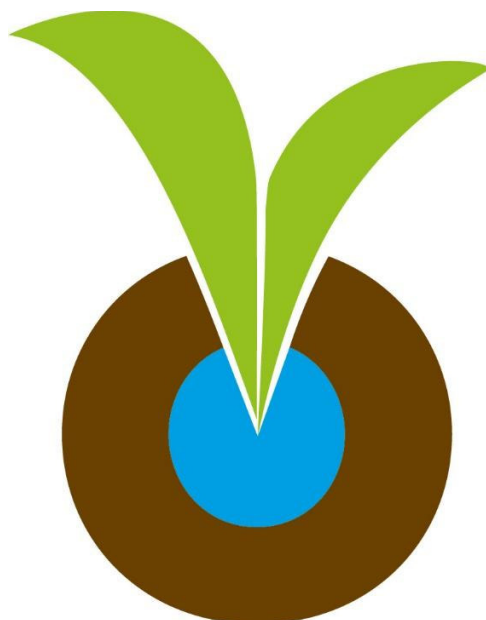


Kwetsbaarheid van aquifers door klimaatverandering

**Aanbevelingen en handreikingen voor
grondwaterbeheer**



Document opgesteld voor COST-action CA19120: WATer isotopeS in the critical zONE (WATSON)

<https://watson-cost.eu/>

© 2024, WATSON, Universiteit van Florence, Italië

Geschreven door:

Konstantinos Voudouris (Aristoteles Universiteit van Thessaloniki, Griekenland)

Manuel Sapiano (Energie- en Wateragentschap, Malta)

met bijdragen van:

Miriam Coenders-Gerrits, (Technische Universiteit Delft, Nederland)

Marina Gillon (Universiteit Avignon, Frankrijk)

Tugbanur Ozen Balaban (Izmir Katip Celebi Universiteit, Türkiye)

Gabriele Chiogna (Geozentrum Nordbayern, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Duitsland)

Ilja van Meerveld (Universiteit Zürich, Zwitserland)

Deze publicatie is gebaseerd op werk uit COST-action WATSON, CA19120, ondersteund door COST (Europese samenwerking op het gebied van wetenschap en technologie).

COST (Europese samenwerking op het gebied van wetenschap en technologie) is een financieringsagentschap voor onderzoeks- en innovatienetwerken. Onze Actions helpen onderzoeksinitiatieven in heel Europa met elkaar te verbinden en stellen wetenschappers in staat hun ideeën te laten groeien door ze te delen met hun collega's. Dit stimuleert hun onderzoek, carrière en innovatie. Dit stimuleert hun onderzoek, carrière en innovatie.

www.cost.eu



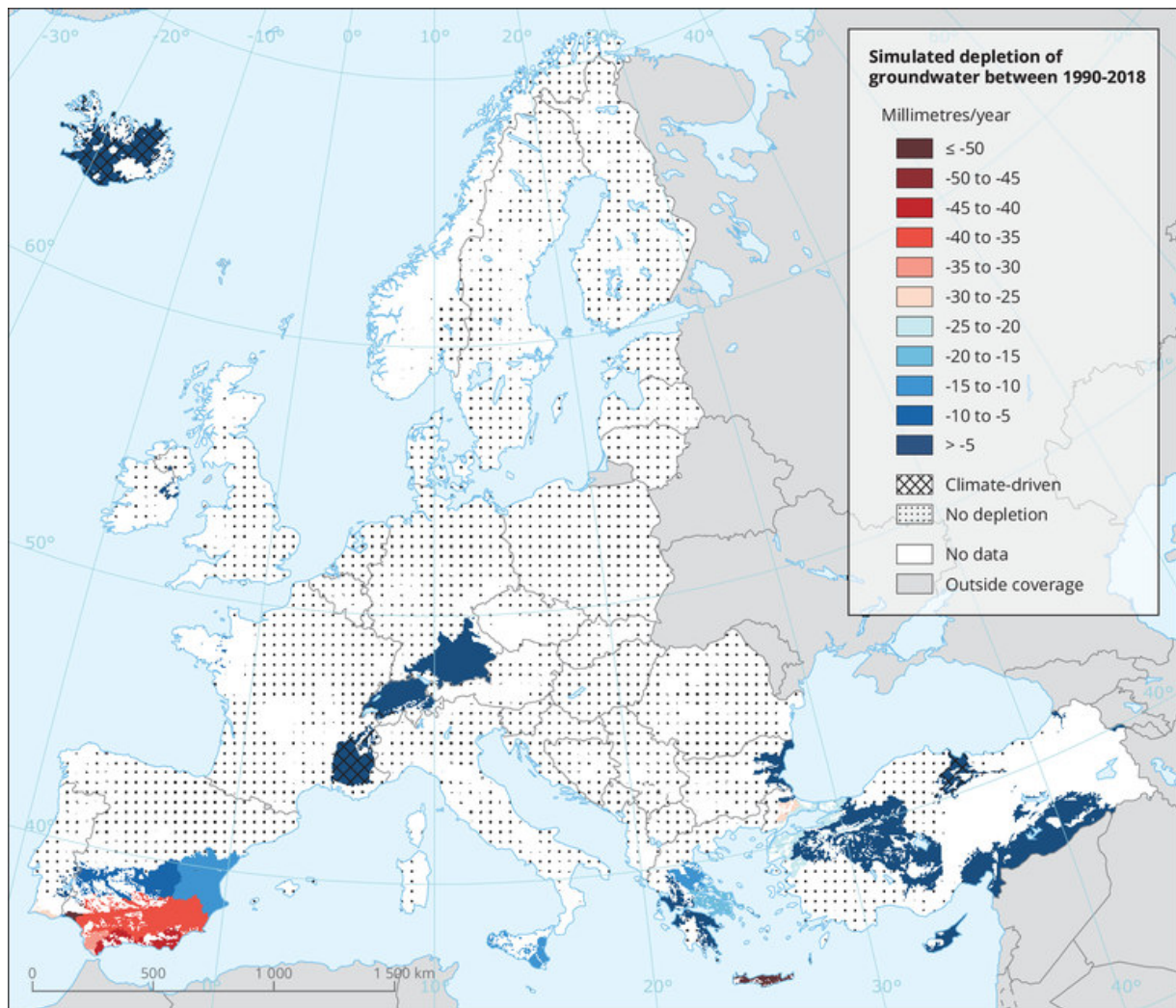
Inleiding

Grondwater is een kostbare natuurlijke hulpbron en speelt een belangrijke rol in het voorzien in de behoefte aan water voor huishoudelijk, industrieel en landbouwkundig gebruik en in de behoeften van grondwaterafhankelijke terrestrische ecosystemen. Grondwater is vooral belangrijk in landen die gekenmerkt worden door een gebrek aan neerslag tijdens het droge seizoen. Wereldwijd voorziet grondwater in ongeveer 26% van de drinkwatervoorziening, 42% van het water dat wordt gebruikt voor geïrrigeerde landbouw en 24% van het water voor directe industriële behoeften (IAH, 2016). De belangrijkste aquifersystemen (watervoerende lagen) in Europa zijn ontwikkeld in zand, grind, zandsteen, conglomeraat (poreuze aquifers), kalksteen, dolomitische kalksteen en marmer (karst aquifers).

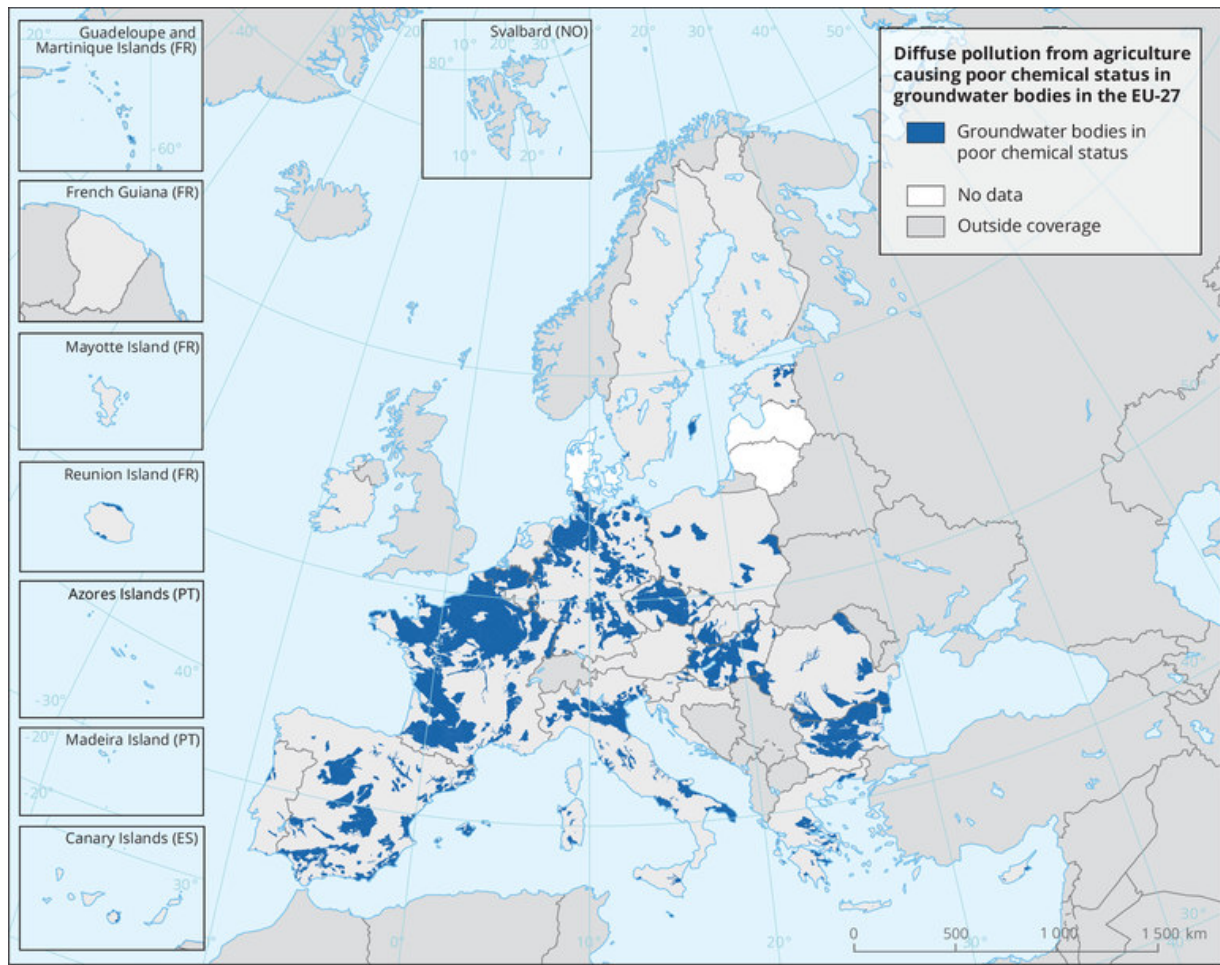
Het grondwater staat onder grote druk, die nog wordt verergerd door veranderingen in landgebruik, waaronder verstedelijking, een toenemende vraag naar voedselproductie, verslechtering van de waterkwaliteit, wanbeheer en de klimaatcrisis. Deze druk creëert een regime dat wordt gekenmerkt door grondwateroverexploitatie (als gevolg van natuurlijke schaarste van andere bronnen tijdens het droge seizoen en/of onvoldoende exploitatie van oppervlakte- en bronwater) en een daling van het grondwaterpeil, in combinatie met een afname van de reserves (negatieve/tekort waterbalansen). Figuren 1 en 2 tonen twee karakteristieke kaarten van respectievelijk de daling van het grondwaterpeil en de verontreiniging van grondwaterbronnen door de landbouw in Europa (gegevens van het Europees Milieuagentschap, <https://www.eea.europa.eu>). Hieruit blijkt dat veel aquifers te lijden hebben onder kwaliteitsverlies, voornamelijk verzilting door zeewaterintrusie als direct gevolg van overmatige onttrekking, wat mogelijk verergerd zal worden door de stijging van de zeespiegel, en vervuiling door nitraat, pesticiden en andere verontreinigende stoffen door het gebruik van meststoffen en landbouwchemicaliën. Een andere bedreiging voor grondwater is de ongecontroleerde lozing van onbehandeld huishoudelijk en industrieel afvalwater in oppervlaktewater en/of septic-tanks en lekkages uit gemeentelijke riolen. Verontreinigd grondwater komt vaak voor in dichtbevolkte gebieden en in gebieden met intensieve landbouw en industrie (WWDR 2022). Bovendien zal langdurig overmatig pompen bijdragen aan de verergering van bodemdaling door de grondwaterspiegel in alluviale watervoerende lagen aanzienlijk te verlagen, wat schade veroorzaakt aan watervoorzieningsnetwerken en oppervlakte-infrastructuur, waaronder wegen en andere diensten.

Hoewel grondwater minder gevoelig is voor klimaatverandering dan veel oppervlaktewatersystemen (Amobichukwu et al, 2020), blijft het kwetsbaar, omdat klimaatverandering de aanvulling van watervoerende systemen beïnvloedt. Het is bekend dat de klimaatcrisis (overstromingen, droogte, verminderde neerslag) en de toename van extreme klimatologische gebeurtenissen de watercyclus zullen beïnvloeden en daarmee ook de natuurlijke aanvulling van grondwaterbronnen. Kwetsbaarheid wordt vaak gebruikt om de mogelijke (nadelige) gevolgen van klimaatverandering voor grondwater te beschrijven. Nistor

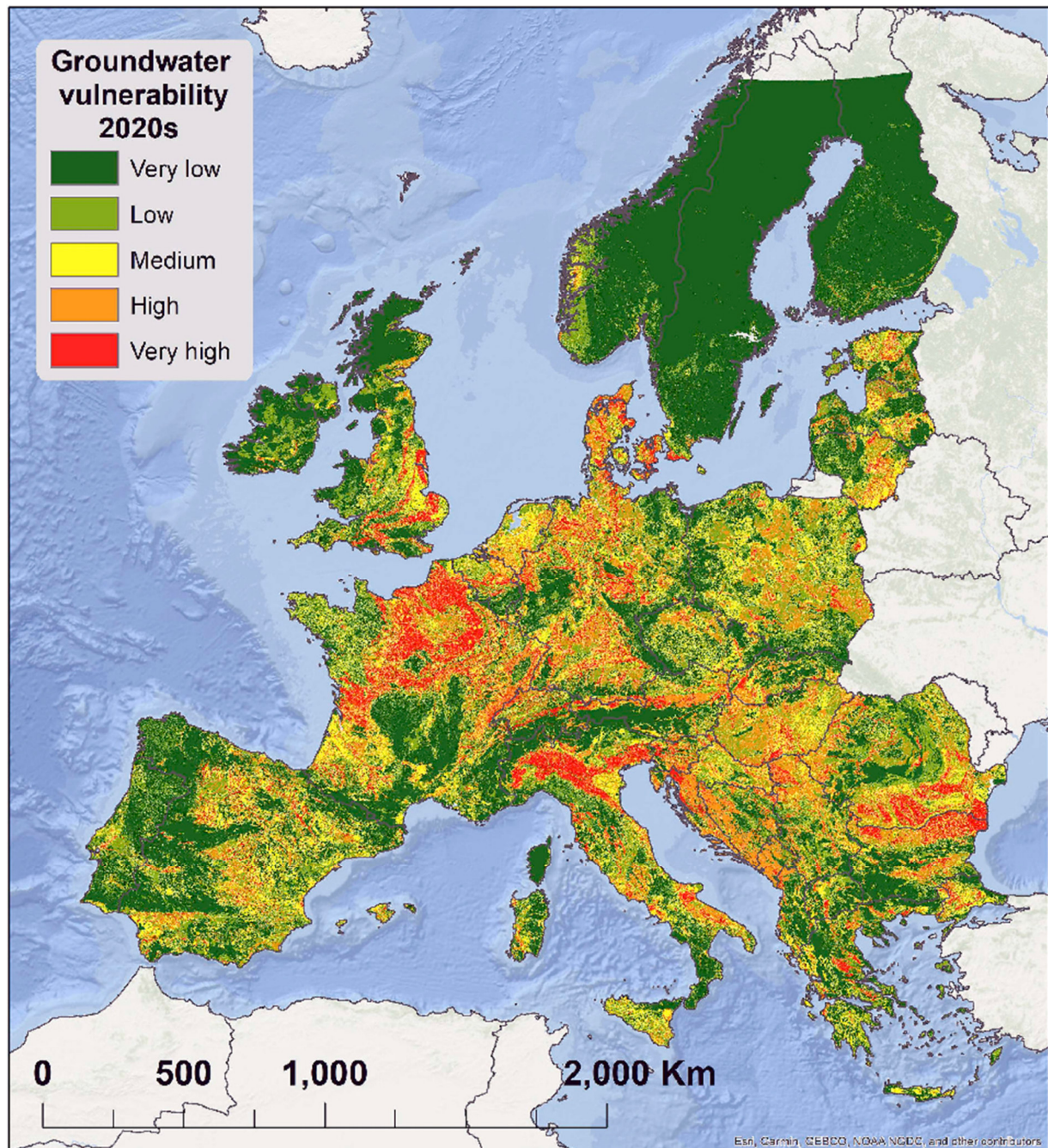
(2020) laat zien dat gebieden met een hoge en zeer hoge kwetsbaarheid door klimaatverandering verspreid zijn over Midden- en Noordwest-Europa, ten zuiden van de Britse eilanden, en in landbouwgebieden en grote vlakten (Noord-Europese Laagvlakte, Povlakte, Roemeense Laagvlakte). Terwijl gemiddelde, lage en zeer lage kwetsbaarheidsklassen werden gevonden voor de bergachtige en heuvelachtige gebieden (Figuur 3). Deze resultaten laten ook zien dat de kwaliteit en kwantiteit van het grondwater in Europa onder druk staan door klimaatverandering (bijv. verminderde waterbeschikbaarheid) en menselijke activiteiten (bijv. stortplaatsen, landbouw en irrigatiepraktijken).



Figuur 1: Daling van het grondwaterpeil tussen 1990-2018 in Europa (Bron: EEA, <https://www.eea.europa.eu>).



Figuur 2: Verontreiniging door landbouw in grondwatersystemen in Europa (Bron: EEA, <https://www.eea.europa.eu>).



Figuur 3: Kwetsbaarheidskaart van het grondwater in Europa voor de huidige periode (2020).

(Bron: Nistor, 2020).

Aanbevelingen en handreikingen

Grondwater kan helpen ons aan te passen aan de klimaatcrisis en ecosystemen te beschermen. Daarom moet het strategisch worden gewonnen en duurzaam worden beheerd. Water staat centraal in de circulaire economie. De focus moet liggen op de circulaire economie, te beginnen met hergebruik van afvalwater. Het herstel van grondwatersystemen door middel van oplossingen zoals Managed Aquifer Recharge - het compenseren van de impact van extreme gebeurtenissen en zo de duurzaamheid van grondwatersystemen garanderen - speelt een even belangrijke rol. Ook de interactie tussen landgebruik en grondwateraanvulling en -bescherming speelt een belangrijke rol bij het beheer van de grondwatervoorraden. Het Europese project PROLINE-CE (<https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/PROLINE-CE.html>) identificeerde bijvoorbeeld beheersplannen voor landgebruik die kunnen worden toegepast met het oog op de bescherming van drinkwater. In het kader van een geïntegreerd beheer van watervoorraden kunnen ook handreikingen voor overstromings- en droogtebeheer worden ontworpen waarbij rekening wordt gehouden met de gevolgen voor het grondwater. Tenslotte is ook een aanpassing van beleidsrichtlijnen nodig om een effectieve implementatie van de vereiste acties voor een beter beheer van grondwaterbronnen mogelijk te maken.

Een verbeterde waterefficiëntie en duurzaam grondwaterbeheer kan worden bereikt door het toepassen van de 5R-principes (verminderen, hergebruiken, terugwinnen, recyclen, aanvullen) waaruit de volgende aanbevelingen komen (Findidakis en Sato, 2011; Voudouris, 2024), zoals weergegeven in tabel 1:

1. Gelijktijdig gebruik van oppervlaktewater en grondwater zou de efficiëntie van het watergebruik maximaliseren en voldoen aan de groeiende vraag naar irrigatiewater (vraaggestuurd beheer). Noot: effectieve grondwaterbescherming kan worden bereikt door grondwater niet geïsoleerd te beschouwen, maar binnen een geïntegreerd kader dat oppervlaktewater en andere alternatieve (niet-conventionele) waterbronnen omvat.
2. Nadruk op representatieve monitoringnetwerken om betrouwbare en real-time gegevens te verzamelen en de capaciteit te ontwikkelen om monitoringsgegevens te interpreteren. Effectieve betrokkenheid van belanghebbenden - het verspreiden van informatie, het bevorderen van het bewustzijn en de participatie van belanghebbenden - en ervoor zorgen dat informatie wordt gepresenteerd op een manier die belanghebbenden kunnen begrijpen. Gegevens over grondwateraanvullingsonderzoeken, kaarten en bemonsteringslocaties voor waterstabiele isotopen zijn te vinden op de WATSON website (<https://watson-cost.eu>).
3. Bouw van kleine bufferdammen in de belangrijkste bergstromen om stortvloeden te vertragen en de aanvulling van grondwater te vergroten (voorraadbeheer), na een ecologische effectrapportage en rekening houdend met de plaatselijke omstandigheden.
4. Verminder de hoeveelheid irrigatiewater door waterbesparende technieken te gebruiken. In ieder geval moeten irrigatiemethoden worden aangepast aan het klimaat, gewas en

bodemtype. Isotopengegevens kunnen helpen bij het bepalen van de bron van het water dat door de vegetatie wordt gebruikt (WATSON WG2).

5. Hergebruik van behandeld afvalwater in het kader van de circulaire economie om de hoeveelheid water die in zee en de omgeving terecht komt te verminderen en water te leveren voor irrigatie, vooral in gebieden met waterschaarste.
6. Een prijsbeleid aannemen dat zorgt voor een niveau van kostenterugwinning (inclusief hulpbron- en milieukosten) dat voldoende is om een efficiënt gebruik van waterbronnen aan te moedigen, in combinatie met economische stimulansen om het herstel en efficiënte gebruik van natuurlijke zoetwaterbronnen te bevorderen. Voorkom overexploitatie van grondwater door grenzen te stellen aan wateronttrekking.
7. De beste landbouwpraktijken toepassen om het gebruik van meststoffen en landbouwchemicaliën te verminderen. Dit betekent het gebruik van het juiste type en de juiste dosis meststof in de juiste bodem voor een bepaald gewas op het juiste moment. In het kader van de WATSON COST-action is een literatuuronderzoek gepubliceerd over het gebruik van nitraat-isotopengegevens (Matiatos et al., 2023).
8. Een passende reeks beheerstrategieën aannemen op stroomgebiedniveau, die grondwater beschouwt binnen een alomvattend beheerskader, inclusief maatregelen voor waterbehoud, regulering van bestaande ontwikkeling, verbetering van bestaande wetgeving, publieke voorlichting en bewustmaking.
9. Beheer van overstromingen en droogtes binnen geïntegreerde stroomgebiedbeheerplannen door de bouw van geschikte infrastructuur, bijv. dammen voor overstromingsbeheer, kleine stuwdammen in de bergstromen, wateropslagtanks, enz.
10. Beoordeel de kwetsbaarheid van grondwater voor vervuiling van buitenaf en baken beschermingszones af rond boorgaten en bronnen voor veilig drinkwater (voldoende hoeveelheid en acceptabele kwaliteit).
11. Het duurzame beheer van grondwater is een kwestie van nationale en internationale waterzekerheid, aangezien sommige watervoerende lagen grensoverschrijdend zijn. Dit betekent dat de betrokken landen moeten samenwerken om conflicten op te lossen.
12. Zorgen voor duurzaam en efficiënt waterbeheer door middel van "digitaal water" met positieve effecten op kwaliteit en kwantiteit, met name door de ontwikkeling van slimme apparaten en sensoren, slimme netwerken en geavanceerde gegevensanalyse (Water Europa, 2020).

Tabel 1: Overeenstemming van de 12 aanbevelingen met het model van de 5R-principes.

Geen Rec.	Verminder	Hergebruik	Herstel	Recycle	Aanvullen
1	+		+		
2	+			+	
3			+		+

4	+				
5		+			
6			+		
7	+				
8			+		+
9					+
10					
11					
12					

Conclusie

Grondwater is een betrouwbare bron van water, maar het beheren en besturen van de grondwatervoorraden is zeer complex. Tot slot zijn menselijke intelligentie en de enorme ontwikkeling van hydro-technologie (drones, GIS, remote sensing, satellieten, Internet of Things (IoT), citizen science, digitaal water en grondwatermodellering) de juiste garanties voor het vermogen van de mensheid om zich in de toekomst aan te passen aan de klimaatcrisis. Daarom zijn er grotere inspanningen nodig van overheden, wetenschappers en de samenleving als geheel om grondwatervoorraden te beschermen voor het welzijn van de planeet en de waardigheid van het menselijk leven.

Referenties

- Amobichukwu C. Amanambu, Omon A. Obarein, Joann Mossa, Lanhai Li, Shamusideen S. Ayeni, Olalekan Balogun, Abiola Oyebamiji, Friday U. Ochege (2020). Grondwatersysteem en klimaatverandering: Present status and future considerations, *Journal of Hydrology*, 125163, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125163>.
- Europees Milieuagentschap (EMA). <https://www.eea.europa.eu>.
- Findidakis, A.N., Sato, K. (2011). *Praktijken voor grondwaterbeheer*. IAHR Monografie, UNESCO-IHP, CRC Press/Balkema.
- Internationale Vereniging van Hydrogeologen (IAH) (2016). eNews. www.iah.org
- Matiatos, I., Moeck, C., Vystavna, Y., Marttila, H., Orłowski, N., Jessen, S., Evaristo, J., Sebiló, M., Koren, G., Dimitriou, E., Müller, S., Panagopoulos, Y., Stockinger, M.P. (2023) Nitraatisotopen in stroomgebiedhydrologie: inzichten, ideeën en implicaties voor modellen. *Tijdschrift voor hydrologie* 130326. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130326>
- Nistor, M.-M. (2020). Kwetsbaarheid van het grondwater in Europa bij klimaatverandering. *Quaternary International*, Vol. 547, 185-196.

VN-wereldrapport over waterontwikkeling, WWDR (2022). Grondwater, het onzichtbare zichtbaar maken. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en>

Voudouris, K. (2024). De rol van grondwater bij de aanpassing aan de klimaatcrisis in Griekenland. Elgar Encyclopedia of Water Policy, Economics and Management, hoofdstuk 62, 271-276. Bewerkt door Koundouri Ph. en Alamanos, A.

Water Europa (2020). Een water-intelligente maatschappij voor een succesvol post-COVID-19 herstelplan. <https://watereurope.eu>

WATSON



COST ACTION

<https://watson-cost.eu/foac/>

