofyten diversiteit over alle bezochte diepe plassen in Noord Brabant gerekend (fig. 3) (Legendre & De Cáceres, 2013). Een relatief lage LCBD score geeft aan dat een plas een algemeen voorkomende macrofytengemeenschap bevat. Een hoge score geeft daarentegen aan dat een plas minder vaak voorkomende of zelfs unieke macrofytensoorten herbergt. De plassen gelegen op de 'Naad van Brabant', het kwelgebied op de overgang van zand naar het rivierengebied, scoren relatief beter dan gemiddeld. We vinden hier meer macrofytensoorten per plas én de plassen scoren hoger op hun bijdrage aan de regionale biodiversiteit (fig. 2 & 3).

#### Relatie tot mogelijke stuurfactoren

Ter ondersteuning voor het bepalen van de ecologische kwaliteit van aquatische systemen zijn de ecologische sleutelfactoren (ESF) opgesteld (STOWA, 2014). Deze methodiek biedt een leidraad waar ecologi-

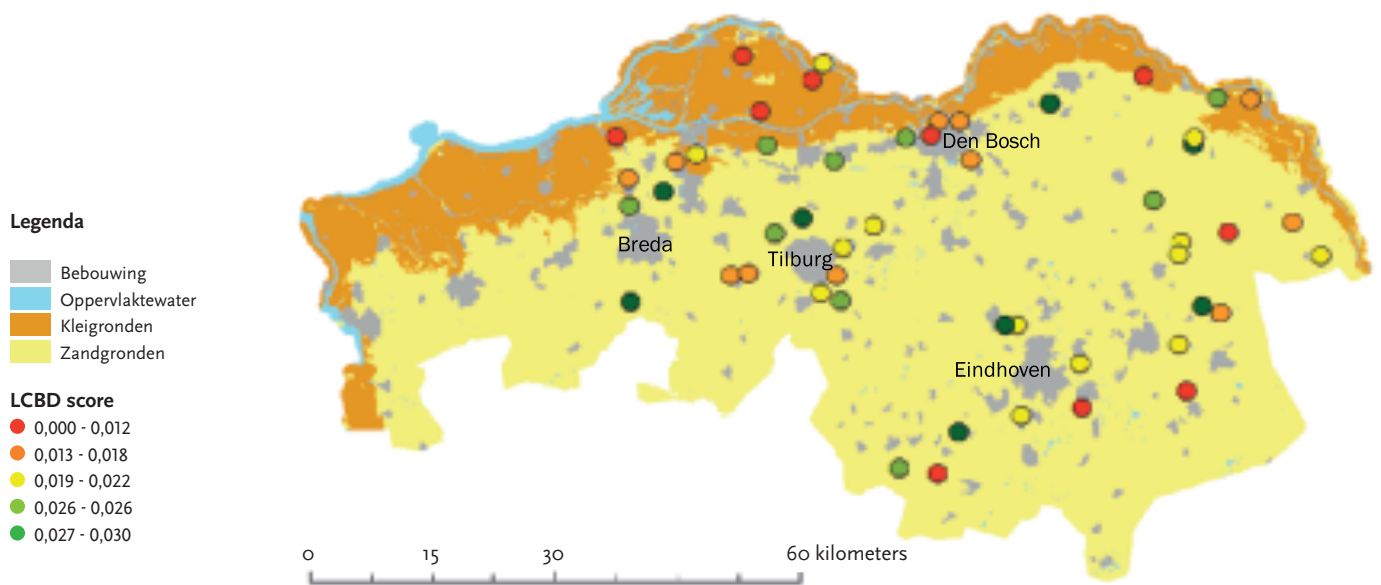
sche kennis aan kan worden gelegd. Het voorkomen van plantengroei is één van de belangrijkste parameters in de ESF methodiek, waarbij van de 9 ESFs, nummer 1 tot en met 6 direct gelieerd zijn aan het voorkomen van ondergedoken waterplanten en voor de gewenste soorten/soortengroepen. Het voorkomen van ondergedoken waterplanten hangt direct af van de voedselrijkdom in de waterkolom (ESF1), lichtklimaat (ESF2) en voedselrijkdom in de waterbodem (ESF3).

We hebben voor de gevonden ondergedoken macrofytendiversiteit in de diepe plassen een regressieanalyse uitgevoerd ten opzichte van verschillende factoren (ESF1-3). In de volgende paragrafen beperken we ons tot de meest significante factoren (voor een volledige analyse verwijzen we naar Seelen et al., 2019).

#### VOEDSELRIJKDOM

De voedselrijkdom van de plassen kan onder andere worden uitgedrukt in de hoeveelheid fosfaat gemeten in de waterkolom. Fosfaat is, samen met stikstof, het belangrijkste nutriënt voor de groei van macrofyten. Fosfaat bereikt aquatische systemen vanuit verschillende bronnen, zoals vogel(poep), ondiepe en diepe kwel, bijvoeren door vissers, uit -en afspoeling van omliggend land en bladval (van Gaalen et al., 2014). Over het algemeen zijn fosfaatarme, oligotrofe diepe of ondiepe, plassen erg zeldzaam in Nederland. Een fosfaatarme plas zal bij ontvangst van



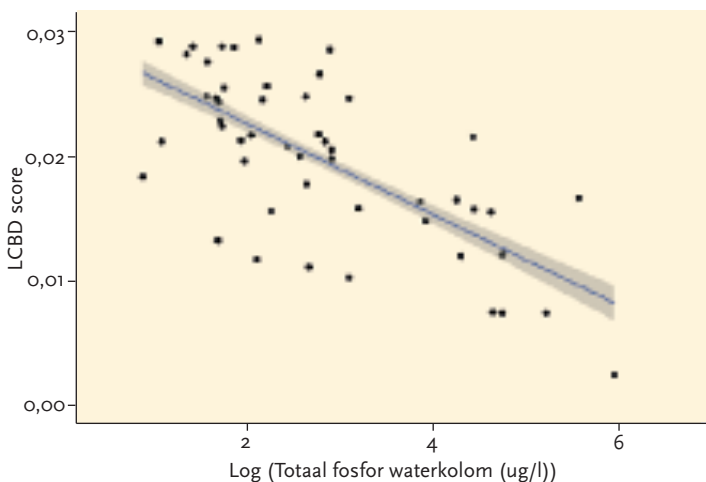


**Fig. 3.** Lokale contributie aan de regionale diversiteit (LCBD) berekend per diepe plas, een relatieve maat ten opzichte van de bezochte diepe plassen in Noord-Brabant, gelegen op verschillende ondergronden (klei en zand).

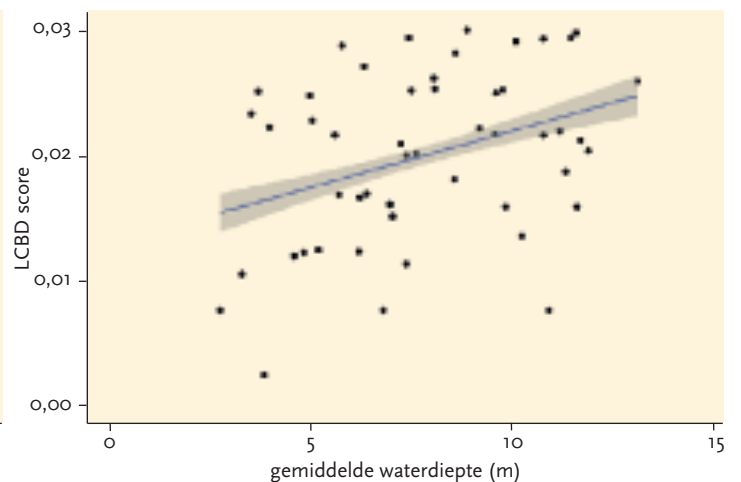
deze extra nutriënten eerst een weelderige plantengroei ontwikkelen. Naarmate de vermessing van het water doorgaat gaan enkele macrofytensoorten harder groeien totdat één of enkele soorten overheersen. Gaat de instroom van nutriënten door, dan kunnen algen extreem hard groeien en het water vertroebelen. Dit proces geldt niet alleen voor de ondiepe systemen, maar ook de diepe plassen in Nederland (Osté et al., 2010). Door lichtgebrek wordt dan groei van macrofyten onmogelijk. De Brabantse diepe plassen verschillen sterk in hun voedselrijkdom. Ze laten allemaal eenzelfde patroon zien: plassen met een hoge belasting aan nutriënten

(hoge concentratie totaal fosfaat) bevatten minder ondergedoken waterplantensoorten, die bovendien weinig uniek zijn (gekaracteriseerd door een lage LCBD-waarde). Plassen met een lagere fosfaatconcentratie in het water herbergen meer soorten en relatief zeldzame soorten (hogere LCBD-score) (fig. 4). In de hoog belaste plassen werd tevens een hogere algenbiomassa (de gemiddelde concentratie chlorofyl A in de waterkolom) aangetroffen, die gelinkt is aan het vinden van minder soorten en aantallen onderwaterplanten en dus een lage LCBD score (lineaire regressie,  $R^2 = 0,35$ ;  $p < 0,001$ ). Diepe plassen omringd door landbouwge-

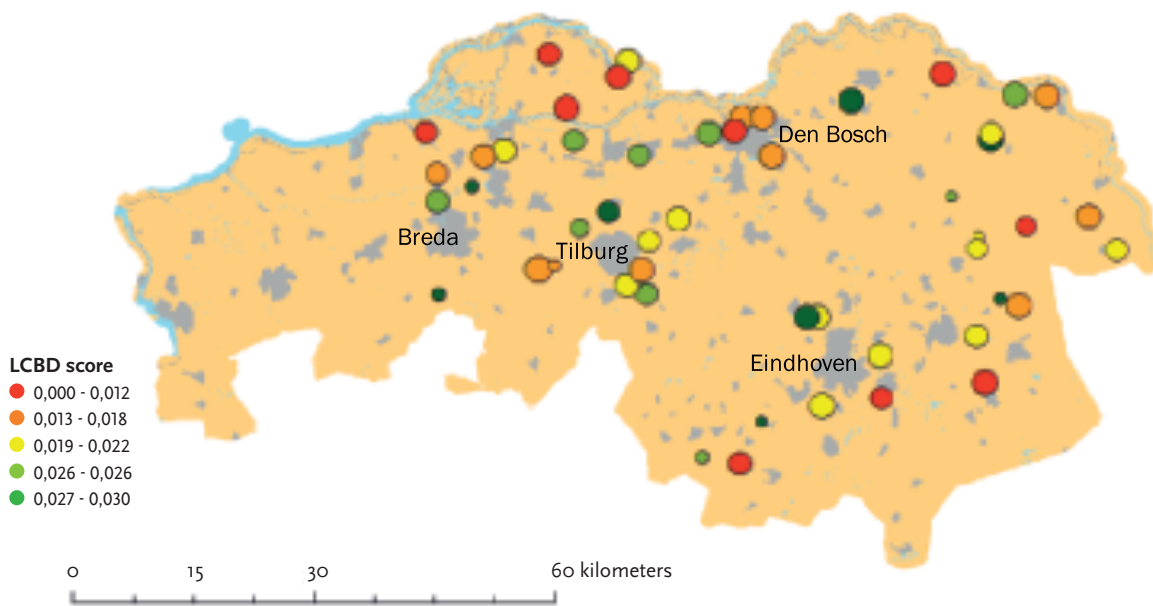
bieden, zoals de plassen in het riviergebied, bevatten hogere fosfaat én chlorofyl A-concentratie in de waterkolom, waardoor ze over het algemeen slechter scoren dan de zandwinplassen gelegen op de hogere zandgronden (fig. 3). Als gevolg van de externe fosfaatbelasting uit bijvoorbeeld kwelwater en uit- en afspoeling van omliggende landgebruik wordt er fosfaat opgeslagen in de waterbodem. Dit opgeslagen fosfaat kan jaren nadat de externe fosfaattoevoer is gereduceerd, nog fosfaat afgeven aan het water en zo de algengroei stimuleren. De fosfaatconcentratie gemeten in het sediment van de diepe plassen, genomen op het diepste



**Fig. 4.** Gemeten fosfaatconcentratie (in  $\mu\text{g/l}$ ) in de waterkolom in relatie tot de gevonden LCBD-score in de bezochte diepe plassen in Noord-Brabant (lineaire regressie  $R^2 = 0,5$ ,  $p < 0,001$ ).



**Fig. 5.** Gemiddelde waterdiepte van de bezochte diepe plassen in Noord-Brabant met bijbehorende LCBD-score per plas (getest d.m.v. lineaire regressie  $p < 0,001$ ).



**Fig. 6.** De zuurgraad (pH) en LCBD-score van de diepe plassen in Noord-Brabant. De grootte van de bollen geven de pH aan (van pH = 3,5 (zuur) tot pH = 9,2 (basisch)), de LCBD-score is weergegeven in kleur (rood = lage LCBD, groen = hoge LCBD). De relatie tussen zuurgraad en LCBD is statistisch significant ( $p < 0,001$ ). De zure en neutrale plassen (kleine bollen, LCBD groen) scoren over het algemeen beter dan de basische plassen (grote bollen).

punt in de plas, laat eenzelfde beeld zien: hoe hoger de fosfaatconcentratie in het porievocht, hoe minder de plas bijdraagt aan de totale beta diversiteit van alle diepe plassen (lineaire regressie  $p = 0,01$ ).

#### DIEPTE EN ZUURGRAAD

Wat de bezochte plassen expliciet anders maakt dan de overige wateren in Noord Brabant is hun grotere diepte. Deze diepte draagt significant bij aan de soortenrijkdom van de gevonden ondergedoken macrofyten. Hoe dieper een plas gemiddeld is, dus hoe groter de oppervlakte dat diep is, hoe groter de lokale bijdrage aan de regionale bèta diversiteit (fig. 5). Deze relatie is natuurlijk direct afhankelijk van het lichtklimaat in de plas. De bezochte diepe plassen zijn relatief helder met een gemiddelde Secchi diepte over alle plassen van 4,2 meter, met een minimum van 0,45 meter en een maximum van 8,4 meter. Dit grote doorzicht maakt het mogelijk voor ondergedoken macrofyten om de diepere delen van de plas te kunnen koloniseren. Een lage fosfaatbelasting, leidend tot een lage chlorofyl A concentratie en dus een hoge Secchi diepte, is bepalend voor de hoge maximale diepte van de plantengroei in diepe plassen.

Meestal wordt voor onderwaterplanten in Nederland een maximale diepte van 6 meter aangehouden (Altenburg et al., 2013). In onze dataset zitten al acht diepe plassen met een plantengroei op een diepte groter dan 10 meter! Van deze acht plassen zijn vijf plassen zuur (pH lager dan 5). De twee plassen met de diepste

plantengroei, respectievelijk 18,1 en 18,9 meter diep, zijn beide jong (afgegraven in respectievelijk 1975 en 1992) en zuur met een pH van 4,4.

In acht van de 51 bezochte diepe Brabantse plassen is een pH van rond de 4 aangetroffen. Hiermee lijken dit expliciet andere ecosystemen te zijn dan de overige plassen en herbergen deze plassen andere macrofytensoorten. In de zure plassen worden voornamelijk knolrus (*Juncus bulbosus*) en enkele mossen aangetroffen. Deze mossen, geoord veenmos (*Sphagnum denticulatum*), waterveenmos (*S. cuspidatum*) en vensikkelmos (*Warnstorfia fluitans*), zijn tot op grote diepte aangetroffen met een voorlopig maximum van 18,9 meter. De bedekking van deze mossen op deze diepte bedroeg 100%. Omdat het milieu waarin de macrofytensoorten in zure plassen voorkomt expliciet anders is dan de overige plassen, zijn deze soorten hierop gespecialiseerd. Daarom komen ze in de andere plassen weinig tot niet voor en dragen de zure plassen relatief veel bij aan de specifieke regionale biodiversiteit in diepe plassen. Dit wordt weerspiegeld door een hoge LCBD-score (fig. 6).

Knolrus, geoord veenmos, waterveenmos en vensikkelmos komen verder voor in de zure vennen in Nederland, maar zijn, bij ons weten, niet eerder tot op deze diepte aangetroffen.

#### Discussie en conclusies

In het kader van de Kader Richtlijn water moeten watermanagers in Nederland de oppervlaktewateren beoordelen op hun

ecologische kwaliteit. Tijdens het aanwijzen van de zogenaamde KRW waterlichamen zijn de diepe plassen geschaard onder de 'overige wateren'. Voor deze overige wateren zijn geen juridische eisen gesteld aan de waterkwaliteit in tegenstelling tot de KRW waterlichamen. Vanuit het integraal watersysteembeheer is de waterkwaliteit van overige wateren, zoals diepe plassen, echter wel belangrijk voor het gehele watersysteem. Het vergelijken van de ecologische waterkwaliteit over het gehele watersysteem eist een gelijke beoordeling voor alle betrokken wateren. Hiervoor zijn de maatlaten overige wateren – geen KRW waterlichamen opgesteld (Altenburg et al., 2013). Wij hebben op basis van de door ons gemeten parameters de diepe plassen, voor de eerste maal, beoordeeld op de maatlat waterplanten (biologische kwaliteit) en de volledige maatlat fysisch-chemische kwaliteit (fosfor, stikstof, doorzicht, zuurstof, temperatuur, pH, chloride). Hierbij doen de diepe wateren het vergelijken met de gepubliceerde kaart van Noord-Brabant goed, vaak zelfs beter dan het direct omliggende water. De lage gemeten fosfaatconcentratie in de waterkolom en bodem wordt waarschijnlijk veroorzaakt, doordat diepe plassen door hun grotere diepte relatief meer onder invloed van het diepere, schone grondwater staan. Het nutriënt-armere water in combinatie met de dieptegradiënt zorgt voor diverse leefomstandigheden, waardoor we een rijke plantengemeenschap aantreffen in diepe plassen.

Ons onderzoek heeft de geheimen die diepe plassen herbergen prijsgegeven: door een hoge biodiversiteit hebben de plassen een intrinsieke kwaliteit. De diepe plassen in Noord-Brabant zijn geen dode putten. In tegendeel: in de diepte kan zich een weelderig en divers biotoop vormen met zeldzame planten. Daarom moeten we voorzichtig zijn met het klakkeloos verondiepen van diepe plassen. Volgens de huidige wetgeving mag een verondieping alleen plaatsvinden als de ecologische kwaliteit van de plas hiermee wordt verbeterd. Er wordt echter nog niet gekeken naar de bestaande ecologie op diepte en enkele diepe parels zijn op deze manier al verdwenen. Er zijn diepe plassen van lage ecologische kwaliteit, zo ook in deze dataset (bijvoorbeeld de plassen met een lage LCBD). Deze plassen lijken een geschikte kandidaat tot verbetering van de kwaliteit door verondieping. Wij pleiten daarom voor het onderzoeken van de ecologische kwaliteit van de gehele plas, inclusief de diepe delen, bij een verondiepingaanvraag.

#### Literatuur

**Altenburg, W., G. Arts, J.G. Baretta-Bekker, M.S. van den Berg, T. van den Broek, R. Buskens, R. Bijkerk, H.C. Coops, H. van Dam, G. van Ee, C.H.M. Evers, R. Franken, B. Higler, T. Ietswaart, N. Jaarsma, D.J. de Jong, A.M.T. Joosten, M. Klinge, R.A.E. Knoben, J. Kranenbarg, W.M.G.M. van Loon, R. Noordhuis, R. Pot, F. Twisk, P.F.M. Verdonshot, H. Vlek, K. Wolfstein, H. Cuppen. J.J.G.M. Backx, M. Beers, A.D. Buijse, G. Duursema, M. Fagel, J. de Leeuw, J. van der Molen, R.C. Nijboer, T. Vriese, B. van Maanen, 2013.** Referenties en maatlatten voor overige wateren (geen KRW-waterlichamen). Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) rapportnummer 2013-14. ISBN 978.90.5773.609.4.

**Gaalen, F. van, A. Tiktak, R. Franken, E. van Boekel, P. van Puijenbroek & H. Muilwijk, 2014.** Waterkwaliteit nu en in de toekomst. Eindrapport ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water. Planbureau voor de Leefomgeving 1727.

**Legendre, P. & M. De Cáceres, 2013.** Beta diversity as the variance of community data: dissimilarity coefficients and partitioning. *Ecology Letters* 16: 951-963.

**NDDF, 2018.** Nationale Databank Flora en Fauna. Verspreidingsatlas Kranswieren. <https://www.verspreidingsatlas.nl/kranswieren> bezocht 25 april 2018.

**Osté, A., N. Jaarsma & F. van Oosterhout, 2010.** Een heldere kijk op diepe plassen (Kennisdocument diepe meren en plassen: ecologische systeemanalyse, diagnose en maatregelen) (B.J. van Weeren, red.). Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), Wageningen Universiteit/Stichting Nederlandse Onderwaterparken, Witteveen + Bos, RPS BCC Deventer. Rapportnummer 2010-38.

**Seelen, L.M.S., S. Teurlincx, M. Lürling, E. van Donk & L. de Senerpont Domis, 2019.** Unveiling biodiversity patterns in deep man-made lakes. In voorbereiding.

**Siebel, H.N., R.J. Bijlsma & L.B. Sparrius, 2013.** Basisrapport voor de Rode Lijst Mossen 2012. BLWG-rapport 14.

**Sparrius, L.B., B. Odé & R. Beringen, 2014.** Basisrapport voor de Rode Lijst Vaatplanten 2012. FLORON-rapport 57. FLORON, Nijmegen.

**STOWA, 2014.** Ecologische sleutelfactoren, Amersfoort, STOWA 2014-19.

**Weyer, K. van de & C. Schmidt, 2011.** Fachbeiträge des LUGV Heft Nr.120. Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen und Moose) in Deutschland. Band 2: Abbildungen. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Potsdam, Duitsland.

**Whittaker, R.H., 1972.** Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213-251.

**Yang, M.S., 1993.** A survey of fuzzy clustering. *Mathematical and computer modelling* 18 (11) 1-16.

#### Summary

**Unveiling the secrets of deep man-made lakes**  
Intense sand and gravel mining has created numerous man-made lakes around the world in the past century. These small lake systems (1-50 ha) are usually hydrologically isolated, often deep (6 – 40 meters) and stratified during summer and in cold winters. Our study area is located in the catchment area of the rivers Meuse and Rhine, in the southern part of the densely populated Netherlands, the province of Noord-Brabant. Due to their small size, these deep man-made lakes are usually not included in the regular monitoring campaigns, such as monitoring required for the European Water Framework Directive. Therefore, not much is known about their ecological functioning. During two summers, we measured the macrophyte diversity and a range of physio-chemical and biological parameters including pH and phosphate concentration in the water column in 51 deep man-made lakes. Comparing these deep lakes to the surrounding shallow water bodies, these deep systems add a good water quality and ecological quality

to the total landscape. Man-made lakes are often described as dead and empty underwater deserts, but our results show this is not always the case. To preserve the good quality waters, care should be taken when selecting deep man-made lakes for storing e.g. dredging material. We urge water managers to not only judge the quality of the deep man-made lakes by the biological quality of the surface water, but include deep water quality as a key parameter to determine their suitability for storing materials.

#### Dankwoord

Verschillende vrijwillige duikers hebben meegewerkt aan dit project; zonder hen was het niet mogelijk geweest om de onderwaterplanten in diepe plassen in kaart te brengen. Specifiek willen wij René Grabijn bedanken voor zijn enthousiaste bijdrage onder water. Tevens danken wij Dennis Waasdorp, Erik Reichman, Nico Helmsing en Suzanne Wiezer voor hun ondersteuning bij het veldwerk en analyses in het laboratorium en Sven Teurlincx voor zijn onmisbare hulp bij het bepalen van de LCBD.

L.M.S. Seelen Msc  
Afdeling Aquatische Ecologie, Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW)  
Droevendaalsesteeg 10  
6708 PB Wageningen.  
Afdeling Aquatische Ecologie en Water Kwaliteit Management, WUR  
Droevendaalsesteeg 3a  
6708 PB Wageningen  
l.seelen@nioo.knaw.nl

J.H.P. Bruinsma  
macrofyten-expert  
Thorbeckelaan 24  
5694 CR Breugel  
jhpbruinsma@gmail.com

T. M.F. Huijsmans  
Provincie Noord-Brabant  
Brabantlaan 1  
5216 TV 's Hertogenbosch  
thuijsmans@brabant.nl

Dr. L.N. de Senerpont Domis  
Afdeling Aquatische Ecologie, Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW)  
Droevendaalsesteeg 10  
6708 PB Wageningen  
Afdeling Aquatische Ecologie en Water Kwaliteit Management, WUR  
Droevendaalsesteeg 3a  
6708 PB Wageningen  
l.desenerpontdomis@nioo.knaw.nl