Ecologische watersysteemanalyse: Waterbalans geeft inzicht

Jeroen Mandemakers (Witteveen en Bos), Miriam Collombon (STOWA/Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard), Maarten Ouboter (Waternet/waterschap Amstel, Gooi en Vecht), Michelle Talsma (STOWA)

Waterschappen voeren watersysteemanalyses uit om inzicht te krijgen in de ecologische waterkwaliteit en om maatregelen te definiëren ter verbetering van de waterkwaliteit. Inzicht in de water- en stofstromen is essentieel voor een juiste diagnose én om de effectiviteit van maatregelen te kwantificeren. Via STOWA is de Rekentool Waterbalans beschikbaar gesteld. In dit artikel wordt geïllustreerd wat de toepassing van deze Waterbalans aan inzicht in de water- en stofstromen kan opleveren, ook wanneer er nauwelijks meetgegevens beschikbaar zijn, en hoe dit helpt bij de ecologische watersysteemanalyse.

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) heeft een inventarisatie uitgevoerd naar de kennisbehoefte bij de Nederlandse waterbeheerders met betrekking tot de relaties tussen hydrologie, waterkwaliteit en ecologie [1]. Waterbeheerders spreken de behoefte uit aan inzicht in de werking van watersystemen, zowel in het hydrologisch functioneren als in de invloed hiervan op de ecologie. Als knelpunt wordt echter benoemd dat er onvoldoende data zijn om watersysteemanalyses uit te kunnen voeren.
Voor het uitvoeren van een ecologische watersysteemanalyse gebruiken de waterbeheerders steeds vaker de door STOWA ontwikkelde methodiek van Ecologische Sleutelfactoren (ESF) [2], [3]. In de ESF-methodiek ligt veel nadruk op de hydrologie van het watersysteem. In de 'handleiding voor de toepassing van de Ecologische Sleutelfactoren in de praktijk' wordt het opstellen van een waterbalans als eerste stap genoemd. Bij praktisch alle sleutelfactoren is er wel een relatie met de hydrologie van het watersysteem (zie kader). Sinds enige tijd is via de website van STOWA de 'rekentool Waterbalans' beschikbaar [4]. Dit artikel laat zien dat deze rekentool gebruikt kan worden om inzicht te krijgen in de water- en stofstromen, ook als er weinig meetgegevens voorhanden zijn.

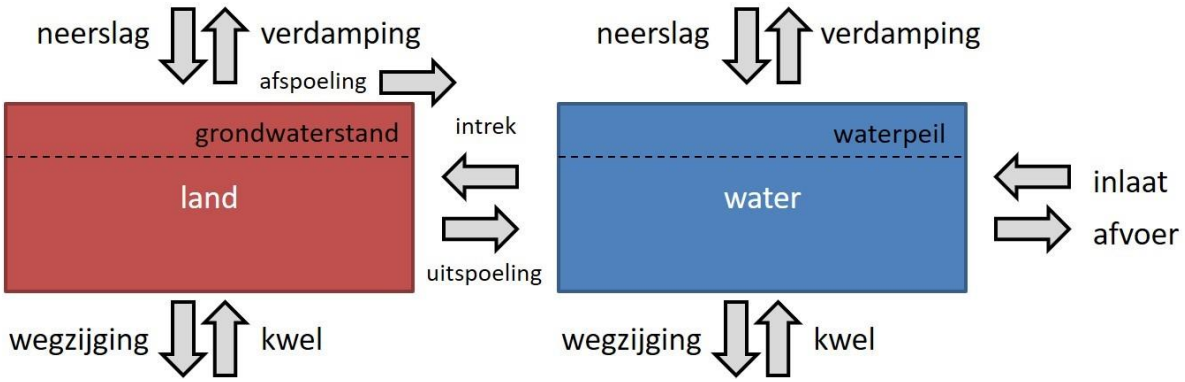
Plaats van de hydrologie bij de Ecologische Sleutelfactoren

In de door STOWA ontwikkelde ESF-methodiek wordt de ecologische toestand beschouwd in relatie tot het complete watersysteem [3]. De hydrologie speelt daarbij een belangrijke rol: in wezen kan geen van de ecologische sleutelfactoren los gezien worden van de hydrologische omstandigheden.
Bij de uitwerking van ESF 1 voor stilstaande wateren ('productiviteit van het water') worden de ingaande water- en stofstromen in beeld gebracht omdat deze sterk bepalend zijn voor de ecosysteemtoestand: zijn er ondergedoken waterplanten of veel algen te verwachten?
Maar ook bij praktisch alle andere sleutelfactoren is er wel een relatie met de hydrologie. In 'transportgestuurde systemen' (watersystemen met een zeer korte verblijftijd) wordt de helderheid van het water sterk bepaald door de helderheid van de ingaande waterstromen. Voor de analyse van het lichtklimaat (ESF 2) is het dan nodig om de helderheid van én de mengverhouding tussen alle ingaande waterstromen te weten. De habitatgeschiktheid (ESF 4) is onder meer afhankelijk van de peildynamiek, de stromingssnelheid en de specifieke waterkwaliteit van alle ingaande waterstromen. Voor de verspreidingsmogelijkheden van organismen via het water (ESF 5) is het belangrijk om de

stromingsrichting van het water en alle hydrologische begrenzingen en obstakels in de vorm van bijvoorbeeld kunstwerken in beeld te hebben.
Bij de opzet van de ecologische sleutelfactoren voor stromende wateren komt de hydrologie heel nadrukkelijk naar voren bij de ESF's afvoerdynamiek, grondwater, stagnatie en belasting [5]. De afvoer- en stroomsnelheid op verschillende momenten zijn bepalend voor de vorming van het substraat en voor de aanwezigheid van stromingminnende organismen. De mate van grondwatervoeding en de aanwezigheid van andere waterstromen is van grote invloed op de afvoerdynamiek én op de waterkwaliteit. Het optreden van stagnatie, bijvoorbeeld door stuwing, geeft ruimte aan processen, zoals opwarming, zuurstofloosheid en sterke ontwikkeling van ondergedoken waterplanten. Feitelijk staat hydrologie (water- en stofstromen, verblijftijd, dynamiek, mengverhoudingen) aan de basis van al deze sleutelfactoren.
Kenmerkend voor de ESF-methodiek is het werken 'van grof naar fijn'. Dat wil zeggen dat niet direct alle metingen en modellen uit de kast worden gehaald, maar dat begonnen wordt met een 'quick scan' om een eerste impressie van het watersysteem te vormen. In de volgende stap, de 'globale analyse', wordt al iets verder ingezoomd op de ESF's. Het opstellen van een eerste (grove) waterbalans aan het begin van deze stap levert inzicht op voor de analyse van alle sleutelfactoren.

De waterbalans: een bakjesmodel

De waterbalans is een eenvoudig bakjesmodel, waarin het watervolume wordt bijgehouden van water (het oppervlaktewatervolume) en land (het grondwatervolume) (zie afbeelding 1). Op basis van enkele basale gegevens wordt de balans bijgehouden: het oppervlak open water en het landoppervlak, de dagelijkse neerslag en verdamping en (indien relevant) de mate van kwel of wegzijging. Op basis van deze gegevens wordt het watervolume en -peil van land en water per dag bijgehouden. De waterbalans berekent vervolgens hoeveel water uitspoelt (van het land- naar het waterbakje), of intrekt (andersom; van het water- naar het landbakje). Wanneer het waterpeil in het waterbakje boven een opgegeven maximaal peil uit dreigt te stijgen, berekent de waterbalans hoeveel uitlaat nodig is om het maximumpeil te behouden. En, wanneer het oppervlaktewaterpeil onder het minimumpeil dreigt te zakken, hoeveel water moet worden ingelaten om het minimumpeil vast te houden. Het principe van het bakjesmodel als waterbalans is vertaald in een rekentool in een Excelbestand, de 'Waterbalans'.



Afbeelding 1. schematische weergave van de balansbakjes en de waterstromen in een waterbalans [6]

Illustratie van een eenvoudige waterbalans

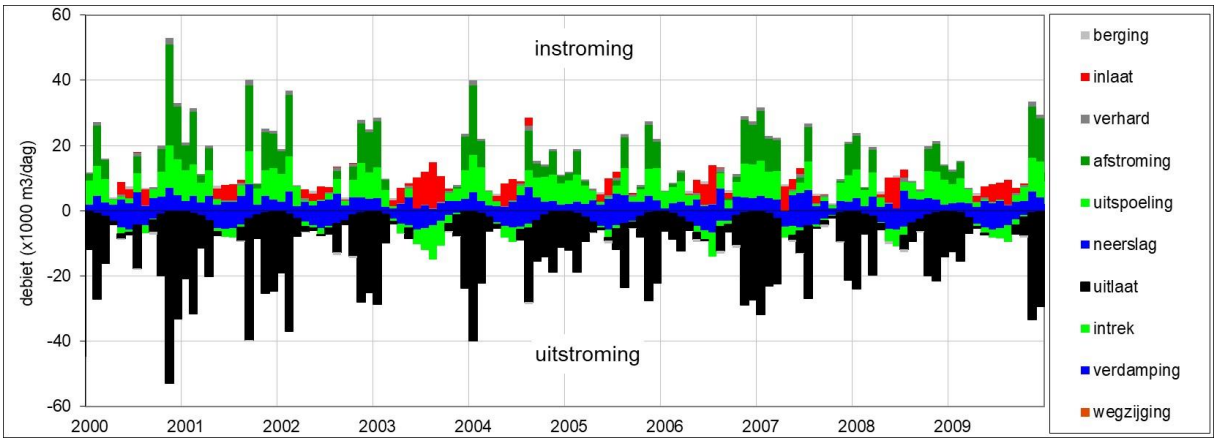
Als voorbeeld is de Waterbalans gebruikt in een ecologische watersysteemanalyse van een veenweidegebied in het noordwesten van de provincie Utrecht [7]. In dit voorbeeld wordt geïllustreerd welke resultaten een waterbalans kan opleveren wanneer enkel de meest basale gegevens beschikbaar zijn, en wat dit vertelt over het watersysteem. Vergelijking met meetgegevens levert controle en een meerwaarde in de systeemanalyse. De getoonde afbeeldingen zijn standaardgrafieken uit de Waterbalans.

Op basis van een watersysteemkaart van het waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV) is de gebiedsbegrenzing van de polder vastgesteld en zijn het land- en wateroppervlak bepaald op respectievelijk 850 en 120 ha. De gebiedsbegrenzing is een belangrijke stap bij het opstellen van de balans. Het totale oppervlak is immers bepalend voor de volumes van wateroverschot en watertekort die via het watersysteem moeten worden af- en aangevoerd. In het voorbeeld bestaat 12 procent van het gebied uit open water; in dit geval langgerekte sloten van wisselende breedte. Het aandeel open water is een belangrijke parameter: hoe minder open water er is, des te groter is de oppervlaktespecifieke belasting van water en nutriënten op het oppervlaktewatersysteem.

De waterbalans wordt ‘gevoed’ met makkelijk toegankelijke informatie van neerslag en verdamping. Hiervoor is gebruik gemaakt van de dagelijkse neerslag die gemeten is op het KNMI-neerslagstation Abcoude en van de referentiegewasverdamping van KNMI-weerstation Schiphol (meetwaarden van 1996 t/m 2018).

In de waterbalans wordt de referentiegewasverdamping gebruikt voor de verdamping vanuit het landbakje en, na een standaardcorrectie, ook voor de verdamping vanuit het open water. In de meest oostelijke zone van de polder vindt kwel plaats, maar verder naar het westen is er sprake van wegzijging. Op basis van een regionaal grondwatermodel is een schatting gemaakt van de kwel- en wegzijgingsflux. In de waterbalans is de kwel en wegzijging als een constante waarde opgegeven. De gevoeligheid van het model voor deze parameter kan gemakkelijk onderzocht worden door deze waarde te veranderen en het effect op de waterbalansresultaten te bekijken. Dit geeft gevoel bij het belang van deze parameter.

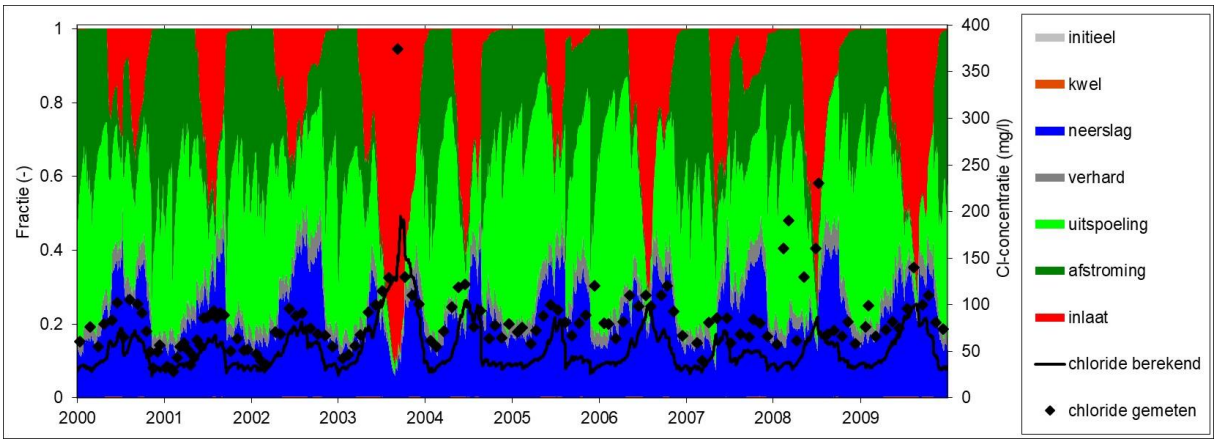
De polder heeft een vast peil. In de waterbalans is dit peil overgenomen, met enkele centimeters marge. Binnen deze beperkte marge mag het oppervlaktewaterpeil fluctueren. Afbeelding 2 geeft de berekende in- en uitstroming weer van het watersysteem. In de winter zijn uitspoeling en afstroming vanuit het landbakje de dominante ingaande waterstromen (de licht- en donkergroene balkjes) en berekent de waterbalans veel uitlaat de polder uit (de zwarte balkjes). In de meeste zomermaanden is er nauwelijks uitspoeling vanuit de percelen naar het oppervlaktewater. In de zomers is de waterstroming vaak juist in omgekeerde richting: het water uit de sloten trekt dan de percelen in om het waterverlies vanwege het neerslagtekort en de wegzijging te compenseren. Om het oppervlaktewater op peil te houden moet op die momenten veel (gebiedsvreemd)water worden ingelaten (de rode balkjes in afbeelding 2).



Afbeelding 2. Grafiek uit de Waterbalans met de berekende in- en uitgaande waterstromen van het waterbakje per maand, hier getoond voor de jaren 2000 tot en met 2009

De grafiek met in- en uitstroming laat zien dat de instroming op het oppervlaktewater in de wintermaanden doorgaans veel hoger is dan in de zomermaanden. Hierdoor is de verblijftijd in de zomer langer dan in de winter. De verblijftijd is een belangrijke factor voor de toestand van het ecosysteem van de poldersloten. Bij korte verblijftijd kunnen sommige soorten algen of kroos niet tot ontwikkeling komen. In deze polder is de verblijftijd in het groeiseizoen lang genoeg voor de ontwikkeling van deze soorten (ca. 60 dagen bij een instroming van 10.000 m^3/d).

In erg droge zomers, zoals bijvoorbeeld in 2003, kan het oppervlaktewater van de polder bovendien vrijwel geheel uit inlaatwater bestaan. Dit is duidelijk te zien in de fractieverdeling (afbeelding 3). De fractieverdeling toont de mengverhouding van de verschillende ingaande waterstromen in het totale volume van het waterbakje op een bepaald moment. In de winter bestaat het oppervlaktewater vrijwel volledig uit 'gebiedseigen water' (neerslag, uitspoeling en afstroming) maar in de zomer kan het aandeel gebiedsvreemd inlaatwater sterk toenemen. De kwaliteit van het inlaatwater is dan ook van grote invloed op de ontwikkeling van het aquatische ecosysteem. In de Waterbalans kan eenvoudig de externe fosforbelasting berekend worden. Hiertoe wordt de fosforconcentratie (constante waarde) per ingaande waterstroom opgegeven. De fosforbelasting is samen met de verblijftijd bepalend voor de ecosysteemtoestand.



Afbeelding 3. Fractieverdeling van alle ingaande waterstromen en de berekende en gemeten chlorideconcentratie voor een polder in veenweidegebied. De extreem droge zomer van 2003 valt op door een groot aandeel inlaatwater en een hoge chlorideconcentratie

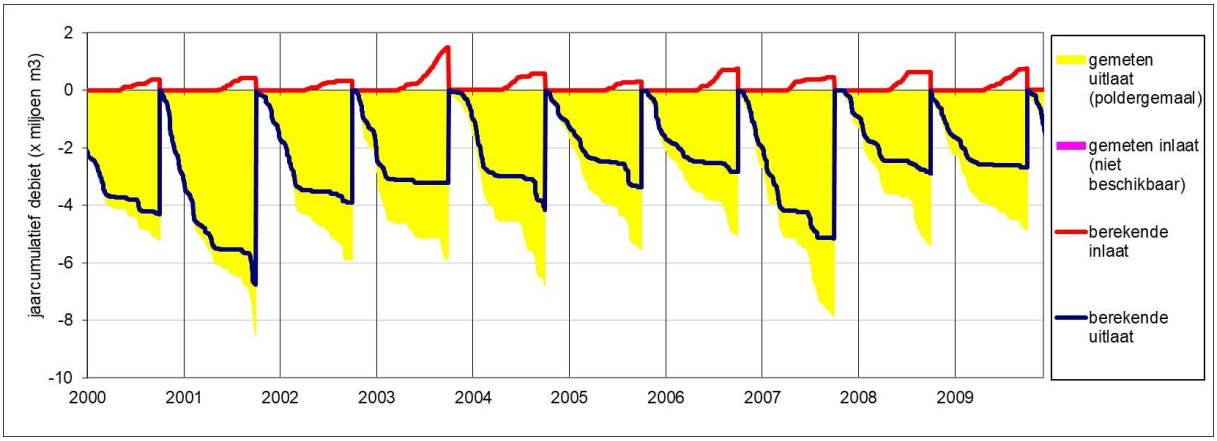
Het is belangrijk te benadrukken dat de waterbalansresultaten uit afbeelding 2 en 3 zijn verkregen op basis van makkelijk toegankelijke gegevens, zoals de meteorologie, de geometrie van het gebied en de ligging in het landschap (het blijkt zeer waardevol om na te moeten denken over de begrenzing van een gebied). Dit geeft een goed eerste beeld van de analyserelevante eigenschappen van het watersysteem.

Meetgegevens zijn vervolgens wél van belang: de waterbalans wordt gecontroleerd met beschikbare metingen van de uit- of inlaat, van het waterpeil en/of van de chlorideconcentratie.

In de Waterbalans wordt een chloridebalans van het oppervlaktewater bijgehouden. Voor een goede berekening is het nodig dat de gebruiker een inschatting maakt van de concentraties van alle ingaande waterstromen. De berekende chlorideconcentratie wordt als zwarte lijn afgebeeld in de figuur die ook de fractieverdeling weergeeft; de gemeten concentratie wordt met punten aangegeven (afbeelding 3). In het voorbeeld is te zien dat de berekende concentratie structureel onder de meetwaarden ligt. De meetwaarden liggen grofweg tussen de 50 en 150 mg Cl/l, terwijl de berekende concentratie doorgaans tussen de 30 en 100 mg Cl/l ligt. Alleen het boezemwater bevat hier een chlorideconcentratie van meer dan 100 mg Cl/l. Deze controle op basis van chloride suggereert dat er meer boezemwater wordt ingelaten dan de door de waterbalans berekende waarde.

Het vermoeden van een grotere inlaat van boezemwater wordt beaamd door de watersysteembeheerder, die aangeeft dat er veel particuliere inlaten zijn waardoor er vaak meer water wordt ingelaten dan strikt nodig zou zijn voor het peilbeheer. Dit wordt ook bevestigd door de gemeten afvoer via het poldergemaal (afbeelding 4). Bij deze controle wordt de berekende afvoer (de blauwe lijn; cumulatief per jaar) vergeleken met de gemeten afvoer (het gele vlak, eveneens cumulatief per jaar).

De gemeten afvoer blijkt in deze polder structureel groter te zijn dan de berekende afvoer. Het water dat is uitgemalen moet ergens vandaan komen. Samen met de aanwijzingen uit de chloridebalans en de gebiedskennis van de watersysteembeheerder lijkt het optreden van extra inlaat, in feite van 'doorspoeling', aannemelijk.



Afbeelding 4. Controle van de waterbalans aan de hand van de gemeten uitlaat. Er zijn in dit voorbeeld geen metingen beschikbaar van de inlaat. Die kan dus niet gecontroleerd worden

Door de controle op basis van metingen en de toetsing aan de praktijk is het waterbalansmodel verder aangescherpt. De verblijftijd en de externe fosforbelasting kan nu opnieuw bepaald worden. Daarmee wordt het effect van doorspoeling op beide factoren, en dus op de ecologie, inzichtelijk gemaakt.

Meerwaarde van de Waterbalans

Om het ecologisch functioneren van een watersysteem te doorgronden is het heel belangrijk om de hydrologie jaarrond én van verschillende 'weerjaren' in beeld te brengen. Dit is een groot verschil met hydrologische studies die vaak gefocust zijn op wateroverlast. In die studies wordt met een ruimtelijk model als Sobek ingezoomd op situaties met veel neerslag. Deze modellen zijn vaak niet goed bruikbaar voor een jaarrondmodellering, eenvoudigweg omdat de focus vaak ligt op een andere tijdschaal. Voor de ecologische toestand is echter zowel een natte periode relevant (doordat dan veel nutriënten kunnen uitspoelen) als een droge (waarin weinig uitspoeling optreedt, maar water wordt ingelaten). De kwaliteit van het inlaatwater kan veel invloed hebben op de ecologische toestand. Een extreem droge zomer, waarin veel water wordt ingelaten voor peilhandhaving, kan leiden tot een omslag in het water van helder naar troebel. Dat is gebeurd in de Loenderveense Plas na de extreem droge zomer van 1976 [7]. Het is dus belangrijk om niet alleen het hele jaar in de balans mee te nemen, maar ook meerdere jaren. In de rekentool kan een historische meteorologische reeks worden ingevoerd voor de periode 1996 tot en met 2018.

De Waterbalans bevat geen ruimtelijke component: al het oppervlaktewater wordt samengevoegd tot één waterbakje. Hierdoor zijn er veel minder gegevens nodig dan voor een ruimtelijk model en worden er veel minder resultaten gegenereerd, waardoor de analyse niet meteen heel complex wordt.

Voor sommige watersystemen is overduidelijk dat de hydrologie ruimtelijk verschilt. Bijvoorbeeld in polders, waar de sloten pal achter de inlaat hydrologisch heel anders functioneren dan de haarvaten of de afvoerende watergangen richting het poldergemaal. Bovenstaand voorbeeld laat echter zien dat het bakjesmodel wel degelijk inzicht geeft voor de eerste onderzoekcyclus van de systeemanalyse. In de eerste onderzoekcyclus kan het bakjesmodel al gebruikt worden om met zeer weinig data de belangrijkste waterstromen te modelleren. Door in een latere onderzoekcyclus meer data toe te voegen wordt de informatie die de waterbalans oplevert aangescherpt. In de waterbalans worden extra metingen niet gebruikt om de waterbalans te 'voeden', maar om de balans te controleren en de aannames over het functioneren van een gebied aan te scherpen. De waterbalans kan gecontroleerd worden op basis van de gemeten in- en uitlaat, het gemeten waterpeil of de gemeten chlorideconcentratie. De vergelijking tussen de berekende en gemeten waarden dwingt tot kritisch nadenken over het model én de metingen. Een kritische beschouwing over metingen kan ook nog leiden tot het aanpassen van meetmethoden of het scherper formuleren van meetwensen.

Tot slot is de confrontatie tussen het model en de beheerpraktijk een cruciale stap. Zoals bovenstaande illustratie laat zien helpt het opstellen van een waterbalans om (in het veld) de juiste vragen te stellen. Hiermee kan de kennis uit de praktijk optimaal benut worden in de systeemanalyse.

De Rekentool Waterbalans

STOWA wil het toepassen van een waterbalans stimuleren en faciliteert daarom het gebruik van de door Waternet ontwikkelde Rekentool Waterbalans. Om de Rekentool Waterbalans toegankelijk te maken is in opdracht van de STOWA een e-learningmodule ontwikkeld, 'Waterstromen in beeld', waarmee kennisgemaakt wordt met de principes van een bakjesmodel en met de rekentool. Een greep uit de reacties van gebruikers van de e-learning:

- "Voor een combinatie van hydrologen en ecologen interessant."
- "Met weinig informatie toch een eerste grove analyse."
- "Leuk en helder verhaal. Vooral geschikt voor de niet-kwantiteitsmensen binnen het waterschap om snel een idee te krijgen wat een balans inhoudt. Maar het risico is wel dat het werk van de hydroloog onderschat wordt ('oh is het zo simpel wat jullie doen?`)."
- "Ik wil zelf met de Excel-tool werken!"

In aanvulling op de e-learningmodule is een uitbreide handleiding opgesteld om zelf met de rekentool te kunnen werken [6]. Bovendien is de rekentool (het Excelbestand) voorzien van informatievelden om het gebruik gemakkelijker te maken. De Rekentool Waterbalans, de e-learningmodule en de handleiding zijn te vinden op de website van STOWA: https://www.stowa.nl/waterbalans. STOWA hoopt dat het principe van de waterbalans en de beschikbare rekentool helpen bij het uitvoeren van een goede ecologische watersysteemanalyse.

Dankwoord

De auteurs danken Maarten Ouboter voor het beschikbaar stellen van de Rekentool aan STOWA.

Referenties

1. STOWA (2017). *Inventarisatie kennisbehoefte waterkwaliteit. De rol en toepassing van watersysteemanalyses bij de Nederlandse waterbeheerders*. STOWA rapportnummer 2017-17.
2: STOWA (2015). *Ecologische Sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie. Toepassing van de Ecologische Sleutelfactoren in de praktijk*. STOWA rapportnummer 2015-17.
3. STOWA (2015). *Ecologische Sleutelfactoren voor stromende wateren. Een methodiek in ontwikkeling*. STOWA rapportnummer 2015-w06.
4. https://www.stowa.nl/waterbalans
5. Schep, S.A. & Verbeek, S.K. (2018). Ecologische Sleutelfactoren. Handvatten voor aquatische systeemanalyses. *Landschap* 2018/1.
6. STOWA (2018). *Waterstromen in beeld. Handleiding bij de Excelrekentool Waterbalans*. STOWA rapportnummer 2018-74.
7. Ouboter, M. & Mandemakers, J. (2017). *Water- en stoffenbalansen Groot Wilnis-Vinkeveen en Wilnis-Veldzijde*. Waternet en Witteveen+Bos, september 2017.
8: Schep, S. (2018). *Wat kunnen we leren van de droogte van 1976 in relatie tot de gevolgen van klimaatverandering? Casus Loenderveense Plas*. Presentatie op de WEW-themadag van 6 november 2018. Online: http://www.wew.nu/algemeen/2018thema2/20181106_Presentatie2_SebastiaanSchep.pdf