

Verkenning index duurzaam grondwatergebruik**BTO2022.030****Datum**

2 juni 2022

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Bronnen en omgeving

Meer informatieDr. Sija Stofberg
T 030-6069569**Auteurs**Dr. Sija F. Stofberg en Sharon Clevers
MSc.**Opdrachtnummer**

402045-246

E sija.stofberg@kwrwater.nl**Kwaliteitsborger**

Dr.ir. Ruud P. Bartholomeus

Projectmanager

Ir. Martin van der Schans

Pagina

1/28

Samenvatting

In onderzoek rondom watervoorzieningsvraagstukken worden vaak verschillende opties voor watervoorziening onderzocht. Hierbij spelen op de achtergrond vaak ook waardeoordelen, waarbij om verschillende redenen een bepaalde vorm van watervoorziening te verkiezen zou zijn boven een andere. Hierbij kunnen verschillende factoren meespelen, zoals duurzaamheid en een goede beschikbaarheid van water voor antropogene toepassingen en natuurlijke ecosystemen. In vergelijkende studies kan het handig zijn om gebruik te maken van een index, waarin dergelijke factoren gekwantificeerd kunnen worden. Dit maakt het mogelijk om vergelijkingen methodisch, systematisch en (voor zover mogelijk) objectief uit te voeren.

In deze beknopte verkenning, onderdeel van BTO Droogte en Waterbeschikbaarheid, is gezocht naar een index die bruikbaar kan zijn voor vraagstukken met betrekking tot grondwatergebruik in Nederland. Hiervoor is een kort overzicht gemaakt van verschillende indices met betrekking tot watervoorziening en grondwatergebruik die middels een beperkte literatuurstudie zijn gevonden. Vervolgens is de toepasbaarheid van deze indices voor Nederlandse grondwatervraagstukken beschouwd.

De Integrated Sustainability Assessment framework (van Engelenburg et al., 2019) lijkt aan alle eisen te voldoen, en is bewezen toegepast op Nederlandse grondwaterwinningen. Daarnaast lijken enkele indices geschikt voor vraagstukken in Nederland waarin een minder brede index gewenst is, maar waarin de focus ligt op waterkwantiteit, watergebruik en natuur. Deze betreffen de Groundwater Footprint en de WEI+ (gericht op waterkwantiteit, gebruik en ecosystemen) en de Watershed Sustainability Index (vrij algemene index gericht op duurzaamheid van een stroomgebied). In een volgende stap zouden één of enkele van de kansrijk bevonden indices toegepast kunnen worden op gebieden en/of winningen om de bruikbaarheid verder te onderzoeken.

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Doelstelling en aanpak	3
2 Beschouwing van waterbeschikbaarheidsindices	4
2.1 Inleiding	4
2.2 Algemene beschouwing van indices	4
2.2.1 Overzicht van de verkende indices	4
2.2.2 Beschouwing van de belangrijkste kenmerken van de indices	6
2.3 Criteria voor een index voor duurzaam grondwatergebruik in Nederland	8
3 Naar een index voor duurzaam grondwatergebruik in Nederland	10
3.1 Vergelijking indices met criteria	10
3.2 Conclusie	11
4 Referenties	12
I Indices voor watergebruik	14

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de Nederlandse situatie spelen watervoorzieningsvraagstukken in de laatste jaren vaker rondom grondwatergebruik, omdat in de recente droge jaren schaarste is ervaren. Voor grondwater geldt dat er sprake is van concurrentie tussen functies: het wordt zowel gebruikt voor drinkwater, landbouw als industrie en heeft bovendien een belangrijke functie voor natuur.

In onderzoek rondom watervoorzieningsvraagstukken worden vaak verschillende opties voor watervoorziening onderzocht. Hierbij spelen op de achtergrond vaak ook waardeoordelen, waarbij om verschillende redenen een bepaalde vorm van watervoorziening te verkiezen zou zijn boven een andere. Hierbij kunnen verschillende factoren meespelen, zoals duurzaamheid en een goede beschikbaarheid van water voor antropogene toepassingen en natuurlijke ecosystemen. In vergelijkende studies kan het handig zijn om gebruik te maken van een index, waarin dergelijke factoren gekwantificeerd kunnen worden. Dit maakt het mogelijk om vergelijkingen methodisch, systematisch en (voor zover mogelijk) objectief uit te voeren.

1.2 Doelstelling en aanpak

In deze beknopte verkenning, onderdeel van BTO Droogte en Waterbeschikbaarheid, is gezocht naar een index die bruikbaar kan zijn voor vraagstukken met betrekking tot grondwatergebruik in Nederland.

Hiervoor is een kort overzicht gemaakt van verschillende indices met betrekking tot watervoorziening en grondwatergebruik die middels een korte literatuurstudie zijn gevonden (Bijlage I). In hoofdstuk 2 worden de beschreven indices inhoudelijk beschouwd en zijn criteria voor een index voor grondwatervraagstukken in Nederland geformuleerd. Door vergelijking van de criteria met de indices uit de literatuur, zijn conclusies getrokken over de bruikbaarheid van de verschillende indices voor de Nederlandse situatie (Hoofdstuk 3).

2 Beschouwing van waterbeschikbaarheidsindices

2.1 Inleiding

Er zijn over de jaren heen veel verschillende indices ontwikkeld, die op een of andere manier iets zeggen over waterbeschikbaarheid. Deze indices verschillen onderling sterk, bijvoorbeeld met betrekking tot het doel, de wijze waarop men naar het watersysteem kijkt en de beoogde detail- en schaalniveaus. In dit hoofdstuk wordt een kort overzicht gegeven van verschillende soorten indices uit de literatuur, en hoe deze verschillen op verschillende eigenschappen (2.2). Vervolgens wordt ingegaan op de eigenschappen die gewenst zouden zijn voor een index die gebruikt kan worden voor duurzaam grondwatergebruik in Nederland (2.3).

2.2 Algemene beschouwing van indices

In Bijlage I zijn diverse indices uit de literatuur beknopt beschreven. In deze paragraaf worden een aantal kenmerken besproken waarop deze indices verschillen in relatie tot eventuele bruikbaarheid voor duurzaam grondwatergebruik in Nederland. Ook worden de indices uit Bijlage I in een overzicht geplaatst in relatie tot de belangrijkste kenmerken.

Voor een uitgebreider overzicht, meer gericht op internationale/Amerikaanse context, wordt de lezer verwezen naar het rapport van Xu & Wu (2017), die verschillende indices vrij systematisch op een rij gezet hebben, gericht op het in kaart brengen van waterschaarste in de Verenigde Staten. Zij starten hier met het maken van onderscheid tussen zogenaamd blue water (blauw water) en green water (groen water). Met blauw water wordt grond- en oppervlaktewater bedoeld dat gebruikt wordt met behulp van onttrekkingen. Met groen water bedoeld men water dat in de wortelzone zit, dat gebruikt kan worden door planten (landbouwgewassen en natuurlijke vegetatie). De meeste indices betreffen blauw water, hoewel de laatste jaren ook indices zijn ontwikkeld die in gaan op groen water. Voor deze laatste categorie geldt volgens de auteurs dat het moeilijk is om data te verzamelen die hier voor nodig is. In de voorliggende beknopte verkenning wordt alleen ingegaan op indices met betrekking tot blauw water.

In deze paragraaf worden eerst de verkende indices kort op een rij gezet (2.2.1), waarna de belangrijkste kenmerken van de indices in algemene zin beschouwd worden (2.2.2).

2.2.1 Overzicht van de verkende indices

De verkende indices zijn grofweg op te delen in drie categorieën, die hieronder worden toegelicht:

- Relatief eenvoudige indices, (voornamelijk) gericht op beschikbaarheid van water, min of meer gebaseerd op de Water Stress Index
- Relatief brede indices met gewogen gemiddelde van scores in verschillende dimensies
- Overige indices

Relatief eenvoudige indices, (voornamelijk) gericht op beschikbaarheid van water, min of meer gebaseerd op de Water Stress Index

Deze indices geven een verhouding weer tussen enerzijds waterbeschikbaarheid en/of gebruik voor antropogene toepassingen en anderzijds de (natuurlijke) beschikbaarheid vanuit het watersysteem, waarbij soms iets verschillende definities voor beide onderdelen worden gehanteerd. De eerste van dit type, de Water Stress Index, kijkt naar de verhouding tussen menselijke populatie en de afvoer van een stroomgebied. Hierin zit de impliciete gedachte dat de afvoer uit een gebied beschikbaar zou kunnen zijn voor gebruik.

In de eerdere varianten van deze index wordt beschikbaar water vooral gebaseerd op afvoer uit een stroomgebied, terwijl dit in later ontwikkelde indices is aangescherpt tot hernieuwbare waterbronnen (renewable water resources) voor het te onderzoeken watersysteem (niet per se een stroomgebied). De indices zijn soms uitgebreid met andere aspecten, of juist smaller gemaakt door zich alleen op het grondwater te richten. Op een gegeven moment is het begrip '*environmental flow*' geïntroduceerd, waarbij de waterbehoefte van ecosystemen meegenomen kan worden. Deze behoefte wordt in mindering gebracht op het beschikbare water.

Zo worden de volgende indices onderscheiden:

- Gericht op waterbeschikbaarheid voor inwoners: [Water Stress Index \(WSI\)](#)
- Daarnaast ook waterbeschikbaarheid voor andere sectoren: [Withdrawal to Availability \(WTA\)](#)
- Daarnaast ook sociaal-economische factoren: [Social Water Stress Index \(SWSI\)](#)¹.
- (Ook) gericht op waterbeschikbaarheid voor ecosystemen: [Water Stress Index with environmental requirements \(WSI_{ewr}\)](#)
- Gericht op effecten op het grondwatersysteem en daarvan afhankelijke functies: [Groundwater Footprint \(GF\)](#)
- Gericht op stress op zoetwatervoorraden en ingericht op toepassing op verschillende schalen: [Water Exploitation Index+](#).

Relatief brede indices met gewogen gemiddelde van scores in verschillende dimensies

Er zijn verschillende indices met een bredere insteek, waarbij verschillende factoren meegewogen worden. Deze indices zijn opgebouwd uit scores voor verschillende dimensies (bijvoorbeeld waterbeschikbaarheid, sociale factoren, economische factoren, milieu) die vervolgens (gewogen) gecombineerd worden tot een score en/of diagram. Het doel van deze indices is om een breder beeld te geven, vaak op de duurzaamheid van het watergebruik in een bepaald (stroom)gebied. De indices onderscheiden zich met name door de focus op bepaalde aspecten (vaak één of meerdere dimensies binnen duurzaamheid), gebieden, of voor specifieke doeleinden zoals drinkwaterwinning uit grondwater of risico's op grondwateruitputting.

- Gericht op de relatie tussen waterbeschikbaarheid en armoede: [Water Poverty Index \(WPI\)](#)
- Gericht op relatief brede duurzaamheid van een stroomgebied, aan te passen per gebied, met behulp van scoretabellen: [Watershed Sustainability Index \(WSI\)](#)
- Focus op grondwatersystemen met nadruk op vooral sociale structuren die duurzaamheid bevorderen: [Groundwater Sustainability Infrastructure Index \(GSI\)](#)
- Focus op grondwatersystemen, geschikt voor droge gebieden met weinig beschikbare data: [Aquifer Sustainability Index \(ASI\)](#)

¹ overigens zou deze index ook onder de tweede categorie kunnen vallen, omdat ook niet-water-gerelateerde indicatoren worden gebruikt, maar is hier toegevoegd omdat deze is gebaseerd op de WSI

- Focus op grondwatersystemen, met nadruk op milieuaspecten (en niet breed op duurzaamheid): [Environmentally Sustainable Groundwater Management Index](#)
- Focus op drinkwaterwinning uit grondwater: [Integrated Sustainability Assessment framework](#)
- Focus op het risico op grondwateruitputting op basis van meer sociaal-economische factoren: [Groundwater Risk Index](#).

Overige indices

Onderstaande indices vielen buiten bovenstaande categorieën:

- Mate van circulariteit van een watersysteem: [circulariteitsindex](#)
- Specifiek gericht op de kwaliteit van een grondwaterwinning: [index van Vitens](#)
- Specifiek gericht op diverse aspecten waardoor een grondwaterwinning onder druk kan komen te staan: [index van Brabant Water](#).

2.2.2 Beschouwing van de belangrijkste kenmerken van de indices

Doel van de index

De (internationaal) gebruikte indices (Bijlage I en 2.2.1) variëren onderling qua beoogd doel. De oudere indices lijken vooral gericht op waterbeschikbaarheid, in eerste instantie op drinkwaterbeschikbaarheid voor inwoners/huishoudens, waarna de beschikbaarheid voor landbouw en industrie aan bod komt. Latere indices namen sociale en sociaal-economische aspecten mee, met bijvoorbeeld aandacht voor levensverwachting en onderwijs. Deze lijken vooral gericht op (ontwikkelings)landen waar deze zaken sterk onder druk staan. Een deel van de recentere indices hebben (mede of vooral) de focus op milieu/omgevingsaspecten of ecosysteemdiensten ([Groundwater Footprint](#), [Water Exploitation Index](#)) of een brede combinatie van duurzaamheidsaspecten (in verschillende aspecten van de traditionele dimensies *people, planet, profit*).

Enkel kenmerk tot holistisch

De verkende indices variëren grofweg tussen indices die gefocust zijn op één of enkele onderdelen van het watersysteem tot indices die trachten een breed beeld te geven van verschillende dimensies, zoals fysieke, sociale en economische omstandigheden. Hoe 'breder' een index is, des te vollediger is het beeld van de werkelijkheid (in potentie althans), maar des te meer informatie is nodig om deze te kunnen gebruiken. Om dit laatste knelpunt te omzeilen bestaat de mogelijkheid om gebruik te maken van grove classificaties, schattingen of expert-judgement om systemen op bepaalde dimensies te beoordelen.

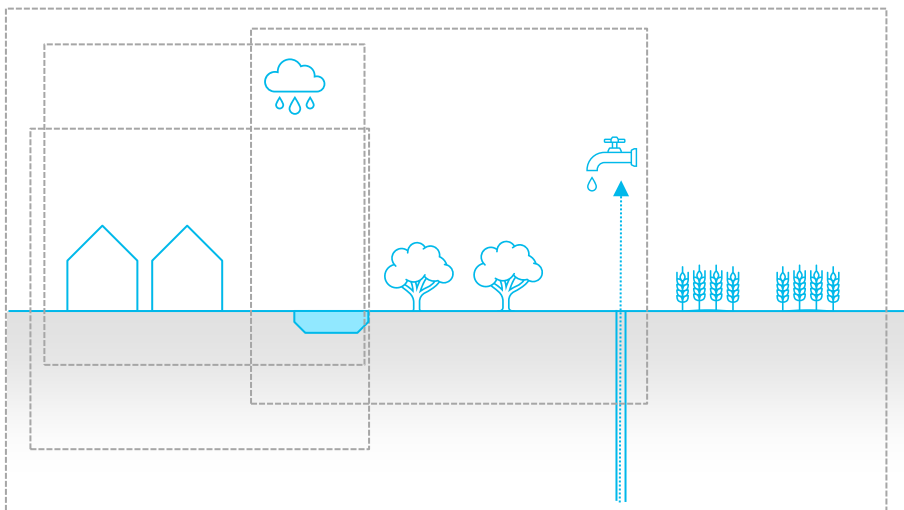
Waterbalans

Veel van de in Bijlage I opgenomen indices maken gebruik van (onderdelen van) de waterbalans om een indruk te geven of er sprake is van overonttrekking/uitputting van watervoorraden. Hierbij is vaak de afvoer uit een gebied een van de sleutelfactoren, onder de veronderstelling dat dit water 'overtollig' is en daarom gebruikt kan worden. Hierbij wordt voorbij gegaan aan het feit dat de afvoer of de hieraan ten grondslag liggende hogere grondwaterstanden zelf van belang kunnen zijn (bijvoorbeeld voor de ecologie in het betreffende of een naburig gebied). De afvoer wordt soms aangescherpt door de term 'natuurlijke afvoer' te gebruiken. Voor een toepassing in Nederland kan de term 'natuurlijke' afvoer problematisch zijn, omdat er vrijwel nergens sprake is van een natuurlijke afvoersituatie. Voldoende hoge grondwaterstanden en kwel in natuurgebieden zijn in Nederland waarschijnlijk betere karakteristieken om overonttrekking te duiden.

In een aantal gevallen wordt de veronderstelling dat afvoer overtollig is genuanceerd door gebruik te maken van een factor zoals de 'environmental water requirements' of 'environmental flow', zodat bijvoorbeeld rekening gehouden kan worden met een minimale afvoer die voor natuurwaarden van belang is.

Systemafbakening en schaal

In de indices uit Bijlage I wordt de systeemafbakening over het algemeen in het midden gelaten of globaal aangeduid als 'regionale schaal', 'stroomgebiedsschaal' of schaal van een aquifer. De keuze voor systeemgrenzen en de omvang van een systeem kan een grote invloed hebben op de waarde van een index (Figuur 2-1 **Error! Reference source not found.**). Vaak lijkt de impliciete aanname gedaan dat watergebruik, wateronttrekking en effecten daarvan in hetzelfde gebied plaatsvinden. In de praktijk kunnen deze verder uit elkaar liggen. De vraag is dan of dan naar een groter systeem gekeken moet worden waarin beide onderdelen plaatsvinden, of dat systeemgrensoverschrijdende activiteiten een plek moeten krijgen in de index. Het niet-opnemen van dergelijke onderdelen zou vanuit duurzaamheidsoogpunt niet de voorkeur hebben, omdat hiermee afwenteling in de hand gewerkt kan worden.



Figuur 2-1. De systeemafbakening kan invloed hebben op de waarde van een index, omdat grondwateronttrekking en -gebruik niet op dezelfde locatie hoeven plaats te vinden. Daarnaast kunnen ook indirecte effecten op grotere afstand plaatsvinden (denk aan vermindering van kwelstromen voor natuur).

Lineair vs circulair

In verschillende indices, waaronder de [Withdrawal to Availability \(WTA\)](#), lijkt impliciet de aanname gedaan dat wanneer water gebruikt wordt, het ook 'weg' is. Hierbij plaatsen wij de kanttekening dat deze 'lineaire' benadering niet altijd opgaat. Afhankelijk van het soort watergebruik kan het teruggebracht worden in het watersysteem of de waterketen (zoals grotendeels het geval is bij drinkwater) of (grotendeels) verdwijnen (bijvoorbeeld naar de atmosfeer, zoals het geval is bij landbouw). Dat water na gebruik terug stroomt in het watersysteem wil echter niet betekenen dat de effecten van een onttrekking daarmee tenietgedaan worden. Wanneer grondwater wordt onttrokken voor drinkwater en uiteindelijk in het oppervlaktewatersysteem terecht komt, kan de afvoer gelijk blijven, maar kunnen grondwaterstanden of kwelstromen die belangrijk zijn voor de ecologie schade hebben ondervonden. Het tijdsaspect is hierbij van belang: het grondwatersysteem is traag ten opzichte van het oppervlaktewatersysteem, door grondwater te onttrekken wordt de verblijftijd van het onttrokken water in het systeem verkort.

Grondwatergebruik en oppervlaktewatergebruik

Hoewel dit onderzoek is gericht op grondwater, kunnen verschillende van de beschreven indices mogelijk ook bruikbaar zijn bij het gebruik van oppervlaktewater. Hierbij kan dezelfde gedachtegang gelden die onder het kopje 'Waterbalans' is beschreven: de afvoer kan gebruikt worden, mits er voldoende overblijft voor de 'environmental flows', oftewel dat deel van de afvoer dat nodig is voor ecologische doeleinden in het gebied of benedenstrooms.

2.3 Criteria voor een index voor duurzaam grondwatergebruik in Nederland

In deze paragraaf wordt een eerste verkenning gemaakt aan welke criteria een index met betrekking tot duurzaam grondwatergebruik idealiter zou moeten voldoen. Hiervoor wordt gekeken naar het type vraagstukken die zich voordoen in Nederland en is tevens gesproken met Marleen van der Velden (Brabant Water) en Hanneke Vreugdenhil (Vitens). Ten opzichte van andere landen kenmerkt de Nederlandse situatie zich door het feit dat er relatief veel grondwater beschikbaar is (hoewel dat de laatste jaren meer onder druk staat vanwege het effect van grondwaterstandsverlagingen op andere functies) en dat er geen sprake is van drinkwatertekorten voor inwoners. Daarnaast spelen er vraagstukken die te maken hebben met de grondwaterkwaliteit (verontreinigingen of verzilting) en is er relatief veel aandacht voor de effecten van waterwinning op ecosystemen.

Aangezien de verkenning naar deze criteria zeer beperkt is geweest, moet de lijst gezien worden als slechts een eerste aanzet voor een programma van eisen. De volgende aspecten blijken in deze eerste aanzet van belang voor toepasbaarheid met betrekking tot grondwaterwinningen voor drinkwater:

- **Doel van de index.** Het specifieke doel van een index voor duurzaam grondwatergebruik kan per vraagstuk variëren, maar de volgende criteria zijn genoemd met betrekking tot het doel en de inhoud van een index voor grondwatergebruik (voor drinkwater) in Nederland.
 - **Grondwaterkwantiteit.** Aandacht voor duurzaam grondwatergebruik, waarbij negatieve trends met betrekking tot grondwaterstandsverlagingen vermeden worden. Het zou meerwaarde kunnen hebben als er onderscheid gemaakt kan worden voor winningen op verschillende dieptes (verschillende watervoerende pakketten).
 - **Waterkwaliteit.** Aandacht voor waterkwaliteit, waarbij zowel gedacht wordt aan de kwaliteit van het ruwwater (voorkeur voor zo min mogelijk zuivering) als de kwaliteit van het watersysteem (hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan verzilting). Hierbij wordt ook de vraag gesteld hoe brakwaterwinning in zo'n index een plek kan krijgen.
 - **Gericht op het watersysteem.** Het grondwatersysteem staat niet los van de rest van het watersysteem en lage grondwaterstanden kunnen bijvoorbeeld natuur, landbouw, bebouwing en het oppervlaktewatersysteem (beekafvoeren) negatief beïnvloeden. In een goede index worden deze effecten ook meegenomen.
 - **Duurzaamheid (ecosystemen, milieu).** Aandacht voor duurzaamheid, vooral gericht op het voorkómen van nadelige effecten voor mens, dier en omgeving, zoals bodemdaling en effecten op aquatische en terrestrische ecosystemen.
 - **Toekomstige ontwikkelingen.** Bij het vermijden van nadelige effecten geldt dat dit zowel voor de huidige tijd als de toekomst moet gelden. Hierbij kan ook rekening gehouden worden met de (on)omkeerbaarheid van effecten.
 - **Niet alleen water.** Erkenning dat effecten in bredere zin kunnen optreden, bijvoorbeeld op andere sectoren (landbouw, industrie, recreatie) en daardoor kunnen doorwerken in effecten op bijvoorbeeld

sociaal-economisch vlak. Ook kunnen andere aspecten van duurzaamheid beïnvloed worden, waarbij gedacht kan worden aan energiegebruik, CO₂ uitstoot en reststromen.

- **Mitigatie.** Mogelijkheid om maatregelen (bijvoorbeeld mitigatie van milieu-effecten) mee te nemen, zodat vergelijking mogelijk is met opties waarin deze maatregelen niet meegenomen worden.

- **Databeschikbaarheid.** De benodigde gegevens moeten redelijkerwijs beschikbaar zijn (en met voldoende nauwkeurigheid) of gemaakt kunnen worden (zonder zeer hoge kosten of zeer veel moeite).

- **Vergelijking binnen en tussen gebieden.** De index is bij voorkeur geschikt voor vergelijking van opties binnen een gebied als vergelijking van winning van water in meerdere gebieden.

- **Transparantie en eenvoud.** De uitkomsten van de index zijn bij voorkeur goed uit te leggen en te interpreteren.

- **Niet absoluut, maar relatief.** De index vermijdt bij voorkeur sterke onderscheiden tussen 'duurzaam' en 'niet-duurzaam', maar gaat uit van een glijdende schaal, zodat 'meer en minder duurzame' opties vergeleken kunnen worden.

3 Naar een index voor duurzaam grondwatergebruik in Nederland

3.1 Vergelijking indices met criteria

In dit onderdeel wordt uit het literatuuroverzicht van Bijlage I en de beschouwing van Hoofdstuk 2 een beeld gevormd van de bruikbaarheid van de verschillende indices voor toepassing in Nederland.

In **Error! Reference source not found.** worden de indices uit Bijlage I kort vergeleken met de criteria rondom het doel uit 2.3. Een deel van de indices lijkt niet goed bruikbaar voor grondwater of vooral gericht op vraagstukken die meer in ontwikkelingslanden spelen (voldoende beschikbaarheid van drinkwater voor inwoners) en daarom niet goed in Nederland toepasbaar zijn.

Op basis van de vergelijking blijkt dat in ieder geval één index voldoet aan de criteria uit 3.3. [De Integrated Sustainability Assessment framework](#) (van Engelenburg et al., 2019) kwantificeert de duurzaamheid van grondwaterwinningen voor drinkwater in brede zin. Om dit framework toe te kunnen passen is wel kennis van al deze onderwerpen nodig, maar de manier waarop dit uitgewerkt is in tabellen met categorieën zorgt ervoor dat de uitwerking relatief eenvoudig is om uit te voeren en dat de resultaten transparant zijn. Een bijkomend voordeel is dat de index is getest voor grondwaterwinningen in Nederland en bewezen toepasbaar is (het is overigens niet bekend of de index ook goed toepasbaar is in andere landen).

Daarnaast moet vermeld worden dat voor minder uitgebreide studies, waarvoor niet alle criteria van belang zijn, andere indices mogelijk ook bruikbaar zijn. De [Groundwater Footprint](#) en de [WEI+](#) zijn relatief eenvoudige indices die op een elegante wijze de druk op (grond)watersystemen in beeld kunnen brengen, waarbij ook oog is voor de watervraag van ecosystemen.

Een andere index die mogelijk voor Nederland bruikbaar lijkt (maar niet voor de volledige lijst van eisen) is de [Watershed Sustainability Index](#) die vrij algemeen ingaat op duurzaamheidsaspecten van stroomgebieden. Daarnaast zou bij specifieke vraagstukken rondom watersystemen de circulariteitsindex ook van nut kunnen zijn. De [indices van de drinkwaterbedrijven Vitens en Brabant Water](#) geven specifieke informatie die specifiek voor drinkwaterwinningen uit grondwater bedoeld is, en kunnen vanuit het perspectief van drinkwaterbedrijven zeer nuttig zijn.

Tabel 3-1. Beknopte vergelijking van de indices met de criteria uit 2.3 die gericht zijn op het doel van de index: aandacht voor kwantiteit, kwaliteit, ecosystemen en milieu, toekomstige ontwikkelingen, bredere effecten dan alleen water en mitigatiemogelijkheden.

Categorie	Indices	Korte vergelijking met criteria rondom doel van de index
Indices gericht op de beschikbaarheid van water, gebaseerd op de WSI	<ul style="list-style-type: none"> Water Stress Index Withdrawal to Availability (WTA) Social Water Stress Index (SWSI) Water Stress Index with environmental requirements (WSI_{env}) Groundwater Footprint (GF) Water Exploitation Index+ (WEI+) 	Geen van deze indices beschouwt bredere aspecten dan alleen water. De meeste kijken alleen naar waterkwantiteit. De eerste drie indices zijn vooral gericht op de watervoorziening van inwoners, maar niet op duurzaamheid. Vanaf de WSI _{env} wordt ook de waterbeschikbaarheid van ecosystemen meegenomen en in de Groundwater Footprint kan ook kwaliteit meegenomen worden. Deze is als enige specifiek gericht op duurzaam gebruik van grondwatervoorraden, hoewel de WEI+ hier ook voor gebruikt lijkt te kunnen worden.
Relatief brede indices met gewogen gemiddelde van scores in verschillende dimensies	<ul style="list-style-type: none"> Water Poverty Index (WPI) Watershed Sustainability Index (WSI) Groundwater Sustainability Infrastructure Index (GSII) Aquifer Sustainability Index (ASI) Environmentally Sustainable Groundwater Management Index (ESGMI) Integrated Sustainability Assessment framework (ISA) Groundwater Risk Index (GRI) 	Deze indices nemen bredere aspecten dan alleen water mee, maar de meesten nemen niet alle gewenste aspecten mee. De WPI kijkt niet naar de milieu-kant van duurzaam grondwatergebruik en de WSI is meer gericht op stroomgebieden. De GSII mist de focus op onder andere milieu-aspecten en de ESGMI mist juist andere aspecten behalve milieu. De ASI is vooral gericht op droge systemen. De GRI heeft een andere focus dan duurzaam grondwatergebruik. Alleen de ISA komt goed overeen met de criteria.
Overige indices	<ul style="list-style-type: none"> Circulariteitsindex Indices van drinkwaterbedrijven. 	Deze indices gaan alleen in op een of meerdere deelaspecten van waterbeschikbaarheid, dus slechts op een deel de gewenste kenmerken.

3.2 Conclusie

In deze rapportage is een aanzet gemaakt om een geschikte index te vinden die bruikbaar kan zijn voor vraagstukken met betrekking tot grondwatergebruik in Nederland. Indices uit een beknopte literatuurstudie zijn kort beschouwd en vergeleken met criteria waaraan een index idealiter zou moeten voldoen.

De Integrated Sustainability Assessment framework (van Engelenburg et al., 2019) lijkt aan alle eisen te voldoen, en is bewezen toegepast op Nederlandse grondwaterwinningen.

Daarnaast lijken enkele indices geschikt voor vraagstukken in Nederland waarin een minder brede index gewenst is, maar waarin de focus ligt op bepaalde onderdelen, zoals waterkwantiteit, watergebruik en natuur. Deze betreffen de Groundwater Footprint en de WEI+ (gericht op waterkwantiteit, gebruik en ecosystemen) en de Watershed Sustainability Index, en de Circulariteitsindex.

Om een beter beeld te krijgen van de bruikbaarheid van de uitgebreide Integrated Sustainability Assessment framework en minder uitgebreide indices is het van belang om deze in een vervolgonderzoek toe te passen op verschillende typen gebieden / winningen in Nederland en zo het nut en de beperkingen in beeld te brengen. Ook kan zo in beeld worden gebracht wanneer een uitgebreide index nodig is, en wanneer ook eenvoudiger indices volstaan.

4 Referenties

- Agudelo-Vera, C.M., Keesman, K.J., Mels, A.R., Rijnaarts, H.H.M., 2013. Evaluating the potential of improving residential water balance at building scale. *Water Research*, 47(December): 7287-7299.
<http://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/51353342>
- Casadei, S., Peppoloni, F., Pierleoni, A., 2020. A New Approach to Calculate the Water Exploitation Index (WEI+). *Water*, 12(11): 3227. <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/11/3227>
- Chaves, H.M., Alipaz, S., 2007. An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: the watershed sustainability index. *Water Resources Management*, 21(5): 883-895.
- Falkenmark, M., 1989. The massive water scarcity now threatening Africa: why isn't it being addressed? *Ambio*: 112-118.
- Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M.F.P., van Beek, L.P.H., 2012. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. *Nature*, 488(7410): 197-200. DOI:10.1038/nature11295
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Mekonnen, M.M., Aldaya, M.M., 2011. *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Routledge.
- 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>
- Lezzaik, K., Milewski, A., Mullen, J., 2018. The groundwater risk index: Development and application in the Middle East and North Africa region. *Science of the Total Environment*, 628: 1149-1164.
- Ohlsson, L., 2000. Water conflicts and social resource scarcity. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25(3): 213-220. DOI:[https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(00\)00006-X](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00006-X)
- Sullivan, C., 2002. Calculating a water poverty index. *World development*, 30(7): 1195-1210.
- Sullivan, C., Meigh, J., Lawrence, P., 2006. Application of the Water Poverty Index at Different Scales: A Cautionary Tale: In memory of Jeremy Meigh who gave his life's work to the improvement of peoples lives. *Water international*, 31(3): 412-426.
- Van Engelenburg, J., Van Slobbe, E., Hellegers, P., 2019. Towards sustainable drinking water abstraction: an integrated sustainability assessment framework to support local adaptation planning. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 16(1): 89-122.
- Xu, H., Wu, M., 2017. *Water Availability Indices – A Literature Review*, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory. <https://publications.anl.gov/anlpubs/2017/03/134309.pdf>
- Raskin, P.D., E. Hansen, and R.M. Margolis. 1996. Water and sustainability: Global patterns and long-range problems. *Natural Resources Forum* 20: 1–15.
- Senent-Aparicio, J., Pérez-Sánchez, J., Garcia-Aróstegui, J., Bielsa-Artero, A., Domingo-Pinillos, J. C. 2015. Evaluating Groundwater Management Sustainability under Limited Data Availability in Semiarid Zones. *Water* 7: 4305-4322.
- Singh, A. P., Bhakar, P. 2021. Development of groundwater sustainability index: a case study of western arid region of Rajasthan, India. *Environmental, Development and Sustainability* 23: 1844-1868
- Smakhtin, V., C. Revenga, and P. Do "ll. 2004. A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. *Water International* 29: 307–317.
- Sullivan, C. 2002. Calculating a water poverty index. *World Development* 30: 1195–1210.
- Sullivan, C., Meigh, J., Lawrence, P. 2006. Application of the water poverty index at different scales: A cautionary tale. *Water International* 31: 412–426.
- Van Engelenburg, J., Van Slobbe E., Hellegers, P. 2019. Towards sustainable drinking water abstraction: an integrated sustainability assessment framework to support local adaptation planning. *Journal of Integrative Environmental Sciences* 16, 1: 89-122.

Bijlagen

I Indices voor watergebruik

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van indices die betrekking hebben op antropogeen watergebruik. Voor dit overzicht is deels gebruik gemaakt van het lijstje indices uit het stageverslag van Arthur Bouma (MSc. Environment and Resource Management aan de VU Amsterdam), die in het kader van zijn stage bij KWR verschillende indices op theoretisch vlak heeft vergeleken. Daarnaast zijn indices toegevoegd die gevonden zijn via zoekopdrachten in Google Scholar/ Scopus en er is contact geweest met drinkwaterbedrijven Brabant Water en Vitens, die gebruik maken van zelf ontwikkelde indices voor hun winningen.

Er zijn een groot aantal water indices ontwikkeld in de afgelopen decennia die een maat geven aan de druk op oppervlaktewater en/of grondwater. De eerst ontwikkelde indices in de jaren 1980 en 1990 focussen met name op de oppervlaktewaterkwantiteit en de mate waarin dit aan de menselijke waterconsumptie in een (droge) regio kan voldoen. In de afgelopen jaren zijn ook meerdere grondwaterindices geformuleerd met andere doelen of perspectieven. Deze variëren van relatief eenvoudige vergelijkingen die een enkel aspect beschrijven tot indices gebaseerd op tientallen tot honderden factoren die ingaan op verschillende dimensies met betrekking tot duurzaamheid. Van deze factoren, bijvoorbeeld hydrologische, sociale, politieke en economische aspecten, wordt veelal een gewogen gemiddelde berekend. In dit hoofdstuk volgt een kort overzicht van deze indices en wordt beschreven in welke mate deze indices gebruikt kunnen worden om de druk op een watersysteem met winningen te beoordelen.

I.1 Relatief eenvoudige indices, gericht op beschikbaarheid van water

Water Stress Index

De Water Stress Index (WSI) linkt oorspronkelijk voedselzekerheid aan zoetwaterbeschikbaarheid. Deze indicator was oorspronkelijk bedoeld als early warning voor voedselzekerheid tijdens droogtes in de Sahel (Falkenmark, 1989). De WSI is gedefinieerd als de verhouding tussen de waterbeschikbaarheid (gedefinieerd als de jaarlijkse afvoer) ten opzichte van het aantal mensen dat er van moet leven. Zowel het aantal personen per hoeveelheid beschikbaar water als de inverse, hoeveelheid beschikbaar water per hoofd van de bevolking, wordt gebruikt.,

$$WSI = \text{aantal personen} / m^3 \text{ afvoer per jaar}$$

$$\text{Inverted WSI} = m^3 \text{ afvoer per jaar} / \text{aantal personen}$$

Tegenwoordig wordt de WSI veel gebruikt om waterstress en waterschaarste weer te geven. Er zijn verschillende visies over bij welke waarde van de Water Stress Index gesproken kan worden over waterstress. Damkjear en Taylor (2017) stellen na een uitgebreide literatuurvergelijking dat de breed geaccepteerde richtlijn is dat van waterstress gesproken kan worden bij $<1700 \text{ m}^3$ per capita per jaar en er is sprake van watertekort bij $<1000 \text{ m}^3$ per capita per jaar.

Withdrawal-to-Availability Ratio / Relative Water Stress Index

De Withdrawal-to-Availability Ratio (Raskin et al., 1996) bevat het watergebruik van huishoudens (D, domestic), industrie (I) en landbouw (A, agriculture), samen DIA, als percentage/ratio van de totale gemiddelde jaarlijkse rivierafvoer (MARR= mean annual river runoff). In vergelijking met de Water Stress Index is er bij deze index dus niet alleen sprake van watergebruik door individuen, maar spelen ook andere gebruikers (landbouw, industrie) binnen het watersysteem een rol. Daarnaast wordt bij deze index een vergelijking gemaakt met de watertoevoer aan het watersysteem.

$$WTA = \frac{\sum DIA}{MARR}$$

Deze index wordt toegepast op nationale schaal om de waterstress in een land te bepalen. Is de WTA tussen de 40 en 20 procent, dan is er sprake van waterstress. Is de WTA onder de 20 procent, dan is er sprake van ernstige waterstress.

Social Water Stress Index

Met de Social Water Stress Index (Ohlsson, 2000) wordt de WSI van landen vergeleken. Het bevat de mate waarin de maatschappij zich kan aanpassen aan verschillen in waterbeschikbaarheid. Dit aanpassingsvermogen hangt samen met gelijke distributie van water, politieke participatie en toegang tot educatie. De Human Development Index (HDI) van de Verenigde Naties is onderdeel van deze index. De HDI bevat levensverwachting, educatie en bruto binnenlands product per capita.

De SWSI wordt gedefinieerd als:

$$SWSI_{\text{country}} = \frac{\text{Inverted Falkenmark WSI}_{\text{country}}}{HDI_{\text{Country}}} \times \frac{1}{\text{scalar}}$$

De scalar uit bovenstaande formule heeft Ohlsson (2000) de waarde 2 gegeven. Door middel van de SWSI zijn landen met $WSI < 1000$, maar die sociaal gezien een hoog aanpassingsvermogen hebben, toch met een status van relatief voldoende water te classificeren.

Water Stress Index with environmental water requirements

De Water Stress Index with environmental water requirements (WSI_{EWR}) is hetzelfde als de WTA maar neemt ook water dat de natuur nodig heeft mee. De som van de DIA uit de WTA wordt in deze index aangeduid als het totaal aan onttrekkingen (Withdrawals). De hoogte van de EWR (Environmental Water Requirements) variëren veelal tussen de 20-50 procent van de MARR, afhankelijk van het gebied.

$$WSI_{EWR} = \frac{\text{Withdrawals}}{MARR - EWR}$$

Groundwater Footprint

De Groundwater Footprint is gedefinieerd als het gebied dat nodig is om grondwatergebruik en grondwaterafhankelijke ecosysteemdiensten in een regio te onderhouden (Gleeson et al., 2012). Deze index focust op waterkwantiteit. De aanname geldt dat vervuilde aquifers een kleinere Groundwater Footprint geven, omdat hierbij minder water geschikt is voor consumptie. De Groundwater Footprint wordt gedefinieerd als:

$$GF = A [C / (R - E)]$$

Waarbij: A = het oppervlak van het gebied waar naar gekeken wordt (in L^2), C = gemiddelde jaarlijkse grondwateronttrekking, R = grondwateraanvulling, E = environmental flow, dit is de hoeveelheid uitstromend grondwater dat noodzakelijk is voor o.a. ecologie (alles in dimensie lengte/tijd) (Gleeson & Wada 2012).

De Groundwater Footprint lijkt qua term, maar niet zozeer qua inhoud, op de eerdere Water Footprint (Hoekstra et al., 2011), waarin het totale volume water dat voor een persoon, bedrijf of product verbruikt of vervuuld wordt per eenheid tijd wordt gegeven.

Bij de Groundwater Footprint wordt de druk op het grondwater bepaald middels een eenvoudige waterbalans. Het jaarlijkse gemiddelde aan gewonnen water wordt gedeeld door de aanvulling minus de *environmental flow*. Hierin speelt de invloed van grondwaterwinningen dus een centrale rol. De duurzaamheid van het grondwatergebruik wordt gedefinieerd als het oppervlak dat nodig is voor voldoende aanvulling. Als dit oppervlak groter is dan het onderzochte gebied, is er sprake van uitputting, wat per definitie niet duurzaam is.

Water Exploitation Index (WEI/WEI+) / Withdrawal ratio

Deze index berekent de stress op zoetwatervoorraden als gevolg van de totale winning van grondwater. Zowel de zoetwatervraag als de zoetwatervoorraden op lange termijn zijn meegenomen in deze index, meestal berekend op landelijke schaal. Deze index is verder ontwikkeld in de WEI+ door de Europese Commissie, om gezamenlijke indicatoren voor waterschaarste en droogte binnen de EU vast te stellen (Casadei et al., 2020).

$$WEI^+ = \frac{\text{abstraction} - \text{returns}}{\text{renewable water resources} - \text{environmental flow}}$$

De environmental flow is de waterstroom die nodig is voor de omgeving (waaronder de ecologie). Renewable water resources worden hier gedefinieerd als:

$$RWR = EX_{inf} + P - ET_a - \Delta S_{nat}$$

Waarbij EX_{inf} de externe inflow is, P de neerslag, ET_a de actuele evapotranspiratie en ΔS_{nat} de verandering in natuurlijke berging. Als alternatief kan de RWR gedefinieerd worden als de natuurlijke runoff van één of meerdere stroomgebieden.

I.II Relatief brede indices met gewogen gemiddelde van scores in verschillende dimensies

Er zijn verschillende indices met een bredere insteek, waarbij verschillende factoren meegewogen worden. Deze indices zijn opgebouwd uit scores voor verschillende dimensies (bijvoorbeeld waterbeschikbaarheid, sociale factoren, economische factoren, milieu) die vervolgens (gewogen) gecombineerd worden tot een score.

Water Poverty Index

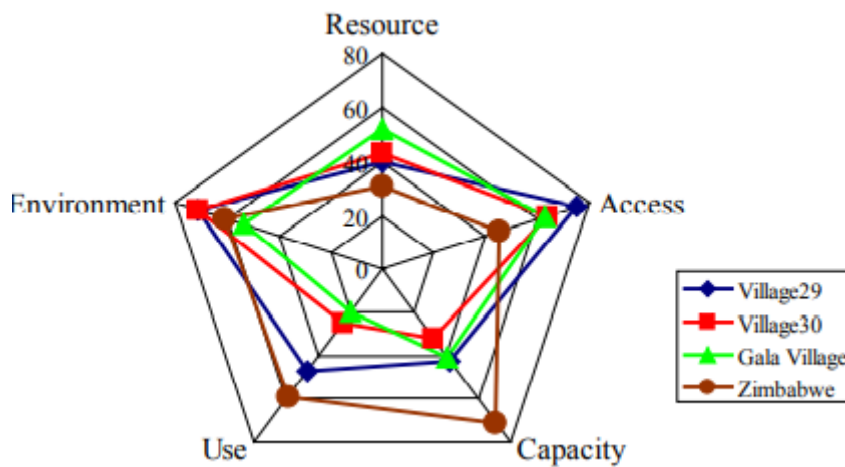
De Water Poverty Index (Sullivan, 2002) legt de link tussen afname in armoede en waterbeschikbaarheid en wordt berekend als een gewogen gemiddelde tussen N verschillende factoren, met als algemene formulering:

$$WPI = \frac{\sum_{i=1}^N w_i X_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

Deze index wordt in de praktijk toegepast met vijf factoren (Sullivan et al, 2006). (i: 1. Beschikbare waterbronnen, 2. Toegang tot water, 3. Capaciteit voor watermanagement, 4. Watergebruik voor huishoudelijk gebruik, voedsel en productie en 5. Milieubelangen. Deze factoren (X_i) krijgen elk een gewicht (w_i), afhankelijk van de keuze van de gebruiker. De factoren worden ingevuld op basis van verschillende eigenschappen (**Error! Reference source not found.**). Naast een totale score kan ook een spinnenwegdiagram gebruikt worden om de deelscores te vergelijken (**Error! Reference source not found.**). .

Tabel 4-1. Data die gebruikt kan worden om de vijf verschillende factoren te beoordelen (Sullivan et al., 2006).

WPI component	Data used
Resources (R_i) - Provides some assessment of a qualitatively adjusted value of the per capita quantitative measure of ground and surface-water availability for region <i>i</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Assessment of surface water and groundwater availability using hydrological and hydrogeological techniques • Quantitative and qualitative evaluation of the variability or reliability of resources • Quantitative and qualitative assessment of water quality
Access (A_i) - Indicates access people have to water for effective use for their survival in region <i>i</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Access to clean water as percent households having piped water supply • Reports of conflict over water use • Access to sanitation as percent of population • Percent water carried by women • Time spent in water collection, including waiting • Access to irrigation coverage adjusted by climate and cultural characteristics
Capacity (C_i) - Indicates level of human and financial capacity to manage the system for region <i>i</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Wealth equivalent to ownership of durable items • Mortality rate for children under 5 years • Educational level • Membership in water users associations • Percent households reporting illness due to water supply • Percent households receiving a pension, remittances or wages
Use (U_i) - Indicated by level of water use by different sectors of the economy and the economic returns from same in region <i>I</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Domestic water consumption rate • Agricultural water use, expressed as the proportion of irrigated land to total cultivated land • Livestock water use based on livestock holdings and standard water needs • Industrial water use (purposes other than domestic and agricultural)
Environment (E_i) – For lack of acceptable figures to represent environmental integrity or environmental water needs, these alternative proxy data were used.	<ul style="list-style-type: none"> • People’s use of natural resources • Reports of crop loss during last 5 years • Percent households reporting erosion on their land



Figuur 4-1. De vijf factoren van de WPI kunnen ook in een diagram worden weergegeven, zodat scores voor verschillende gebieden inzichtelijker vergeleken kunnen worden.

Watershed Sustainability Index

De Watershed Sustainability Index (Chaves and Alipaz, 2007) neemt ook zaken mee als infrastructuur, milieukwaliteit, economie, maatschappij, welvaart, planning en technologie. Bij de hydrologie kan zowel de waterkwantiteit als de waterkwaliteit worden meegenomen. Met deze indicatoren wordt een Pressure-State Response framework ingevuld, waarbij iedere indicator een waarde tussen 0 en 1 krijgt (Tabel 4-2), en waarbij er scoretabellen gebruikt kunnen worden (Tabel 4-3). Welke indicatoren mee worden genomen en hoe deze worden gewogen verschilt per regio/land. Zo is er bijvoorbeeld de Canadian water sustainability index (Damkjear&Taylor, 2017).

$$WSI = \frac{H+E+L+P}{4}$$

Tabel 4-2 Indicatoren uit de Watershed Sustainability Index (Chaves and Alipaz, 2007)

Indicators	Pressure parameters	State	Response
Hydrology	Variation in the basin's per capita water availability in the period analyzed Variation in the basin BOD5 in the period analyzed	Basin per capita water availability (long term average) Basin BOD5 (long term average)	Improvement in water-use efficiency in the period analyzed Improvement in sewage treatment/disposal in the period analyzed
Environment	Basin's EPI (Rural and urban) in the period analyzed	Percent of basin area with natural vegetation	Evolution in basin conservation (percent of protected areas, BMPs) in the period analyzed
Life	Variation in the basin per capita income in the period analyzed	Basin HDI (weighed by county population)	Evolution in the basin HDI in the period analyzed
Policy	Variation in the basin HDI-Education in the period analyzed	Basin institutional capacity in IWRM	Evolution in the basin's IWRM expenditures in the period analyzed

Tabel 4-3. Scoretabel van de state parameters bij de Watershed Sustainability Index (Chaves & Alipaz, 2007).

Indicator	State parameters	Level	Score
Hydrology	Basin per capita water availability (m ³ /person year), considering both surface and groundwater sources Basin averaged long term BOD ₅ (mg/l)	Wa<1,700	0.00
		1,700<Wa<3,400	0.25
		3,400<Wa<5,100	0.50
		5,100<Wa<6,800	0.75
		Wa>6,800	1.00
		BOD>10	0.00
		10<BOD<5	0.25
		5<BOD<3	0.50
		3<BOD<1	0.75
		BOD<1	1.00
Environment	Percent of basin area under natural vegetation (Av)	Av<5	0.00
		5<Av<10	0.25
		10<Av<25	0.50
		25<Av<40	0.75
		Av>40	1.00
Life	Basin HDI (weighed by county population)	HDI<0.5	0.00
		0.5<HDI<0.6	0.25
		0.6<HDI<0.75	0.50
		0.75<HDI<0.9	0.75
		HDI>0.9	1.00
Policy	Basin institutional capacity in IWRM (legal and organizational)	Very poor	0.00
		Poor	0.25
		Medium	0.50
		Good	0.75
		Excellent	1.00

Groundwater Sustainability Infrastructure index

De Groundwater Sustainability Infrastructure Index (GSII) (Pandey et al, 2011) focust op duurzaamheid van het grondwatersysteem, waarbij er nadruk wordt gelegd op structuren (hier verwijst het woord infrastructure naar) die de duurzaamheid kunnen bevorderen, waaronder kennis, governance en onderling vertrouwen. De index bevat vijf componenten met in totaal 16 indicatoren (Figuur 4-2 **Error! Reference source not found.**). De GSII is vervolgens een gewogen gemiddelde waarbij iedere indicator een gewicht krijgt tussen 0 en 1.

Index	Component	Indicator	Description
Groundwater sustainability infrastructure index (GSII)	1. Groundwater monitoring (GwM)	1.1 Groundwater level	GwM enables a long-term understanding of groundwater availability and anthropogenic effects on groundwater resources. It helps protect groundwater environment KgD helps facilitate groundwater resources evaluation, planning and management. KgD also helps build 'mutual trust' among the stakeholders to achieve the goal of sustainability Rel aim to ensure sustainability through interventions like licensing, tax/subsidy, trading groundwater rights, etc. PuP helps safeguard social wellbeing through sustainable use of the resource. It helps for informed decision making, conflict prevention and maximizing benefits (social, economic and technical) InR empowered with clear mandate, sufficient resources and legal framework increases strength of institutional leadership in groundwater management
		1.2 Groundwater extraction	
		1.3 Groundwater quality	
		1.4 Land subsidence	
	2. Knowledge generation and dissemination (KgD)	2.1 Knowledge generation	
		2.2 Knowledge/data CSM	
		2.3 Provision for KID	
	3. Regulatory interventions (Rel)	3.1 Groundwater rights	
		3.2 Groundwater licensing	
		3.3 Economic instruments	
	4. Public participation (PuP)	4.1 Awareness	
		4.2 Interest to participate	
		4.3 Availability of mechanism	
	5. Institutional responsibility (InR)	5.1 Availability of authority	
		5.2 Legal framework	
		5.3 Institutional capacity	

'CSM' is compilation, storage and management; 'KID' is knowledge integration and dissemination.

Figuur 4-2. De indicatoren van de Groundwater Sustainability Infrastructure Index (Pandey et al, 2011)

Aquifer Sustainability Index

De Aquifer Sustainability Index (Senent-Aparicio, 2015) is ontwikkeld om, in tegenstelling tot hiervoor genoemde indices, te gebruiken als je niet veel gedetailleerde data hebt. De index wordt als volgt gedefinieerd (zelfde als in de Watershed Sustainability Index):

$$ASI = \frac{H+E+L+P}{4}$$

Waarbij: H=hydrogeology, E=environment, L=life, P=water resources, P=policies. Elke indicator krijgt een waarde tussen 0 en 1 op basis van een scoretabel. Voor elk van deze parameters wordt een Pressure-State-Response framework gemaakt om zo de score te bepalen (Tabel 4-4). Tabel 4-5 laat de hydrologische parameters met bijhorende scores zien.

Tabel 4-4. De indicatoren van de Aquifer Sustainability Index (Senent, Aparicio, 2015)

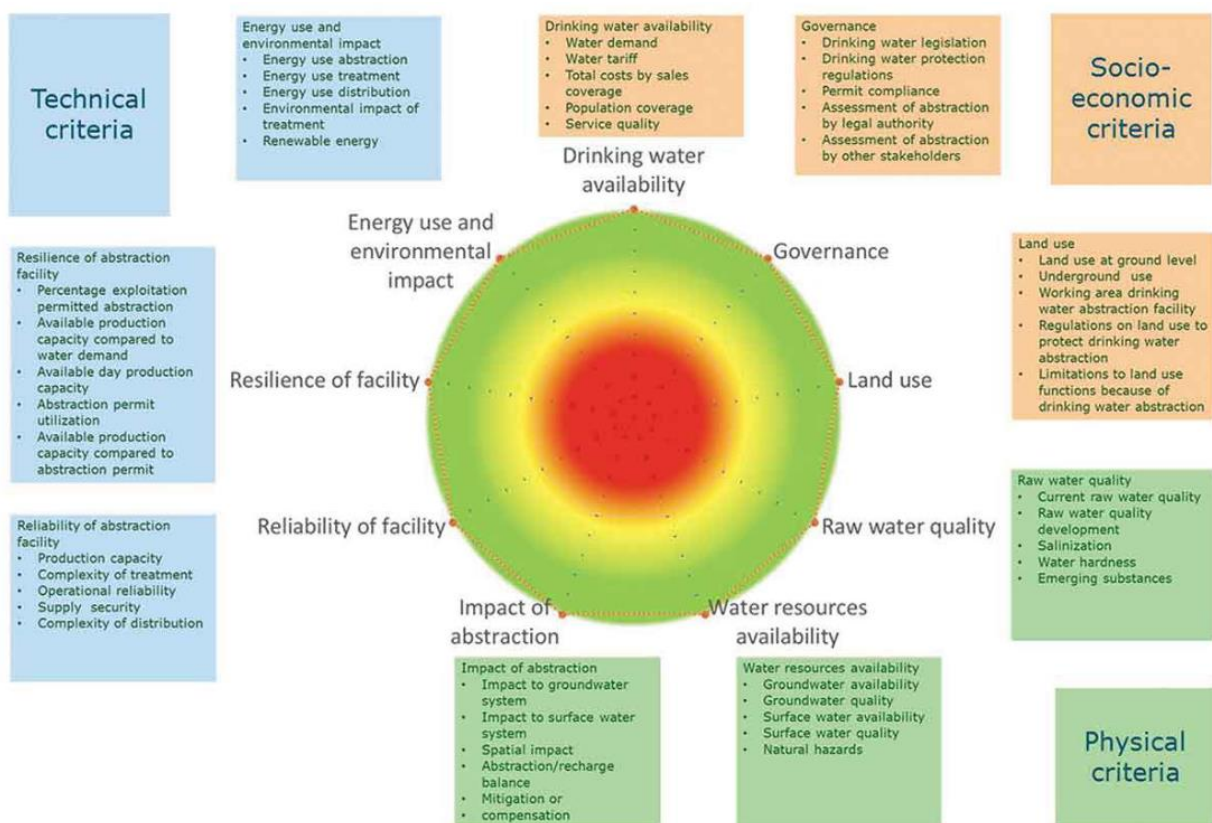
Indicators	Parameters		
	Pressure	State	Response
(H) Hydrogeology	Variation in the groundwater depletion in the period studied, relative to the long-term average	Groundwater as a percentage of total use of irrigation water	Evolution in non-conventional water resources supply
	Variation in the Nitrate concentration in the period analysed	Sampling points that meet quality standards in the period analysed	Improvement in nitrate contamination in the period analysed
(E) Environment	Averaged variation of basin agricultural area and urban population in the period analysed	% of basin area with natural vegetation	Evolution in basin conservation in the period analysed
(L) Life	Variation in the basin per capita income in the period analysed	Basin HDI (weighed by county population)	Evolution in the basin HDI in the period analysed
(P) Policy	Variation in the basin HDI-Education in the period analysed	Basin institutional capacity in IWRM	Evolution in the basin's IWRM expenditures in the period analysed

Tabel 4-5. Omschrijving van de hydrologische parameters met bijhorende scores voor het bepalen van de Aquifer Sustainability Index (Senent-Aparicio, 2015)

Stages	Parameters	Level	Score
Pressure	Variation in the groundwater depletion in the period studied, relative to the long-term average	$\Delta 1 \leq 40\%$	0.00
		$40\% < \Delta 1 < 80\%$	0.25
		$\Delta 1 \geq 80\%$	0.50
		$\Delta 2 \leq 20\%$	0.75
		$20\% < \Delta 2 < 60\%$	1.00
	Variation in the nitrate concentration in the period studied, relative to the long-term average	$\Delta \geq 20\%$	0.00
		$10\% \leq \Delta < 20\%$	0.25
		$-10\% \leq \Delta < 10\%$	0.50
		$-20\% \leq \Delta < -10\%$	0.75
		$\Delta < -20\%$	1.00
State	Groundwater as a percentage of total use of irrigation water	$\Delta \geq 80\%$	0.00
		$70\% \leq \Delta < 80\%$	0.25
		$60\% \leq \Delta < 70\%$	0.50
		$50\% \leq \Delta < 60\%$	0.75
		$\Delta < 50\%$	1.00
Response	Non-conventional water resources supply in the study area, relative to the conventional water resources in the period studied	$\Delta \leq 20\%$	0.00
		$20\% < \Delta \leq 40\%$	0.25
		$40\% < \Delta \leq 60\%$	0.50
		$60\% < \Delta \leq 80\%$	0.75
		$\Delta > 80\%$	1.00
	Improvement in nitrate concentration in the aquifer, in the period studied	$\Delta = 0\%$	0.00
		$0\% < \Delta \leq 5\%$	0.25
		$5\% < \Delta \leq 10\%$	0.50
		$10\% < \Delta \leq 20\%$	0.75
		$\Delta > 20\%$	1.00
		Very poor	0.00
		Poor	0.25
		Medium	0.50
		Good	0.75
		Excellent	1.00

Integrated Sustainability Assessment framework

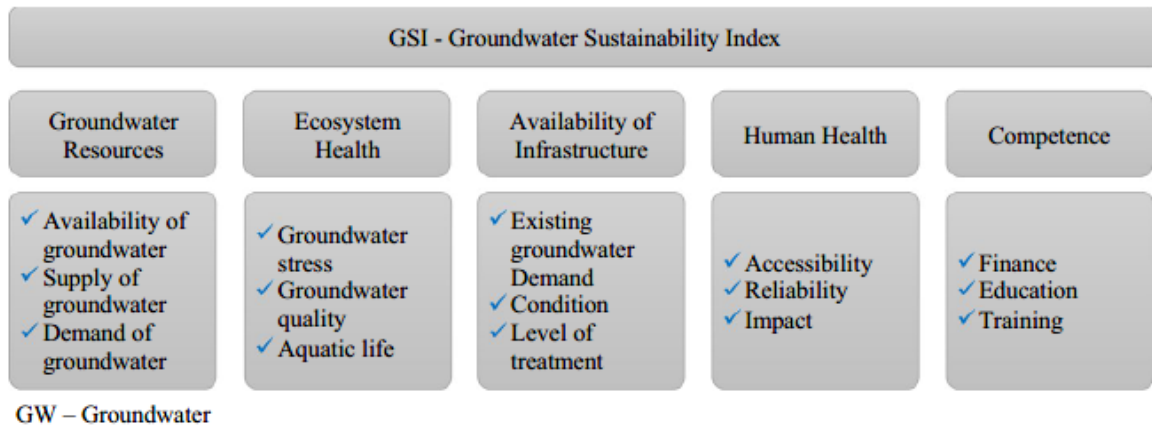
De Integrated Sustainability Assessment framework voor grondwaterwinningen voor drinkwater (Van Engelenburg et al., 2019) maakt gebruik van een multicriteria-analyse en bevat socio-economische, fysische en technische criteria voor de definitie van duurzame drinkwaterproductie uit grondwater. Het framework wordt weergegeven als een web (Figuur 4-3) waarin de score voor de verschillende criteria wordt weergegeven. Het doel van deze index is om (potentiële) winningen te beoordelen op een breed scala aan duurzaamheidsaspecten, waardoor het gebruikt kan worden om strategische keuzes te onderbouwen. Vergeleken met de eerder behandelde criteria wordt gebruik gemaakt van zeer veel factoren (Figuur 4-3).



Figuur 4-3. De indicatoren van de Integrated sustainability assessment framework winningen (van Engelenburg et al, 2019)

Groundwater Sustainability Index

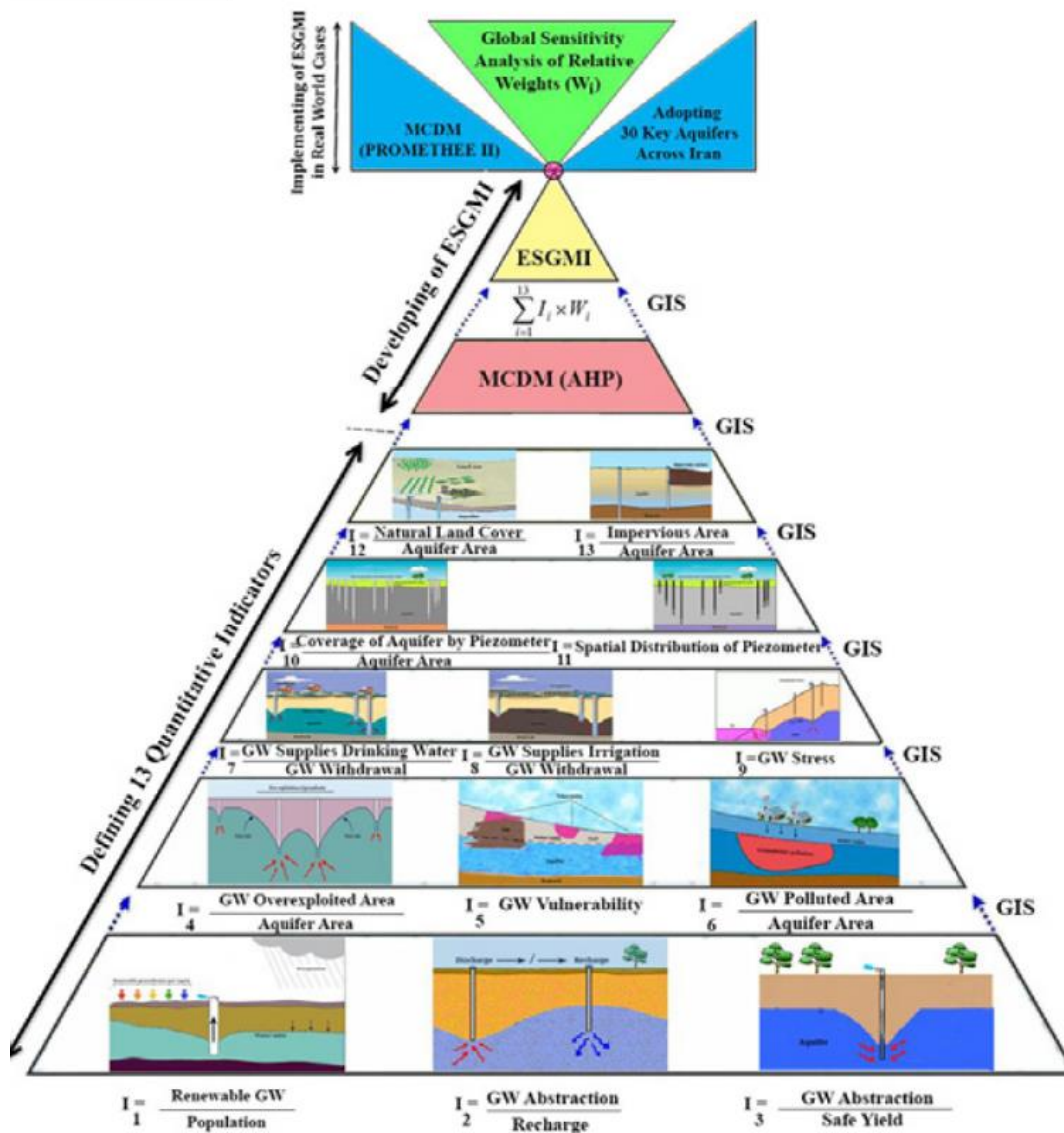
De Groundwater Sustainability Index (GSI) (Singh & Bhakar, 2021) is gericht op de duurzaamheid van grondwatergebruik in het algemeen (in tegenstelling tot de index hiervoor, die gericht is op drinkwater). De index bevat vijf dimensies van grondwaterbronnen gedefinieerd door 15 indicatoren (Figuur 4-4). Voor elke indicator is door Singh & Bhakar (2021) een aparte formule opgesteld. De GSI is vervolgens een gewogen gemiddelde van deze indicatoren. Naast indicatoren van het watergebruik en waterbeschikbaarheid bevat deze index ook sociale en economische factoren, die de toegang tot water en het duurzaam gebruik hiervan beïnvloeden.



Figuur 4-4. De indicatoren van de Groundwater Sustainability Index (Singh & Bhakar, 2021)

Environmentally Sustainable Groundwater Management Index

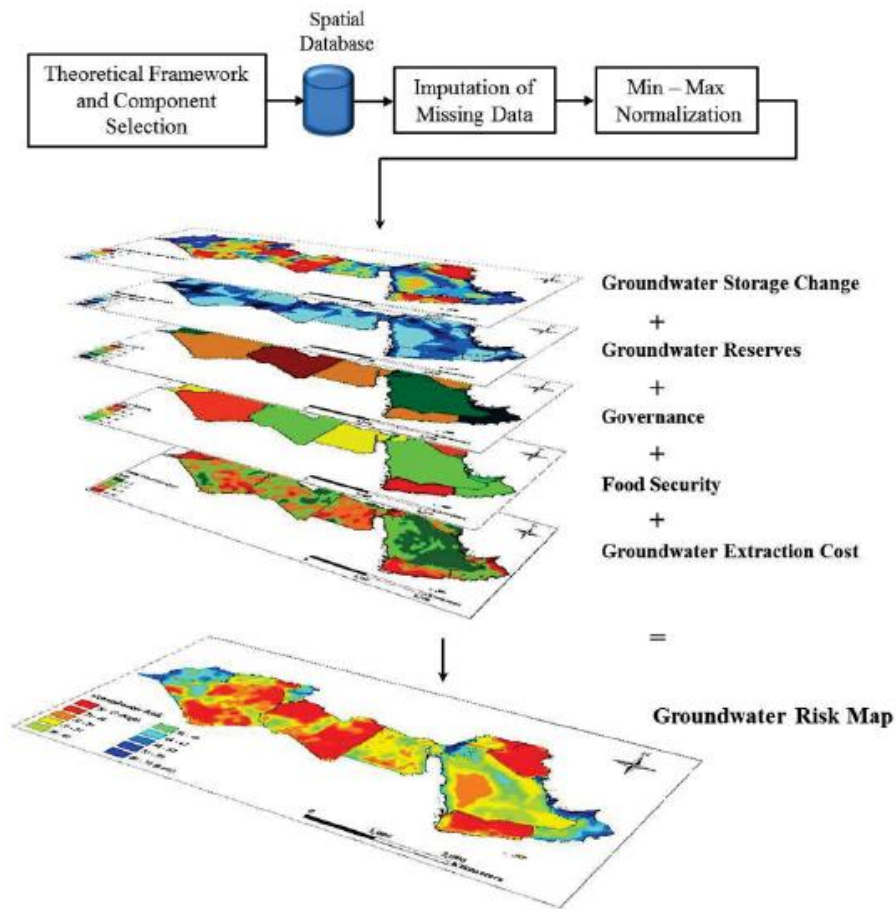
De Environmentally Sustainable Groundwater Management Index (Hosseini et al 2019) is vooral gericht op het milieu-aspect van duurzaamheid, waarbij gekeken wordt naar zaken zoals waterkwantiteit en -kwaliteit in de aquifer en onttrekkingen. Er lijkt weinig aandacht te zijn voor de *people* en *profit* dimensies van duurzaamheid. De index bevat 13 indicatoren en is met name in droge gebieden toepasbaar (Figuur 4-5). Uit de scores voor de indicatoren wordt een gewogen gemiddelde berekend. De ESGMI heeft een waarde tussen 0 en 10. Deze index bevat naast de hoeveelheid onttrokken water ten opzichte van de aanvulling ook indicatoren zoals de kwaliteit en de hoeveelheid vervuild grondwater.



Figuur 4-5. De indicatoren van de Environmentally Sustainable Groundwater Management Index (Hosseini et al 2019)

Groundwater Risk Index

De Groundwater Risk Index (Lezzaik et al., 2018) is bedoeld om het risico op grondwateruitputting te kwantificeren, niet op basis van werkelijke onttrekkingen, maar op basis van de waarschijnlijkheid van onttrekkingen als gevolg van factoren zoals governance en voedselzekerheid. Hiervoor worden gegevens uit met name (ruimtelijke) sociaal-economische datasets gebruikt. De indicatoren zijn: verandering in grondwatervoorraad, grondwaterreserves, governance, voedselzekerheid en grondwateronttrekkingskosten (Figuur 4-6 **Error! Reference source not found.**).



Figuur 4-6. De indicatoren van de Groundwater Risk Index (Lezziak et al, 2018)

I.III Overige indices

Sommige van de indices wijken af van de overige indices en worden hier apart besproken:

Circulariteitsindex

Krajenbrink et al. (2021) hebben een zelfvoorzienendheidsindex toegepast die een beeld geeft van de mate van circulariteit in een watersysteem. Deze index is aangepast naar een index die is toegepast door (Agudelo-Vera et al., 2013). De gedachte achter deze index is dat in een willekeurig gebied in Nederland er altijd sprake is van een gemiddelde uitgaande waterstroom als gevolg van het neerslagoverschot. De minimaal noodzakelijke uitgaande stroom voor dat gebied is gelijk aan de som van de *netto* uitgaande stromen. In de meest extreme circulaire situatie zou de som van alle uitgaande stromen gelijk zijn aan *netto* uitgaande stromen, wat in de praktijk zou betekenen dat het neerslagoverschot ingezet wordt voor alle soorten watervragen. In dat geval krijgt de index de waarde '1'. In de praktijk is dit vrijwel nergens het geval, om veelal praktische redenen (beperkte bergingsruimte, betere kwaliteit of constantere beschikbaarheid van overige bronnen). Daarnaast wordt er water van buiten het systeem aangevoerd, waardoor er automatisch ook meer afvoer plaatsvindt. De index krijgt hiermee een getal boven de '1' (wat betekent dat het minder circulair is). Met deze index kunnen oplossingen voor een bepaald gebied vergeleken worden in de mate waarin zij bijdragen aan circulariteit. In tegenstelling tot sommige andere indices in dit hoofdstuk is de score slechter wanneer er sprake is van aanvoer van water van buitenaf.

Bij de toepassing van deze index kan de keuze worden gemaakt om het grondwater al dan niet onderdeel te laten zijn van het systeem. Indien het grondwater onderdeel van het systeem is, kunnen onttrekkingen gecompenseerd worden door infiltratie, waardoor de mate van circulariteit niet beïnvloed wordt. Indien grondwater niet tot het systeem wordt gerekend, draagt grondwatergebruik in negatieve zin bij aan de circulariteit, maar zou het qua uitkomst niet uitmaken of er ook extra infiltratie plaatsvindt of dat water via een andere route het systeem verlaat.

$$\text{Circulariteitsindex} = \frac{\sum \text{uitgaande stromen}}{\sum \text{netto uitgaande stromen}}$$

Indices die door Nederlandse drinkwaterbedrijven worden gebruikt

In gesprekken met medewerkers van Vitens en Brabant Water bleek dat drinkwaterbedrijven ook eigen indices gebruiken om grondwaterwinningen te beoordelen. De indices en/of de achterliggende gegevens zijn echter niet openbaar en worden daarom hier slechts globaal beschreven.

Vitens heeft een index die verontreinigingen per winlocatie in beeld brengt. Hierbij worden de grenswaarden voor stoffen in grondwater uit de Kaderrichtlijn Water als uitgangspunt genomen. Waterkwaliteitsgegevens van winningen worden hiermee vergeleken, zodat eventuele overschrijdingen van grenswaarden bepaald kunnen worden, waarna de uitkomsten in één getal worden samengevat. Hierbij wordt ook onderscheid gemaakt tussen verschillende stofgroepen. Met behulp van deze informatie kan de kwaliteit van verschillende winningen worden vergeleken, maar de gegevens kunnen bijvoorbeeld ook gebruikt worden in overleg over eventuele maatregelen in het kader van gebiedsdossiers.

Ook Brabant Water gebruikt een aantal indices om winningen te beoordelen. Deze indices omvatten meerdere parameters, zoals kwaliteit (bestrijdingsmiddelen, bodemverontreiniging, meststoffen, nieuwe stoffen, verzilting), kwantiteit (impact landbouw-droogteschade, impact natuur, vergunningsruimte) en kwetsbaarheid (geohydrologie, leeftijd). Per parameter krijgen de winningen een waardering van goed tot zeer slecht. Deze indices worden zoveel mogelijk op meetgegevens gebaseerd, maar worden in een aantal gevallen ook met expert judgement bepaald. Door deze indices kunnen verschillende doorsnedes gemaakt worden, bijvoorbeeld om te bepalen welke winningen extra aandacht behoeven, of wat de grootste risico's zijn voor een winning.

Jaar van publicatie
2022

Meer informatie

dr Sija Stofberg
T 030-6069569
E sija.stofberg@kwrwater.nl

Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

xxxx.xxx | 20 mei 2022 ©KWR

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.

Keywords

grondwaterwinning, duurzaamheid, index