



KWR 2022.072 | Juli 2022

## **Beschikbare kennis van stromen in het watersysteem**

Dataverzameling voor conceptuele  
watersysteemmodellen



# Rapport

## Beschikbare kennis van stromen in het watersysteem

Dataverzameling voor conceptuele watersysteemmodellen

**KWR 2022.072 | Juli 2022**

### Opdrachtnummer

403664

### Projectmanager

dr. Klaasjan Raat

### Opdrachtgever

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door het programma Water in de Circulaire Economie (WiCE), onderdeel van het Bedrijfstakonderzoek van de drinkwatersector, en het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW) van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

### Auteurs

dr. Sija F. Stofberg, dr. ir. Marjolein H.J. van Huijgevoort, Esther A. Brakkee MSc., dr. ir. Ruud P. Bartholomeus

### Kwaliteitsborger

dr. K.J. Raat

### Verzonden naar

Programma Water in de Circulaire Economie (WiCE), Deltaprogramma Zoetwater

Dit rapport is openbaar.

### Keywords

watersysteem, beschikbare kennis, waterbeschikbaarheid, hergebruik

[Jaar van publicatie](#)  
2022

[Meer informatie](#)  
dr Sija Stofberg  
T 030-6069569  
E [sija.stofberg@kwrwater.nl](mailto:sija.stofberg@kwrwater.nl)

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

**KWR**

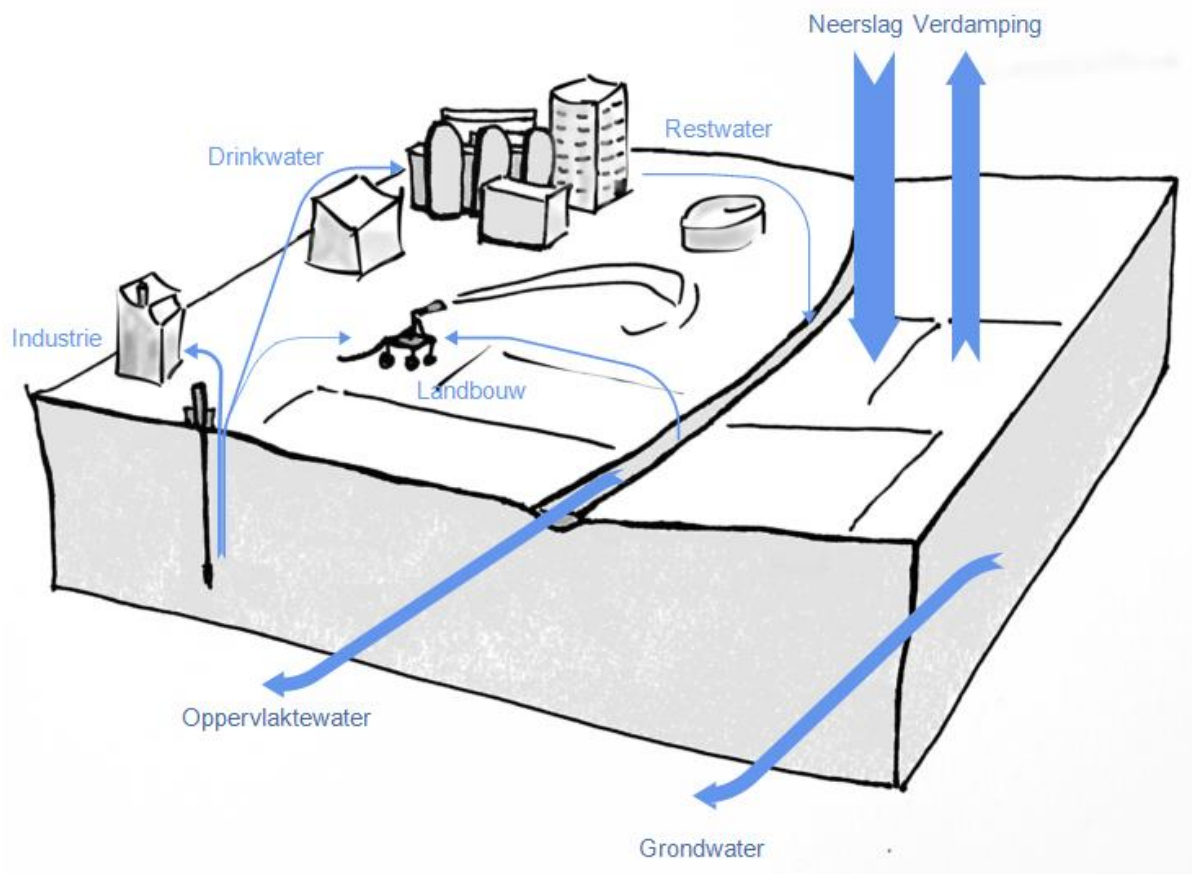
Juli 2022 ©

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

# Managementsamenvatting

Auteurs dr. SF Stofberg, dr. ir. MHJ van Huijgevoort, EA Brakkee MSc., dr. ir. RP Bartholomeus

Om inzicht te krijgen in vraagstukken die gerelateerd zijn aan het watersysteem, is het vaak nuttig om een samenhangend beeld te vormen van alle belangrijke waterstromen in een bepaald gebied en de onderlinge afhankelijkheid van deze stromen. In verschillende onderzoeken is kennis verzameld en gevisualiseerd van deze waterstromen. Bij de uitvoering van deze projecten werd duidelijk dat een deel van deze kennis goed gedocumenteerd en beschikbaar is, terwijl van sommige waterstromen relatief weinig bekend is. In dit onderzoek wordt een overzicht gegeven van de beschikbare kennis rondom de omvang van belangrijke waterstromen in het watersysteem op regionale tot landelijke schaal, op basis van bevindingen uit eerdere onderzoeken. De waterstromen betreffen hydrologische stromen (zoals neerslag, oppervlaktewaterafvoer, etc) en antropogene waterstromen (zoals drinkwater, restwater, etc). Voor de betreffende waterstromen wordt beschreven welk type gegevens beschikbaar is en waar deze te vinden of op te vragen zijn. Het overzicht kan als referentie dienen in verkenningen naar stromen in regionale watersystemen. Daarnaast kunnen de geïdentificeerde kennisleemtes en onzekerheden een aanleiding vormen om de betreffende stromen beter in kaart te brengen.



Overzicht van belangrijke stromen in het watersysteem, weergegeven als Sankey diagram. Beschikbaarheid van kennis over deze stromen hangt sterk af van het type stroom. Voor diffuse stromen (zoals evapotranspiratie en grondwater) geldt dat deze vaak niet eenvoudig meetbaar zijn, waardoor data vooral gebaseerd is op modelberekeningen. Van grote en/of centraal geregelde onttrekkingen (zoals voor drinkwater en industrie) en lozingen (industrie, RWZI) is relatief veel bekend. Bij kleine stromen (zoals landbouwonttrekkingen, kleine waterlopen) is sprake van relatief grote onzekerheid, omdat deze stromen minder vaak gemeten en/of geregistreerd worden, maar talrijk kunnen zijn.

**Aanpak: Overzicht van beschikbare kennis en kennisbronnen over stromen in het watersysteem**

In verschillende studies zijn overzichten van de omvang van waterstromen in regionale of nationale watersystemen in kaart gebracht op basis van diverse bronnen. In dit onderzoek zijn de bronnen en de beschikbaarheid van kennis voor ieder type waterstroom in een overzicht samengevoegd.

**Belang: Juiste kennis voor overzichtsstudies naar stromen in het watersysteem**

Veel watergerelateerde vraagstukken vragen om een geïntegreerde aanpak, waarbij gebruik wordt gemaakt van *systeemdenken*. Hierbij is het vaak nuttig om een conceptueel watersysteemmodel te maken, waarin een overzicht wordt gemaakt van de belangrijkste waterstromen. Een dergelijk model kan gepresenteerd worden in de vorm van een Sankey diagram. Dergelijke visualisaties dragen bij aan een gelijkwaardige kennisbasis en kunnen als hulpmiddel worden gebruikt in de dialoog met betrekking tot watervraagstukken.

**Resultaten: Van grote stromen voldoende kennis, maar voor diffuse en kleine stromen onzekerheid**

In het kennisoverzicht wordt zichtbaar dat grote en/of centraal geregelde waterstromen, zoals de grote rivieren en grote onttrekkingen, vaak goed in beeld zijn. Voor diffuse stromen zoals grondwaterstroming en verdamping geldt dat deze niet goed meetbaar zijn, waardoor modelberekeningen als bron gebruikt moeten worden. Voor kleinere stromen, zoals landbouwonttrekkingen en kleinere lozingen, geldt dat deze vaak niet gemeten of geregistreerd worden, waardoor de beschikbare kennis zeer onzeker is.

**Toepassing: Bron voor overzichtsstudies en mogelijke aanleiding tot verbetering kennis**

Het kennisoverzicht kan als referentie worden gebruikt voor studies waarin waterstromen in regionale of landelijke watersystemen in kaart worden gebracht. Daarnaast kunnen de aangestipte kennisleemtes en onzekerheden aanleiding vormen voor vervolgonderzoek of verbetering van monitoring of registratie van bepaalde waterstromen.

**Het rapport**

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Beschikbare kennis van stromen in het watersysteem* (KWR-2022.072). Voor dit onderzoek is kennis gebruikt uit eerder onderzoek, waaronder *het Verkennend Onderzoek Waterhergebruik en zoetwatervoorziening* en *De RWZI als waterfabriek voor een robuuste watervoorziening*. Dit onderzoek is onderdeel van het programma Water in de Circulaire Economie (WiCE).



# Inhoud

<b>Managementsamenvatting</b>	<b>2</b>
<b>Inhoud</b>	<b>6</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2 Dataverzameling voor conceptuele watersysteemmodellen</b>	<b>10</b>
2.1 Afbakening van conceptuele watersysteemmodellen	10
2.2 Detailniveau van conceptuele watersysteemmodellen	11
2.3 Aanpak dataverzameling	12
<b>3 Overzicht van beschikbare kennis</b>	<b>13</b>
<b>4 Tot slot</b>	<b>22</b>
<b>5 Referenties</b>	<b>23</b>

# 1 Inleiding

In Nederland spelen diverse vraagstukken die te maken hebben met water. Een deel van deze vraagstukken heeft te maken met een ongewenste hoeveelheid water (te veel of te weinig) op een bepaald moment en een bepaalde locatie. Voorbeelden van deze vraagstukken zijn watertekorten als gevolg van droogte in de zomers van 2018-2020 en (risico op) wateroverlast als gevolg van hevige regenval. Dergelijke vraagstukken raken aan verschillende hydrologische deelsystemen (oppervlaktewater, grondwater, etc.) en antropogene systemen (de waterketen, watervoorziening voor de landbouw, etc.).

Om inzicht te krijgen in vraagstukken die gerelateerd zijn aan het watersysteem, is het vaak nuttig om een samenhangend beeld te vormen van alle belangrijke waterstromen in een bepaald gebied en de onderlinge afhankelijkheid van deze stromen. Zo'n samenhangend beeld wordt een (conceptueel) watersysteemmodel genoemd. Conceptuele watersysteemmodellen kunnen worden weergegeven in stroomdiagrammen, waarin waterstromen gevisualiseerd worden (zie bijvoorbeeld Figuur 1-1).

Wanneer er sprake is van vraagstukken rondom waterkwantiteit (zoals overschotten of tekorten), kan het nuttig zijn om informatie omtrent de omvang van de waterstromen toe te voegen. Hierbij is het nodig om kennis over de omvang van de waterstromen te verzamelen. Deze kennis kan weergegeven worden met behulp van een Sankey-diagram: een stroomdiagram waarbij de dikte van de pijlen de omvang van de stroom aangeeft (voorbeeld in Figuur 1-2).

Kennis weergegeven in Sankeydiagrammen is niet alleen van nut in overzichtsstudies en verkenningen, maar kan ook dienst doen als communicatiemiddel. Bij watergerelateerde vraagstukken zijn doorgaans meerdere stakeholders betrokken. Sankeydiagrammen kunnen bijdragen aan een gelijkwaardige kennisbasis, die de basis vormt voor dialoog. De ontwikkeling van conceptuele watersysteemmodellen vindt bij voorkeur ook plaats in dialoog (zie ook paragraaf 2.1).

In verschillende onderzoeken is kennis van de kwantiteit van waterstromen in het watersysteem verzameld en gevisualiseerd, op nationale schaal (Pronk et al., 2020) en regionale schaal (Krajenbrink et al., 2021). Ook in enkele lopende onderzoeken, onder andere binnen het collectieve onderzoeksprogramma WICE (Water in de Circulaire Economie) van de drinkwaterbedrijven, is (en wordt) dergelijke data verzameld en gebruikt om conceptuele watersysteemmodellen vorm te geven<sup>1</sup>. Bij de uitvoering van deze projecten werd duidelijk dat een deel van deze kennis goed gedocumenteerd en beschikbaar is, terwijl van sommige waterstromen relatief weinig bekend is. Ook het type en de bron van kennis kan sterk verschillen, zoals meetdata, modelresultaten of schattingen op basis van overheidsregistraties. In een aantal gevallen zijn meerdere kennisbronnen beschikbaar.

---

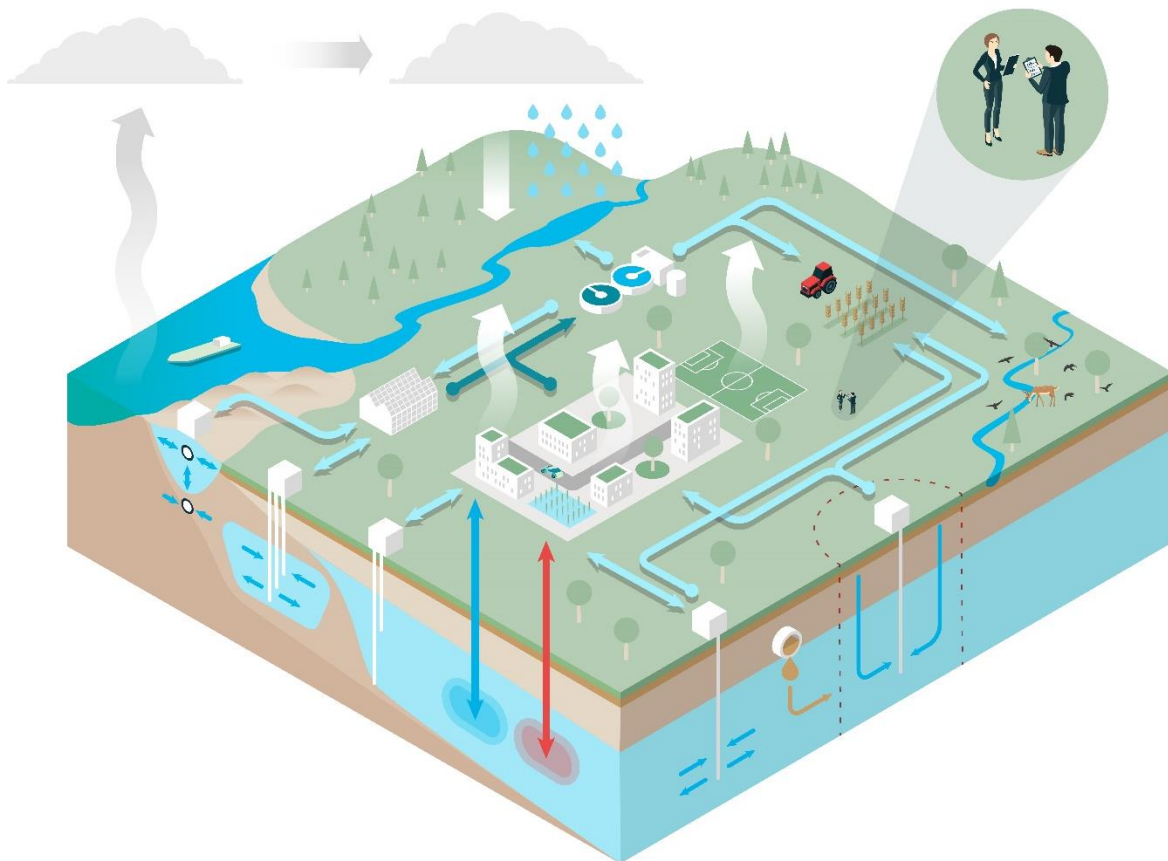
<sup>1</sup> <https://www.kwrwater.nl/projecten/verbinden-van-waterketen-en-watersysteem-voor-een-betere-balans-in-watervraag-en-aanbod/>



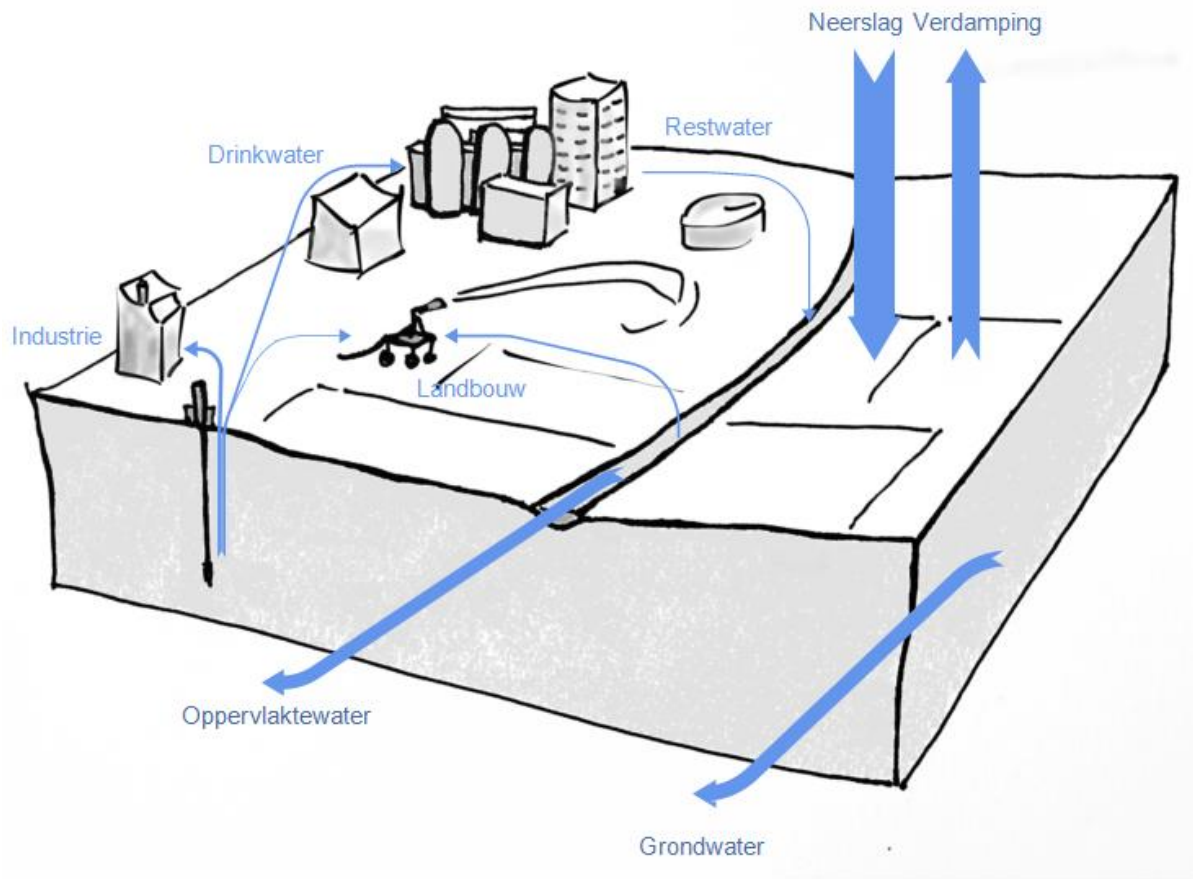
In dit document wordt een overzicht gegeven van de beschikbare kennis rondom de kwantiteit van belangrijke waterstromen in het watersysteem op regionale tot landelijke schaal, op basis van bevindingen uit eerdere onderzoeken. Ook wordt kort ingegaan op overwegingen met betrekking tot schaal (ruimte en tijd) en onzekerheden.

Dit document kan gebruikt worden als hulpmiddel bij onderzoeken naar waterstromen in het watersysteem, waaronder het ontwikkelen van (conceptuele) modellen van (onderdelen van) het watersysteem. Daarnaast kan het worden gebruikt als onderbouwing wanneer aanvullende dataverzameling wordt overwogen.

In Hoofdstuk 2 wordt kort ingegaan op overwegingen rondom de dataverzameling voor conceptuele watersysteemmodellen, waarbij verwezen wordt naar ervaringen uit eerdere onderzoeken. In Hoofdstuk 3 wordt een overzicht met beschikbare kennis gepresenteerd, waarna in Hoofdstuk 4 afgerond wordt met een samenvatting, waarin ingegaan wordt op belangrijke kennisleemten en onzekerheden.



*Figuur 1-1. Illustratie van waterstromen in een gebied, met de focus op de waterstromen die direct door mensen beïnvloed worden. Verschillende 'natuurlijke' stromen, zoals grondwaterstroming zijn niet weergegeven. Bron: [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)*



Figuur 1-2. Sankeydiagram met belangrijke stromen in het watersysteem (aangepast naar Brakkee et al. (2021)).

## 2 Dataverzameling voor conceptuele watersysteemmodellen

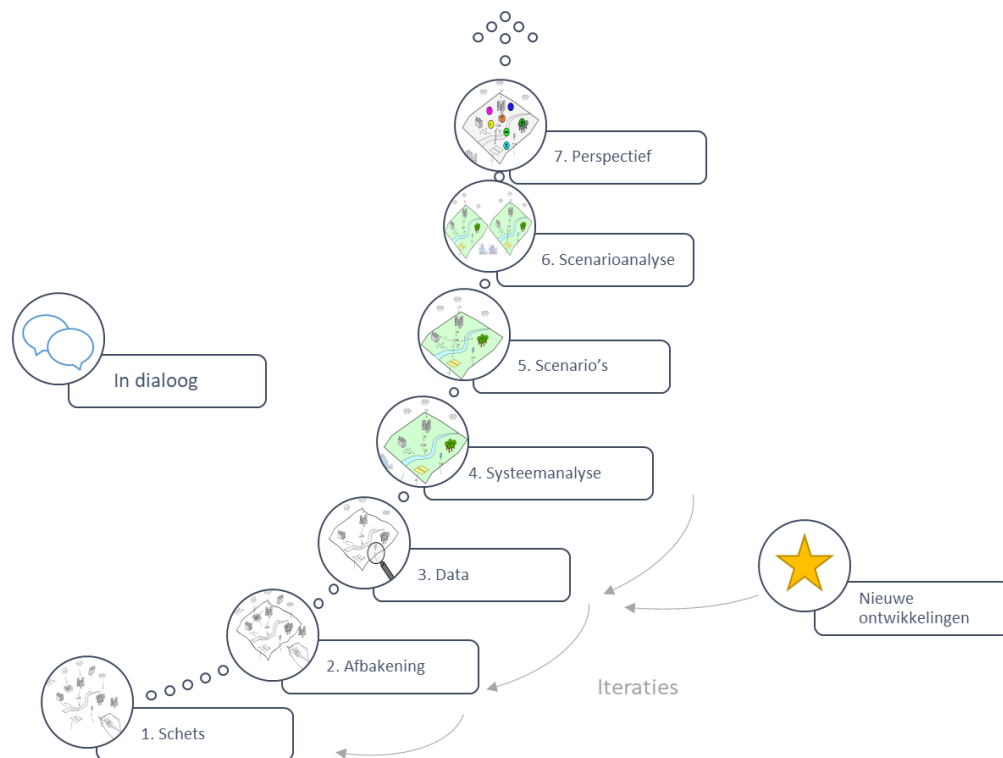
### 2.1 Afbakening van conceptuele watersysteemmodellen

In het rapport van Krajenbrink et al. (2021) is in Hoofdstuk 5 beschreven hoe conceptuele watersysteemmodellen ontwikkeld kunnen worden. Er worden daarin zeven stappen onderscheiden (Figuur 2-1):

1. Kwalitatieve schets watersysteem en -keten
2. Afbakening van het systeem
3. Data: kwantitatief in beeld brengen van de waterstromen
4. Systeemanalyse met behulp van een model
5. Formuleren en uitwerken van scenario's
6. Scenarioanalyse en gevolgen voor het watersysteem in beeld brengen
7. Perspectief: een eerste vergelijking van opties, aandachtspunten en kennisleemten

De dataverzameling (stap 3), die in dit rapport nader aan de orde komt, hangt sterk af van de afbakening (stap 2). In stap 2 worden samen met betrokken stakeholders keuzes gemaakt rondom de conceptuele, ruimtelijke en temporele afbakening. Deze onderdelen worden hieronder kort toegelicht, omdat deze van belang zijn bij de dataverzameling:

- **Afstemming met stakeholders.** Aangezien keuzes rondom modelafbakening een zekere mate van subjectiviteit met zich meebrengen kan het gewenst zijn om dit af te stemmen met stakeholders. Ook kan gebiedsspecifieke kennis van stakeholders van nut zijn bij de ontwikkeling van conceptuele watersysteemmodellen.
- **Conceptuele afbakening.** Hiermee worden de keuzes bedoeld over welke systeemonderdelen en waterstromen wel of niet worden meegenomen. Deze keuzes hangen sterk samen met het doel van het model, maar ook met het type systeem (welke stromen zijn wel/niet belangrijk).
- **Ruimtelijke afbakening.** Het gebied dat door het model wordt beschreven.
- **Temporele afbakening.** De tijdsperiode die door het model wordt beschreven.



Figuur 2-1. Stappen om tot een conceptueel watersysteemmodel te komen (uit: Krajenbrink et al. (2021)). Voor elke stap geldt dat deze bij voorkeur in dialoog met gebiedspartners plaatsvindt.

## 2.2 Detailniveau van conceptuele watersysteemmodellen

Naast afbakening worden ook keuzes gemaakt rondom het gewenste detailniveau van het watersysteemmodel. Ook hier geldt dat deze keuzes sterk samenhangen met het doel van het model.

In het algemeen geldt dat een model met een lager (grover) detailniveau omwille van overzichtelijkheid en hanteerbaarheid vaak te verkiezen is boven fijnere detailniveaus, behalve als een hoger (fijner) detailniveau een duidelijke meerwaarde heeft en tevens uitvoerbaar is. Het detailniveau van de beschikbare data kan in deze keuze ook een rol spelen:

- **Detailniveau van processen.** Dit betreft het detailniveau van de watersysteemcomponenten en waterstromen die expliciet aan bod komen. Als voorbeeld kan vergeleken worden dat het stedelijk gebied als één geheel in het model opgenomen wordt, of dat er bijvoorbeeld onderscheid gemaakt wordt tussen huishoudens, bedrijven en verharde oppervlakken. Vaak volgt het gewenste detailniveau van processen vrij duidelijk uit de conceptuele afbakening.
- **Ruimtelijke resolutie.** Conceptuele watersysteemmodellen kennen over het algemeen geen of een zeer beperkte ruimtelijke onderverdeling. In sommige gevallen kan het nodig zijn om (meer) onderscheid te maken tussen gebieden, bijvoorbeeld op basis van sterk verschillende landschapstypen (onderscheid tussen oppervlaktewater in een polder en een vrij afwaterend deel) of een maximale afstand waarover water getransporteerd kan worden.

- **Temporele resolutie.** Afhankelijk van het doel van het model en de gemodelleerde processen moet bepaald worden welk temporeel detailniveau nodig is. Bij sterke verschillen over de tijd is temporele detaillering vaak gewenst. Het is in Nederland bijvoorbeeld vaak het geval dat knelpunten rondom waterbeschikbaarheid alleen tijdens bepaalde perioden voorkomen (droge zomers), terwijl er over langere perioden (gemiddeld) geen enkele sprake is van een tekort aan water, maar van een overschot. Tijdens droge zomers kan er op langere tijdschalen sprake zijn van een watertekort in poldergebieden, waardoor aanvoer gewenst is, maar tijdens een grote regenbui kan er op een kleinere tijdschaal sprake zijn van een overschot.

### 2.3 Aanpak dataverzameling

Nadat bekend is welke gegevens (inclusief gebied, periode en detailniveau) nodig zijn, kunnen deze verzameld worden:

- **Opzoeken en opvragen van gegevens.** In Hoofdstuk 3 wordt een overzicht gepresenteerd van beschikbare kennis met betrekking tot watersystemen in Nederland. Veel van deze gegevens worden beheerd door overheidspartijen, zoals waterschappen en provincies. Net zoals in eerdere stappen in de ontwikkeling van een conceptueel watersysteemmodel, kan het ook hier gunstig zijn om samen op te trekken met deze stakeholders aangezien zij veel weten van het betreffende gebied, en kunnen helpen om de data op de juiste manier te selecteren en te interpreteren.
- **Toetsen op juistheid en volledigheid.** Gevonden of ontvangen data moet gecheckt worden op plausibiliteit. Dit kan gedaan worden door deze te vergelijken met andere beschikbare kennis (hoe verhoudt bijvoorbeeld de veronderstelde grondwateraanvulling zich tot het neerslagoverschot en de afvoer?) en eerdere onderzoeken. Ook het vergelijken van verschillende gegevensbronnen voor een zelfde waterstroom (indien beschikbaar) valt hieronder.

Nadat de data verzameld en verwerkt is, kan deze gebruikt worden in het model.

### 3 Overzicht van beschikbare kennis

In Tabel 3-1 is een schematisch overzicht opgenomen van de beschikbaarheid van data voor de omvang van verschillende stromen van het watersysteem. Hierbij is het van belang de volgende kanttekeningen mee te nemen:

- **Toepassingsbereik.** Dit overzicht is gebaseerd op de kennis en ervaringen uit eerder en lopend onderzoek op landelijke en regionale schaal. Dit betekent onder andere:
  - Op kleinere schaal of afwijkende locaties zullen mogelijk andere stromen relevant zijn en andere databronnen van toepassing zijn. Zo is het gebruik van regenwater door huishoudens in Nederland op de meeste locaties niet significant, maar zijn er wijken waar dit wel toegepast wordt. In Vlaanderen is het gebruik van regenwater door huishoudens voor het hele gebied significant.
  - Dit overzicht is waarschijnlijk niet volledig, er kunnen aanvullende gegevensbronnen zijn die bij de auteurs niet bekend zijn. Daarnaast zijn er bronnen (zoals het LGR) die niet toegankelijk zijn voor niet-overheidsorganisaties. Het overzicht kan derhalve gezien worden als een eerste aanzet. Dit overzicht kan completer worden gemaakt door bijdragen vanuit andere organisaties en eventueel steeds bijgewerkt worden met actuele ontwikkelingen en inzichten.
- **Verschillen tussen gebieden.** Er kunnen grote verschillen zijn tussen de afzonderlijke provincies en waterschappen in de wijze waarop zij data verzamelen en registreren. Dit hangt vaak ook af van de lokale regels (zoals de Keur). Dit wordt geïllustreerd door het document Overzicht Grondwateronttrekkingen (UvW en IPO, 2021), waaruit blijkt dat sommige waterschappen verschillende typen onttrekkingen niet registreren, terwijl andere dit wel doen. Daarnaast kan er sprake zijn van onderregistratie door de aanwezigheid van niet geregistreerde onttrekkingen.
- **Landelijke data.** Op landelijke schaal biedt het CBS Statline en de CBS 'Physical Water Accounts' (Graveland et al. 2017) een overzicht van watergebruik en aanbod in veel verschillende sectoren. Hiervan is ook een gedetailleerd excelbestand beschikbaar. Op het moment van schrijven schijnt er een nieuwe versie van de Physical Water Accounts in de maak te zijn, maar is deze nog niet beschikbaar. Het CLO publiceerde een Sankeydiagram voor 2019 van de belangrijkste waterstromen (jaartotalen) op basis van gegevens van het CBS (<https://www.clo.nl/indicatoren/nl0057-waterwinning-en-verbruik-nederland>). Hoewel een dergelijk overzicht zeer nuttig is, is het van belang gegevens op een juiste wijze te interpreteren. Zo geeft het geen inzicht in gebruik van water binnen een jaar (is het gebruik van een sector geconcentreerd in een kritische periode?), en geeft niet elke waterstroom ook een netto druk op het watersysteem (koelwater uit oppervlaktewater vloeit veelal weer terug naar datzelfde oppervlaktewater, waardoor het effect op de kwantiteit zeer klein is).
- **Model vs. meetgegevens.** Voor verschillende waterstromen zijn slechts modelgegevens beschikbaar. Hierbij moet rekening gehouden worden met onzekerheden als gevolg van aannames, meetonzekerheden van de invoerdata en beperkte of eenzijdige validatie. Meetgegevens kunnen echter andere onzekerheden bevatten, waaronder meetfouten en ontbrekende data. Op voorhand is niet aan te geven welke data van grotere waarde is; in alle gevallen moet rekening gehouden worden met onzekerheden. Voor sommige waterstromen blijken er zeer grote verschillen te zijn tussen meetdata en modelgegevens. In deze gevallen wordt aangeraden om de methoden onderliggend aan de beschikbare data kritisch te vergelijken en met gebiedsexperts de plausibiliteit te bespreken.

- **Tijdperiode.** Het overzicht gaat in op de beschikbaarheid van gegevens van (ongeveer) het afgelopen decennium. De historische ontwikkeling van bepaalde waterstromen kan daarnaast zeer interessant zijn. De beschikbaarheid van historische data zal naar verwachting sterk verschillen tussen de bronnen. Ook zijn toekomstige ontwikkelingen vaak belangrijk om mee te nemen. Beschikbare gegevens kunnen afkomstig zijn uit diverse scenario's die voor dit doel zijn ontwikkeld:
  - KNMI klimaatscenario's
  - PBL scenario's van sociaal-economische ontwikkelingen
  - Deltascenario's waarin de PBL en KNMI scenario's zijn uitgewerkt voor het watersysteem
  - Prognoses van de drinkwaterbehoefte

Bij het gebruik van dergelijke gegevens moet rekening gehouden worden met de onzekerheid die gepaard gaat met toekomstvoorspellingen. De droge zomers van 2018-2020, maar ook de overstromingen in Limburg in 2021 dienen als voorbeeld dat de werkelijkheid extremer kan zijn dan is voorspeld.

Tabel 3-1. Overzicht van beschikbare kennis van stromen in het watersysteem

Stroom	Deelstromen	Herkomst beschikbare kennis	Waar is deze kennis op gebaseerd?	Indruk van beschikbaarheid en zekerheid data
Oppervlaktewater	Hoofdwatersysteem	Rijkswaterstaat	Afvoer van hoofdwaters wordt op verschillende plekken gemeten. Afvoermetingen hebben doorgaans een hoge temporele resolutie (<dag).	+
	Kleinere waterlopen	Waterschappen	<p>Waterschappen hebben diverse meetpunten waar afvoer en aanvoer wordt bijgehouden op relevante locaties, zoals beken of sluizen. Er zijn echter ook veel beken/waterlopen waar de afvoer niet/weinig gemeten wordt. Hoe groter de schaal, en hoe groter het belang van de afvoer (bijvoorbeeld voor ecologie), hoe meer kans dat er metingen beschikbaar zijn. Ervaring uit de Droogtestudie Zandgronden (Van den Eertwegh et al, 2019) leert dat betrouwbare meetreeksen van afvoeren nauwelijks beschikbaar zijn. Ook beheren waterschappen maar een beperkt deel van de waterlopen in een gebied. Waar afvoermetingen wel beschikbaar zijn hebben ze doorgaans een hoge temporele resolutie (&lt;dag). Veel van deze metingen zijn gebaseerd op afvoer-peil relaties. De betrouwbaarheid van deze metingen hangt sterk af van de kalibratie van deze relaties voor verschillende waterpeilen (waaronder ook extreem hoge en lage afvoeren).</p> <p>Voor sommige waterschappen zijn de data beschikbaar in online dataportalen.</p> <p>Indien er geen metingen beschikbaar zijn, kunnen modelberekeningen gebruikt worden. Uit het LHM of regionale grondwatermodellen kan bijvoorbeeld informatie verkregen worden over de afvoer per zogenoemde Local Surface Water eenheden, een onderverdeling in stroomgebieden. Dit geeft dus geen informatie per waterloop, maar wel op de regionale schaal. Er wordt geen rekening gehouden met de verblijftijd van het water in het oppervlaktewater in een stroomgebied, waardoor de onzekerheid binnen een kleinere temporele resolutie groot is. Daarnaast kan afvoer ingeschat worden als restterm, indien de andere posten uit metingen of modelberekeningen bekend zijn, door het opstellen van een waterbalans.</p>	- tot +/- (afhankelijk van locatie en waterbeheerder)
	Boezems, polders, aanvoerkanalen	Waterschappen	<p>Bemaling van polders wordt doorgaans bijgehouden door de waterschappen. De hoeveelheden zijn vaak gebaseerd op de tijdsduur dat pompen zijn ingeschakeld, deze tijdsduur wordt dan vermenigvuldigd met een verondersteld (vaak niet gemeten) debiet. Deze metingen hebben doorgaans een hoge temporele resolutie, afhankelijk van de systeemeigenschappen (&lt;dag).</p> <p>Inlaat in gebieden vanuit een boezem of kanaal wordt voor zover bekend vaak (grof) ingeschat op basis van de tijdsduur van de aanvoer, maar soms ook helemaal niet. Indien de aanvoer naar een boezem of poldersysteem via pompsystemen verloopt, zijn vaak betere gegevens beschikbaar.</p> <p>Indien er sprake is van veel (geneste) gemaalsystemen kan het complex zijn om deze (soms versnipperd geregistreerde) informatie voor een gebied te bundelen. Voor sommige waterschappen zijn de data beschikbaar in online dataportalen.</p>	- tot +/- (afhankelijk van locatie en watersysteem)



			Bij gebrek aan gegevens kunnen afspraken rondom de waterverdeling gebruikt worden voor een schatting. Er bestaan afspraken tussen Rijkswaterstaat en de waterschappen over de waterverdeling over het oppervlaktewatersysteem.	
<b>Neerslag</b>	Neerslag naar het oppervlak	KNMI	De KNMI hoofdstations bieden neerslaggegevens per uur en de neerslagstations bieden gegevens per 24 uur. Daarnaast is ook radar-data beschikbaar voor meer ruimtelijk en temporeel detail. Alle data is vrij beschikbaar via het dataplatform van het KNMI.	+
	Directe/snelle afstroming via oppervlak, drainage (en evt. freatisch grondwater)	Modellen zoals het LHM	Deze stroom is sterk afhankelijk van de definiëring van de stroom en de gehanteerde schaal. Aangezien hier sprake is van veel (relatief kleine, moeilijk te berekenen) deelprocessen, kan het handig zijn om deze stroom zó te definiëren dat data van bestaande modellen gebruikt kan worden. Metingen en schattingen zijn indirect (bijvoorbeeld op basis van afvoer van een gebied), waarbij onderscheid tussen oppervlakkige afvoer en afvoer vanuit het grondwater of drainagebuizengemaakt zou moeten worden (hydrograaf aanpak). Het is vaak gemakkelijker om modelgegevens (landelijk LHM, of regionale grondwatermodellen die het topsysteem meenemen) te gebruiken om een inschatting te verkrijgen van deze waterstroom	-
	Glastuinbouw		De glastuinbouwsector maakt vaak gebruik van hemelwater, en vangt dit op in bassins of opslagsilo's. Zodra deze vol zitten, vinden er overstorten plaats. In tuinbouwregio's kunnen deze waterstromen relatief groot zijn. Harde meetgegevens ontbreken vaak, ook bij tuinbouwbedrijven. Deze stroom kan ingeschat worden op basis van modellen, zoals bijvoorbeeld gebeurd is in het COASTAR onderzoek naar de Waterbank Westland (Stofberg et al., 2021); hiervoor zijn (statistische) gegevens nodig van o.a. oppervlakte en teelten van de bedrijven.	-
	Via verharde oppervlakken (stedelijk gebied)	Gemeenten, waterschappen	In bebouwd gebied komt neerslag grotendeels (een deel verdampt vanaf het oppervlak) tot afvoer als het op verharde oppervlakken valt. Vaak wordt het afgevoerd via de riolering (vuilwaterriool naar RWZI, of regenwaterriool naar infiltratielocatie). Door ingrepen zoals afkoppelen of groene daken kan een groter deel infiltreren of verdampen, waardoor dit niet in het gemengde rioolstelsel terecht komt. De hoeveelheid neerslag die tot afvoer komt wordt doorgaans berekend met modellen, waarbij verschillende aannamen worden gebruikt, bijvoorbeeld hoeveel neerslag er doorgaans verdampt vanaf een dakoppervlak. Daarnaast kunnen gegevens rondom de RWA (regenwaterafvoer) van RWZI's worden gebruikt (zie ook Restwater).	-

<b>Evapotranspiratie / verdamping</b>	Referentie-verdamping	KNMI	De referentieverdamping (de verdamping van een hypothetische grasmatt, optimaal van water voorzien) wordt door het KNMI ontsloten (op dagbasis) en wordt berekend uit gemeten globale straling volgens de Makkink-vergelijking (KNMI, 2022). De referentieverdamping wordt ook gebruikt door het KNMI voor het berekenen van het neerslagtekort. Het betreft dus nadrukkelijk niet de werkelijke verdamping. De referentieverdamping kan ook direct worden berekend met de Penman-Monteith vergelijking (Allen et al., 1998)	+
	Potentiële verdamping		De watervraag cq. potentiële evapotranspiratie wordt voor begroeiingstypen veelal afgeleid uit de referentieverdamping volgens Makkink, door deze te vermenigvuldigen met zogenaamde (op empirische gegevens en expertkennis gebaseerde) gewasfactoren voor verschillende begroeiingstypen. Gezien de empirische basis en de periode waarvoor de factoren zijn afgeleid (veelal jaren 1980) zijn deze niet zondermeer toe te passen onder afwijkende klimatologische condities (Bartholomeus et al., 2015).	-/+
	Actuele / werkelijke verdamping (landbouw en natuur)	Modellen zoals LHM en regionale grondwater modellen, SWAP, RS of een enkele meting	De actuele/werkelijke verdamping (ofwel de verdamping waarbij rekening wordt gehouden met verdampingsafname als gevolg van bijv. droogte) van landbouwgewassen en natuur is lastig te meten (en is daarom in zeer beperkte mate gemeten) en hangt af van zeer veel factoren. Modelberekeningen kunnen helpen bij het inschatten: LHM/MetaSWAP op grote (regionale) schaal en SWAP (evt. in combinatie met WOFOST) op kleinere (perceel) schaal. SWAP-WOFOST vormt tevens de basis voor Waterwijzer Landbouw, waarmee de werkelijke verdamping wordt gesimuleerd met dynamische gewasgroei. Ook is modeldata verkrijgbaar via de Basisprognoses Zoetwater van het Nationaal Water Model (waarmee ook de Deltascenario's worden doorgerekend). Steeds vaker worden Remote Sensing technieken gebruikt om de werkelijke verdamping in te schatten. Zowel modelberekeningen als Remote Sensing berekeningen zijn met veel onzekerheden omgeven. IJking aan metingen is beperkt.	-
<b>Grondwater</b>	Grondwater-aanvulling	Uit neerslag, werkelijke verdamping en oppervlakkige afvoer	Net zoals andere stromen nabij het landoppervlak hangt het sterk van de modelindeling en de schaal van het model af of en zo ja, hoe, deze stroom kan worden meegenomen. Bij afwezigheid van oppervlakteafvoer is het verschil tussen neerslag en werkelijke verdamping de hoeveelheid water die het freatisch systeem aanvult. Voor het Nederlandse klimaat geldt dat een fout	-

			van bijv. 10% in de werkelijke verdamping, een fout geeft van zo'n 20% in de grondwateraanvulling. Grondwateraanvulling wordt niet gemeten, maar is een resultante van de andere posten, die deels gemeten worden (neerslag) en worden ingeschat met modelberekeningen (actuele verdamping, oppervlakkige afvoer).	
	Wegzijing, kwel	Modellen zoals LHM en regionale grondwater modellen	<p>Wegzijing en kwel betreft verticale stroming in het grondwater. Bij wegzijing (neerwaarts) en kwel (opwaarts) is het van belang om deze termen duidelijk te definiëren en de gehanteerde definities in de gebruikte bron te controleren. Ook hier kan het handig zijn om het model af te stemmen op de beschikbare data.</p> <p>Wegzijing en kwel kunnen niet direct gemeten worden, waardoor modelberekeningen nodig zijn. In het LHM/ Nationaal Water Model worden wegzijing en kwel gedefinieerd als de stroming tussen het freatische en het eerste watervoerende pakket. In sommige gebieden kan het handig zijn om andere modellagen te kiezen voor de definitie van deze stroom. Deze gegevens zijn vaak beschikbaar als jaargemiddelde, op de ruimtelijke schaal van het grid van het model (voor LHM is dit 250x250m). In andere benaderingen betreft kwel de opwaartse stroming die de wortelzone van de vegetatie bereikt. In de interpretatie van gegevens is kennis van de juiste definitie nodig.</p> <p>Uitvoer van het LHM is beschikbaar in het NHI dataportaal.</p>	-
	(Laterale) grondwater stroming	Modellen zoals LHM en regionale modellen	Ook voor laterale grondwaterstroming geldt dat deze stroming niet gemeten kan worden, waardoor modelberekeningen nodig zijn, zoals die van het LHM (landelijk) of regionale grondwatermodellen. Voor LHM blijkt echter dat deze data niet standaard opgeslagen wordt, waardoor deze niet zomaar verkrijgbaar is. Alternatieven zijn: nieuwe modelruns draaien, gemiddelde stijghoogteverschillen en doorlaatvermogens gebruiken om de stroming achteraf te berekenen en met behulp van de modeldata een waterbalans uitvoeren over het diepere grondwater om de netto stroming te berekenen.	-
<b>Grondwateronttrekkingen en injecties</b>	Drinkwater	Drinkwaterbedrijven, Vewin, LGR	Drinkwaterbedrijven houden gegevens van hun onttrekkingen bij, vaak op vrij fijne temporele schaal (<dag); Vewin bundelt deze informatie in de jaarlijkse drinkwaterstatistieken. Deze gegevens zijn per jaar en per bedrijf of provincie vrij toegankelijk. Indien meer ruimtelijke of temporele details nodig zijn, kunnen gegevens vaak eenvoudig worden opgevraagd bij het betreffende drinkwaterbedrijf.	+

			Tevens worden grondwateronttrekkingen geregistreerd in het landelijk grondwaterregister (LGR, alleen toegankelijk voor overheden).	
	Land- en tuinbouw	Waterschappen	<p>De regels rondom grondwateronttrekkingen voor de land- en tuinbouw en de mate van registratie daarvan verschillen per waterschap. Voor sommige waterschappen worden daadwerkelijk onttrokken hoeveelheden geregistreerd, voor sommige alleen een maximum of alleen de grotere onttrekkingen, en voor andere (vrijwel) niets (zie document UvW en IPO, 2021). Het gaat dan om gegevens per jaar (hoewel de onttrekking doorgaans alleen tijdens het groeiseizoen plaatsvindt), waarbij de locatie van de onttrekking mogelijk bekend is bij het waterschap. Daarnaast kan er nog sprake zijn van niet geregistreerde en illegale onttrekkingen, waarvan per definitie geen gegevens bekend zijn.</p> <p>De hoeveelheden die voor het hele land worden ingeschat lopen sterk uiteen, waarbij statistische data (zoals van der Meer (2016) en CBS Statline (2019)) het grondwaterverbruik veel lager (minder dan de helft) inschatten dan LHM modelberekeningen (Mulder et al., 2014). Het is niet bekend of dit verschil te verklaren is door bijvoorbeeld onderregistratie of overschatting als gevolg van modelaannames, maar het duidt wel op onzekerheid rondom deze waterstroom.</p>	-
	Industrie, energie	Provincie, LGR, Emissieregistratie <sup>1</sup>	<p>Deze (grotere) onttrekkingen worden vergund en geregistreerd door de provincies, waarbij hoeveelheden per jaar en locaties bekend zijn. Hoewel het niet gecontroleerd kan worden of de beschikbare data overeenkomen met de werkelijkheid, wordt verwacht dat mede door de relatieve grootte en het beperkte aantal van de onttrekkingen er geen/weinig sprake zal zijn van onderregistratie.</p> <p>Tevens worden grondwateronttrekkingen geregistreerd in het landelijk grondwaterregister (LGR, alleen toegankelijk voor overheden).</p>	+
	Overig: zeer diep	SodM	Onttrekkingen en injecties op >100 m diepte vallen onder het Staatstoezicht op de Mijnen. In eerdere projecten hebben de auteurs hier geen ervaring mee gehad.	?
	Overig: kleine onttrekkingen	Waterschappen	<p>Kleinere onttrekkingen, zoals voor bemalingen van bouwputten of onttrekkingen voor particulier gebruik (bijvoorbeeld om kelders droog te houden) worden vaak niet of zeer beperkt geregistreerd. Afhankelijk van het doel en de geschatte hoeveelheid (vaak kleine hoeveelheden van tijdelijke aard) wordt verwacht dat de totale omvang van deze onttrekkingen meevalt.</p>	-

<b>Oppervlaktewater-onttrekkingen</b>	Drinkwater	Drinkwaterbedrijven, Vewin	Drinkwaterbedrijven houden gegevens van hun onttrekkingen bij, Vewin bundelt deze informatie in de jaarlijkse drinkwaterstatistieken. Deze gegevens zijn per jaar en per bedrijf of provincie vrij toegankelijk. Indien meer ruimtelijke of temporele details nodig zijn, kunnen gegevens vaak worden opgevraagd bij het betreffende drinkwaterbedrijf. Een combinatie van hoog temporeel (bijv. per dag) en ruimtelijk detail (bijv. per gemeente) is echter vaak niet beschikbaar.	+
	Land- en tuinbouw	Waterschappen	Deze gegevens lijken minder goed beschikbaar dan de grondwateronttrekkingen voor agrarisch gebruik. De hoeveelheden die voor het hele land worden ingeschat lopen sterk uiteen, waarbij vooral grote verschillen tussen statistische data (CBS Statline, 2019; van der Meer, 2016) en gemodelleerde data (LHM, (Mulder et al., 2014)) lijken te bestaan, waarbij het model een factor 10 meer onttrekking voorspelt. De oorzaak van dit verschil is niet bekend, mogelijk is er sprake van onderregistratie. Daarnaast kunnen onttrekkingsverboden die waterschappen instellen tijdens droge perioden mogelijk ook een deel van dit verschil verklaren.	-
	Industrie, energie	Waterschappen, Rijkswaterstaat, Emissieregistratie <sup>2</sup>	Industriële onttrekkingen worden doorgaans vergund (of indien klein gemeld) bij het betreffende waterschap of Rijkswaterstaat en daar ook geregistreerd (locatie en hoeveelheid per jaar). Deze onttrekkingen worden tevens gebundeld bij de Emissieregistratie.	+
	Overig	Waterschappen	Kleine onttrekkingen hoeven doorgaans niet gemeld te worden en worden daarom ook niet geregistreerd.	-
<b>Drinkwaterlevering</b>	Huishoudens en kleinzakelijk	Drinkwaterbedrijf	Drinkwaterbedrijven houden gegevens van hun leveringen bij, Vewin bundelt deze informatie in de jaarlijkse drinkwaterstatistieken. Dit betreft jaarlijkse gegevens, vaak op de schaal van het verzorgingsgebied van het drinkwaterbedrijf of de provincie.	+
	Industrie (grootzakelijk)	Drinkwaterbedrijf	Drinkwaterbedrijven houden gegevens van hun leveringen bij, Vewin bundelt deze informatie in de jaarlijkse drinkwaterstatistieken. Dit betreft jaarlijkse gegevens, vaak op de schaal van het verzorgingsgebied van het drinkwaterbedrijf of de provincie.	+
	Landbouw	Drinkwaterbedrijf	Drinkwaterbedrijven houden gegevens van hun leveringen bij, Vewin bundelt deze informatie in de jaarlijkse drinkwaterstatistieken. Dit betreft jaarlijkse gegevens, vaak op de schaal van het verzorgingsgebied van het drinkwaterbedrijf of de provincie.	+

<sup>2</sup> Gegevens rondom hoeveelheden lijken niet vrij beschikbaar te zijn bij de Emissieregistratie, maar zijn eerder succesvol opgevraagd via een WOB verzoek.

<b>Restwater</b>	Huishoudens en bedrijven	-	Bij de auteurs zijn geen (volledige, mogelijk zijn er wel lokale) gegevens bekend van metingen van de hoeveelheid restwater van huishoudens en bedrijven die naar het riool gaat. Deze stroom kan worden geschat op basis van drinkwaterverbruik en influent bij RWZI's (zie RWZI)	-
	Industrie, op riool	Waterschappen, emissieregistratie <sup>1</sup>	Bedrijfsmatige lozingen op het riool vereisen in bepaalde gevallen een vergunning, en worden daarom geregistreerd. Gegevens betreffen dan vaak locaties en hoeveelheden per jaar. Er kan daarnaast sprake zijn van illegale lozingen.	+
	Industrie, op oppervlaktewater	Waterschappen of Rijkswaterstaat, emissieregistratie <sup>1</sup>	Lozingen van (al dan niet gezuiverd) restwater op het oppervlaktewater vereisen een vergunning van het bevoegd gezag en worden daarom geregistreerd. Gegevens betreffen dan vaak locaties en hoeveelheden per jaar. Er kan daarnaast sprake zijn van illegale lozingen.	+
	RWZI	Waterschappen	De waterschappen monitoren het influent en effluent van hun RWZI's. Bij het influent wordt een (statistisch) onderscheid gemaakt tussen droogweerafvoer (DWA, het deel dat vrij constant is over de tijd) en regenwaterafvoer (RWA, het deel dat over de tijd varieert). De verdeling tussen deze componenten heeft te maken met de verdeling tussen de hoeveelheden restwater, regenwater en rioolvreemd water (zoals grondwater dat het riool instroomt) dat via de riolering worden afgevoerd. De verhoudingen kunnen echter per locatie sterk verschillen, waarbij rioolvreemd water onderdeel kan uitmaken van zowel de DWA als de RWA. De gegevens zijn vaak op dagbasis beschikbaar en hebben betrekking op het gehele gebied waarvan de RWZI het water ontvangt.	+

## 4 Tot slot

In dit document is ingegaan op de beschikbaarheid van data die onder andere gebruikt kan worden voor conceptuele watersysteemmodellen, maar ook voor andere watergerelateerde onderzoeken. Het overzicht laat zien dat voor een deel van de waterstromen metingen en registraties beschikbaar zijn, maar dat voor veel stromen ook gebruik gemaakt moet worden van modelberekeningen. Toetsing daarvan aan metingen is veelal beperkt.

In het algemeen kan gesteld worden dat grote en/of centraal geregelde waterstromen, zoals grote oppervlaktewateren of grote onttrekkingen, vaak goed in beeld zijn. Deze waterstromen worden beheerd door professionele organisaties en zijn niet bijzonder talrijk, waardoor het meten en registreren van deze stromen goed mogelijk is.

Voor diffuse stromingen (zoals grondwaterstroming of werkelijke verdamping) geldt vaak dat deze niet goed of slechts lokaal meetbaar zijn, waardoor men moet terugvallen op modelberekeningen. Hoewel deze modelresultaten relatief goed beschikbaar zijn, is het niet goed in te schatten hoe betrouwbaar deze data is, omdat validatie vrijwel niet of slechts eenzijdig mogelijk is.

Voor kleine stromen, zoals kleine onttrekkingen van grond- of oppervlaktewater of restwaterlozingen op het riool door particulieren, geldt dat deze niet (overal) gemeten of geregistreerd worden. Deze stromen zijn doorgaans zeer talrijk en worden op vaak onregelmatige basis toegepast door particulieren of kleinere ondernemingen.

Of beperkte beschikbaarheid van data over een bepaalde waterstroom problematisch is, hangt af van het doel waar de data voor wordt gebruikt. In het algemeen kan gesteld worden dat dit het geval is wanneer de onzekerheden rondom een waterstroom (vermoedelijk) significant kunnen zijn voor het te beschrijven systeem. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer de stroom (vermoedelijk) relatief groot is, of relatief groot tijdens een kritische periode (maar niet per se groot tijdens een langere periode). Voor onttrekkingen ten behoeve van de landbouw lijkt er een relatief grote onzekerheid te bestaan, die geïllustreerd wordt door zeer grote verschillen tussen inschattingen op basis van registratie door de overheid en modelresultaten op basis van berekende beregeningsbehoefte.

Het in dit document gepresenteerde overzicht van kennis en kennisleemtes kan als referentie worden gebruikt bij studies waarin waterstromen in regionale of landelijke watersystemen in kaart worden gebracht. Daarnaast kunnen de aangestipte kennisleemtes en onzekerheden aanleiding vormen voor vervolgonderzoek of verbetering van monitoring of registratie van bepaalde waterstromen, afhankelijk van de kennisbehoefte in het betreffende watersysteem.

## 5 Referenties

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome.
- Bartholomeus, R.P., Stagge, J.H., Tallaksen, L.M., Witte, J.P.M., 2015. Sensitivity of potential evaporation estimates to 100 years of climate variability. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19: 997-1014.  
<https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/52853608>
- Brakkee, E., Van Rens, C., Van Huijgevoort, M., Bartholomeus, R., 2021. Hergebruik industrieel restwater Bavaria: Inzicht in effecten van opschaling van subirrigatie voor de landbouwwatervoorziening, KWR, Nieuwegein.
- CBS Statline, 2019. Watergebruik bedrijven en particuliere huishoudens; nationale rekeningen. Centraal Bureau voor de Statistiek. <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82883NED/table?ts=1555497401962>
- KNMI, 2022. Verdamping in Nederland. <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/verdamping-in-nederland>
- Krajenbrink, H., Stofberg, S., Bartholomeus, R., Disselhoff, D., 2021. RWZI als waterfabriek voor een robuuste watervoorziening, STOWA, Amersfoort. <https://www.stowa.nl/publicaties/rwzi-als-waterfabriek-voor-een-robuuste-watervoorziening>
- Mulder, H.M., Veldhuizen, A.A., van der Bolt, F.J.E., 2014. NHI Waterbalansen, Alterra, Wageningen UR, Wageningen. [http://www.nhi.nu/nl/files/5314/2772/3270/Report\\_Nederland.pdf](http://www.nhi.nu/nl/files/5314/2772/3270/Report_Nederland.pdf)
- Stofberg, S.F., Ros, S., Raat, K., Klooster, J., Ruepert, N., Agerbeek, B., Delsman, J., Bootsma, H., Op den Kelder, T., Van der Veen, B., 2021. COASTAR Waterbank Westland. Droge voeten, voldoende gietwater, KWR, Nieuwegein.
- van der Meer, R.W., 2016. Watergebruik in de agrarische sector 2013 en 2014, Wageningen University and Research, Wageningen Economic Research, Wageningen. <http://edepot.wur.nl/390653>
- Graveland, C., Baas, K., Opperdoes, E., 2017. Physical water flow accounts with Supply and Use and water asset/water balance assessment NL, CBS, Den Haag. <https://www.cbs.nl/en-gb/background/2017/38/physical-water-accounts-for-the-netherlands>
- UvW en IPO, 2021. Overzicht Grondwateronttrekkingen Provincies en Waterschappen. <https://edepot.wur.nl/544474>
- Van den Eertwegh, G., R. Bartholomeus, P. De Louw, F. Witte, J. Van Dam, D. Van Deijl, P. Hoefsloot, S. Clevers, D. Hendriks, M. Van Huijgevoort, J. Hunink, N. Mulder, J. Pouwels and J. De Wit (2019). Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland - Rapportage Fase 1: ontwikkeling van uniforme werkwijze voor analyse van droogte en tussentijdse bevindingen.