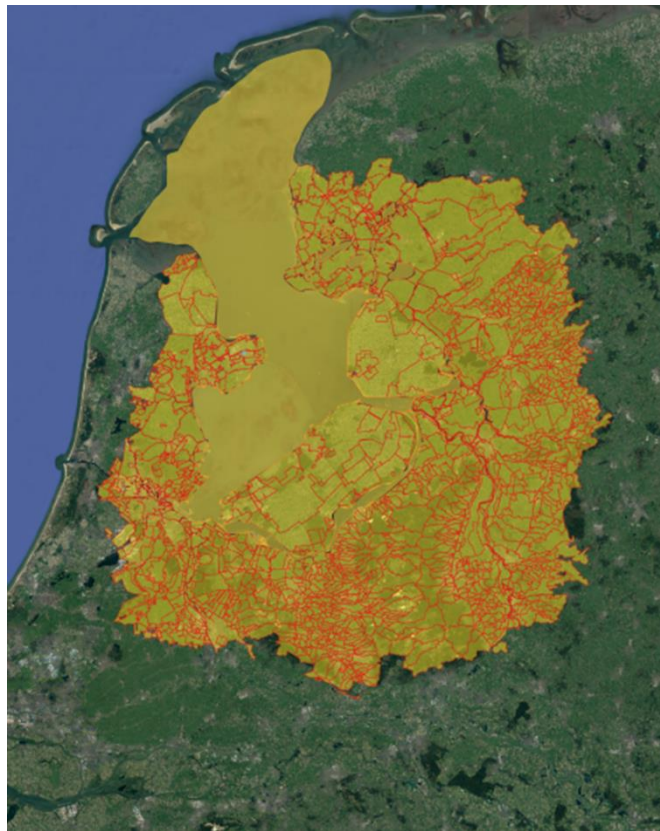


# **NOTITIE**

---

Systemanalyse van het IJsselmeergebied;  
Verkenning van de water- en stoffenstromen in het  
IJsselmeergebied voor de toepassing in een systemanalyse

---



Mariëlle van Riel, Ralf Verdonschot & Piet Verdonschot

**Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research**

September 2021

---

**Auteurs**

Auteur(s) Mariëlle van Riel, Ralf Verdonschot en Piet Verdonschot  
(correspondentie: [marielle.vanriel@wur.nl](mailto:marielle.vanriel@wur.nl))

**Opdrachtgever**

Ministerie van LNV; contactpersoon Leen Kool

**Wijze van citeren**

Van Riel, M.C., R.C.M. Verdonschot, en P.F.M. Verdonschot (2021). Systeemanalyse van het IJsselmeergebied; Verkenning van de water- en stoffenstromen in het IJsselmeergebied voor de toepassing in een systeemanalyse. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen 32 pp.

**Trefwoorden**

ecologisch functioneren, stroomgebiedsbrede ecologische systeemanalyse, definiëren meren ecosysteem, waterbalans, stofstromen

**Beeldmateriaal**

Mariëlle van Riel

DOI: 10.18174/555265

ISBN: 978-94-6395-816-5

*Dit project is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.*

© 2021 Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



# Inhoud

1	Inleiding en doel	2
1.1	Achtergrond	2
1.2	Doelen en producten	2
1.3	Inleiding	3
2	Aanpak en resultaten	6
2.1	Uitgangspunten	6
2.1.1	Structuur aanbrengen in factoren en schalen	6
2.1.2	Zoeken naar samenhang met een ecologische systeemanalyse (SESA)	7
2.2	Aanpak	9
2.2.1	Inleiding	9
2.2.2	Invullen van het SESA model: Waterstromen en hydrologie	9
2.2.3	Fasering	10
2.2.4	Informatie verzamelen	10
2.2.5	Opstellen van deelbalansen	10
3	Resultaten	11
3.1	Basisprocessen en uitwisselpunten	11
3.2	Waterbalansgebied Markermeer-IJmeer	13
3.2.1	Waterbalansgebied IJsselmeer	14
3.2.2	Waterbalans Randmeren	15
3.3	Integratie van waterstromen voor het IJsselmeergebied	16
3.4	Stoffenstromen in het IJsselmeergebied	21
3.5	Stoffenanalyse IJsselmeergebied in SESA	23
4	Conclusies en aanbevelingen	24
5	Referenties	26
	Bijlage 1	28
	Bijlage 2	30
	Bijlage 3	32

# 1 Inleiding en doel

## 1.1 Achtergrond

Het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) heeft vragen gesteld over het functioneren van het IJsselmeergebied en is vooral benieuwd naar de bestaande kennis over het huidige functioneren van het ecosysteem en de richting waarin dit gebied zich gaat ontwikkelen. Er wordt bewust gesproken over het IJsselmeergebied en niet over het IJsselmeer om de landschapsschaal van het systeem waarbinnen het IJsselmeer ligt te duiden. De individuele meren in het IJsselmeergebied zijn geen geïsoleerde eenheden maar staan in verbinding met elkaar en met het omringende land. Daarnaast zijn veel planten en dieren afhankelijk van de land-water interactie of hebben land en water nodig om voor te kunnen komen. Lange tijd zijn water en land apart van elkaar beschouwd en is te weinig aandacht geweest voor de overgangen en interacties tussen water en land.

Om te begrijpen hoe het systeem werkt, is het nodig de uitwisselingen op kleine en grote schaal van water, stoffen en organismen te kennen (bijvoorbeeld waterbalans, vogeltrek). Hiervoor is het belangrijk om te weten hoe abiotische en biologische elementen in het systeem samenhangen en welke interacties bestaan tussen milieuvariabelen, organismen en organismen onderling. Een 5-S model geeft een overzicht van deze invloeden en interacties. Het 5S-model is een methode om milieufactoren en -processen en daaruit afgeleide stressoren en effecten op het ecologische functioneren van een ecosysteem gestructureerd te analyseren aan de hand van data van vijf groepen sleutelfactoren: Systeemvoorwaarden, Stroming, Structuren, Stoffen en Soorten. Het specifiek invullen en kwantificeren van de samenhang tussen de elementen in het 5-S model geeft inzicht in het functioneren van het ecosysteem. Op de langere termijn kan met deze informatie verkend worden wat de effecten van geplande maatregelen en gebiedsontwikkelingen zijn op de ecologische draagkracht.

SESA geeft een ruimtelijke invulling aan het 5-S model, specifiek voor het ecosysteem waarvoor het opgesteld is. In SESA wordt het ecosysteem als verzameling deelgebiedjes beschouwd met ieder een eigen aanvoer en afvoer van water, stoffen en organismen. Per deelgebiedje worden de elementen die van belang zijn voor het ecologisch functioneren van het betreffende ecosysteem ingevuld. Doordat de deelgebiedjes met elkaar verbonden zijn, beïnvloeden deelgebieden elkaar via de uitwisseling van abiotische en biotische elementen. De doorwerking hiervan beïnvloedt uiteindelijk het hele ecosysteem. SESA geeft een ruimtelijk beeld van het ecologisch functioneren en geeft zo ook indicaties van waar in het ecosysteem zich stressoren bevinden. Omdat verbonden gebiedjes via deze doorwerking uiteindelijk de ecologie van de meren beïnvloeden, zou voor een SESA aanpak idealiter voor ieder verbonden gebied informatie over de parameters uit het 5-S model ingevuld moeten worden. Aan de andere kant maakt het opstellen van een SESA ook duidelijk waar de witte vlekken zitten in de nu beschikbare kennis voor het ecosysteem, en waar waardevolle investeringskansen liggen om de kennis van het IJsselmeergebied te verbeteren.

In 2019 is een verkennende analyse gemaakt naar het ecosysteembreed ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied met behulp van het 5-S model (Van Riel *et al.* 2020). Als eerste stap is verkend hoe op basis van de sleutelfactoren in het 5S-model het ecosysteem IJsselmeergebied bepaald kan worden. Welke gebieden beïnvloeden de functionele sleutelfactoren in het IJsselmeer en kunnen daardoor tot het ecosysteem IJsselmeergebied gerekend worden? Vervolgens is verkend welke informatiebronnen bestaan om een stroomgebiedsbrede ecologische systeemanalyse (SESA) voor het IJsselmeergebied op te kunnen stellen voor een data-gebaseerde analyse naar het ecologisch functioneren van het ecosysteem IJsselmeergebied. Voor 2020 is besloten om de onderdelen hydrologie en stoffen voor een SESA verder uit te werken op basis van bestaande data.

## 1.2 Doelen en producten

Het overkoepelende doel is het ontwikkelen van een conceptueel model voor het functioneren van het ecosysteem van het IJsselmeergebied. Het doel voor 2020 is om de water- en stoffenbalansen en -stromen in het IJsselmeergebied uit te werken door beschikbare data te verzamelen die input leveren aan een systeemanalyse van het IJsselmeergebied op landschapsschaal. Hiervoor verkennen we welke informatie essentieel is, en welke kennis beschikbaar is voor het uitvoeren van een systeemanalyse naar de

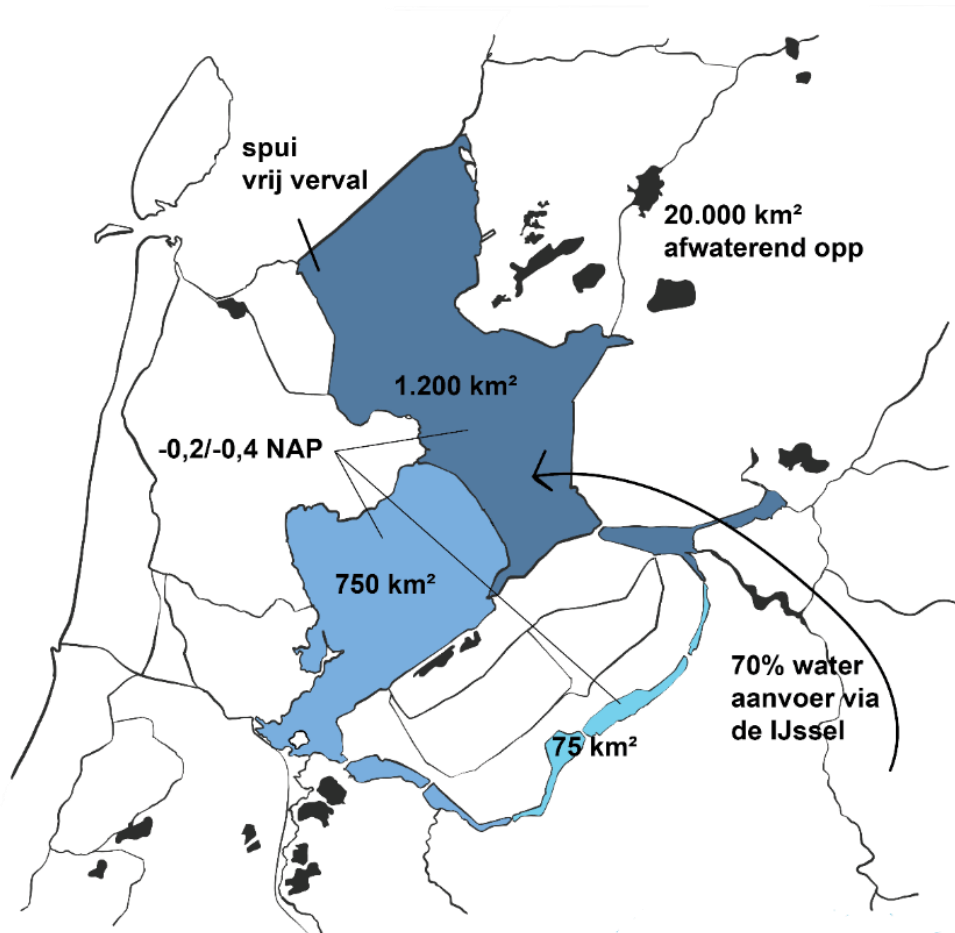
ecologische samenhang en het functioneren van de wateren in het IJsselmeergebied en hun terrestrische omgeving als complex geheel. In 2019 is een verkennende analyse uitgevoerd naar de hoofdwater- en stofstromen en zijn de contouren voor de processen in het ecosysteem IJsselmeer beschreven.

### 1.3 Inleiding

Op dit moment worden de gestelde natuurbeleidsdoelen voor het IJsselmeergebied nog niet gehaald. Verklaringen voor het niet behalen van de natuurdoelen worden gezocht in onvoldoende kwaliteit van voedsel, rust, ruimte, habitat, leefgebied en verstoringen door externe oorzaken. Daarom zijn er veel initiatieven ontplooid om het IJsselmeergebied te verbeteren. Actuele maatregelpakketten voor het IJsselmeergebied zijn beschreven in de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW, Rijkswaterstaat 2019), de Uitvoerings- Kennis- en Innovatieagenda (UKA, Ministerie van I&W 2018), de agenda IJsselmeergebied 2050 en de ontwikkelingsvisie 2030 voor de verschillende meren in het gebied (Ministerie van I&M 2017a-d). De focus van de maatregelpakketten ligt voornamelijk op het voldoen aan de Europese wetgevingen; Natura 2000 (Ministerie van LNV 2009, van Rijn *et al.* 2010, Rijkswaterstaat en Ministerie van I&M 2017a-c, Platteeuw *et al.* 2018) en KaderRichtlijn Water (Van Luijn en Rijdsdijk 2006). De Agenda IJsselmeergebied 2050 neemt de kaders voor waterveiligheid en zoetwatervoorziening uit het Deltaprogramma over. De voorgenomen maatregelen zullen worden afgestemd op de kwaliteiten en functies van het gebied en gecombineerd met maatregelen ten behoeve van natuurherstel en natuurontwikkeling. Negatieve effecten worden beperkt. Het doel is het realiseren van een toekomstbestendig water- en ecosysteem (TBES). Oorspronkelijk richtte het TBES initiatief zich op het gericht ontwerpen van maatregelen om bij het verminderde voedselaanbod en de huidige draagkracht van het natuurlijke systeem een optimale watervogelstand te realiseren (ANT, Noordhuis *et al.* 2014). In de Agenda voor het IJsselmeergebied 2050, worden drie hoofdzaken voor TBES genoemd: het borgen van waterveiligheid, duurzaam gebruik van het IJsselmeergebied als strategische zoetwater- en drinkwatervoorraad, en een robuust ecosysteem in balans met waterbeheer en gebruiksfuncties (UKA, Ministerie van I&W 2018).

Hoewel voor ieder meer in het IJsselmeergebied specifieke doelen vastgesteld zijn, kunnen ze niet beschouwd worden als afzonderlijk functionerende eenheden. Er bestaat een grote samenhang tussen de wateren en het omringende land. De twee grote en enkele kleinere meren in het gebied staan met elkaar in verbinding en worden vooral gevoed door neerslag en water uit de rivieren IJssel en Eem die in het gebied uitmonden (Figuur 1). Daarnaast mondt een aantal beken uit in de meren en wateren er diverse gemalen op af. Hoewel het gebied een grote natuurwaarde heeft, is het systeem hydromorfologisch zeer kunstmatig. De meren zijn ingedijkt en hebben een vastgelegd, tegennatuurlijk waterpeil met hoog water in de zomer (-0.2m NAP) en laag water in de winter (-0.4m NAP). Sinds 2018 is een meer flexibel peilbesluit aangenomen. Bandbreedtes voor het zomer- en winterpeil zijn geïntroduceerd voor de verschillende compartimenten, waardoor het zomerpeil mag variëren tussen -0.3m en 0.05m NAP, en het winterpeil tussen -0.4m en 0.05m NAP (Min I&W, 2018). In de grootste meren ontbreken ondiepe zones en geleidelijke land-water overgangen met begroeide oevers.

Het IJsselmeergebied fungeert naast natuurgebied ook als vis- vaar-, en recreatiewater. Verder wordt er water onttrokken voor drinkwaterproductie en vindt toe- en afvoer van water naar de omgeving plaats. Het IJsselmeergebied is een belangrijke schakel in de afvoer van de Rijn via de IJssel naar de zee en tevens een groot voorraadvat van zoet water. Kortom, het watersysteem bevat veel dynamische verbindingen. Het gebied is van oorsprong een estuarium en is sinds 1936 door de voltooiing van de Afsluitdijk afgesloten van de invloed van de zee. Tegenwoordig worden de meren als zoetwatermeren geïnclassificeerd. De bodem bevat echter nog altijd karakteristieke marien sediment. De combinatie met de zoete waterlaag resulteert in afwijkende sedimentatie- en biogeochemische processen (van den Berg 2014, Saaltink 2018). Het resultaat van alle menselijk en natuurlijke omstandigheden hebben geleid tot een ecosysteem dat grotendeels in een pioniersstadium van ecologische ontwikkeling is blijven hangen (Van Riel *et al.* 2019), waar ecologische processen en successie worden geremd. Het ecosysteem heeft geen stabiliserende 'buffer' ontwikkeld, waardoor veranderingen (milieudynamiek) en stressoren een grote en directe invloed op het ecosysteem hebben. Dit effect is direct terug te zien in het verstoorde voedselweb en de lage productiviteit van het IJsselmeergebied.



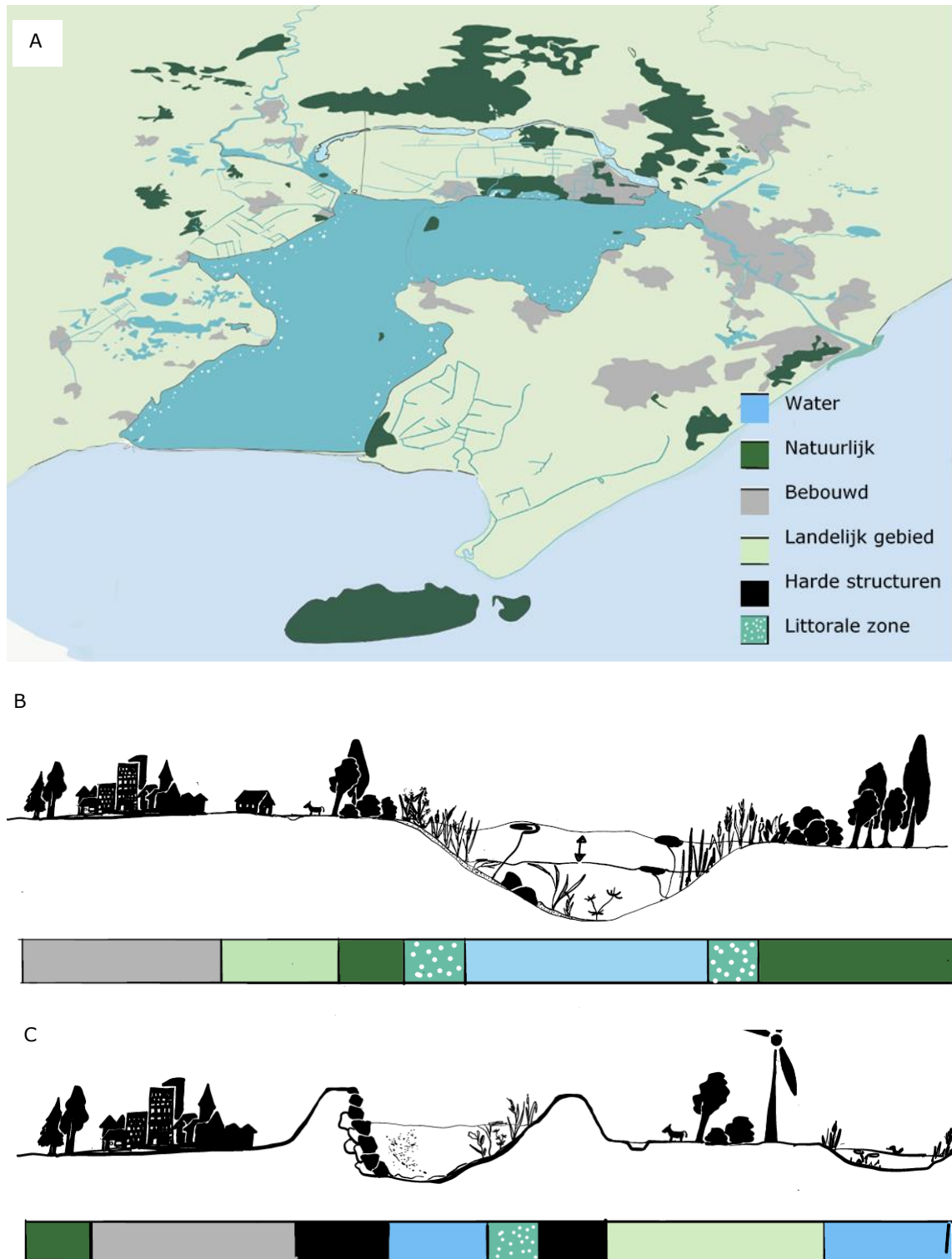
**Figuur 1:** De drie water-compartimenten van het IJsselmeergebied: Het noordelijke compartiment, i.e. IJsselmeer, Ketelmeer en Zwarte water (donkerblauw), het zuidwestelijke compartiment, i.e. Markermeer, IJmeer, Gooimeer en Eemmeer (midden Blauw), en het compartiment met de Veluwe Randmeren (lichtblauw).

Het verstoord ecologisch functioneren van het watersysteem van het IJsselmeergebied, vooral als habitat en foerageergebied, raakt direct aan het achterblijven van de gewenste ontwikkeling van Natura 2000-doelsoorten.

Door de interacties tussen de verschillende wateren inclusief hun omgeving kunnen de wateren en natuurdoelen in het gebied bijna niet als afzonderlijke eenheden beschouwd worden. Ook de gemeenschappelijke ecologische uitdagingen vragen om een integrale visie. Er is daarom een ecologische systeemanalyse op schaal van het gehele IJsselmeergebied noodzakelijk om vooruitgang te kunnen boeken. In deze studie wordt verkend hoe een Stroomgebiedsbrede Ecologische SysteemAnalyse (SESA) bij kan dragen aan kennis over het functioneren van het IJsselmeergebied als ecosysteem en aan oplossingsrichtingen om een robuust en duurzaam functionerend systeem te bereiken.

De vragen die als onderbouwing dienen van de PAGW-maatregelen gaan over hoe het ecosysteem in samenhang kan gaan functioneren. Welke (grootschalige) maatregelen zijn er nodig en welke kleinschalige maatregelen hebben daarnaast veel impact? Tegelijkertijd zou er nu al een onderbouwing beschikbaar moeten zijn omdat sommige PAGW-maatregelen al worden uitgevoerd. Een SESA kan desalniettemin een bijdrage leveren aan de benodigde onderbouwing en aan het in beeld brengen van het effect van de geprogrammeerde maatregelen op systeemniveau. De eerste stap is het beschrijven van water- en stofstromen naar en van het IJsselmeergebied. In 2019 is verkend welke hoofd water- en stofstromen van en naar het IJsselmeergebied lopen en welke hoofd factoren en -processen het ecologisch functioneren van de meren in het IJsselmeergebied beïnvloeden. Deze hoofd factoren zijn vervolgens ruimtelijk in kaart gebracht om te kunnen bepalen welke gebieden in een SESA

IJsselmeergebied opgenomen moeten worden; de systeembegrenzing van het IJsselmeergebied (Figuur 2a).



**Figuur 2:** Ruimtelijk beeld van de verschillende zones zoals die in het ecosysteem IJsselmeergebied voorkomen (A) en een schematische weergave van het landschappelijk verloop van een ecosysteem van een natuurlijk zoetwatermeer (B) ten opzichte van het huidige ecosysteem van het IJsselmeergebied (C). De kleuren in de kleurenbalk corresponderen met de kleurencode in van de landschappelijke weergave.



Onder natuurlijke omstandigheden wordt de aquatische zone van meren omringd door moerassen en overstromingsvlakten die een gradiënt vormen van water naar land (Figuur 2b). Het aquatische gedeelte van het systeem kan dus niet los gezien worden van de omringende semi-terrestrische zones, omdat uitwisseling tussen de verschillende ecologische zones essentieel is voor het functioneren van het meer. De variatie aan habitats die voorkomt langs de natuurlijke gradiënten en de uitwisseling van materiaal en organismen tussen de verschillende zones vormen de basis van een ecologisch kwalitatief goed functionerend meer-ecosysteem. In het IJsselmeergebied bleek deze ecologische zonering grotendeels versnipperd of niet aanwezig te zijn (Figuur 2a, c). De ecologische zones staan niet op een natuurlijke manier met elkaar in verbinding, land-water gradiënten zijn afwezig en de natuurlijke verhoudingen tussen biotopen zijn verstoord. Een voorbeeld hiervan is het relatief kleine areaal litorale zone en overstromingsgebied in relatie tot het areaal pelagische zone.

In 2020 zijn de water- en stofstromen van, naar, en binnen het IJsselmeergebied nader verkend. Daarbij is gekeken wat nodig is om de water- en stoffenstromen te kwantificeren met de nu beschikbare informatie over water en stoffenconcentraties in het IJsselmeergebied en de verbindingen van de meren met andere gebieden. Een goed beeld van de water- en stoffenstromen in het gebied maakt het mogelijk om de biologische respons op de stromen specifiek en completer te beschrijven.

## **2 Aanpak en resultaten**

### **2.1 Uitgangspunten**

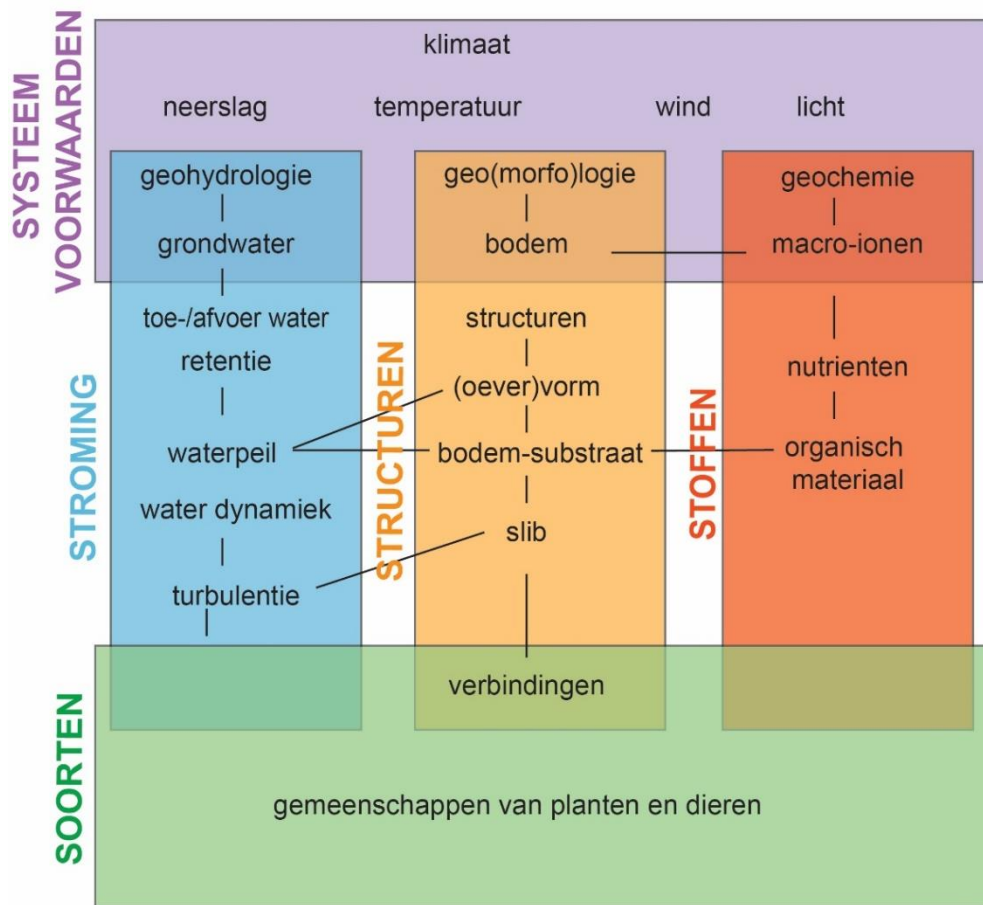
#### **2.1.1 Structuur aanbrengen in factoren en schalen**

Voor stromende wateren is een conceptueel model ontwikkeld waarmee structuur gebracht kan worden in de veelvoud aan factoren die een rol spelen in ecosystemen, bepalend zijn voor het ecologisch functioneren en aangeeft waar de stuurknoppen zitten voor de ecologie (5-S-model; Verdonshot 2009). Het model onderscheidt vijf groepen factoren: Systeemvoorwaarden, Stroming, Structuren, Stoffen en Soorten. De werking van en interactie tussen deze vijf factorgroepen en de factoren en processen daarbinnen over schalen in ruimte en tijd bepalen het functioneren van het ecosysteem. De kracht van het model is dat het zich niet beperkt tot het waterlichaam, maar een analyse geeft voor het ecologisch functioneren van het hele stroomgebied.

Met wat aanpassingen is het 5-S-model geschikt gemaakt voor meerecosystemen, zodat het kan worden toegepast om het functioneren van het IJsselmeergebied te analyseren (Figuur 3). Naast het onderwatergedeelte van het meer (onderwater kolom en onderwaterbodem) worden ook de litorale zone (oeverzone), moeras (overstromingszone), en aangrenzende terrestrische zone (omgeving) in de analyse opgenomen. Het 5-S-model werkt met verschillende ruimtelijke en tijdsschalen, van groot (stroomgebied, landschap) naar lokaal (habitat) en van kort (dagen) tot lang (decennia). Tussen de schalen in ruimte en tijd bestaan top-down dominantieverhoudingen en bottom-up terugkoppelingen. Door de ecologische sleutel-, stress- en stuurfactoren uit het model op de juiste schaalniveaus aan elkaar te koppelen en te integreren in de SESA ontstaat een integrale benadering waarin het complete land-water ecosysteem wordt meegenomen en dus niet alleen het meer zelf. Deze benadering vormt de basis voor doelgerichte maatregelen.

De hydrologie speelt, als belangrijkste groep van factoren, een grote rol op verschillende schaalniveaus; Op de grovere ruimtelijk en temporeel schaal speelt de regionale grond- en oppervlaktewaterhydrologie, met neerslag en verdamping, afvoer en grondwaterstroming, infiltratie en kwel als belangrijke factoren en processen. Op lokale schaal spelen lokale afstroming, verblijftijd en stratificatie een belangrijke rol. Daarnaast is de hydraulica van belang, denk aan waterpeilen, waterbeweging, debiet en stroomsnelheid. Waterstromen, oftewel de toe- en afstroom van water in ruimte, volume, en samenstelling, zijn bepalend voor de samenhang van processen in het ecosysteem en definiëren daardoor het ecosysteem IJsselmeergebied.

## 5-S model Meersystemen



**Figuur 3:** Vereenvoudigde weergave van het 5-S-model voor meren.

### 2.1.2 Zoeken naar samenhang met een ecologische systeemanalyse (SESA)

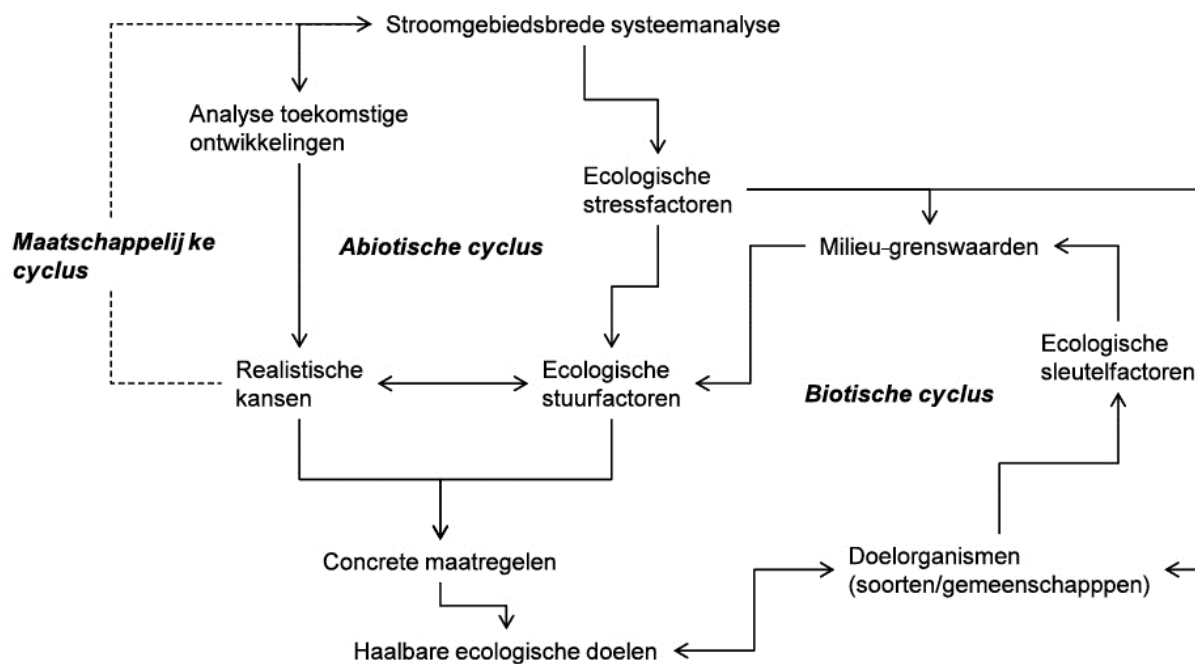
In een stroomgebiedsbrede ecologische systeembenadering wordt naar alle componenten in en rond (tot aan de stroomgebiedsgrenzen) een oppervlaktewater gekeken omdat ze allemaal een rol in het functioneren hebben. Deze aanpak gaat verder dan de waterkolom en stelt de invloed van de bodem, het litoraal en het landschap centraal. Een essentiële stap in de SESA is het zoeken naar samenhang tussen factoren. Hierbij worden samenhang en interacties die bepalen wanneer de werking en de effecten van multiple stressoren relevant zijn, vereenvoudigd. Ook wordt de kennis van de oorzaak-gevolg ketens van multiple stressoren en multiple biologische responsen zo eenvoudig mogelijk gemaakt en geoperationaliseerd. Kennis van het verloop geeft gelijktijdig inzicht in de aard en plaats waar de meest effectieve maatregel of maatregelpakket kan worden genomen. De verschillende S-en uit het 5-S-model worden ruimtelijk geduid en vervolgens als het ware 'op elkaar gelegd' om een holistisch beeld van de belangrijke processen in het ecosysteem te krijgen om zo de samenhang te kunnen begrijpen op de passende schaalniveaus, zowel ruimtelijk als in de tijd. Knelpunten zijn namelijk efficiënter vast te stellen en aan te pakken vanuit geïntegreerde kennis van ecosysteemprocessen. Op deze manier wordt duidelijk gemaakt hoe je kunt sturen op het ecologisch functioneren van het systeem en wordt het duidelijk hoe een ingreep zich vertaalt naar de verschillende factoren en schaalniveaus.

Het flowdiagram in figuur 4 geeft aan hoe in een SESA de samenhang is tussen verschillende groepen factoren, en hoe via ruimtelijke weergave van de factoren deze samenhang inzichtelijk gemaakt kan worden. Het weergeven van stressoren op locatie draagt zo bij aan concrete maatregelen om haalbare

ecologische doelen te realiseren. In het SESA model worden de ruimtelijk weergegeven sleutelfactoren als lagen gecombineerd om de samenhang tussen stressoren te analyseren (Figuur 5).

In een SESA analyse wordt een stroomgebied beschouwd als een verzameling van met elkaar in verbinding staande 'bakjes'; deelwaterbalansgebiedjes die water ontvangen uit een ander deelbalansgebied en vervolgens weer doorgeven aan een of meerdere aangrenzende deelgebied(en). Met de doorgifte van water vindt ook een doorgifte van stoffen plaats. Factoren die de chemische waterkwaliteit beïnvloeden kunnen zich zo binnen het stroomgebied verspreiden. Zowel factoren die een goede waterkwaliteit stimuleren, als stressoren die de waterkwaliteit verslechteren beïnvloeden op deze manier de waterkwaliteit in het hele stroomgebied, en daarmee het ecologisch functioneren van het ecosysteem. Het effect van een stressor kan door verdunning of accumulatie via andere deelstromen uitdoven of toenemen.

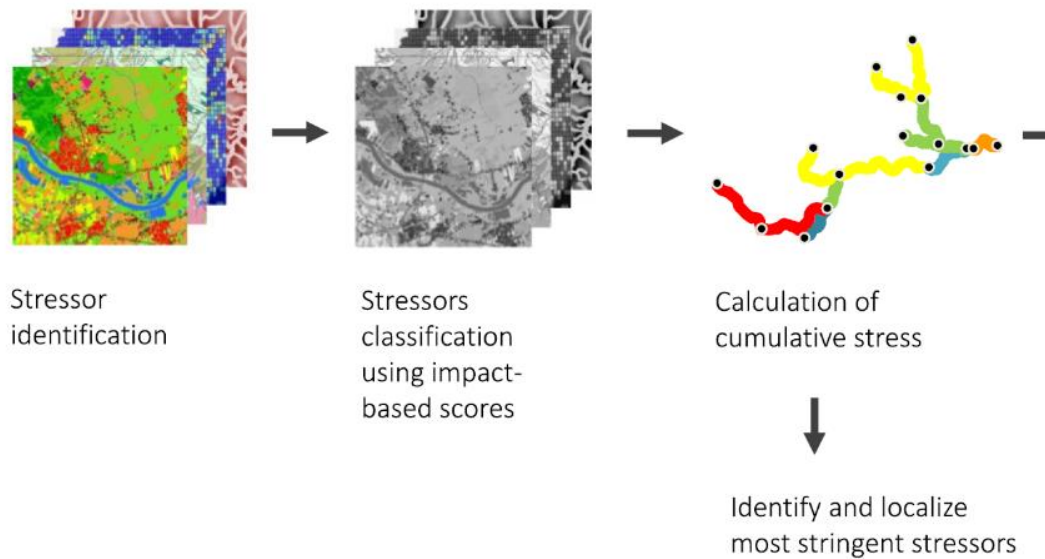
Voor deze ruimtelijke, stroomgebiedsbrede aanpak is het essentieel dat het stroomgebied goed gedefinieerd wordt. Alle gebieden en de waterstromen die deze gebieden verbinden oefenen invloed uit op het ecosysteem en moeten in het SESA model opgenomen zijn om de samenhang tussen stressoren adequaat te kunnen analyseren. In principe wordt het stroomgebied IJsselmeer bepaald door alle gebieden die van invloed zijn, in dit geval alle gebieden die in contact staan met de grote meren in het gebied. Om het stroomgebied goed te kunnen definiëren, moeten de grenzen van het stroomgebied goed afgebakend worden. In 2019 is hiervoor een eerste verkenning uitgevoerd (Van Riel et al. 2020). Een meer gedetailleerdere uitwerking van de waterstromen in het IJsselmeergebied draagt bij aan een specifiekere afbakening van het ecosysteem IJsselmeergebied.



**Figuur 4:** Abiotische, biotische en maatschappelijke cycli in de stroomgebied brede ecologische systeemanalyse (SESA). Bron: Verdonschot et al. (2015).

Naast afbakening is het begrijpen van de natuurlijke werking van het stroomgebied op hoofdlijnen belangrijk om de randvoorwaarden in beeld te krijgen. Randvoorwaarden worden gesteld door grootschalige processen en factoren die bepalend zijn voor het functioneren van het systeem, maar moeilijk te veranderen zijn, zoals grondwaterstromen of de geologische en geomorfologische opbouw van de bodem. Deze processen bieden echter ook handvatten om bij het stellen van doelen en het kiezen van maatregelen die met het systeem meewerken in plaats van er tegenin. Het is het macrosysteem waarbinnen de sleutelfactoren het ecosysteem kunnen beïnvloeden. Om deze processen te analyseren

worden tal van informatiebronnen gebruikt, variërend van klimatologische gegevens, geologische en geomorfologische kaarten, hoogtekaarten, historische kaarten en historische biologische waarnemingen.



**Figuur 5:** Het SESA model combineert verschillende stressoren, hier afgebeeld als lagen, om de cumulatieve stress voor een waterecosysteem te analyseren. Bron: de Vries et al. (2019).

## 2.2 Aanpak

### 2.2.1 Inleiding

Om inzicht te krijgen in welke factoren van belang zijn voor het IJsselmeergebied, is in 2019 verkend hoe het 5S-model uit figuur 3 gespecificeerd kon worden voor het IJsselmeergebied. Er is beschreven welke sleutelfactoren in het model opgenomen dienden te worden en welke informatiebronnen er aanwezig zijn om het model te vullen met relevante en, indien mogelijk, gekwantificeerde parameters (Van Riel et al. 2020). Zo is een structuur ontstaan die kan dienen als conceptueel model voor het ecologisch functioneren van het gebied. De volgende stap is het vullen van het model met data; wat weten we van de factoren en welke kennislaten zijn er?

Vervolgens wordt gezocht naar waar in het ecosysteem knelpunten in het ecologisch functioneren bestaan die wél aangepakt kunnen worden. De factoren uit het 5-S-model voor meren (Figuur 3) worden ruimtelijk in kaart gebracht op basis van onderzoek aan de beschikbare informatie. Welke factoren leveren mogelijke knelpunten op en in welk deel van het ecosysteem? Op basis van de beschikbare data worden de in SESA opgenomen parameters gekwantificeerd. Om een verloop te kunnen detecteren, zijn gegevens van een middellange termijn (10-20 jaar) nodig.

In vervolgstappen wordt de samenhang van en tussen factoren en processen in beeld gebracht om zo een compleet beeld van het functioneren van het ecosysteem te schetsen. Op basis van de verkenning is besloten om als eerste de waterstromen en nutriëntconcentraties in het gebied te verfijnen en kwantificeren. Dit jaar is ingezet op het nader specificeren van de waterstromen in het IJsselmeergebied om ook de detailwaterstromen in kaart te brengen en de systeemgrenzen af te bakenen. Tevens is begonnen met een verkenning van de stoffenstromen (vnl. nutriënten) via de toe- en afstroom van oppervlaktewater in combinatie met de nutriëntconcentraties in de in verbinding staande meren.

### 2.2.2 Invullen van het SESA model: Waterstromen en hydrologie

SESA werkt vanuit het ecosysteem denken, en niet vanuit het menselijk handelen, gebruiksfuncties of opgestelde maatregelen. Nemen we een meer als voorbeeld, dan kijken we naar hoe een meerecosysteem

functioneert en welke natuurlijke en stressfactoren daarbij belangrijk zijn. Voorbeelden van stressoren zijn hier; het optreden van factoren of ranges daarvan die het functioneren verstoren zoals bijvoorbeeld het ontbreken van een brede oever- en moeraszone, het ontbreken van natuurlijke peilfluctuaties, het teveel aan voedingsstoffen en het gebrek aan habitatheterogeniteit. De natuurlijke en stressfactoren worden gekwantificeerd en er wordt naar de omgeving gekeken om te duiden waar de individuele stressoren, of combinaties van stressoren vandaan komen en welke acties daarop nodig zijn om ze terug te dringen tot een voor het ecosysteem acceptabel niveau.

Omdat hydrologie vaak een dominante factor is in het functioneren van aquatische systemen, zijn als eerste stap voor het invullen van de SESA de waterstromen in het IJsselmeergebied geïdentificeerd en kwantitatief weergegeven. Met behulp van hydrologische informatie en balansen voor water en stoffen is bekeken welke gebieden tot de invloedsruimte van het ecosysteem behoren en hoe groot de bijdrage van de verschillende water- en stofstromen uit deze gebieden is.

### **2.2.3 Fasering**

In het project zijn de volgende stappen doorlopen:

- 1) Informatie verzamelen;
- 2) Overzicht maken van deelbalansen en in- en uitstromen per meer;
- 4) Hydrologie van de meren integreren tot 1 hydrologisch samenhangend systeem;
- 5) Hydrologie omzetten naar ruimtelijk beeld, definiëren van ecosysteem IJsselmeergebied;
- 6) Aanduiden van witte vlekken en onzekerheden in hydrologisch beeld.

### **2.2.4 Informatie verzamelen**

Informatie over de hydrologie van het gebied is verzameld uit rapporten, modellen en via beheerders van hydrologische data en modellen (Carlijn Bak en Edwin Meijers voor RWS via Deltares, Waterschappen). Er is data beschikbaar over de in- en uitstroom van water. Waterstromen zijn verkend op basis van de toe- en afstroom van water tussen deelwaterbalansgebieden.

Er is een dataset met de hydrologische gegevens voor de SESA samengesteld in excel-formaat. In de dataset is voor deelbalansgebieden en in- en uitstroompunten aangegeven hoeveel  $Mm^3/jr$  er uitgewisseld wordt. De deelbalansgebieden en de grootste in- en uitstroomplekken zijn vervolgens op kaart weergegeven om het ecosysteem IJsselmeergebied ruimtelijk in beeld te brengen. Ook is aangegeven waar de onzekerheden zitten, waar balansen niet sluiten, informatie ontbreekt of de beschikbare informatie minder betrouwbaar is.

### **2.2.5 Opstellen van deelbalansen**

De in- en uitstroom van water varieert afhankelijk van het seizoen en worden op veel plekken beheerd om een bepaald waterpeil te realiseren. Voorbeelden hiervan zijn het omgekeerde waterpeil dat in de meren gehandhaafd wordt, het op elkaar afstemmen van waterstromen om voldoende water in de Friese boezem en de veengebieden te kunnen garanderen, het afpompen en toevoeren van water van en naar de polders en landbouwpercelen in het achterland, en het spuien naar de Waddenzee.

Het beheer van de in- en uitstroom wordt geregeld door middel van afwatering via kunstwerken. Besluiten tot openen en sluiten van kunstmatige af- en toevoeren worden afhankelijk van de omstandigheden, bijvoorbeeld natte of droge perioden, genomen en blijken niet altijd gedocumenteerd. Daarbij is afvoer via gemalen mede afhankelijk van de op dat moment beschikbare retentiecapaciteit in het achterland en de polders. Dit maakt het moeilijk om een sluitende kwantitatieve waterbalans voor het IJsselmeergebied op te stellen. Van de in- en uitstroom zijn ook chlorideconcentraties bekend en bieden hier uitkomst. Door deze te koppelen aan informatie over waterstromen in de waterbalans kan worden opgespoord waar de balans nog niet klopt en waar er onzekerheden in de berekende in- en uitstroom zitten. De waterstromen in de gepresenteerde figuren zijn afgerond naar gehele getallen en weergegeven in miljoen  $m^3$  per jaar ( $Mm^3/jr$ ).

Voor het invullen van de SESA zijn de in- en uitstroompunten in het gebied geïdentificeerd, en is vermeld hoeveel water er op die punten in- en/of uitstroomt (dit kan afhankelijk zijn van het seizoen). Aangegeven

is welke afwaterings- of zijstroomgebieden afwateren op de verschillende meren in het IJsselmeergebied. Deze gebieden worden voorzien van deelbalansen. Veel van deze deelbalansen zijn complex, in de zin dat waterpeilen beheerd worden of het retentievermogen van een gebied een rol speelt bij de afwatering. Het werken met deelbalansgebieden maakt het mogelijk om op hoofdlijnen in te kunnen schatten wat de bijdrage van dat gebied aan de waterkwantiteit en -kwaliteit van de grote meren is.

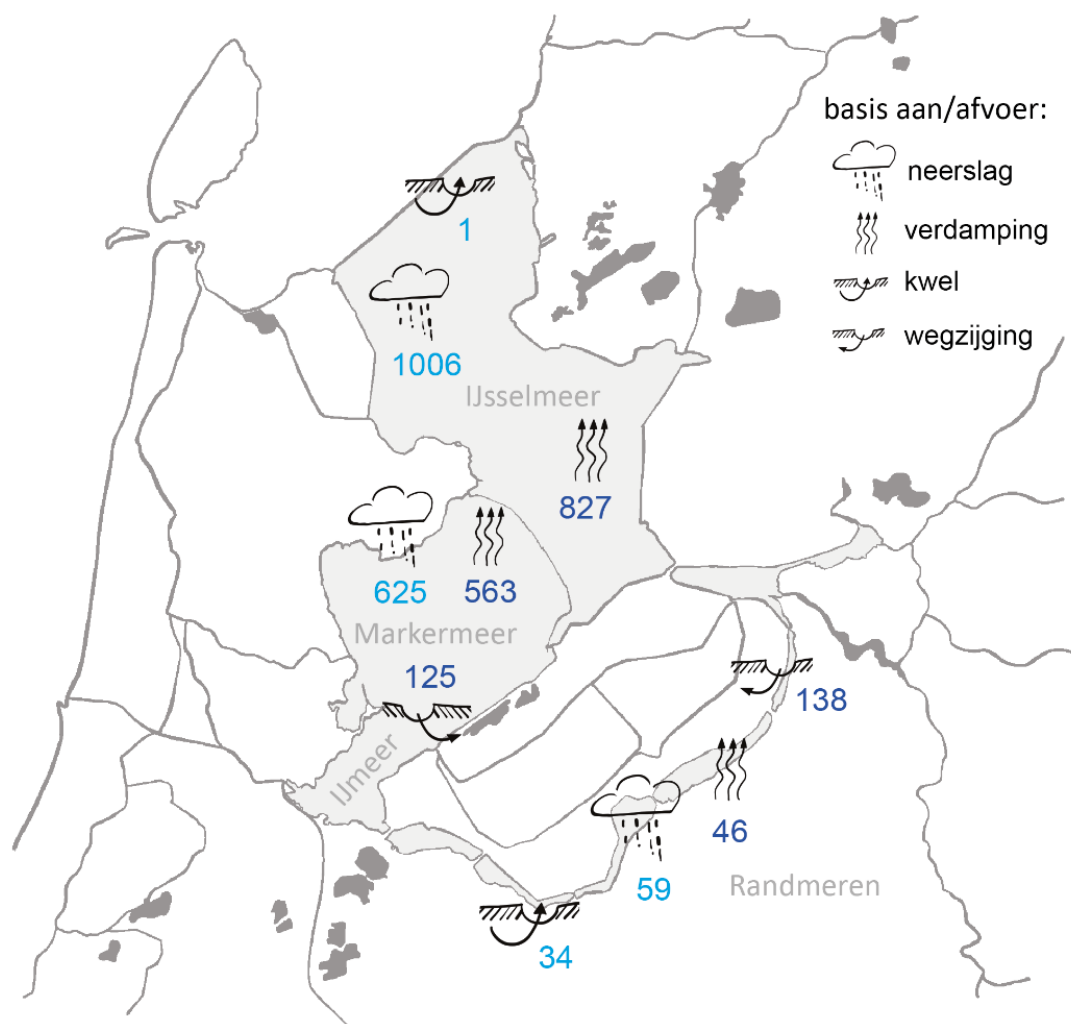
In de SESA kunnen verschillende detailniveau 's worden gebruikt; er kan een overzicht worden gegenereerd van de kwaliteit van alle deelbalansgebieden. Indien de SESA aangeeft dat de hydrologie in een deelbalansgebied bijdraagt aan verstoringen van de ecologie kan het betreffende deelgebied in meer detail gezocht worden naar de oorzaak, zodat maatregelen vervolgens gericht ingezet kunnen worden.

## **3 Resultaten**

### **3.1 Basisprocessen en uitwisselpunten**

De basis van de hydrologie voor het merengebied, los van alle in- en uitlaatpunten die water op de meren lozen of eraan onttrekken, wordt gevormd door instroom van water via neerslag en kwel en uitstroom door verdamping en wegzijging (Figuur 6). Voor het Markermeer en de Randmeren is het jaarlijkse waterverlies door verdamping en wegzijging groter dan de instroom door neerslag en kwel (Tabel 1). Indien alle meren als één systeem beschouwd worden, dan is de in- en uitstroom op basis van de basishydrologie redelijk in balans. Er stroomt jaarlijks iets meer water het systeem in dan uit (26 Mm<sup>3</sup>/jaar).

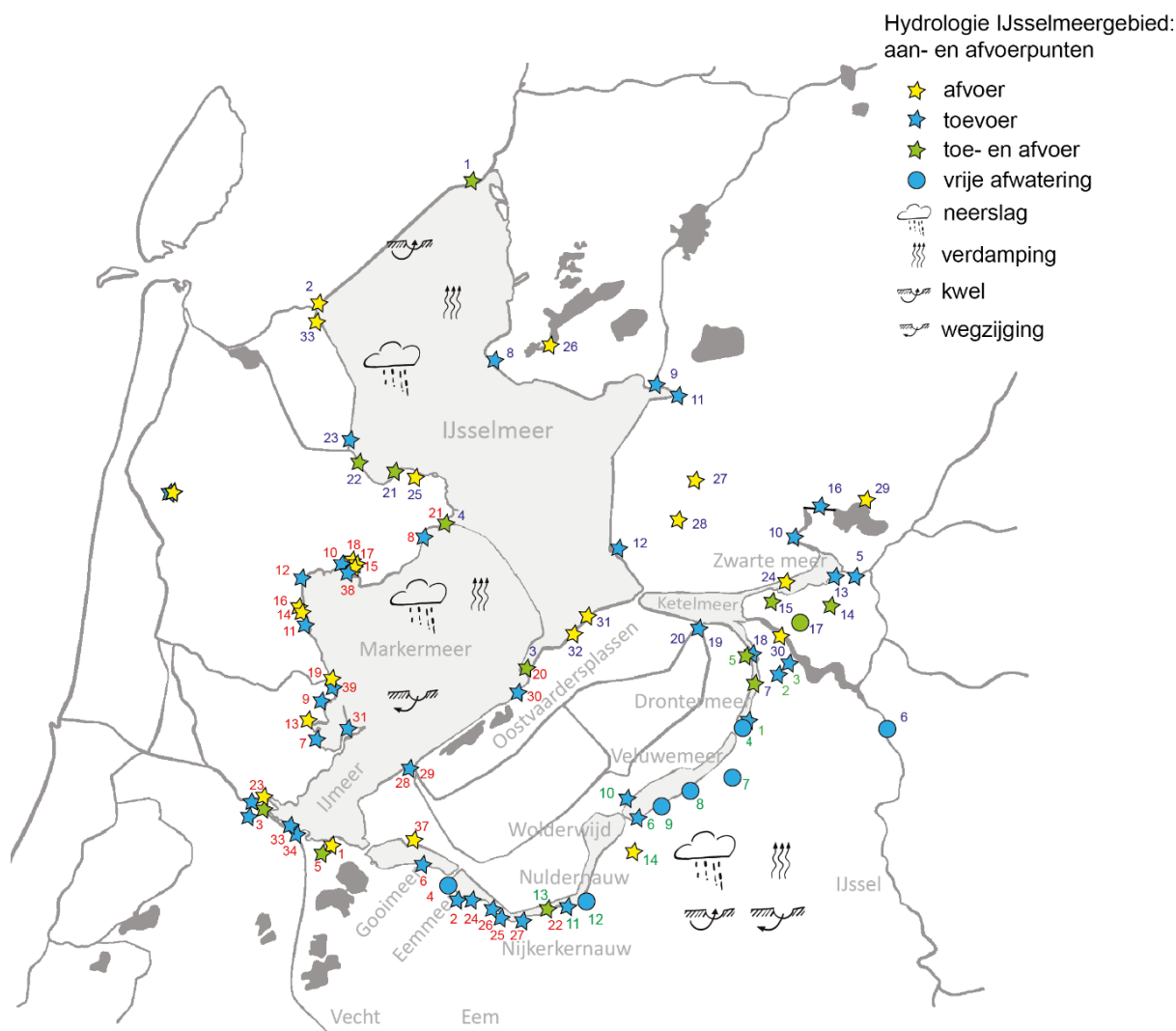
Naast deze basisprocessen levert de rivier de IJssel een grote input aan het systeem. Daarnaast vindt er uitwisseling plaats met aanliggende polders en andere waterrijke gebieden via tal van in- en uitstroompunten. Figuur 7 geeft een overzicht van alle in- en uitstroompunten in het IJsselmeergebied. De meeste in- en uitstromen worden gereguleerd via kunstwerken als sluizen, stuwen, inlaten en gemalen. Tenslotte monden er ook enkele beken uit op het systeem. Er zijn in het gebied drie instroompunten van RWZI's, in het Gooimeer (punt 6), Drontermeer (punt 1), en Veluwemeer (punt 6). Er is één drinkwaterwinning in Andijk (punt 25). Specificaties van deze punten zijn weergegeven in bijlage 1. De deelstroomgebieden van waaruit de punten afwateren, zijn per meer gespecificeerd in bijlage 2.



**Figuur 6:** Hoofdwaterstromen van neerslag, verdamping, kwel en wegzijing in de grote meren in het IJsselmeergebied, eenheden in Mm<sup>3</sup>/jaar. Databronnen: (Van der Geest et al., 2018; Vergroessen, 2019; dataset Deltares-RWS)

**Tabel 1:** Overzicht van hoofdwaterstromen van neerslag, verdamping, kwel en wegzijing in de grote meren in het IJsselmeergebied.

Basis waterstromen	IJsselmeer	Markermeer	Randmeren	Totaal (Mm <sup>3</sup> /jaar)
Neerslag	1006	625	59	1690
Verdamping	-827	-563	-46	-1436
Kwel	1	0	34	35
Wegzijing	0	-125	-138	-263
<i>Netto</i>	<i>180</i>	<i>-63</i>	<i>-91</i>	<i>26</i>



**Figuur 7:** In- en uitstroompunten van de meren van het IJsselmeergebied. Sterren geven gereguleerde toe- en afvoer weer, cirkels staan symbool voor vrije afwatering. De nummering verwijst naar de specificatie in bijlage 1. De locaties met blauwe cijfers zijn onderdeel van de waterbalans van het IJsselmeer, de rood gecodeerde locaties zijn onderdeel van de waterbalans van het Markermeer-IJmeer en de groen gecodeerde locaties zijn onderdeel van de waterbalans van de Randmeren.

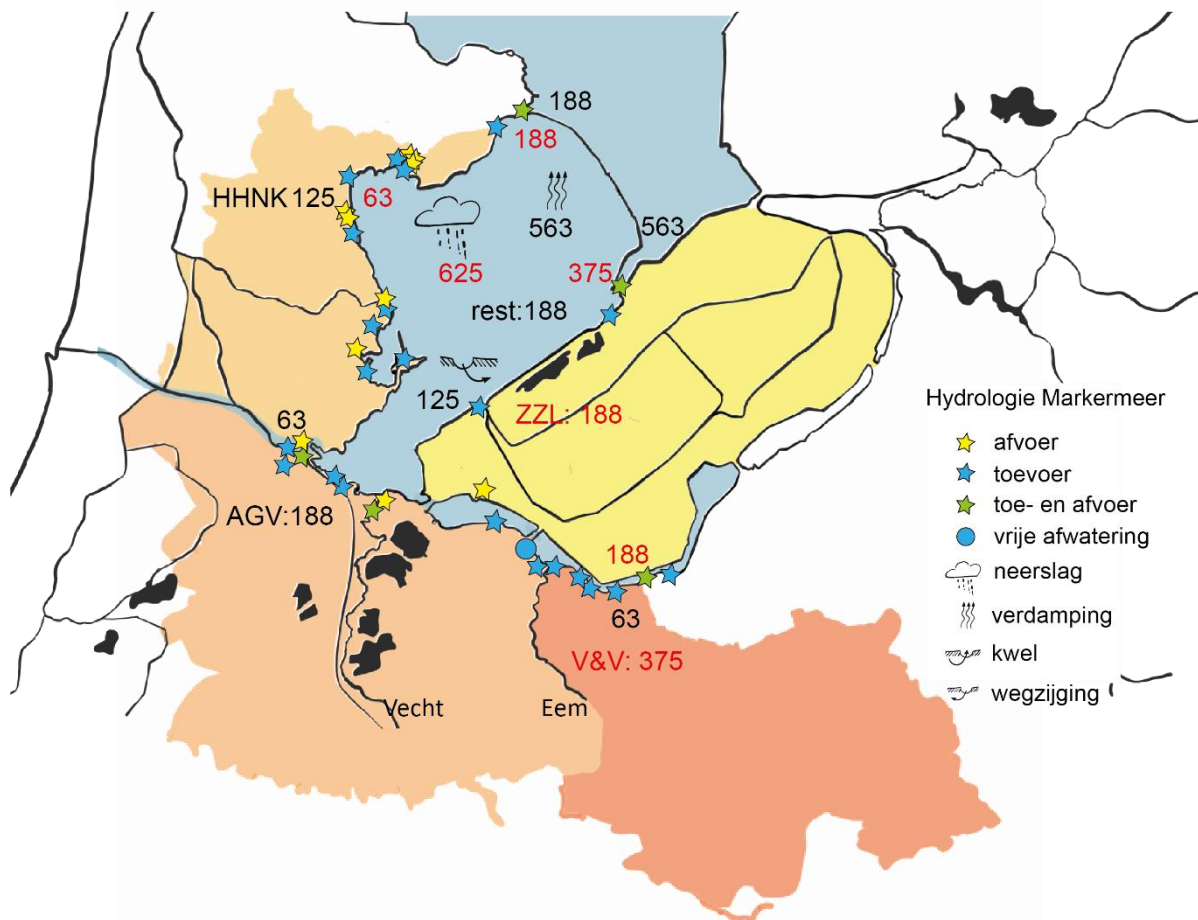
### 3.2 Waterbalansgebied Markermeer-IJmeer

Van der Geest *et al.* (2018) hebben een waterbalans voor het Markermeer-IJmeer opgesteld. Omdat kwantitatieve meetgegevens voor de uitwisseling via in- en uitstroompunten vaak ontbraken, is voor een benadering op basis van deelgebieden gekozen. Dit wordt ook wel het 'bakjesmodel' genoemd; het stroomgebied wordt opgedeeld in een serie deelwaterbalansen die als het ware beschouwd kunnen worden als 'bakjes' waartussen water uitgewisseld wordt. Per deelgebied zijn de grootste winst- en verliesposten in kaart gebracht, zoals neerslag en verdamping en is verkend hoe sluitend de waterbalans voor het desbetreffende deelgebied was. Door op een hoger schaalniveau te kijken, kunnen de waterstromen tussen gebieden gelokaliseerd (waar), geïdentificeerd (wat) en ingevuld (hoeveel) worden.

Figuur 8 geeft de waterstromen weer tussen de deelbalansgebieden en het Markermeer. De grootste watertoevoer bestaat uit neerslag, instroom vanuit de Randmeren, en afwatering vanuit de polders van de Waterschappen Vallei en Veluwe (V&V) en Zuiderzeeland (ZZL). Waterafvoer vindt vooral plaats door verdamping, wegzijging, en waterinlaat naar aangrenzende gebieden van het waterschap Amstel, Gooi



en Vecht (AGV) en het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). Uitwisseling met het IJsselmeer via de Houtribsluizen en de Krabbegatsluizen geeft een netto afstroming naar het IJsselmeer van 88 Mm<sup>3</sup>/jaar. De uitmonding van de Eem in het Eemmeer is het enige punt met vrije afwatering. Op alle overige punten wordt water toe- en afvoer gereguleerd. De waterbalans is niet helemaal sluitend; er is een sluitpost van -63 Mm<sup>3</sup>/jr water afvoer netto, dit is 3% ten opzichte van de totale afvoer.

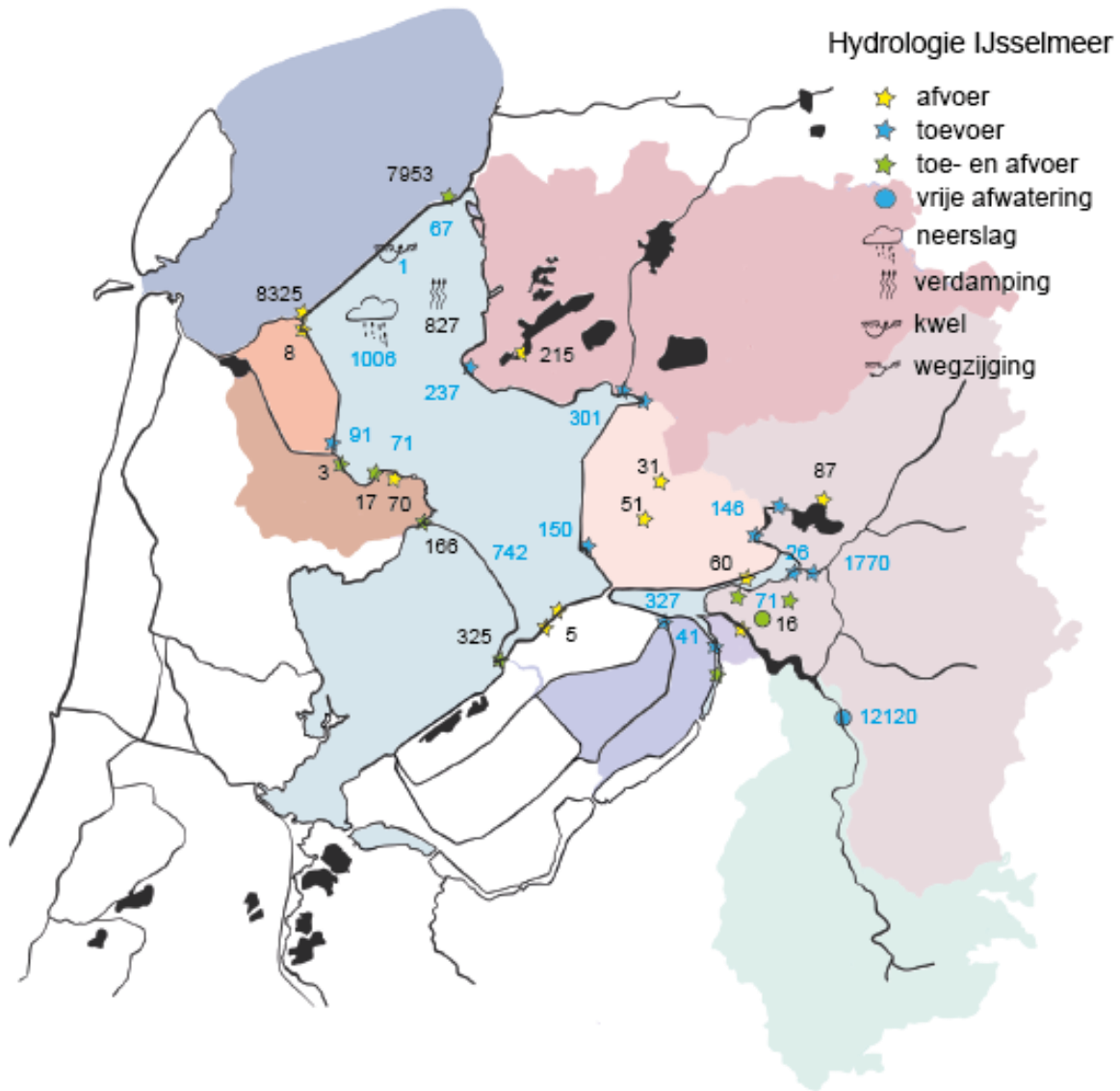


**Figuur 8:** Waterbalans voor het Markermeer (Van der Geest et al., 2018). De getallen geven de waterstromen tussen deelgebieden weer in Mm<sup>3</sup>/jaar. Watertoevoer is in rode cijfers weergegeven, waterafvoer in zwarte cijfers. De verschillende deelwaterbalansgebieden zijn met kleuren gemarkeerd. Een samenvattende tabel is weergegeven in bijlage 3.

### 3.2.1 Waterbalansgebied IJsselmeer

Voor het IJsselmeer is in 2019 een water- en stoffenbalans opgesteld (Vergroessen, 2019) volgens een vergelijkbare methode als die voor het Markermeer in 2018 gebruikt is; de 'bakjesmethode' waarin een gebied in verschillende deelgebieden opgedeeld wordt (waterbalansgebieden). Per deelgebied is op basis van data van in- en uitgaande waterstromen een balans gemaakt. Chlorideconcentraties zijn gebruikt om te valideren hoe betrouwbaar en sluitend de waterbalans is. Zo kan voor een incomplete dataset op hoofdlijnen nagegaan worden waar onzekerheden aanwezig zijn. Voor de waterbalans van het IJsselmeer gold dat er onzekerheden zaten in de berekeningen van de instroom via de IJssel en de zoutinput via de spuisluisen naar de Waddenzee. Voor beiden zijn geen meetgegevens beschikbaar. Om de instroom via de IJssel te bepalen maakt het bestaande hydrologische model gebruik van de bij de plaats Olst gemeten aanvoer. De afstand tussen Olst en de eigenlijke instroom bij het Keteldiep is echter groot en onderweg vinden nog uitwisselingen plaats. Daarnaast is de gebruikte Q-h relatie verouderd. Voor IJssel aanvoer en spuivolumes zijn in het model correcties gemaakt, waardoor de waterbalans beter aansluit bij wat op basis van de chlorideconcentraties aan water aan- en afvoer te verwachten is.

Figuur 9 geeft de waterbalans voor het IJsselmeer weer. De IJssel levert met 12.120 Mm<sup>3</sup>/jr veruit de grootste bijdrage aan de watertoevoer naar het IJsselmeer. Ook de toestroom vanuit het Zwarte Water, Zwarte Meer en het Ketelmeer, de toestroom vanuit het Friese achterland, water dat uit het Markermeer via de Houtribdijk naar het IJsselmeer gespuid wordt en neerslag leveren een significante bijdrage aan de watertoevoer naar het meer. De grootste afvoer loopt via de spuien in de Afsluitdijk naar de Waddenzee (16.278 Mm<sup>3</sup>/jr). De overige afvoerstromen, voornamelijk water dat in het polderland ingelaten wordt (samen iets meer dan 500 Mm<sup>3</sup>/jr) en de drinkwaterwinning in Andijk (70 Mm<sup>3</sup>/jr), zijn relatief klein.



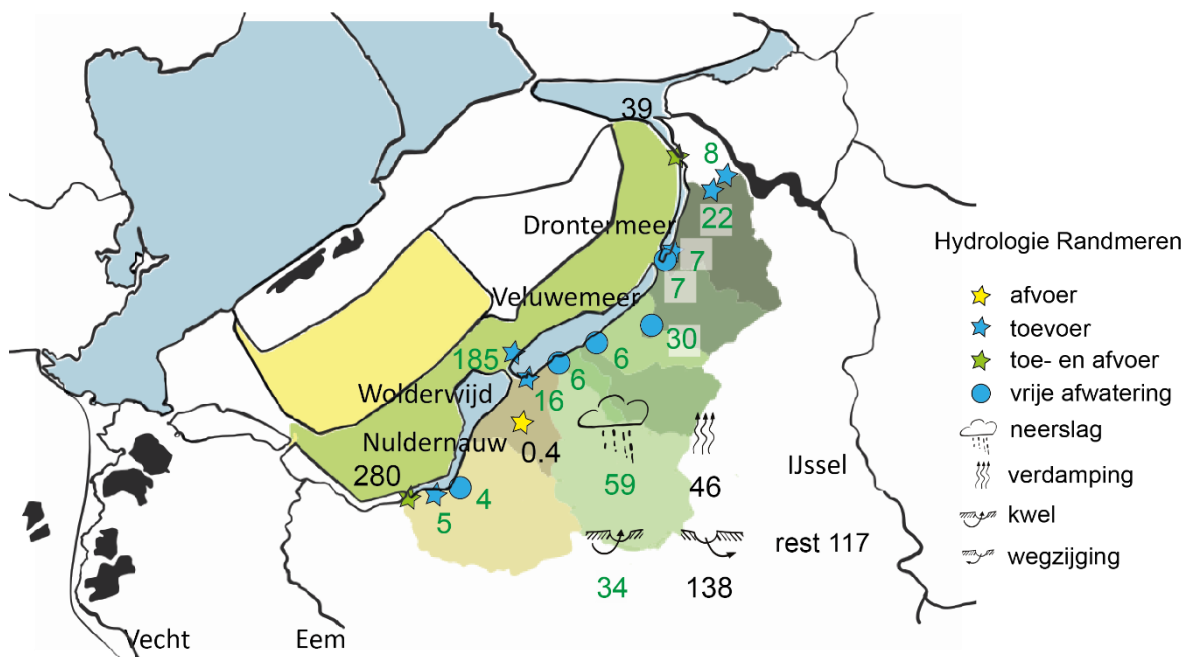
**Figuur 9:** Waterbalans voor het IJsselmeer (Vergroessen 2019). De getallen geven de waterstromen tussen deelgebieden weer in Mm<sup>3</sup>/jaar. Watertoevoer is in blauwe cijfers weergegeven, waterafvoer in zwarte cijfers. De verschillende deelwaterbalansgebieden zijn met kleuren gemarkeerd. Een samenvattende tabel is weergegeven in bijlage 3.

### 3.2.2 Waterbalans Randmeren

Voor de randmeren is geen accurate waterbalans beschikbaar die vergelijkbaar is met die van het Markermeer-IJmeer en het IJsselmeer. Er wordt wel hydrologische data voor de Randmeren verzameld en opgeslagen door Rijkswaterstaat. Deze data betreft maandelijkse neerslagmetingen, en de debieten van de grootste uitmondende beken en enkele gemalen. De waterbalans en meetpunten zijn bijvoorbeeld nooit

aangepast of herrekend om aan te sluiten op veranderingen in afwatering sinds 2003. De meest actuele beschikbare waterbalans voor de Randmeren is gebaseerd op gegevens uit 2016 en heeft een sluitpost ten opzichte van de totale aanvoer van -30%. Dit is erg veel en duidt op een grote onzekerheid in de metingen. Niet alle in- en uitstroom wordt gemeten, en metingen zijn niet altijd betrouwbaar. In sommige omstandigheden is het moeilijk om accurate metingen te verrichten, bijvoorbeeld wanneer debietmeters in beekmondingen bij hoge piekafvoer overspoeld worden. Debietmetingen zijn alleen beschikbaar voor de mondingen van de grootste beken. Veel gegevens in de waterbalans betreffen schattingen en berekeningen.

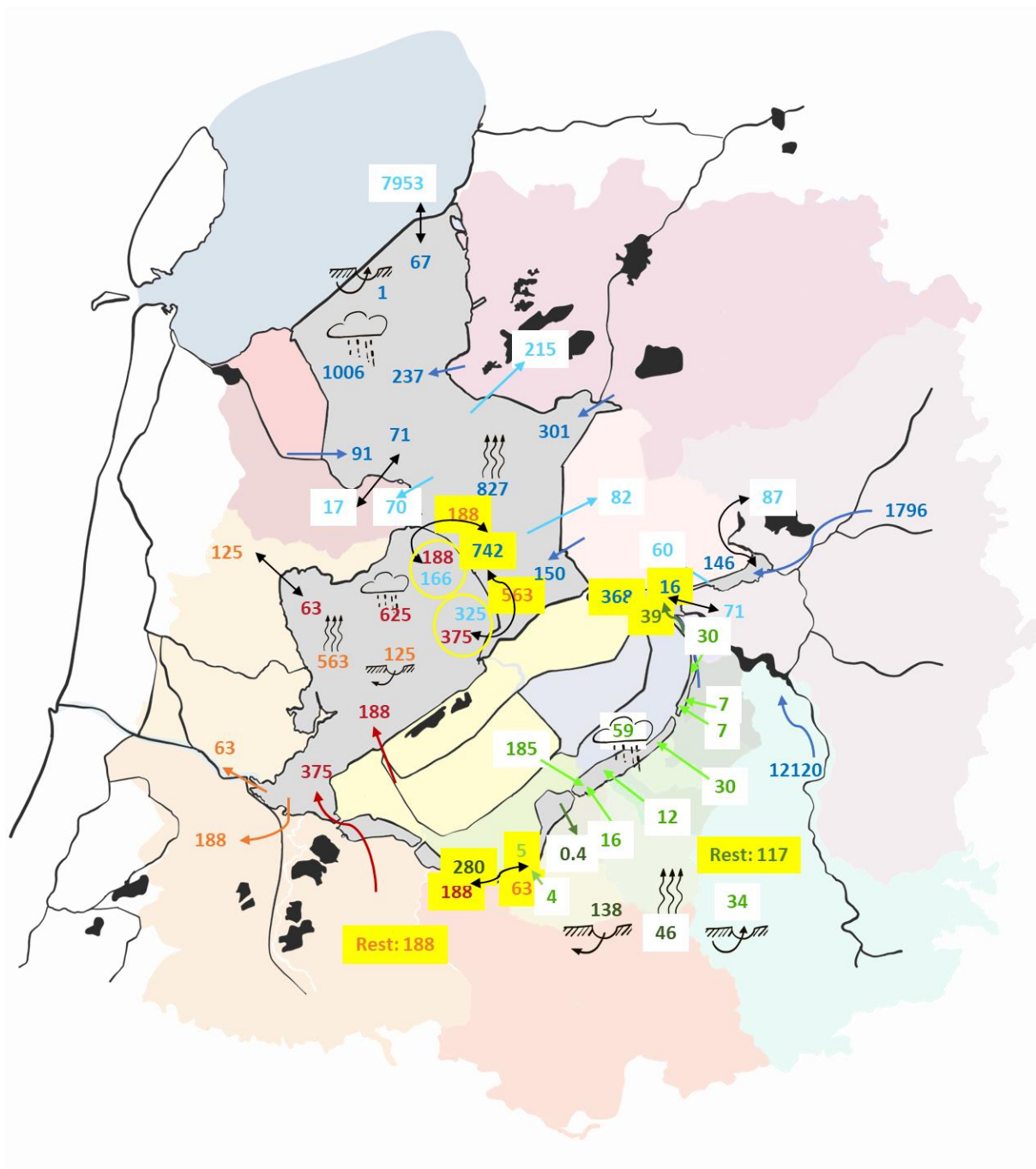
Gezien de beperkte databeschikbaarheid is voor deze rapportage een voorbeeldberekening voor het jaar 2016 gebruikt om een indicatie te geven van de waterstromen en deelbalansgebieden (Figuur 10). De data hiervoor is verzameld bij waterschappen en bevat voor een groot deel geschatte data (zoals de instroom via diverse beken). De waarden voor kwel en wegzijging zijn berekend op basis van zeer oude modellen. De gegevens voor dit waterlichaam moeten dus als indicatie worden beschouwd, en niet als betrouwbare data waarmee gerekend kan worden.



**Figuur 10:** Waterbalans voor de Randmeren. Informatiebron RWS-data. De getallen geven de waterstromen tussen deelgebieden weer in  $\text{Mm}^3/\text{jaar}$ . Watertoevoer is in groene cijfers weergegeven, waterafvoer in zwarte cijfers. De verschillende deelwaterbalansgebieden zijn met kleuren gemarkeerd. Een samenvattende tabel is weergegeven in bijlage 3.

### 3.3 Integratie van waterstromen voor het IJsselmeergebied

De waterbalansen van de drie compartimenten in het IJsselmeerecosysteem zijn geïntegreerd tot een waterbalans voor het hele IJsselmeergebied (Figuur 11). De drie deelbalansen overlappen bij de uitwisseling via de Houtribdijk, het Ketelmeer, en het Nijkerkernauw. Op deze punten sluiten de waterbalansen op elkaar aan. Tabel 2 geeft aan welke waarden door de verschillende balansen gegeven worden op gezamenlijke in- en uitstroompunten. De waterbalansen van Markermeer-IJmeer en IJsselmeer geven vergelijkbare watervolumes voor de waterstromen via de Houtribdijk. Waar de waterstromen van de Randmeren samenkomen met die van de andere meren, bestaan grote verschillen tussen de waterbalansen. De waterbalans van de Randmeren geeft in vergelijking met de andere deelbalansen zeer lage watervolumes aan. Bij het analyseren van de hydrologie van de Randmeren is al geconstateerd dat deze waterbalans niet actueel is en dat er herziening nodig is. Het loont om voor deze meren een waterbalans op te stellen met een vergelijkbare aanpak als gehanteerd voor IJsselmeer en Markermeer, zodat de hydrologie in het IJsselmeergebied als een geheel systeem kloppend wordt.



**Figuur 11:** Volledige waterbalans voor het IJsselmeergebied op basis van de deelwaterbalansen voor IJsselmeer (blauwe cijfers), Markermeer-IJmeer (rood/oranje) en Randmeren (groen). Overlappen tussen de deelbalansen zijn geel gemarkeerd.

**Tabel 2:** Belangrijke verschillen tussen de deelwaterbalansen van de drie compartimenten

waterstroom	Markermeerbalans	IJsselmeerbalans	Randmerenbalans
Markermeer naar IJsselmeer	751	742	
IJsselmeer naar Markermeer	563	491	
IJsselmeer naar Randmeren		0	0
Randmeren naar IJsselmeer		368	39
Randmeren naar Markermeer	188		280
Markermeer naar Randmeren	63		5

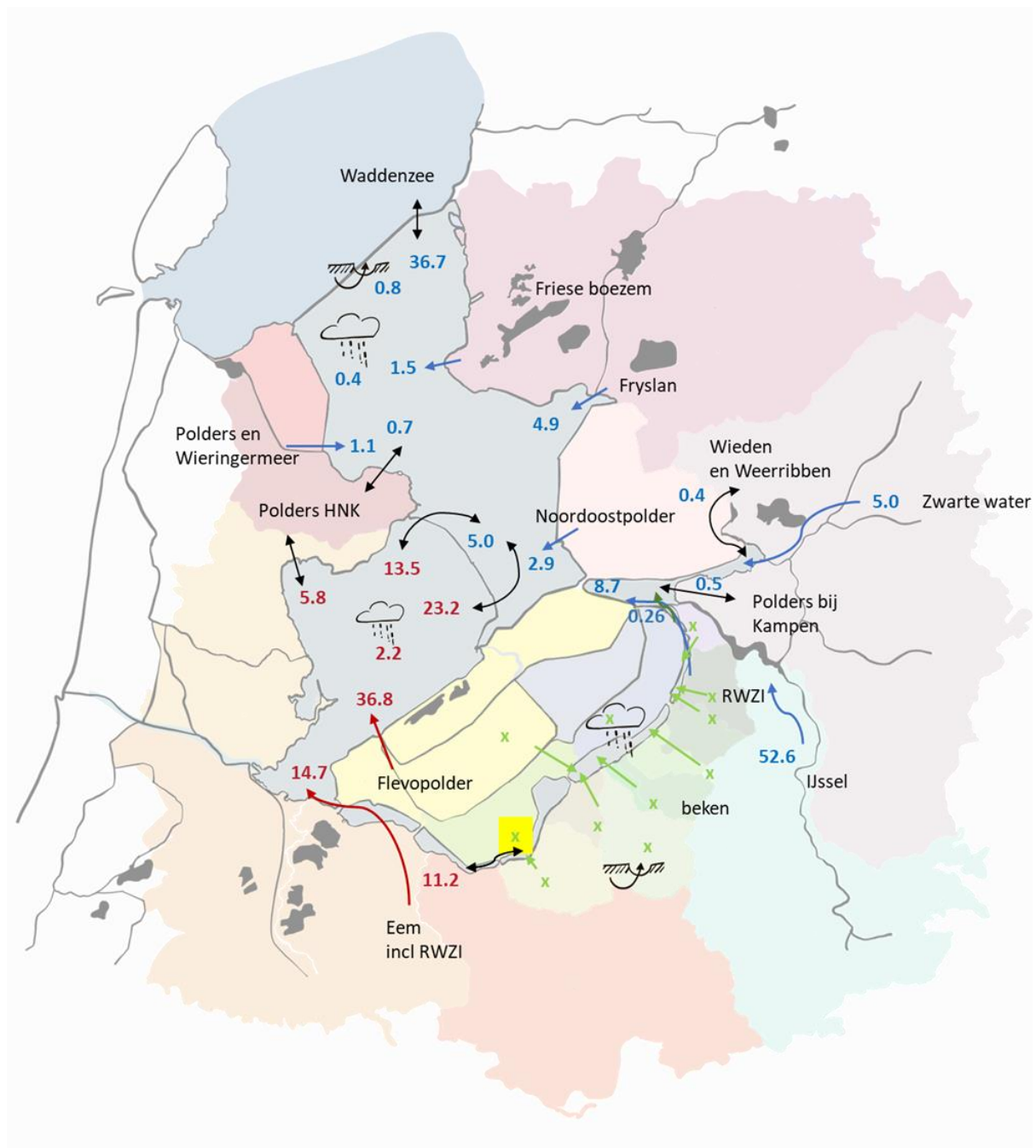
De waterstromen in het IJsselmeergebied geven aan dat het ecosysteem IJsselmeer een systeem is dat gevoed wordt door rivierwater en neerslag. De grootste uitstroom van water vindt plaats via het gereguleerd spuien van IJsselmeerwater op de Waddenzee en door verdamping. In de Randmeren is nog op enkele plekken sprake van vrije afwatering, deze meren worden gevoed door in de meren uitmondende beken en de afstroom vanuit de Flevopolder. Er bestaan verbindende waterstromen tussen de meren. Vanuit de Randmeren stroomt water richting Markermeer en IJsselmeer, terwijl er relatief weinig water van de andere meren de Randmeren instroomt. Via de Houtribdijk vindt uitwisseling plaats tussen het Markermeer en het IJsselmeer, waarbij netto circa 200 Mm<sup>3</sup>/jr vanuit het Markermeer richting het IJsselmeer stroomt. Deze uitwisseling is volledig gereguleerd. Het Markermeer-IJmeer wordt voornamelijk gevoed vanuit de neerslag, randmeren en polders.

De hydrologie van het IJsselmeergebied is vrijwel volledig artificieel. Afgezien van de mondingen van beken en rivieren (waarvan de toestroom vanuit de IJssel bovenstrooms bij de splitsing Rijn en IJssel ook kunstmatig geregeld wordt) die een vrije afstroom naar de meren hebben, zijn alle andere water toe- en afstromen gereguleerd via kunstwerken. De maatschappelijke functies van het IJsselmeergebied, zoals waterveiligheid en de zoetwatervraag, zijn tot op heden bepalend geweest voor de hydrologie van het ecosysteem. De meren hebben een belangrijke functie als zoetwatervoorziening. Het water wordt gebruikt om de omliggende gebieden van zoet water te voorzien ten behoeve van de landbouw en voor doorspoeling om verzilting tegen te gaan. Is er veel water beschikbaar, bijvoorbeeld na perioden met veel neerslag, dan wordt water richting de meren gepompt, zodat de meren als reservoir kunnen fungeren. De hydrologie is helemaal ingericht om deze gebiedsfuncties te waarborgen. Zo wordt in de meren een kunstmatig, omgekeerd waterpeil gehandhaafd. Om dit tegennatuurlijke peilregime te realiseren, zijn de waterstromen hierop aangepast. Een dergelijke hydrologie beperkt de mogelijkheden voor natuurlijke ontwikkeling en veroorzaakt knelpunten voor het ecologisch functioneren.

Voor het opstellen van de waterbalansen is een zoutbalans berekend om een indicatie te krijgen voor de volledigheid van sluitposten (Van der Geest *et al.* 2018, Vergroessen 2019). De zoutbalans voor het IJsselmeer is gebaseerd op een pre-analyse (Vergroessen 2019) over de meetgegevens van 5 jaar. Van alle posten van de waterbalans die het IJsselmeer in- en uitstromen zijn chlorideconcentraties bekend. Voor de waterstromen zijn de gemiddelde jaarlijkse hoeveelheden uit de waterbalans genomen, voor de chlorideconcentraties de gemiddelde waarden van alle metingen in die 5 jaar. Voor het IJsselmeer is de gemiddelde concentratie gemeten bij Vrouwezand genomen. Voor alle posten is uitgerekend wat de jaarlijkse bijdrage in mg/l aan het zoutgehalte van de totale in- en uitstroom is. De bijdrage van een post is bepaald door de concentratie van die post op 0 te zetten en de afname van de concentratie van de totale in- en uitstroom te berekenen. Op basis van de berekening die Vergroessen (2019) heeft uitgevoerd aan de bijdrage van chloride (mg/l) door de verschillende waterstromen, zijn ook de bijdragen van verschillende waterstromen aan chloride voor het Markermeer bepaald. Figuur 12 geeft de bijdragen van de instromen aan de chlorideconcentratie in de meren weer (mg/l per instroom ten opzichte van de cumulatieve concentratie in het meer).

De chloridebalans geeft aan dat met name de Waddenzee, IJssel, Flevopolder, Eemmeer-Gooimeer, de route Zwarte water-Ketelmeer en het inlaatpunt bij Lemmer belangrijke toevoerpunten voor chloride zijn. Via de Houtribdijk wordt chloride vooral richting het Markermeer getransporteerd. Indien gewenst, is op

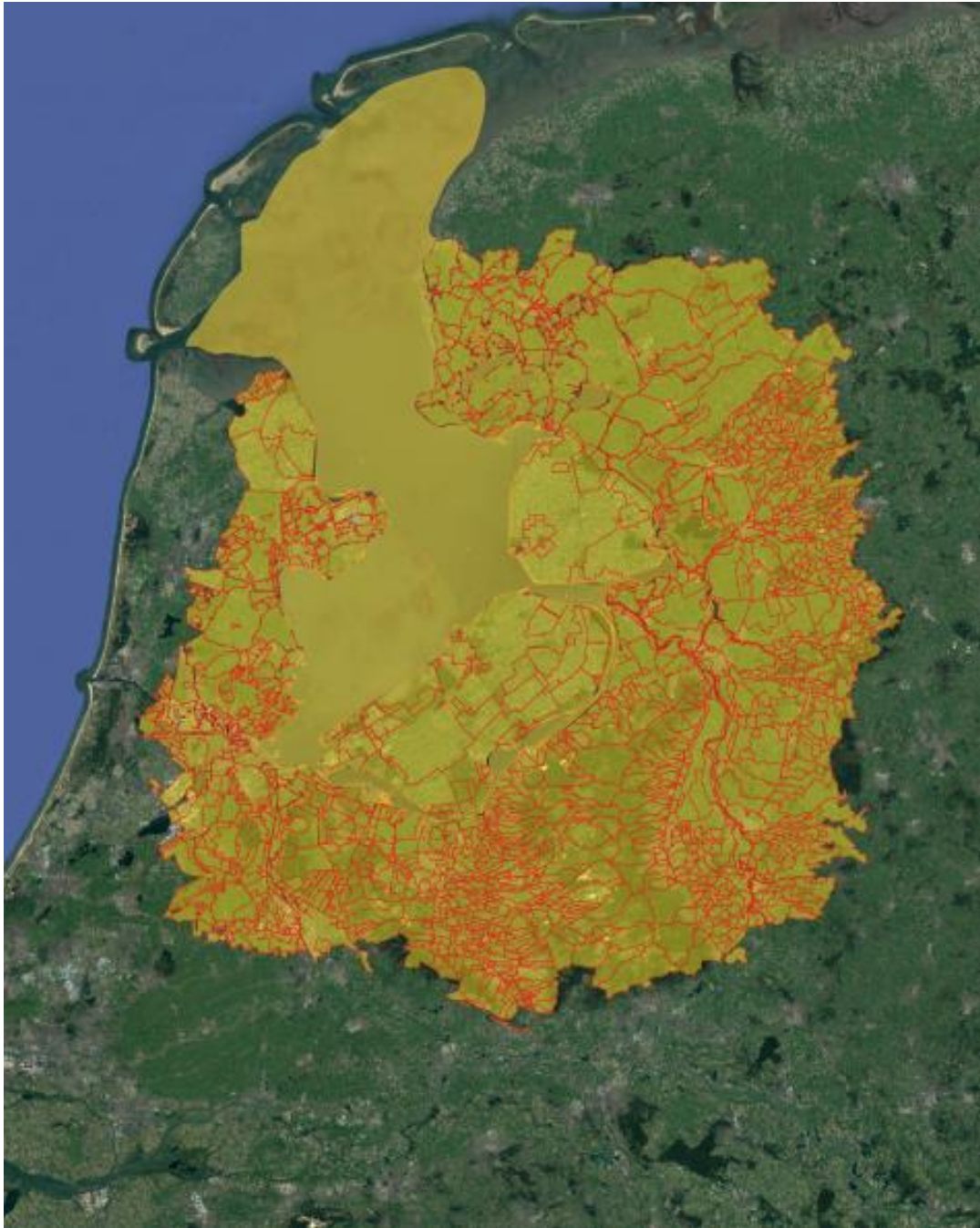
basis van chlorideconcentraties en watervolumes is ook voor een meer gedetailleerde schaal te berekenen hoe groot de stofstromen in de oppervlaktewaterstromen zijn.



**Figuur 12:** Bijdragen van de verschillende instromen naar de meren aan de totale chlorideconcentratie van het IJsselmeer (gemiddeld 121.49 mg Cl/l) of het Markermeer-IJmeer (gemiddeld 95.17 mg Cl/l), berekend uit de watervolumes in combinatie met hun chlorideconcentraties (berekend uit informatie uit Van der Geest et al. 2018 en Vergroessen 2019). Deelbalans IJsselmeer (blauw), Markermeer (rood), Randmeren (groen). Voor de Randmeren (groen) is geen chloridebalans beschikbaar.

Het ecosysteem IJsselmeergebied kan gedefinieerd worden op basis van de deelbalansgebieden in de waterbalans. Deze deelgebieden zijn uitgedrukt in Nederlandse GAV-eenheden; hydrologische eenheden die staat voor gemiddeld absoluut verschil =  $\sum | \text{verschil berekend-gemeten} | / n$ . GAV-eenheden bleken niet eenvoudig te vertalen naar ruimtelijke eenheden (van Geest et al. 2018). Dit maakt afbakening van de begrenzing van het ecosysteem op basis van GAV eenheden complex. Om het ecosysteem

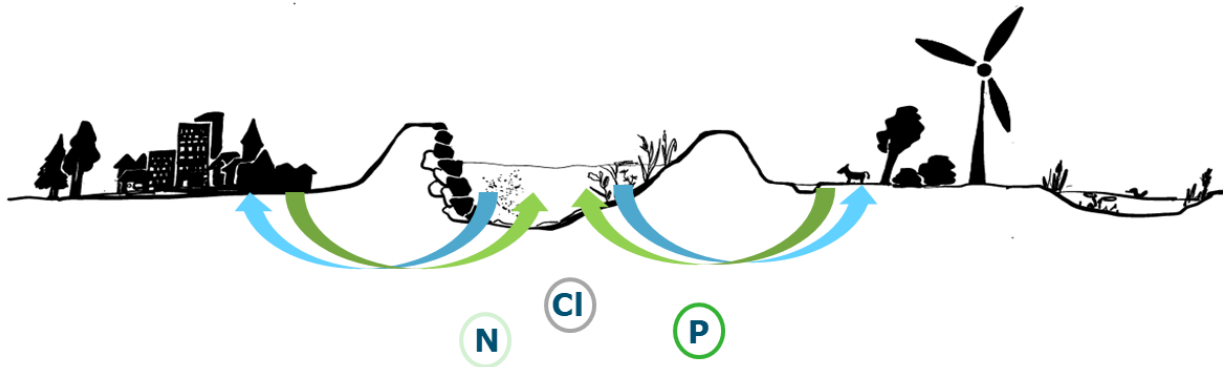
IJsselmeergebied ruimtelijk te definiëren is gebruik gemaakt van de afwateringskaart in de KRW-Verkenner (LKM24). Deze kaart geeft aan in hoeverre een afwateringsgebied, via andere deelstroomgebiedjes, hydrologisch met de meren in contact staat en bijdraagt aan het ecosysteem. Figuur 13 geeft een ruimtelijke afbakening van ecosysteem IJsselmeergebied op basis van de connectiviteit tussen deelstroomgebieden via afwatering. De in figuur 13 met rode lijnen gemarkeerde deelstroomgebieden zijn gedetailleerder weergegeven dan de deelbalansgebieden in de waterbalansen. Dit is het stroomgebied dat directe invloed op de ecologie in de meren heeft. Via de IJssel en Waddenzee zijn de meren onderdeel van een nog veel groter systeem dat input geeft aan de ecologie van de meren. In SESA komt deze invloed in beeld via de uitwisseling met Waddenzee en IJssel.



**Figuur 13:** Een ruimtelijke afbakening van ecosysteem IJsselmeergebied op basis van de connectiviteit van deelstroomgebiedjes met de meren. De deelstroomgebiedjes zijn rood gemarkeerd.

### 3.4 Stoffenstromen in het IJsselmeergebied

In de vorige paragrafen zijn de water toe- en afstromen en bijbehorende watervolumes voor het IJsselmeergebied in beeld gebracht. Deze waterstromen transporteren in het water opgeloste stoffen het ecosysteem in en uit (Figuur 14). Op regionale schaal spelen macro-ionen en de organisch-materiaalcyclus die de aanvoer en afbraak van organisch materiaal beschrijft een belangrijke rol. Op lokale schaal spelen fysisch-chemische processen zoals het verloop van het zuurstofgehalte, de afbraak van organisch materiaal en de opname en afgifte van voedingsstoffen (o.a. Verhoeven et al. 2007, Johnson et al. 2007, Jeppesen et al. 2000). Het ecologische effect van de aanvoer van stoffen via waterstromen hangt samen met de chemische samenstelling van het toestromende water. Een grote toevoer van nutriënten, toxines, zouten of slib kunnen stress opleveren. Een goede waterkwaliteit kan juist een positieve toevoeging zijn.



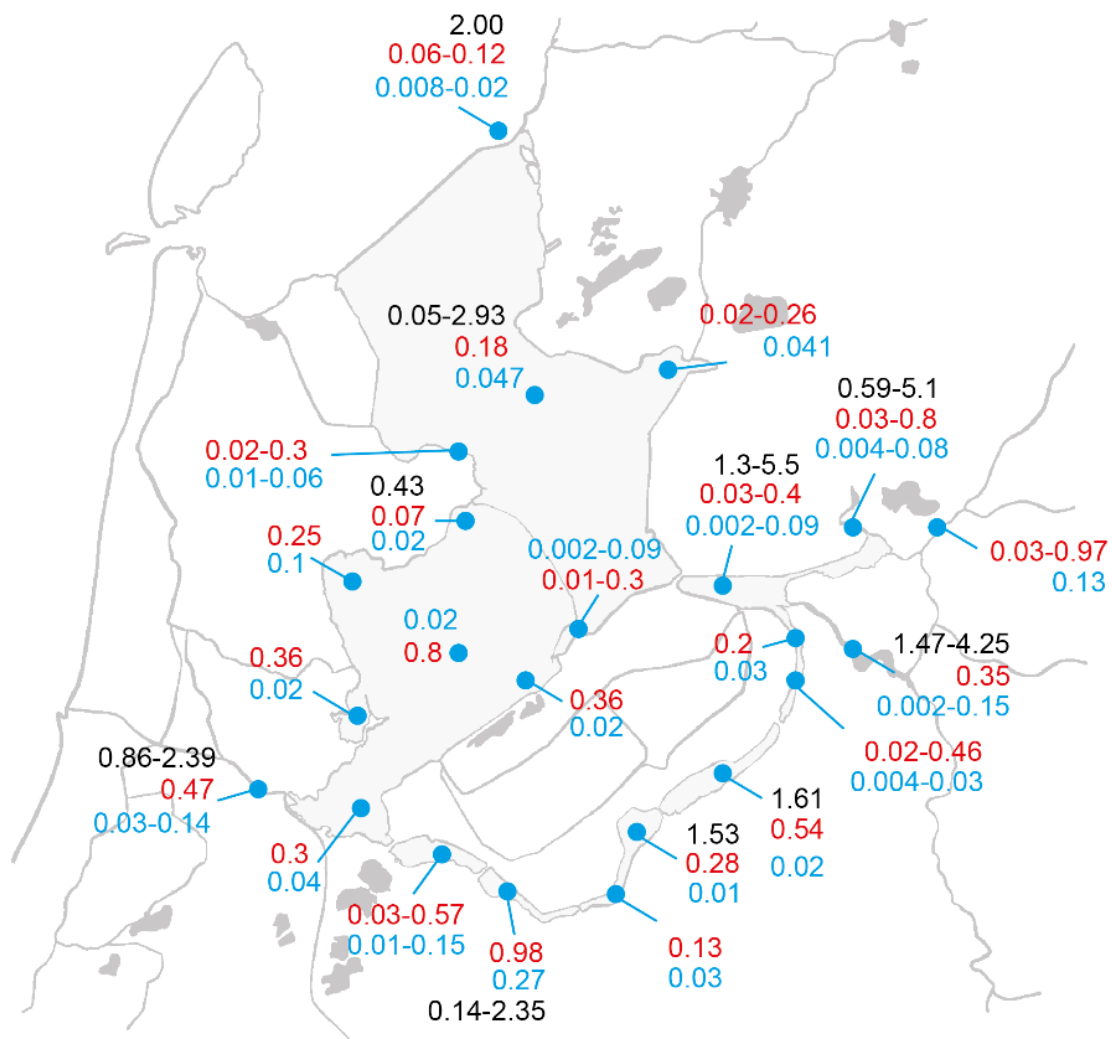
**Figuur 14:** Stoffenstromen zijn gerelateerd aan de waterstromen in het ecosysteem en hun stoffenconcentraties.

Op basis van informatie over de waterstromen kunnen de stofstromen in het gebied op grote lijnen bepaald worden. Er is in kaart gebracht op welke punten stoffen het ecosysteem binnen kunnen komen en hoe groot het aandeel van deze instroompunten is wat betreft watervolumes. Hiervoor zijn de deelwaterbalansen gebruikt. Dit beeld komt overeen met de instromen die weergegeven zijn in figuur 11 en 12.

Om de bijdragen aan de nutriëntenconcentraties van de verschillende waterstromen te kunnen bepalen is een vergelijkbare benadering gehanteerd als voor chloride (Figuur 12). Gegevens over nutriëntenconcentraties van het IJsselmeer nabij instroompunten zijn opgevraagd via <http://waterinfo.rws.nl>. Voor nutriënten in de meren zijn in deze dataset fosformetingen beschikbaar als totaal-P. Stikstof gegevens in de vorm van totaal N zijn alleen voor zoute wateren beschikbaar. Voor het IJsselmeergebied zijn wel gegevens van de concentraties ammonium ( $\text{NH}_4$ ) en nitraat plus nitriet ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ ) beschikbaar. De meeste data betreft niet-recente metingen, uit de jaren '80. In dit rapport is alleen data gebruikt van de laatste 15 jaar. De dataset geeft aan dat ammoniumconcentraties fluctueren in de tijd. Daarom is gekozen om totaal-P,  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$  en  $\text{NH}_4$  concentraties op de verschillende locaties in de meren als range (minimum-maximum gemeten waarden) te beschouwen (Figuur 15). Figuur 16 geeft een indicatie voor fosforbijdragen berekend uit een combinatie van watervolumes en gemiddelde fosforconcentraties nabij deze instromen zoals vermeld door Van der Geest *et al.* (2018).

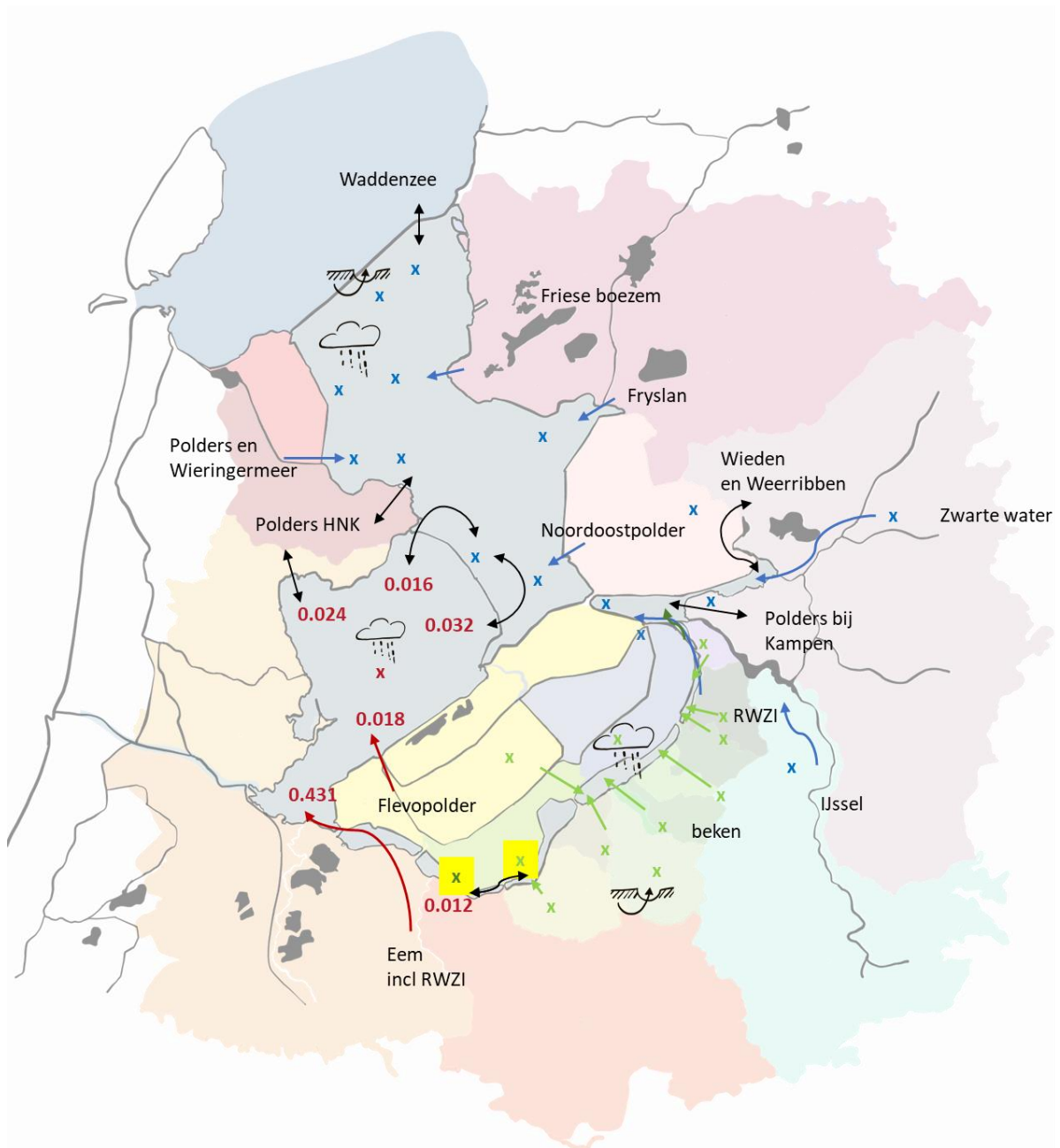
Enkele gebieden lijken relatief rijker aan nutriënten, zoals de monding van de IJssel, het Zwarte meer en Ketelmeer, de instroom via het Eemmeer-Gooimeer en de urbane gebieden rondom het IJmeer. Op basis van de verzamelde informatie kan echter geen betrouwbaar beeld van de nutriënteninstroom naar het IJsselmeer gemaakt worden. Er bestaan te veel witte vlekken in de kennis van nutriëntenconcentraties en -fluctuaties in de verschillende waterstromen om de stoffenstromen in te kunnen vullen. Om een betrouwbare stoffenbalans op te kunnen stellen, zouden de stoffenconcentraties voor de toe- en afvoerende waterstromen bekend moeten zijn om vrachten te kunnen berekenen. Ook is inzicht in fluctuaties en het openen en sluiten van de kunstmatige waterinlaten gewenst. Voor de Randmeren is het zeer complex een stoffenbalans op te stellen, omdat voor dit gebied geen actuele, sluitende waterbalans voor handen is.





**Figuur 15:** Fosfor (P-totaal, blauw), nitraat plus nitriet (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>, zwart) en ammonium (NH<sub>4</sub>, rood) concentratie op verschillende locaties in de meren, weergegeven als ranges (min-max) in mg/l. Voor alle punten waarvoor geen ondergrens gegeven is, geldt voor P<0.001, voor NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub><0.05, en voor NH<sub>4</sub><0.01.

Hoe groot de totale toevoer van stoffen is (in vrachten) die via een oppervlaktewaterstroom toegevoerd worden, wordt bepaald door watervolumes in combinatie met stoffenconcentraties. Zo kan een relatief kleine waterstroom met hoge concentraties aan nutriënten een grote invloed op de ecologie in het IJsselmeergebied hebben. Toevoeren van hoog geconcentreerde stoffen kunnen tot stress leiden. Het is daarom belangrijk om te weten wat de kwantiteit van stoffen is die door de toevoerende waterstromen geleverd worden. Op basis van de deelstroomgebieden kan geanalyseerd worden welke gebieden een bijdrage leveren aan de stoffentoevoer naar de meren. Voor SESA dienen in een volgende stap de bronnen voor de stofstromen uit deze gebieden geïdentificeerd en gekwantificeerd te worden om te kunnen bepalen waar de toevoer van stoffen als stressor werkt.



**Figuur 16:** Fosfor bijdragen (mg/l) door waterstromen in het Markermeer. De bijdragen voor de rest van het IJsselmeergebied zijn niet bekend.

### 3.5 Stoffenanalyse IJsselmeergebied in SESA

Naast de stoffenstromen via oppervlaktewaterstromen, vindt af- en uitspoeling van stoffen vanuit de bodem plaats. Deze stofstromen kunnen hoge concentraties van stoffen zoals nutriënten, slib en toxische stoffen bevatten en naar de meren transporteren en daarmee voor chemische stress zorgen. Een voorbeeld is de chemische stress uit diffuse bronnen. De mate waarin deze stoffen in het oppervlaktewater terecht komen en het merenecosysteem kunnen beïnvloeden, hangt samen met verschillende parameters die de concentraties van stoffen en het transport richting het oppervlaktewater bepalen. Voorbeelden zijn landgebruik, mate van afstroming, filtercapaciteit van de bodem en bodemtype. De stofstromen vanuit diffuse bronnen kunnen in SESA berekend worden door het combineren van informatie van deze parameters op schaal van de deelstroomgebieden.

Om te kunnen detecteren waar stress door stoffen kan optreden, wordt in SESA de stress door stoffen per deelgebied berekend. De stoffenbelasting in een deelgebied wordt op basis van landgebruik in beeld gebracht. Per deelgebied is via landgebruikskaarten te achterhalen welk landgebruik er plaatsvindt. Van ieder landgebruikstype is ook bekend hoeveel nutriënten er worden gebruikt. Een percentage van deze nutriënten stroomt af of spoelt uit naar het oppervlaktewater of grondwater, afhankelijk van de bodemeigenschappen. De totale stress door nutriënten op de meren, is een accumulatie van de bijdragen uit alle deelgebieden. Omgekeerd is het met SESA ook mogelijk om vanuit de stress op de meren te identificeren uit welk deelgebied de stress specifiek vandaan komt. In dit project is vastgesteld welke deelstroomgebieden bijdragen aan de ecologie van de meren, het detecteren en kwantificeren van de stofbronnen per deelgebied is nu de volgende stap.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Voor het IJsselmeer en Markermeer-IJmeer zijn de waterstromen via deelbalansgebieden goed bruikbaar om de waterstromen in het IJsselmeergebied te kwantificeren. Rivierwater van de IJssel en neerslag zorgen voor de grootste wateraanvoer. Voor de Randmeren is nog geen betrouwbare waterbalans beschikbaar. De Randmeren ontvangen hun water via neerslag, kwel, uitmondende beken en inlaatwater vanuit de polders. Ook de route Zwarte Water-Zwarte Meer-Ketelmeer en Eem-Eemmeer-Gooimeer zijn belangrijke toestroomroutes van water. Vanuit de Randmeren stroomt het water af naar het Markermeer-IJmeer en het IJsselmeer. Tussen de verschillende compartimenten is er wateruitwisseling, resulterend in een netto afvoerende waterstroom vanuit de Randmeren via het Markermeer en IJsselmeer richting de Waddenzee. Op de punten waarin de waterbalansen voor de verschillende compartimenten elkaar overlappen, zijn verschillen de waarden voor uitwisseling tussen de meren nog. Het opstellen van een waterbalans voor het hele gebied kan zorgen voor een goede afstemming tussen de nu beschikbare waterbalansen voor de compartimenten.

De waterstromen in het gebied zijn sterk gereguleerd, alleen vanuit de rivieren IJssel en Eem en diverse beken vindt vrije afstroom plaats. De overige in- en afvoeren worden via kunstwerken (gemalen, inlaten) gereguleerd. De waterstromen staan in het teken van het in het gebied gehandhaafde waterregime met omgekeerd peil en worden gereguleerd om te kunnen voldoen aan de zoetwatervraag vanuit omliggende gebieden, bijvoorbeeld zoetwater t.b.v. landbouw, het in stand houden van veengebieden en het tegengaan van verzilting. Dit betekent dat inlaten en gemalen onregelmatig open en dicht worden gezet, afhankelijk van de omstandigheden en watervraag. Deze ad hoc beslissingen worden niet gedocumenteerd. Dit maakt het moeilijk om op het niveau van in- en uitstroompunten een sluitende water- en stoffenbalans te maken. Voor het Markermeer en het IJsselmeer is om deze reden een waterbalans op het niveau van deelwaterbalansgebieden opgesteld. Waterstromen zijn gekwantificeerd op basis van in- en uitstromen van hydrologische gebieden. Dit wordt de bakjesmethode genoemd, waarin hydrologische gebieden als bakjes worden beschouwd waar water in- en uitstroomt.

Het koppelen van nutriënten en andere stoffen aan deze waterstromen, vereist kennis van de concentraties nutriënten en stoffen die deze waterstromen bevatten. Er is getracht deze stofstromen te kwantificeren, maar het bleek complex om actuele data voor alle stromen te achterhalen. Dit is wel nodig om de vrachten die naar, van en binnen het ecosysteem getransporteerd worden en ter beschikking komen aan organismen in het ecosysteem te kunnen berekenen. Wellicht kan in een vervolgonderzoek deze informatie via regionale beheerders verkregen worden en aan de SESA toegevoegd worden. Naast kwantitatieve data, zijn niet voldoende tijdsreeksen beschikbaar om de fluctuaties in de chemische samenstellingen van de waterstromen in beeld te krijgen.

Om een ecosysteembrede systeemanalyse te realiseren, zou een kloppende gekwantificeerde water- en stoffenbalans de analyse versterken. Op basis van de nu beschikbare gegevens, kan nog onvoldoende nauwkeurig bepaald worden hoe de stofstromen van en naar de meren lopen en wat hun omvang is. Zo is het bijvoorbeeld moeilijk de bijdrage van de polders aan de waterkwaliteit in het IJsselmeergebied te bepalen.

Op basis van de hydrologie en stoffenstromen in het gebied vormen naast de grote meren ook de omliggende polders en veengebieden, alle uitmondende rivieren en beken, en het stedelijk gebied rondom het IJmeer onderdeel van het ecosysteem IJsselmeergebied. Dit hele gebied heeft invloed op het ecologisch

functioneren. Dit functioneren ondervindt knelpunten als gevolg van de kunstmatige, tegennatuurlijke hydrologie in het gebied. Om het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied te verbeteren, zouden hydrologische aanpassingen ten behoeve van de watervraag vanuit de gebruiksfuncties van het meer beter afgestemd moeten worden op natuurlijke processen die noodzakelijk zijn voor een goede ecologische ontwikkeling.

Op basis van de verkenning van water- en stofstromen in het ecosysteem IJsselmeergebied, komen we tot de volgende aanbevelingen voor vervolgacties:

- 1) Om een betrouwbare SESA uit te voeren is het nodig eerst een waterbalans voor de Randmeren uit te werken op basis van de actuele hydrologische situatie, die aansluit bij de waterbalansen van het Markermeer en IJsselmeer (volgens de methode Van der Geest et al. (2018) en Vergroessen (2019)). Deze wens bestaat ook bij Rijkswaterstaat en bij de beheerder van de waterbalansgegevens voor de Randmeren, Carlijn Bak (Deltares). Het streven is om 'e'en waterbalans te maken voor het complete ecosysteem IJsselmeergebied. Daarvoor is het afstemmen van de deelbalansen ook een stap.
- 2) Kwantificeren van regionale waterstromen en stoffenconcentraties (nutriënten, zout, organische stof en toxische stoffen) van de oppervlaktewaterstromen.
- 3) Verzamelen van actuele stoffenconcentraties van diverse punten nabij in- en uitlaatpunten in de meren. Niet alleen de waterstromen, maar ook de afstroom/instream vanuit het land moet ingevuld worden in de SESA.
- 4) Verkrijgen van inzicht in de fluctuaties en dynamiek van waterstromen en stoffenconcentraties.
- 5) Verkrijgen van inzicht in de waterregulatie via de kunstwerken, gerelateerd aan watervragen voor gebruiksdoelen.

Nu de balans op hoofdlijnen opgesteld is met beschikbare informatie en de deelstroomgebieden voor het ecosysteem bekend zijn, kunnen gegevens gericht per deelgebied of in-uitstroompunt opgevraagd worden bij Rijkswaterstaat en Waterschappen. Er bestaan nog veel onduidelijkheden en hiaten in de basisdata die nodig zijn om de basislagen voor hydrologie en stoffen voor SESA op te bouwen. Een essentiële volgende stap is om deze basisgegevens compleet te maken.

## 5 Referenties

- de Vries J., M.H.S. Kraak, R.C.M. Verdonschot, en P.F.M. Verdonschot (2019) Quantifying cumulative stress acting on macroinvertebrate assemblages in lowland streams *Science of the Total Environment* 694: 1-11
- Jeppesen, E., J. P. Jensen, M. Sondergaard, T. Lauridsen, & F. Landkildehus (2000). Trophic structure, species richness, and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshwater Biology* 45: 201– 218.
- Johnson, R. K., Furse, M. T., Hering, D., & Sandin, L. (2007). Ecological relationships between stream communities and spatial scale: implications for designing catchment-level monitoring programmes. *Freshwater Biology*, 52(5), 939-958.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat (2017) Preverkenning IJsselmeergebied. Achtergronddocument Preverkenning ecologische kwaliteit IJsselmeergebied. Eindconcept rapport, versie 20171201
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2018) IJsselmeergebied 2050, Uitvoerings-, kennis- en innovatieagenda 2019-2020, 27 pp.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2018) Peilbesluit IJsselmeergebied 14 juni 2018. Rijkswaterstaatsdocument mn0618tp330, 40 pp.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij (2009) Besluit Natura-2000 gebied Markermeer & IJmeer. PDN/2009-073.
- Noordhuis, R. (2010) Ecosysteem IJsselmeergebied: nog altijd in ontwikkeling. Trends en ontwikkelingen in water en natuur van het Natte Hart van Nederland. Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad.
- Noordhuis, R., S. Groot, M.D. Pires, & M. Maarse (2014) Wetenschappelijk eindadvies ANT-IJsselmeergebied: vijf jaar studie naar kansen voor het ecosysteem van het IJsselmeer, Markermeer en IJmeer met het oog op de Natura-2000 doelen. Deltares rapport.
- Platteeuw, M., W. Iedema, C. Breukers en K. Hartnack (2018) Nota: Naar duurzaam ecologisch beheer. Maatregelpakket bij het beheerplan Natura2000 IJsselmeergebied. Onderliggende Nota bij het beheerplan N2000 IJsselmeergebied. RWS document, 14 pp.
- Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017a) Natura 2000 Beheerplan IJsselmeergebied 2017 – 2023, Zwarte meer. RWS rapport WD1017LL053
- Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017b) Natura 2000 Beheerplan IJsselmeergebied 2017 – 2023, IJsselmeer. RWS rapport WD1017LL055
- Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017c) Natura 2000 Beheerplan IJsselmeergebied 2017 – 2023; Markermeer en IJmeer. Rijkswaterstaat rapport, WD1017LL057, 64 pp.
- Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017d) Natura 2000 Beheerplan IJsselmeergebied 2017 – 2023, Veluwerandmeren. RWS rapport WD1017LL059
- Rijkswaterstaat (2019) Programmatische Aanpak Grote Wateren. Verder met de verbetering van ecologische waterkwaliteit. Rijkswaterstaat rapport PPO0419KK102
- Saaltink, R. (2018) Wetland eco-engineering with fine sediment. PhD thesis, 259 pp.
- Van den Berg, L.J.L., M.C. van Riel en L. Bakker (2014) MarkerMeerMoeras: Nieuwe Kansen voor Natura 2000. CWE, Rijkswaterstaat rapport 2014.01
- Van der Geest, H.G., J.A. Vonk en M. Ouboter (2018) Reconstructie water- en stoffenbalans Markermeer 1976-2015. Universiteit van Amsterdam en Waternet rapport, 21 pp.
- Van Luijn, F. en E. Rijsdijk, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat IJsselmeergebied (RWS IJG) (2006) Risico-analyse KRW IJsselmeergebied: achtergronddocument: implementatie van de Europese Kaderrichtlijn Water in het IJsselmeergebied. IJG-werkdocument 2006-14, 27 pp.
- Van Riel, M.C., J.A. Vonk, R. Noordhuis, and P.F.M. Verdonschot (2019) Novel ecosystems in urbanized areas under multiple stressors: Using ecological history to detect and understand ecological processes of an engineered ecosystem (lake Markermeer). Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 34 pp.
- Van Riel, M.C., J.A. Veraart, en P.F.M. Verdonschot (2020). Systeemanalyse van het IJsselmeergebied, een kennisinventarisatie. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 20 pp. <https://doi.org/10.18174/528305>
- Van Rijn, S., M. Menken en M. Platteeuw (2010) Doeluitwerking Natura 2000 IJsselmeergebied. Waterdienst Rijkswaterstaat, Lelystad.
- Verdonschot, P.F.M. (2009) Het brede beekdal als klimaatbestendige buffer in de veranderende leefomgeving: flexibele toepassing van het 5B-concept in Peel en Maasvallei. 64 pp.
- Verdonschot, P. F. M., R.C.M. Verdonschot en A.A. Besse-Lototskaya (2015) ESF stromende wateren en stroomgebiedsbrede ecologische systeemanalyse. H2O online, 28 aug 2015

- Verhoeven, J. T., Maltby, E., & Hefting, M. M. (2007). Wetlands and water quality. Ramsar Convention, Gland, April 2007. 55 pp.
- Vergroessen, T. (2019) Water en stoffen balans IJsselmeer. Versie 2.0, November 2019. Deltares rapport 11203712-002-ZKS-0006, 39 pp.

## Bijlage 1

Toelichting van de water toevoer en afvoerpunten in het IJsselmeergebied. De codering (cijfers en kleuren) correspondeert met de codering in figuur 7.

code op kaart	uitwisselingspunt	basin	aanvoer	afvoer	type afwatering
IJSELMEER					
1	schutverlies afsluitdijk	IJsselmeer	x		sluis
1	kwel door afsluitdijk	IJsselmeer	x		sluis
1	Spui Lorenz	IJsselmeer		x	sluis
2	Spui Stevin	IJsselmeer		x	sluis
3,4	Markermeer	IJsselmeer	x		sluis
3	Markermeer (Houtrib)	IJsselmeer		x	sluis
4	Markermeer (Krabbersgat)	IJsselmeer		x	sluis
5	Zwarte water	IJsselmeer	x		
6	IJssel	IJsselmeer	x		vrije afwatering
6	IJssel correctie (+8%)	IJsselmeer	x		vrije afwatering
7	Drontermeer	IJsselmeer	x	x	
8	Hoogland	IJsselmeer	x		gemaal
9	Wouda	IJsselmeer	x		gemaal
10	Smeenge	IJsselmeer	x		gemaal
11	Buma	IJsselmeer	x		gemaal
12	Vissering	IJsselmeer	x		gemaal
13	Veneriete	IJsselmeer	x		kanaal
14	Nieuw Lutterzijl Mastenbroek	IJsselmeer	x		polder
14	inlaat Mastenbroek	IJsselmeer		x	inlaat
15	Nieuw Lutterzijl Koekoek	IJsselmeer	x		polder
15	inlaat Koekoek	IJsselmeer		x	inlaat
16	Stroink	IJsselmeer	x		gemaal
17	Kampereiland	IJsselmeer	x		polder
17	vrije instroom Kampereiland	IJsselmeer		x	vrije afwatering
18	Roggebot	IJsselmeer	x		sluis
19	Colijn Hoog	IJsselmeer	x		gemaal
20	Colijn Laag	IJsselmeer	x		gemaal
21	Grootslag	IJsselmeer	x		gemaal
21	inlaat Grootslag	IJsselmeer		x	inlaat
22	Vier Noorder Koggen	IJsselmeer	x		gemaal
22	inlaat 4NK	IJsselmeer		x	inlaat
23	Lely	IJsselmeer	x		gemaal
24	Zwarte meer	IJsselmeer		x	
25	WRK-III (waterwinstation Prinses Juliana in Andijk red.)	IJsselmeer		x	waterwinning
26	inlaat Friese boezem	IJsselmeer		x	inlaat
27	inlaat NOP Hoog	IJsselmeer		x	inlaat
28	inlaat NOP laag/tussen	IJsselmeer		x	inlaat
29	inlaat NW Overijssel	IJsselmeer		x	inlaat
30	inlaat Kampen	IJsselmeer		x	inlaat
31	inlaat ZOF hoog	IJsselmeer		x	inlaat
32	inlaat ZOF laag	IJsselmeer		x	inlaat
33	inlaat Wieringermeer	IJsselmeer		x	inlaat

code op kaart	uitwisselingspunt	basin	aanvoer	afvoer	type afwatering
MARKERMEER					
1	de stenen beer	Markermeer		x	stuw met pomp
2	Gemaal Gooische Zomerkade	Markermeer	x		gemaal
3	Gemaal Zeeburg	Markermeer	x	x	gemaal
4	Gooyergracht	Markermeer	x		sluis
5	Groote zeesluis	Markermeer	x	x	sluis
6	RWZI Huizen	Markermeer	x		RWZI
7	Gemaal de Poel	Markermeer	x		gemaal
8	Gemaal Drieban	Markermeer	x		gemaal
9	Gemaal Katwoude Hogedijk	Markermeer	x		gemaal
10	Gemaal Oosterpolder	Markermeer	x		gemaal
11	Gemaal Warder	Markermeer	x		gemaal
12	Gemaal Westerkogge	Markermeer	x		gemaal
13	Inlaat Monnickendam *	Markermeer		x	inlaat
14	Inlaat Lutje Schardam Hornsluis	Markermeer		x	inlaat
15	Inlaat nabij gemaal Schellinkhout	Markermeer		x	inlaat
16	Inlaat Noordersluis en Zuidersluis Schardam	Markermeer		x	inlaat
17	Inlaat Schellinkhout Dorp	Markermeer		x	inlaat
18	Inlaat Schellinkhout Molen	Markermeer		x	inlaat
19	zeesluis	Markermeer		x	sluis
20	Houtribsluizen IJsselmeer	Markermeer	x	x	sluis
21	Krabbegatsluizen IJsselmeer	Markermeer	x	x	sluis
22	Nijkerkerkersluis Wolderwijd	Markermeer	x	x	sluis
23	Oranjesluis	Markermeer	?	x	sluis
24	Eem	Markermeer	x		vrij afwaterend
25	Gemaal Veendijk	Markermeer	x		gemaal
26	Gemaal Westdijk	Markermeer	x		gemaal
27	Gemaal Wiel / Nijker gemaal ?	Markermeer	x		gemaal
28	Gemaal De Blocq van Kuffeler - hoog	Markermeer	x		gemaal
29	Gemaal De Blocq van Kuffeler - laag	Markermeer	x		gemaal
30	Gemaal Wortman	Markermeer	x		gemaal
31	Gemaal Marken	Markermeer	x		gemaal
32	Ipenslotersluis	Markermeer	x		sluis
33	Gemaal Ijburg	Markermeer	x		gemaal
34	Diemerdammersluis	Markermeer	x		sluis
35	NUON centrale	Markermeer	x		energiecentrale
36	Arkersluis Nijkerk	Markermeer	x		sluis
37	Sluisbrug Almere	Markermeer		x	sluis
38	Gemaal Schellinkhout	Markermeer	x		gemaal
39	Gemaal Kolfschoten	Markermeer	x		gemaal
RANDMEREN					
1	RWZI Elburg	Randmeren	x		RWZI
2	gemaal De Wenden	Randmeren	x		gemaal
3	gemaal Kamperveen	Randmeren	x		gemaal
4	Puttenerbeek	Randmeren	x		vrije afwatering
5	Roggebotsluis	Randmeren	x		sluis
5	Roggebotspui	Randmeren		x	sluis
6	r.w.z.i. Harderwijk	Randmeren	x		RWZI
7	Beken (4)	Randmeren	x		vrije afwatering
7	Beken (5)	Randmeren	x		vrije afwatering
7	Overige beken	Randmeren	x		vrije afwatering
8	Bijsselsebeek	Randmeren	x		vrije afwatering
9	Hierdensebeek	Randmeren	x		vrije afwatering
10	gemaal Lovink	Randmeren	x		gemaal
11	Puttergemaal	Randmeren	x		gemaal
12	Schuitenbeek	Randmeren	x		vrije afwatering
13	Lek Nijkerkersluis	Randmeren	x		sluis
13	spui Nijkerkersluis	Randmeren		x	sluis
14	inlaten Oude Land	Randmeren		x	inlaat



## Bijlage 2

Benoeming van de deelstroomgebieden in het IJsselmeergebied.

Meer	Deelstroomgebieden
IJsselmeer	<p>basin IJsselmeer, Ketelmeer en Zwarte meer</p> <p>waterbalansgebied 1: Friesland</p> <p>waterbalansgebied 2: NoordOost Polder 2a) Hoge afdeling</p> <p>waterbalansgebied 2: NoordOost Polder 2b) Lage afdeling</p> <p>waterbalansgebied 3: Noordwest Overijssel 3b1) polder Mastenbroek</p> <p>waterbalansgebied 3: Noordwest Overijssel 3b2) polder Koekoek</p> <p>waterbalansgebied 3: Noordwest Overijssel 3c) Noordwest Overijssel en Vledder- en Wapserveense-Aa</p> <p>waterbalansgebied 3: Noordwest Overijssel 3d) Kampereiland</p> <p>Waterbalansgebied 4: Gebied rond Kampen, tussen IJssel en Vossemeer</p> <p>Waterbalansgebied 5: Zuidelijk en Oostelijk Flevoland 5a) hoge afdeling</p> <p>Waterbalansgebied 5: Zuidelijk en Oostelijk Flevoland 5b) lage afdeling</p> <p>Waterbalansgebied 6: Hollands Noorderkwartier 6a) Grootslag</p> <p>Waterbalansgebied 6: Hollands Noorderkwartier 6b1) vier Noorder Koggen hoge afdeling</p> <p>Waterbalansgebied 6: Hollands Noorderkwartier 6b2) vier Noorder Koggen lage afdeling</p> <p>Waterbalansgebied 6: Hollands Noorderkwartier 6c1) Wieringermeer afdeling 2</p> <p>Waterbalansgebied 6: Hollands Noorderkwartier 6c2) Wieringermeer afdeling 3</p> <p>Waterbalansgebied 6: Hollands Noorderkwartier 6c3) Wieringermeer afdeling 4</p>
Markermeer	<p>punten samen HHNK</p> <p>punten samen V en V</p> <p>punten samen Zuiderzeeland</p> <p>punten samen AGV</p> <p>Nijkerkersluis, spui en lek netto</p>

Randmeren	Puttenerbeek Flevoland Overige beken Bijsselsebeek Herdensebeek Schuitenbeek Beken (5) Beken (4)
-----------	---

## Bijlage 3

Samenvatting waterbalansen ter verduidelijking van de figuren 8, 9 en 10

compartment	Uitwisselingspunt/post	IN (miljoen m3/jaar)	UIT (miljoen m3/jaar)	sluitpost als percentage van totale aanvoer
Markermeer	HHNK	62.5	125	
	V en V	375	0	
	Zuiderzeeland	187.5	0	
	Nijkerkersluis	187.5	62.5	
	Houtribsluis	375	0	
	AGV	0	187.5	
	verdamping	0	562.5	
	wegzijging	0	125	
	Houtribsluis	0	562.5	
	Krabbergatsluis	187.5	187.5	
	rest	0	187.5	
	Oranjesluis	0	62.5	
	Totaal aanvoer	2000		
	Totaal afvoer		2062.5	
Sluitpost tov tot. aanvoer	-62.5		-3%	
Randmeren	Neerslag	58.76		
	Kwel	33.69		
	RWZI Elburg	6.60		
	gemaal De Wenden	22.22		
	gemaal Kamperveen	8.19		
	Puttenerbeek	7.11		
	Roggebotsluis	0.10		
	r.w.z.i. Harderwijk	13.32		
	Overige beken	26.27		
	Bijsselsebeek	6.17		
	Hierdensebeek	6.35		
	gemaal Lovink	185.80		
	Puttergemaal	5.16		
	Schuitenbeek	3.89		
	Beken (5)	2.45		
	Lek Nijkerkersluis	0.02		
	Beken (4)	1.60		
	Verdamping		46.05	
	Wegzijging		138.22	
	inlaten Oude Land		0.45	
	Roggebotspui		39.17	
	Lek Nijkerkersluis		9.28	
	spui Nijkerkersluis		271.27	
Totaal aanvoer	387.70			
Totaal afvoer		504.44		
Sluitpost tov tot. aanvoer	-116.75		-30%	

compartiment	Uitwisselingspunt/post	IN (miljoen m3/jaar)	UIT (miljoen m3/jaar)	sluitpost als percentage van totale aanvoer	
IJsselmeer	schutverlies afsluitdijk	66.5			
	kwel door afsluitdijk	1.1			
	Zwarte water	1770			
	IJssel	12120			
	IJssel correctie (+8%)	969.6			
	Drontermeer	35			
	Markermeer	742			
	neerslag	1006			
	Hoogland	237			
	Wouda	26			
	Smeenge	20			
	Buma	275			
	Vissering	150			
	Veneriete	26			
	Nieuw Lutterzijl Mastenbr	8			
	Nieuw Lutterzijl Koekoek	45			
	Stroink	126			
	Kampereiland	18			
	Roggebot	6			
	Colijn Hoog	50			
	Colijn Laag	277			
	Grootslag	71			
	Vier Noorder Koggen	62			
	Lely	29			
	Zwarte meer			60.1	
	Drontermeer			0.02	
	Spui Stevin			8325.2	
	Spui Lorenz			7952.8	
	Markermeer (Houtrib)			324.8	
	Markermeer (Krabbersgat)			165.5	
	WRK-III			70	
	verdamping			872.4	
	inlaat Friese boezem			215.2	
	inlaat NOP Hoog			31	
	inlaat NOP laag/tussen			50.6	
	inlaat Mastenbroek			7.8	
	inlaat Koekoek			0	
	inlaat NW Overijssel			86.8	
	vrije instroom Kampereiland			7.2	
	inlaat Kampen			1.2	
	inlaat ZOF hoog			4.6	
	inlaat ZOF laag			0.05	
	inlaat Grootslag			17	
	inlaat 4NK			3.2	
	inlaat Wieringermeer			8	
totaal met gemiddelde concentratie					
Totaal aanvoer		18136.2			
Totaal afvoer			18203.47		
Sluitpost tov tot. aanvoer		-67.27		-0.40%	