

16-11-2023



Ontwerp en aansturing van ASR-systemen

Teun van Dooren

Geohydroloog bij KWR Water Research Institute

PhD-kandidaat bij Water Management, CEG, TU Delft

teun.van.dooren@kwrwater.nl

KWR

Bridging Science to Practice

TU Delft Delft
University of
Technology

Aquifer Storage and Recovery (ASR)

‘Ondergrondse waterberging’ (in NL)

“Met een put water opslaan in een geschikt watervoerend pakket in tijden van een wateroverschot, en water met dezelfde put terugwinnen bij een watervraag”

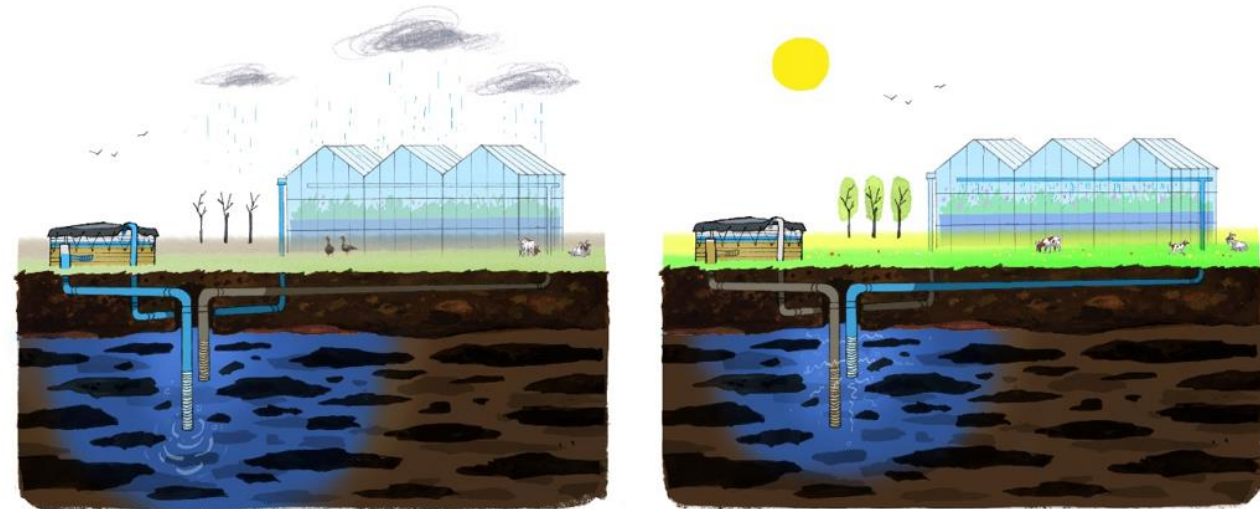
- Pyne (2005) –

Ruimte → Weinig bovengrondse ruimte nodig

Tijd → (Seizoensgebonden) overbrugging
tussen wateroverschot en watervraag

Reactiviteit → Waterkwaliteit beschermen/verbeteren

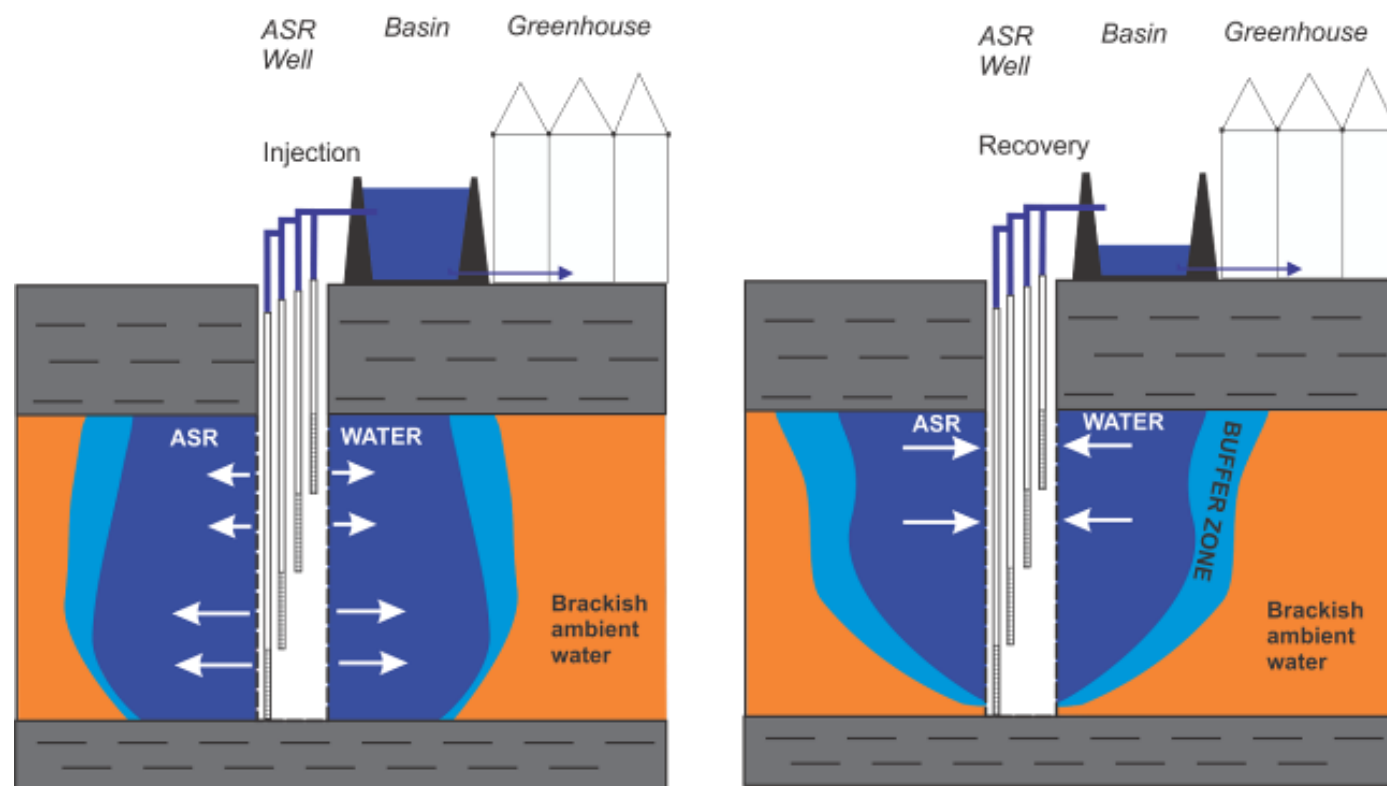
→ ASR = type MAR:
Managed Aquifer Recharge



<https://gripp.iwmi.org/natural-infrastructure/water-quality-2/asr-coastal-2/>

Overzicht van de presentatie

- I. Waterbalans
- II. Karakterisering van de ondergrond
- III. Infiltratie
- IV. Terugwinning
- V. Afdrijving en opdrijving
- VI. Maatwerk putconfiguraties
- VII. Onderlinge beïnvloeding





I. Waterbalans

- II. Karakterisering van de ondergrond
- III. Infiltratie
- IV. Terugwinning
- V. Afdrijving en opdrijving
- VI. Maatwerk putconfiguraties
- VII. Onderlinge beïnvloeding



Benodigde informatie voor ASR

- Totale wateraanbod: gewenste opslagcapaciteit
- Maximale actuele aanbod: gewenste infiltratiedebiet
- Totale watervraag: gewenste terugwinefficiëntie
- Maximale actuele watervraag: gewenste terugwindebiet

Kan ASR en hoeveel putten zijn er dan benodigd?

→ Informatie over de ondergrond

→ Ontwerpnormen



I. Waterbalans

II. Karakterisering van de ondergrond

III. Infiltratie

IV. Terugwinning

V. Afdrijving en opdrijving

VI. Maatwerk putconfiguraties

VII. Onderlinge beïnvloeding

Benodigde informatie voor ASR

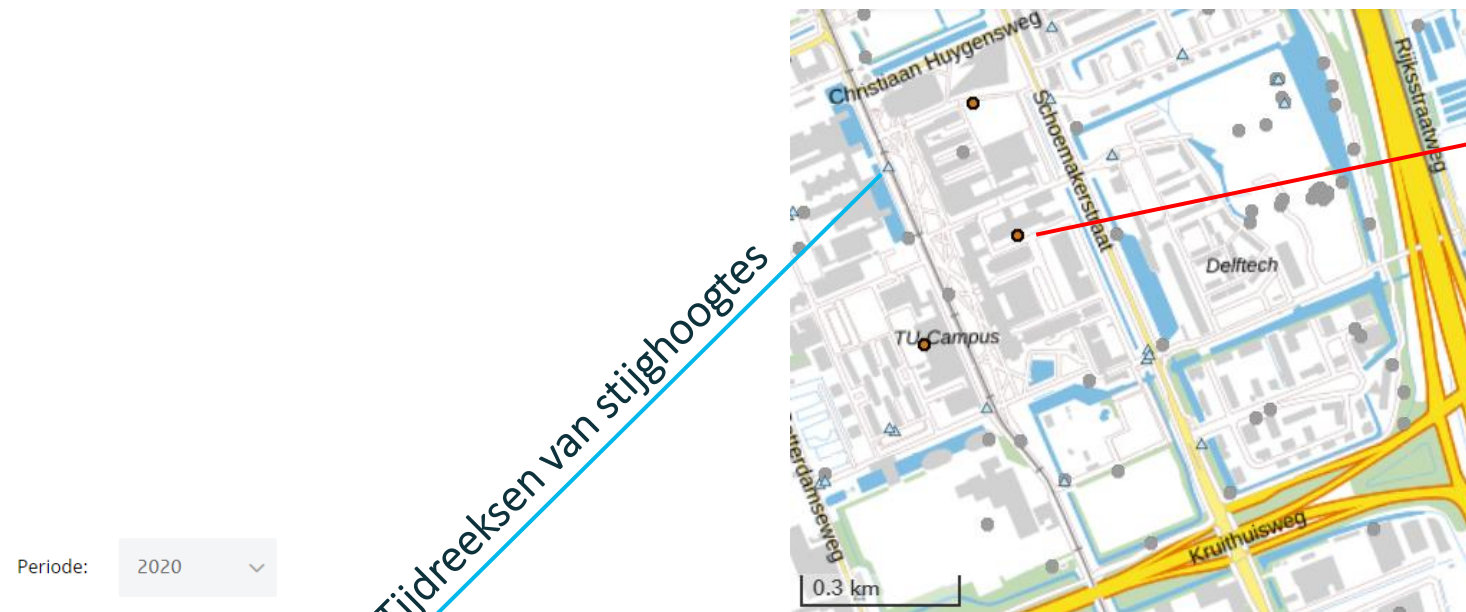
- Dikte (D) en doorlatendheid (k) van watervoerend pakket
- Dikte (d) en weerstand (c) van slecht doorlatende lagen
- Zoutgehalte van grondwater
- Achtergrondstroming van grondwater

DINOluket / BROluket

- Ondergrondgegevens:
<https://www.dinoluket.nl/ondergrondgegevens>
<https://www.broluket.nl/ondergrondgegevens>

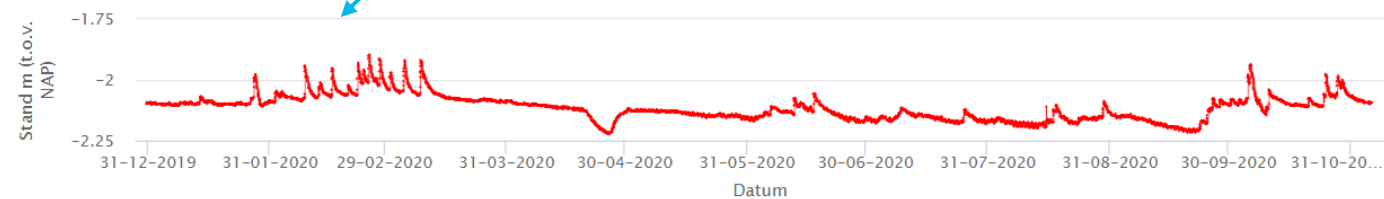


DINOluket / BROluket

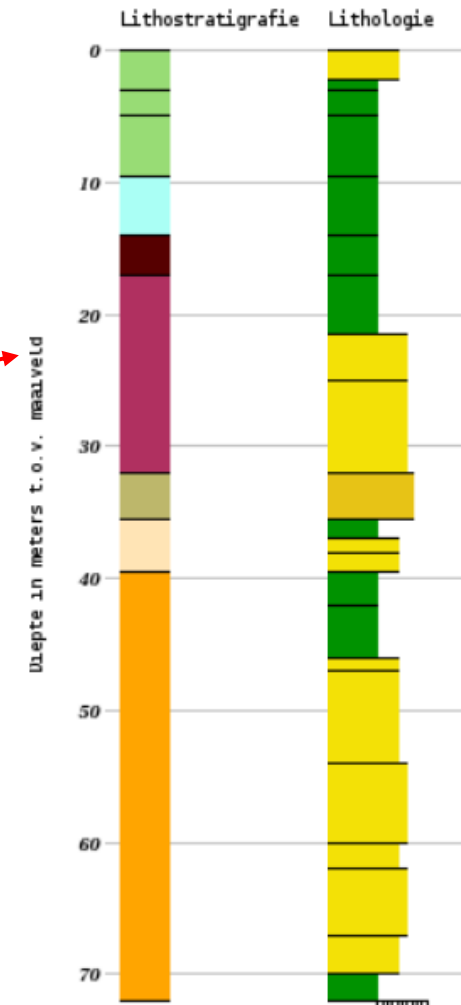


Periode: 2020

Grondwaterstanden



- Controle metingen
- Beoordeling onbekend
- Volledig beoordeelde grondwaterstand
- Nog niet beoordeeld
- Regulier voorlopige grondwaterstand



Identificatie: B37E0583
 Coördinaten: 85580 , 446200 (RD)
 Maaiveld: -2.00 m t.o.v. NAP
 Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode: Onbekend
 Kwaliteit interpretatie: Gevalideerd in ondergrondmodel

- | Lithostratigrafie | Lithologie |
|-------------------|-----------------------|
| NA | Klei |
| EC | Zand midden categorie |
| KRWY | Zand grove categorie |
| KR | |
| UR | |
| SY | |
| WA | |

DINOluket / BROluket

- Ondergrondmodellen:
<https://www.dinoluket.nl/ondergrondmodellen/kaart>
<https://www.broluket.nl/ondergrondmodellen/kaart>

REGIS II v2.2.1

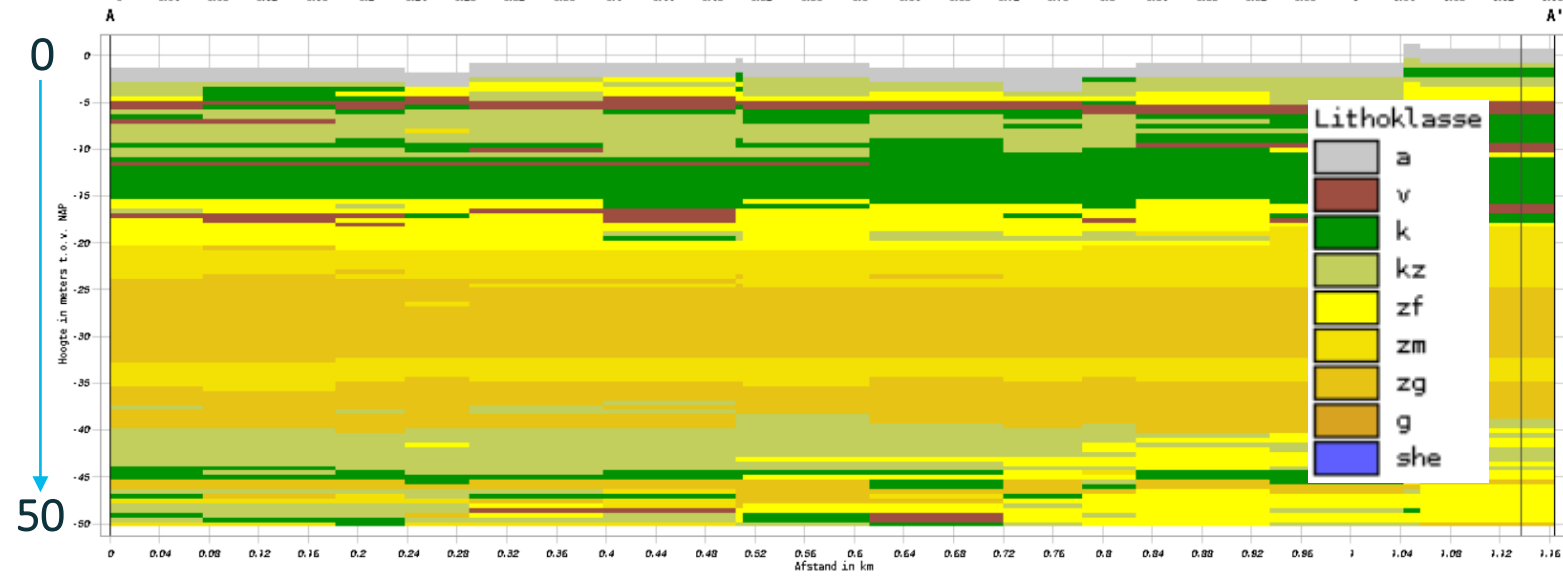
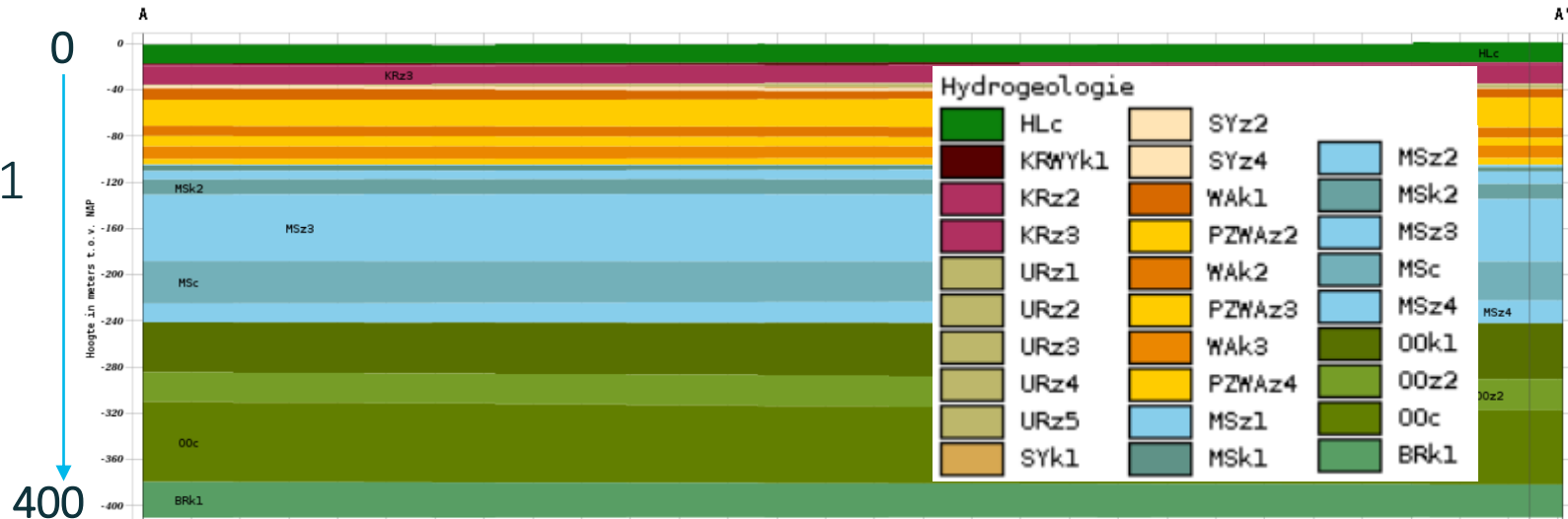


DINOluket / BROluket

REGIS II v2.2.1



GeoTOP



Lokale ervaringen van boorbedrijven

- Sedimenttype en korrelgrootte
- Capaciteitstesten die tijdens eerdere boringen zijn uitgevoerd
 - Betere inschatting van de doorlatendheid (k)

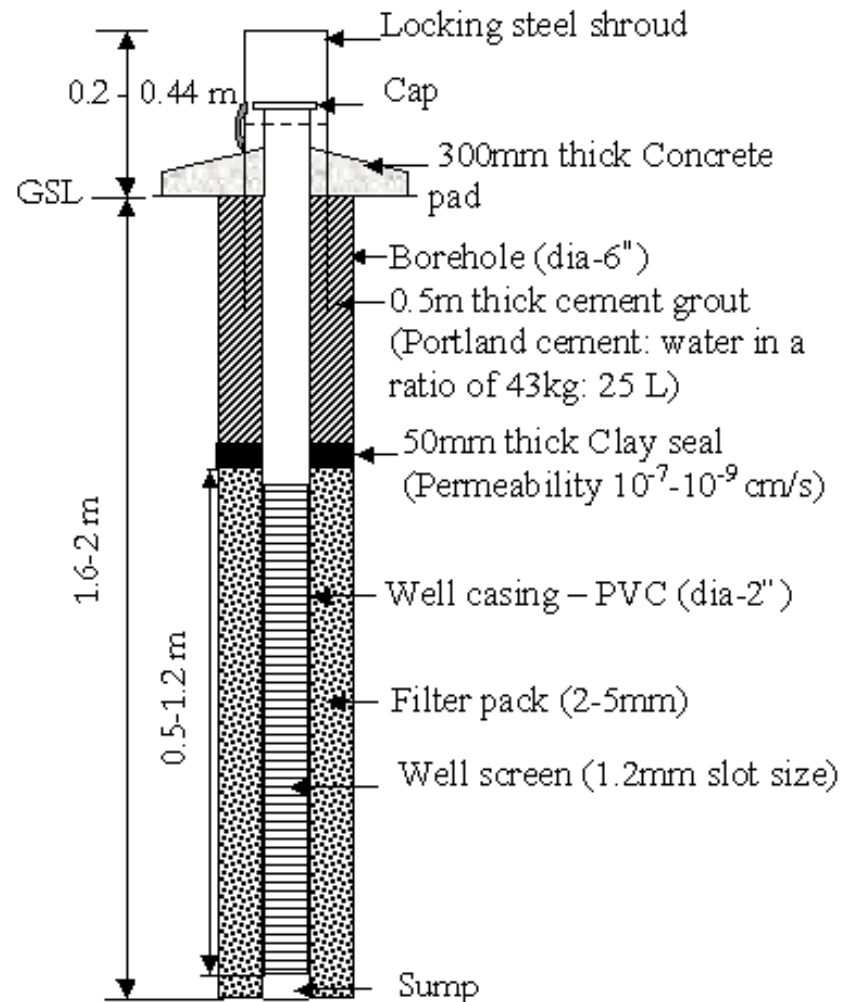


Proefboring

- Aanvullende informatie benodigd:
 - Heterogene ondergrond
 - Diepere putten gewenst
 - Sedimenttype, korrelgrootte en doorlatendheid
- Monitoringsput
 - Stijghoogtes
 - Grondwaterkwaliteit



Boring en aanvulling van put



Kulabako (2010):

https://www.researchgate.net/publication/265198298_ENVIRONMENTAL_SANITATION_SITUATION_AND_SOLUTE_TRANSPORT_IN_VARIABLY_SATURATED_SOIL_IN_PERI-URBAN_KAMPALA



- I. Waterbalans
- II. Karakterisering van de ondergrond
- III. Infiltratie**
- IV. Terugwinning
- V. Afdrijving en opdrijving
- VI. Maatwerk putconfiguraties
- VII. Onderlinge beïnvloeding

Opbarsting

- Korrelspanning versus waterspanning

- $h_{in, max} = 0.2 * z$ (Olsthoorn, 1982)

- $h_{in, max}$ = maximale infiltratiedruk (m + maaiveld)
- z = kritische diepte (m - maaiveld)
- onderkant van deklaag

- Olsthoorn, T N. (1982). Verstopping van persputten. KIWA mededeling nr.71.

<https://edepot.wur.nl/452520>

- Van Beek, C.G.E.M., Vasak, L., Nieuwaal, A., Stefess, G.C., Bakker, L.M.M. (1996). Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen. Nederlands onderzoeksprogramma biotechnologische in-situ sanering (NOBIS) 96-3-06. <https://soilpedia.nl/wp-content/uploads/96-3-06-Ontwerp-en-onderhoud-van-infiltratie-en-onttrekkingsmiddelen.pdf>

- Voordrukbuis



Zuurbier et al. (2019): <https://library.kwrwater.nl/publication/60494440/>

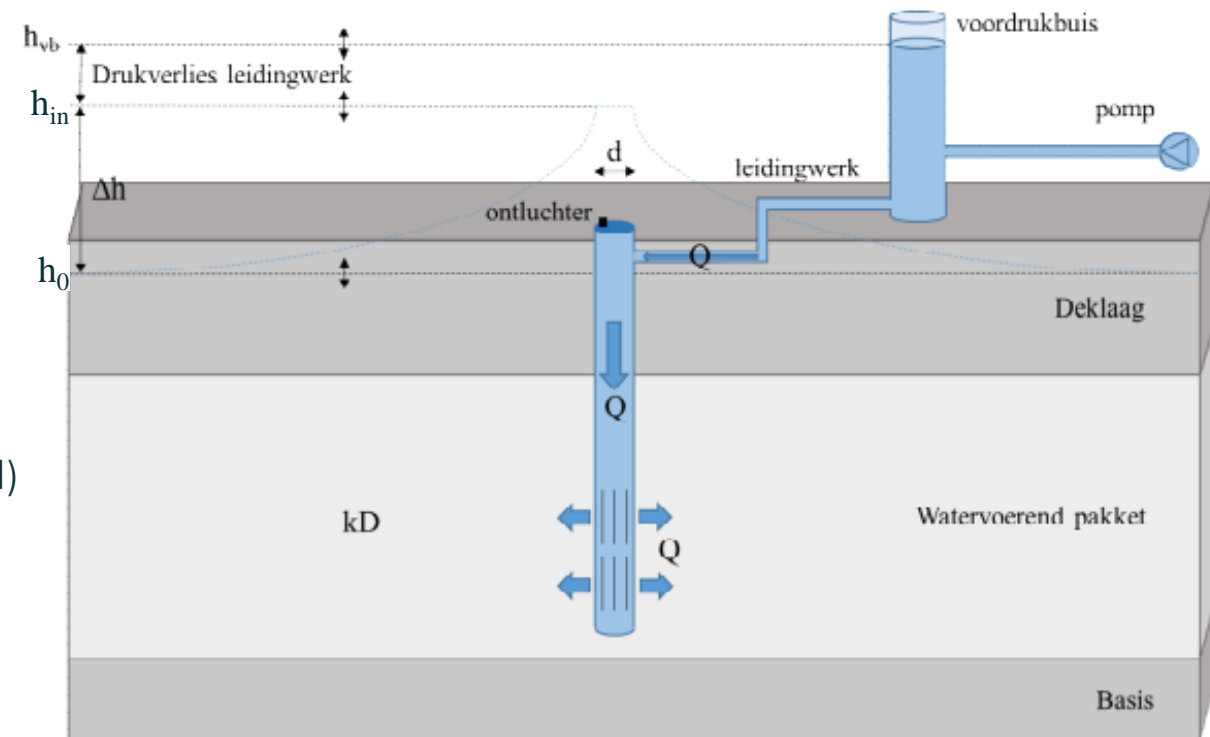
Maximale infiltratiedebiet

- Volgt vanuit de maximale infiltratiedruk:

$$Q_{in} = \frac{2\pi kD(h_{in} - h_o)}{\ln\left(\frac{\sqrt{kDc}}{r_{put}}\right)} \quad (\text{De Glee})$$

- k = doorlatendheid van watervoerend pakket (m/d)
- D = dikte van watervoerend pakket (m)
- c = weerstand van deklaag (d)
- r_{put} = straal van put (m)
- h_{in} = infiltratiedruk (m + maaiveld)
- h_o = stijghoogte in watervoerend pakket (m + maaiveld)

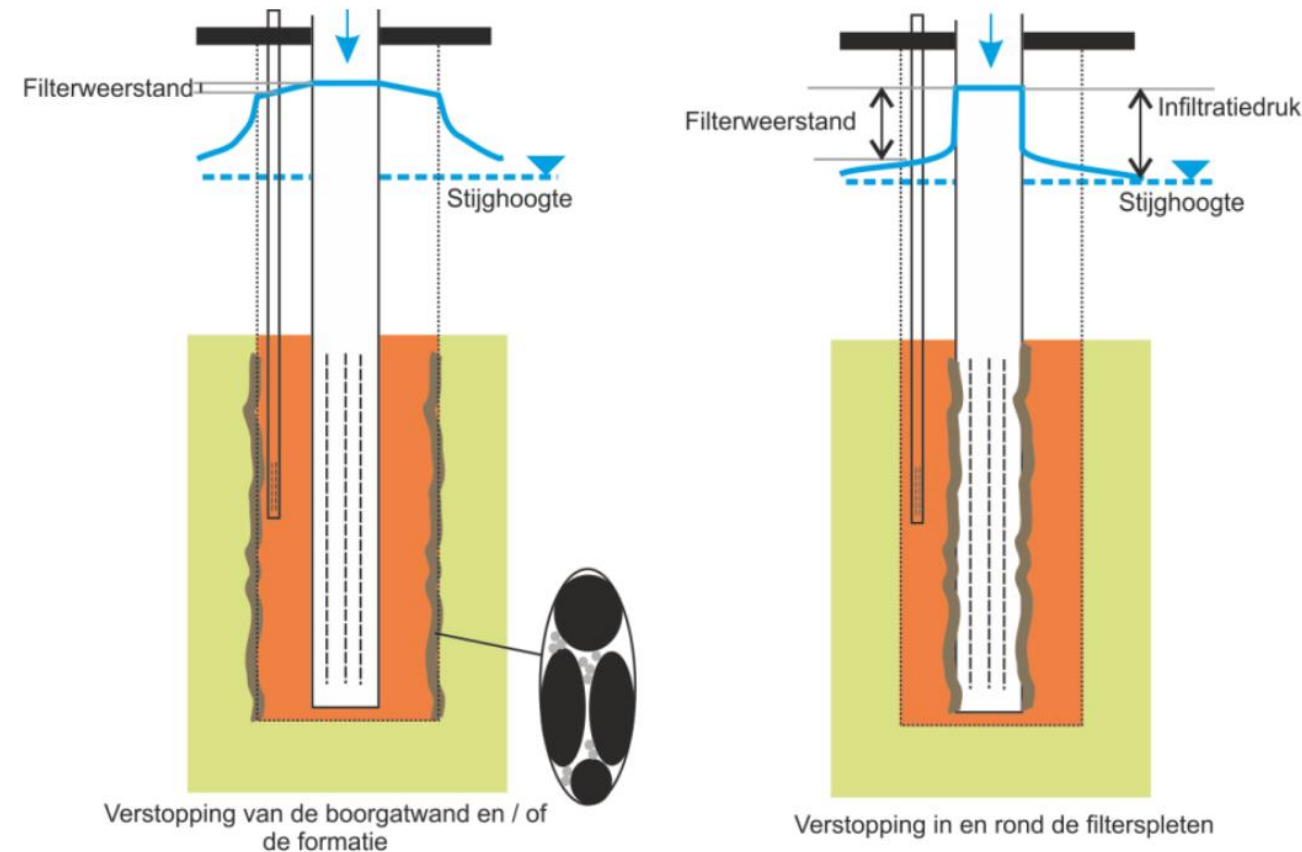
- In praktijk: afname door putverstopping



Putverstopping

- Afname van infiltratiedebiet bij een gegeven infiltratiedruk
- Toename van infiltratiedruk bij een gegeven infiltratiedebiet
- ➔ Lagere efficiëntie & hogere kosten voor energie en onderhoud
- Fysisch: deeltjes
- Chemisch: neerslagvorming
- Biologisch: aangroei biomassa
- Mechanisch: luchtinsluiting

- Olsthoorn, T.N. (1982). Verstopping van persputten. KIWA mededeling nr.71. <https://edepot.wur.nl/452520>
- Van Beek, C.G.E.M., Vasak, L., Nieuwaal, A., Stefess, G.C., Bakker, L.M.M. (1996). Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen. Nederlands onderzoeksprogramma biotechnologische in-situ sanering (NOBIS) 96-3-06. <https://soilpedia.nl/wp-content/uploads/96-3-06-Ontwerp-en-onderhoud-van-infiltratie-en-onttrekkingsmiddelen.pdf>



Kwaliteit van infiltratiewater

Belangrijkste operationele richtlijnen

	Parameter	Operationele richtlijn
Fysisch	Zwevend stof	0,1 mg/L
	Troebelheid	1 NTU
	MFI	5 s/L ²
Biologisch	DOC	2 mg/L
	AOC	10 µg C/L
Chemisch	Fe (totaal)	10 µg/L
	Fe (opgelost)	10 µg/L

- Operationele richtlijnen: putverstopping beperken

- Wettelijke eisen:

‘Infiltratiebesluit bodembescherming’:

<https://wetten.overheid.nl/BWBR0005957/2009-12-22/>

+ evt. aanvullende vergunningsverplichtingen

- Gewenste waterkwaliteit bij terugwinning

→ Benodigde voorzuivering: vaak gebaseerd op verwijdering van deeltjes en nutriënten

Vries et al. (2016): <https://library.kwrwater.nl/publication/54754662/>



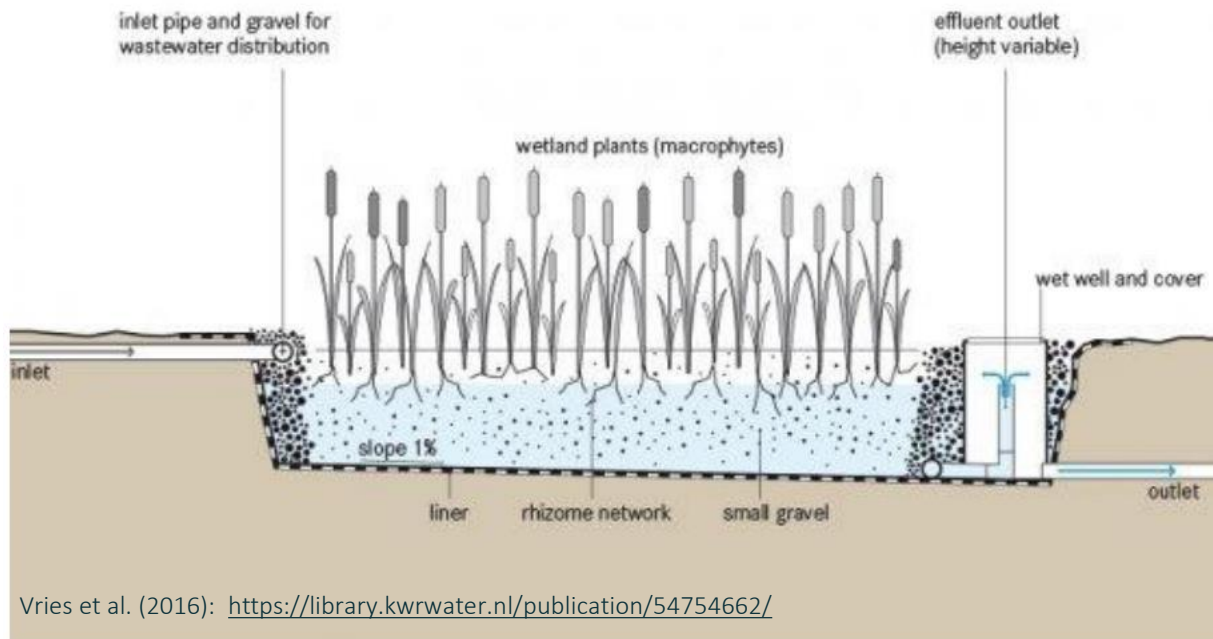
Voorzuivering van infiltratiewater

Zandfiltratie

- Vooral: zwevend stof, nutriënten, organisch materiaal, geadsorbeerde metalen
- Langzaam of snel
- Helofytenfilter



<https://www.uvar.nl/nl/udi-filters/mediafilters-zandfilters/zandfilters>



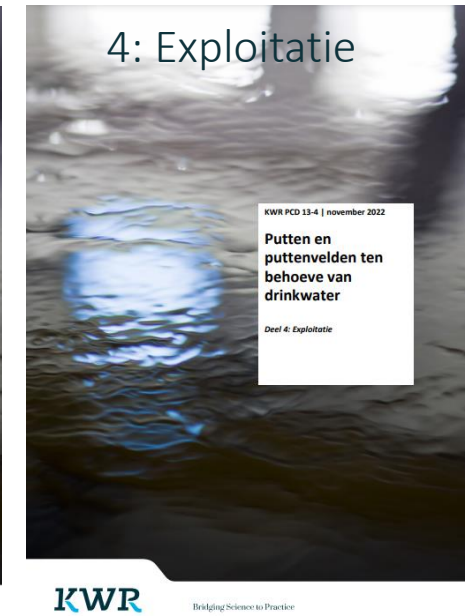
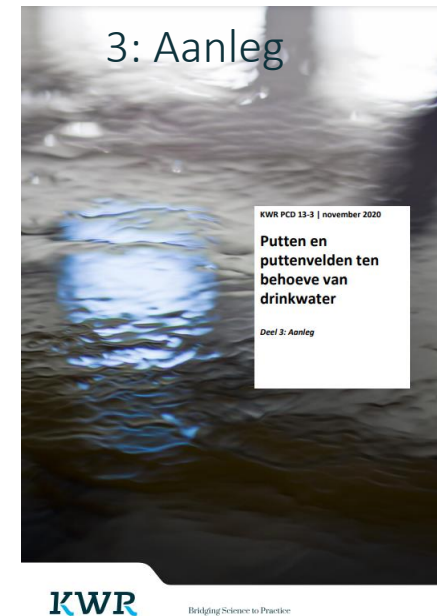
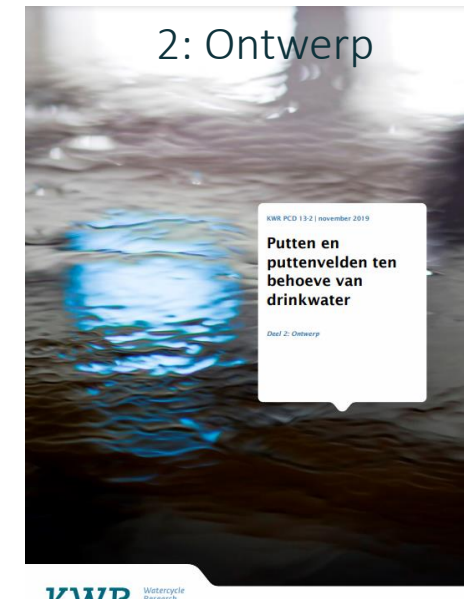
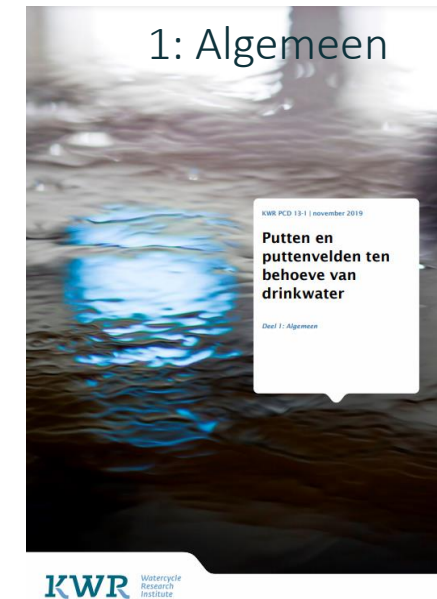
<https://www.fieldfactors.com/>



- I. Waterbalans
- II. Karakterisering van de ondergrond
- III. Infiltratie
- IV. Terugwinning**
- V. Afdrijving en opdrijving
- VI. Maatwerk putconfiguraties
- VII. Onderlinge beïnvloeding

Ontwerpnormen voor terugwinning

- Winning grondwater voor drinkwaterproductie
- Praktijkcode Drinkwater (PCD) → 4 rapporten:
Van der Schans & Meerkerk (2019 t/m 2022):
<https://library.kwrwater.nl/publication/60518756/>
<https://library.kwrwater.nl/publication/60518580/>
<https://library.kwrwater.nl/publication/61865151/>
<https://library.kwrwater.nl/publication/69636906/>
- PCD voor infiltratieputten is in de maak!



Deeltjeslevering & maximaal windebiet

- Maximaal toegestaan specifiek debiet op boorgatwand (q_{max} in m/s)
- $q_{max} = \frac{\sqrt{k}}{30}$ (Huisman, empirisch)
- $Q_{max} = q_{max} * 2L\pi r_{put}$
 - L = filterlengte (m)
 - r_{put} = straal van put (m)
 - k = doorlatendheid(in m/s)

Van der Schans & Meerkerk (2019): <https://library.kwrwater.nl/publication/60518580/>

Olsthoorn (1976): <https://edepot.wur.nl/403280>

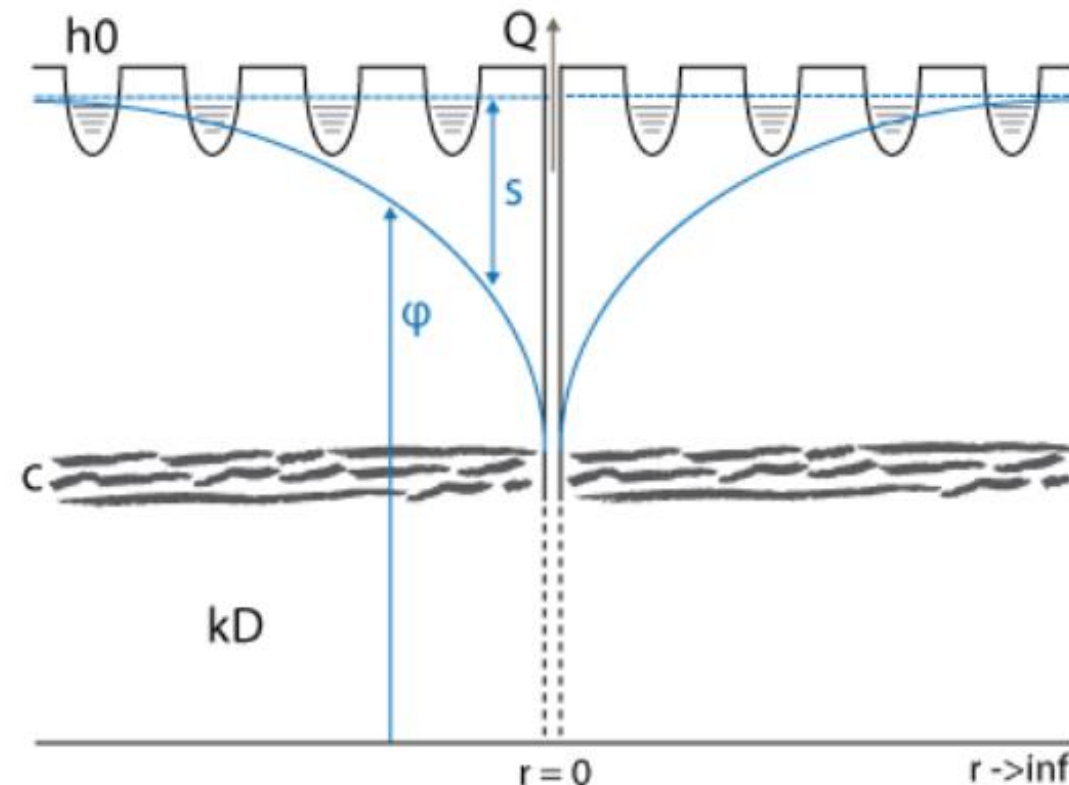
Zetting

- Stijghoogteverlaging = lagere waterspanning

- Koppejan: $Z = d \left(\frac{1}{C_p} + \frac{\log(t)}{C_s} \right) \ln \left(\frac{\varphi + \frac{1}{2}d\varphi}{\varphi} \right)$

- Z = zetting (m)
- d = dikte van deklaag (m)
- C_p = primaire zettingsconstante (-)
- C_s = seculaire zettingsconstante (-)
- Φ = waterspanning (kN/m²)
- $d\Phi$ = verandering van waterspanning (kN/m²)
- t = tijd (dagen)

Drijver (2002): <https://edepot.wur.nl/358642>



<http://www.grondwaterformules.nl/index.php/formules/onttrekking/deklaag-zonder-rand-de-glee>

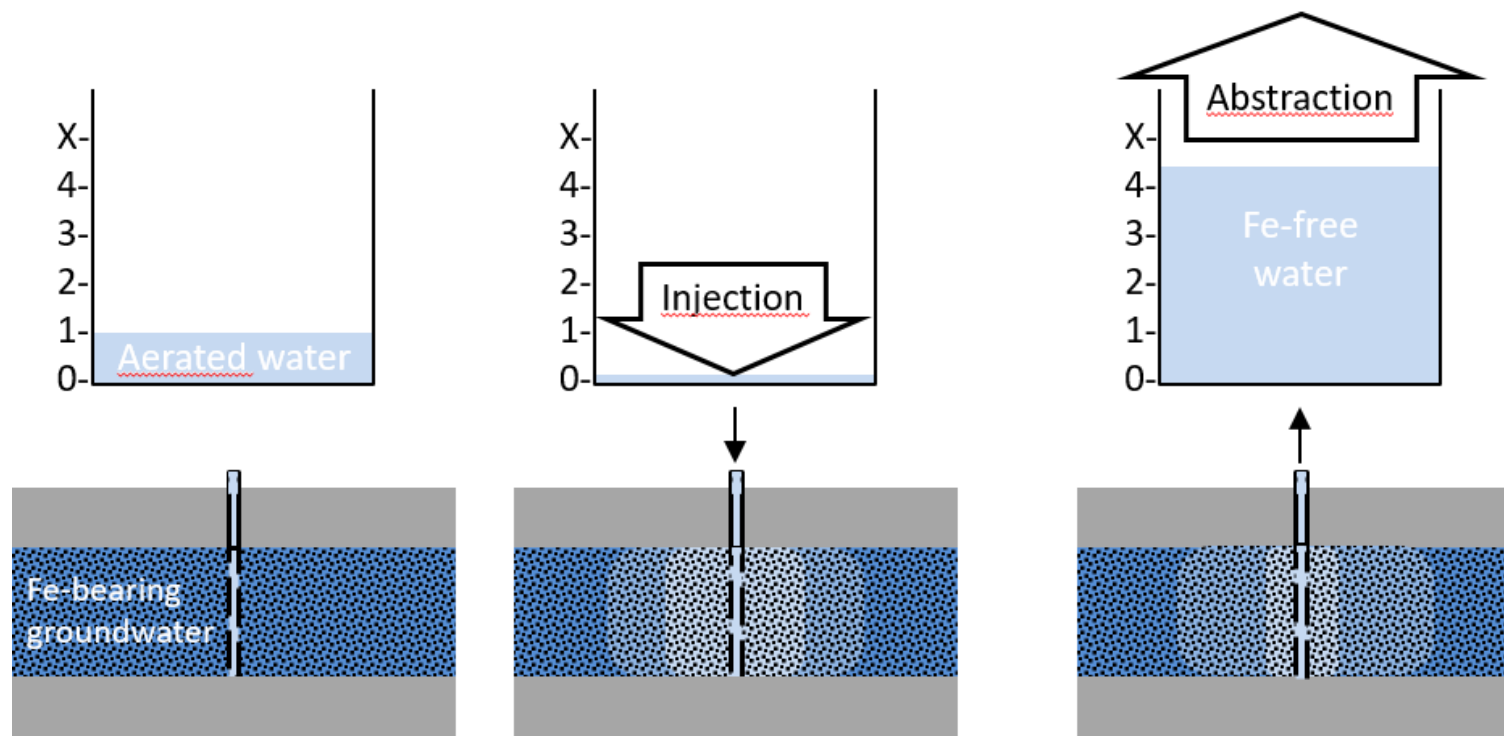
Tabel 1: Grondmechanische parameters.

lithologie		primaire zettingsconstante	seculaire zettingsconstante	gecombineerde zettingsconstante voor 10.000 dagen	verticale doorlatendheid
klei	slecht doorlatend	7	80	5,2	10^{-11}
	goed doorlatend	30	500	24	10^{-9}
zandige klei	slecht doorlatend	10	110	7,3	10^{-10}
	goed doorlatend	140	1680	105	10^{-6}

Zuivering door bodempassage

- Filtratie van zwevend stof in infiltratiewater
- Desinfectie
- Ondergrondse ontijzering

- Let op mobilisatie van ongewenste bestanddelen (bijv. arseen)
→ Bufferzone





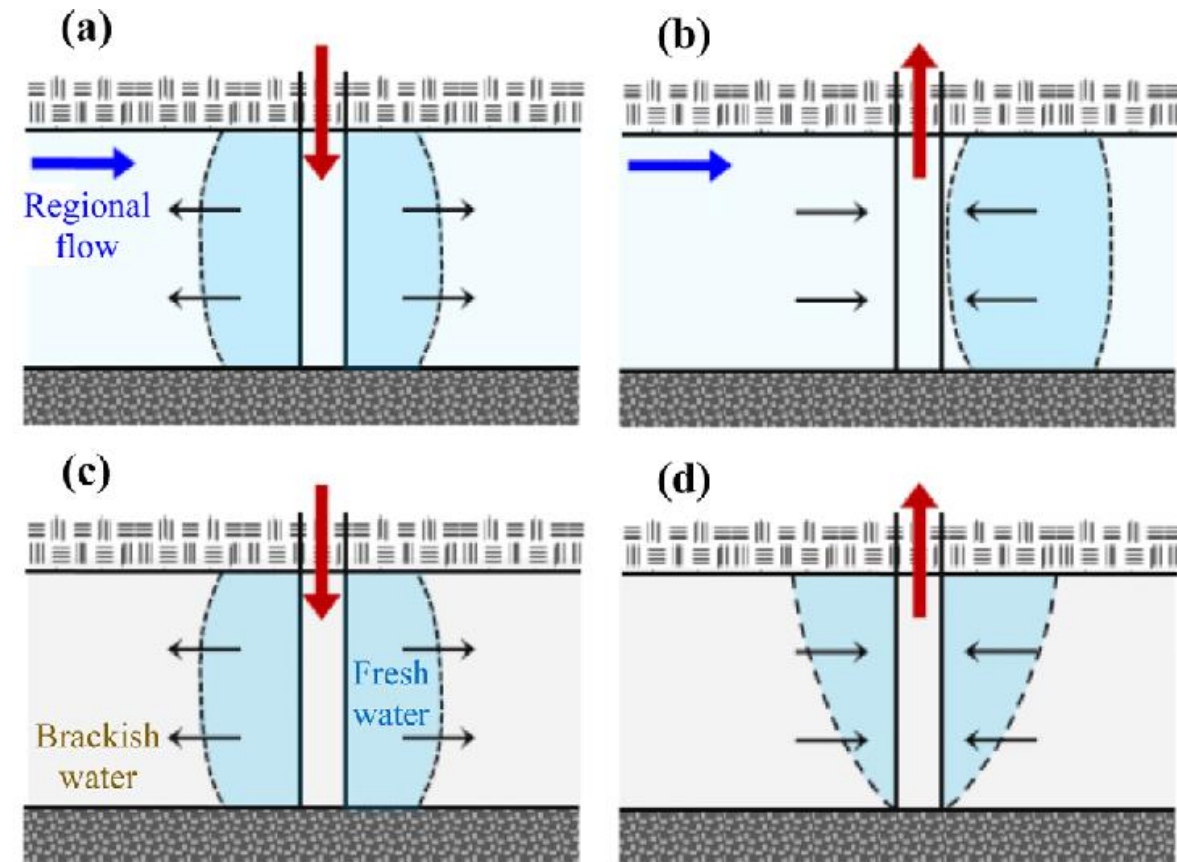
- I. Waterbalans
- II. Karakterisering van de ondergrond
- III. Infiltratie
- IV. Terugwinning
- V. Afdrijving en opdrijving**
- VI. Maatwerk putconfiguraties
- VII. Onderlinge beïnvloeding

Afdrijving en opdrijving

Laterale grondwaterstroming en dichtheidsgedreven stroming

Afname van efficiëntie ASR

- Grondwaterstroming = afdrijving
 - Hydraulische gradient
 - Hydraulische doorlatendheid
 - Volume opgeslagen water
- Dichtheidsgedreven stroming = opdrijving
 - Relatief dichtheidsverschil (zoutgehalte)
 - Hydraulische doorlatendheid
 - Dikte van watervoerend pakket
 - Volume opgeslagen water





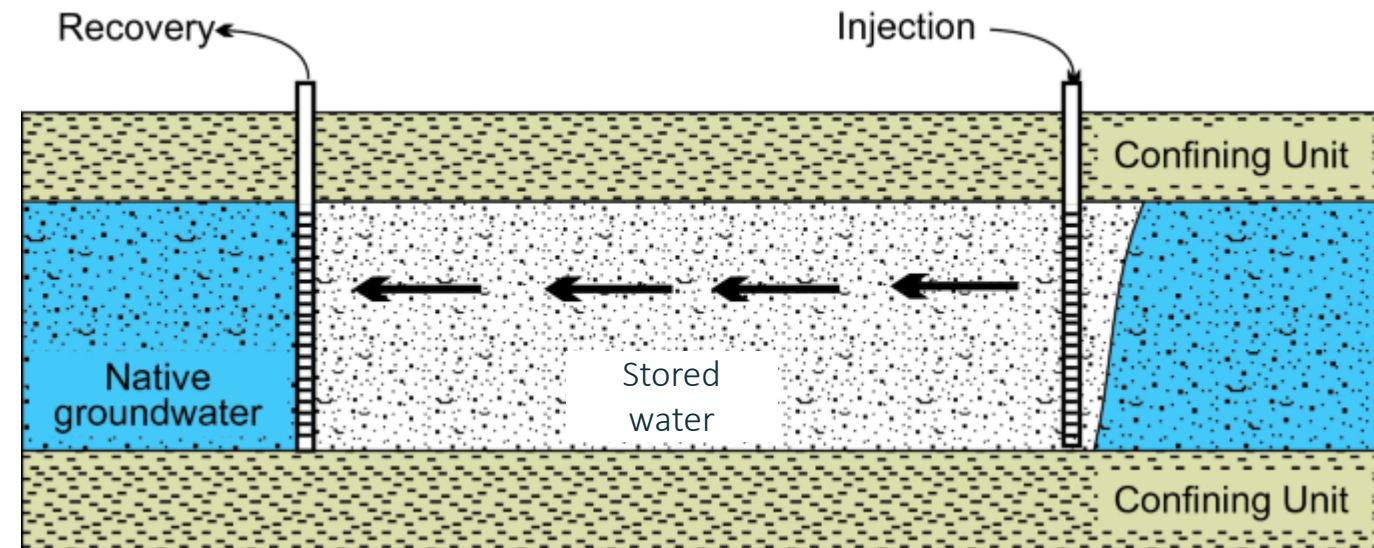
- I. Waterbalans
- II. Karakterisering van de ondergrond
- III. Infiltratie
- IV. Terugwinning
- V. Afdrijving en opdrijving
- VI. Maatwerk putconfiguraties**
- VII. Onderlinge beïnvloeding



ASTR

Aquifer Storage, Transfer and Recovery

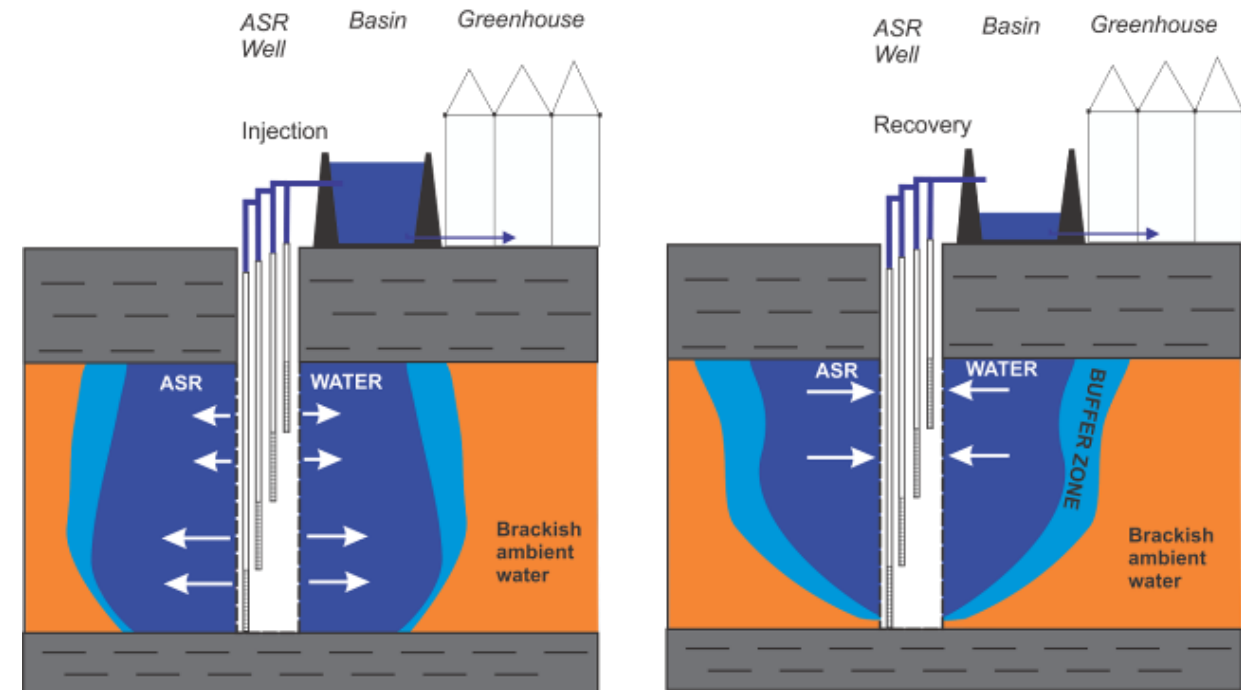
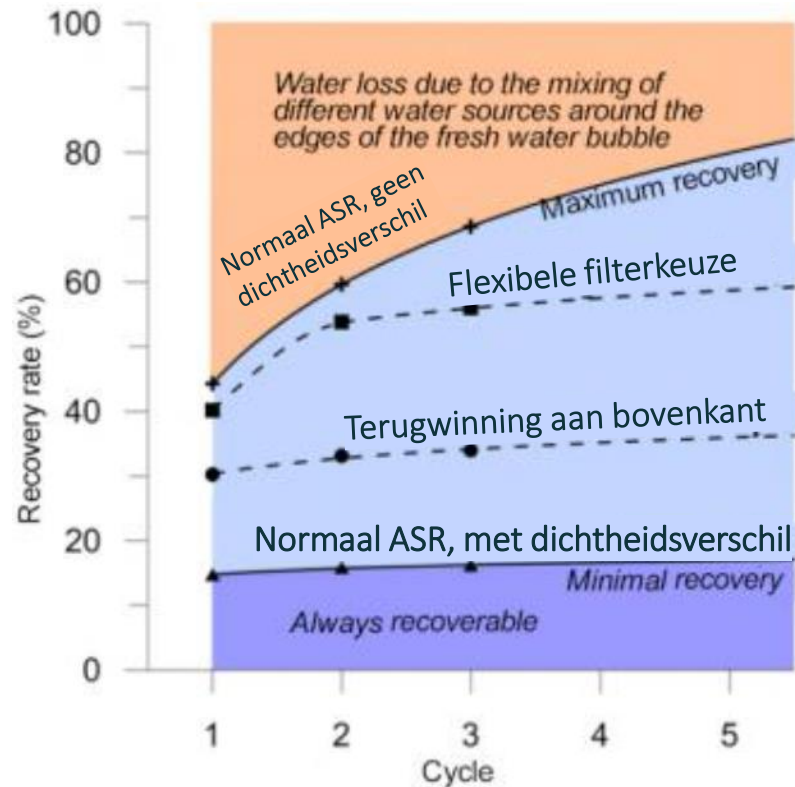
- Verhoging van efficiëntie ASR bij grondwaterstroming (afdrijving)
- Infiltratie in een put, en terugwinning in een tweede benedenstroomse put
- Meer ondergrondse zuivering door bodempassage
- Kennis van stroomsnelheid en -richting is vereist



MPPW

Multiple partially penetrating wells

- Verhoging van efficiëntie ASR bij dichtheidsgedreven stroming (opdrijving)
- Flexibele infiltratie & terugwinning op verschillende dieptes



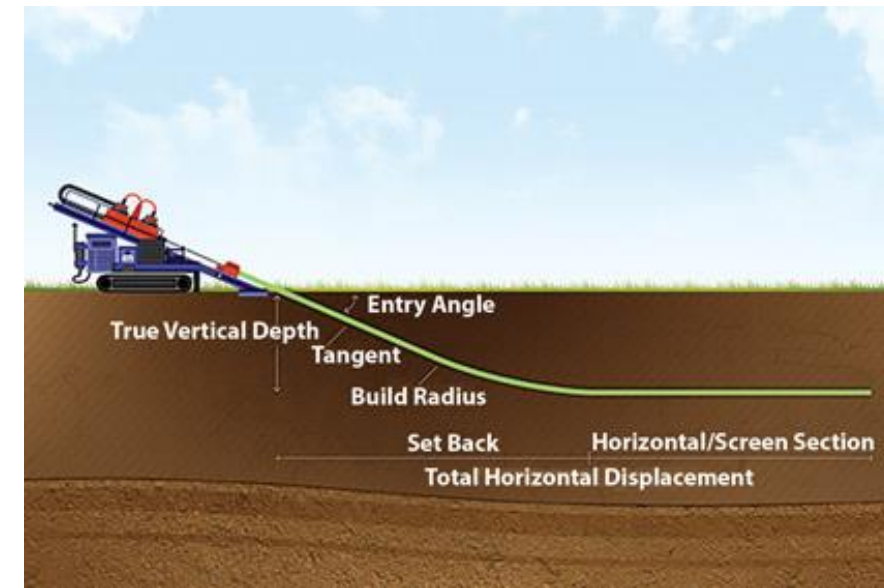
Zurbier et al. (2013): <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/delta-facts-english-versions/aquifer-storage-and-recovery>



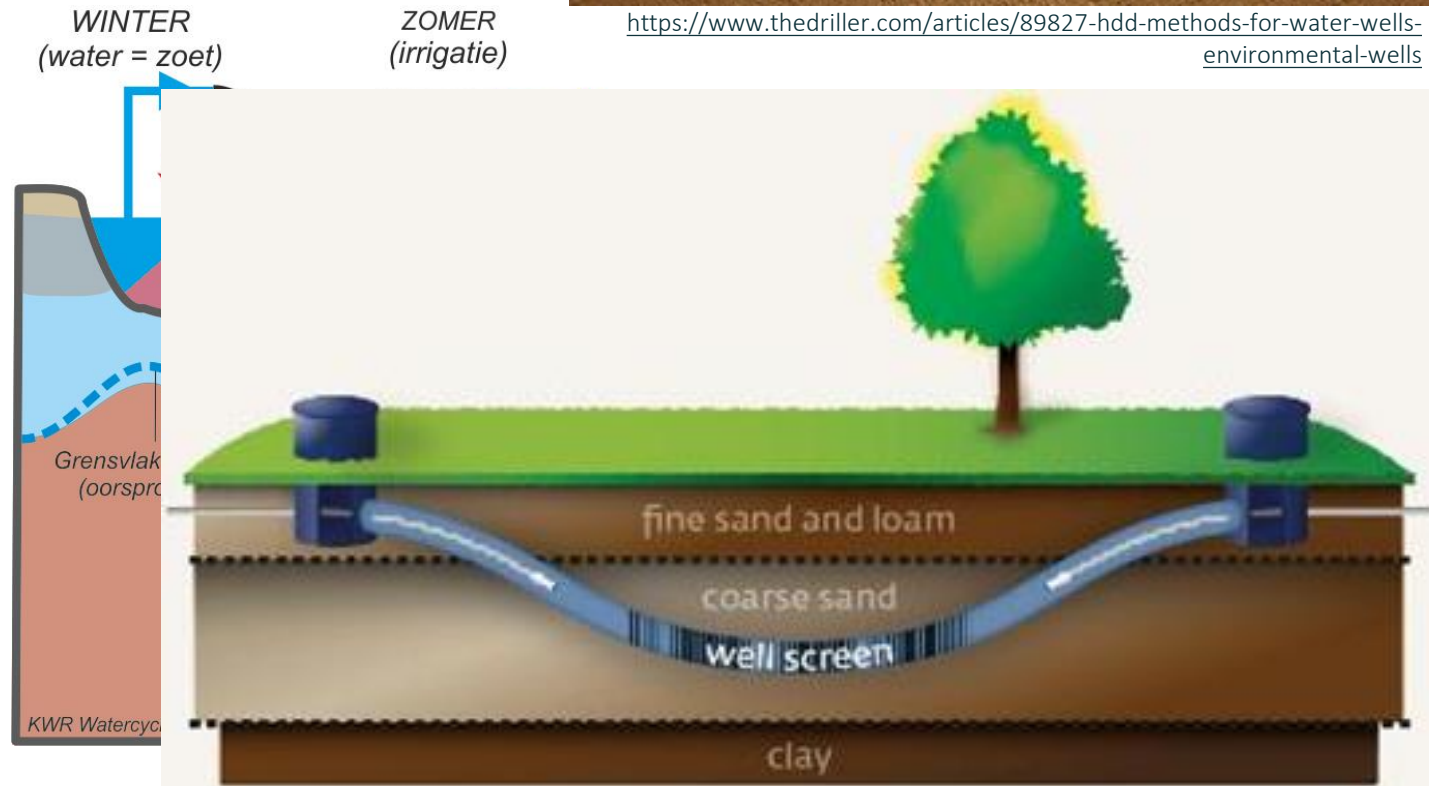
HDDW

Horizontal directionally drilled wells

- Verhoging van capaciteit in dunne en ondiepe homogene watervoerende pakketten
- Installatie is doorgaans duurder
- <20m diepte
- AGRICOAST (TUD, Acacia, et al.)
- Freshmaker (KWR)



<https://www.thedriller.com/articles/89827-hdd-methods-for-water-wells-environmental-wells>

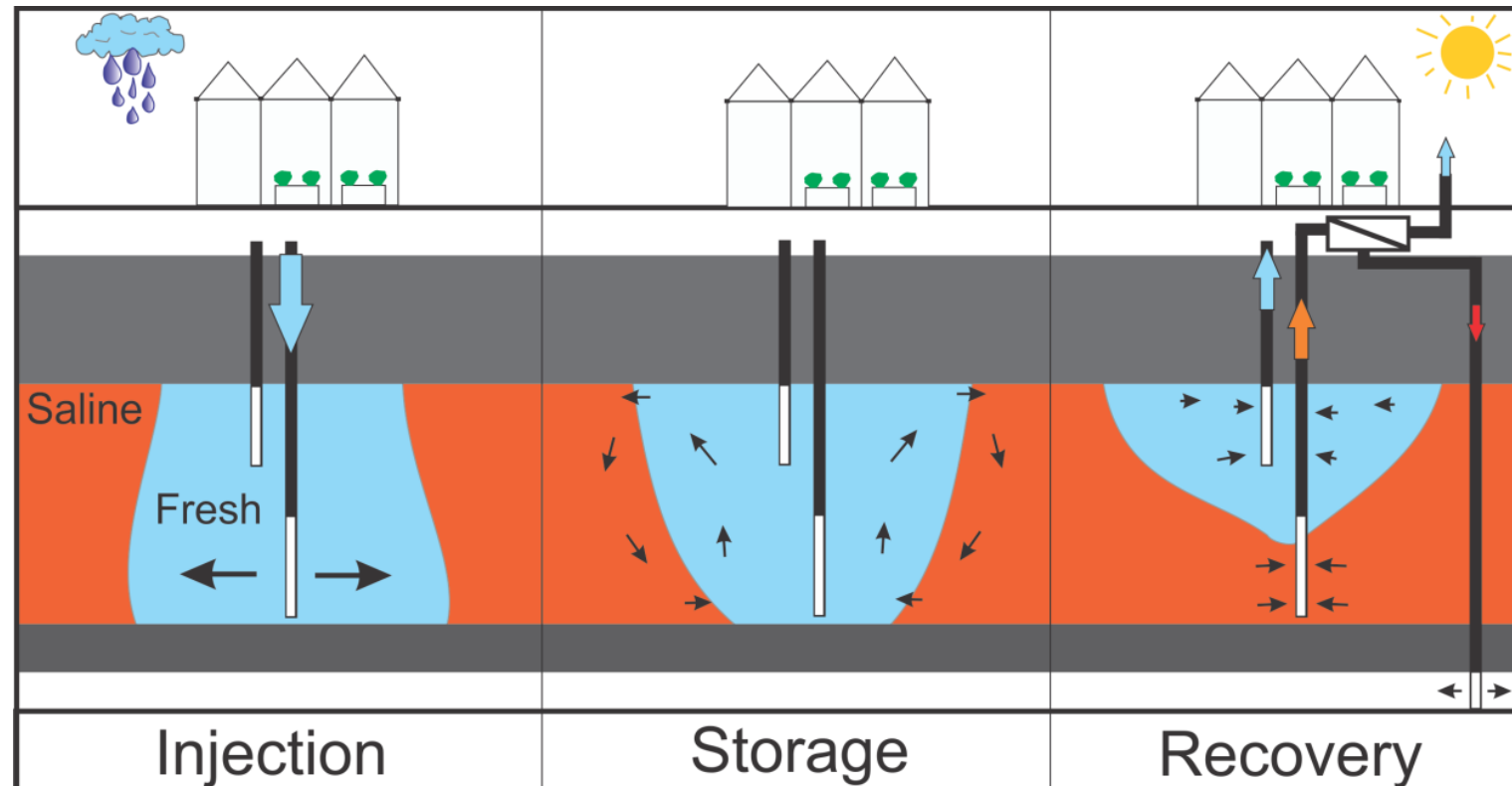


<https://www.waterwinst.nl/gebruiksfuncties/drinkwaterwinning/horizontale-bron/>

Freshkeeper

- Bescherming van winputten of ASR-putten door brak/zout grondwater te winnen

- Extra water beschikbaar via RO

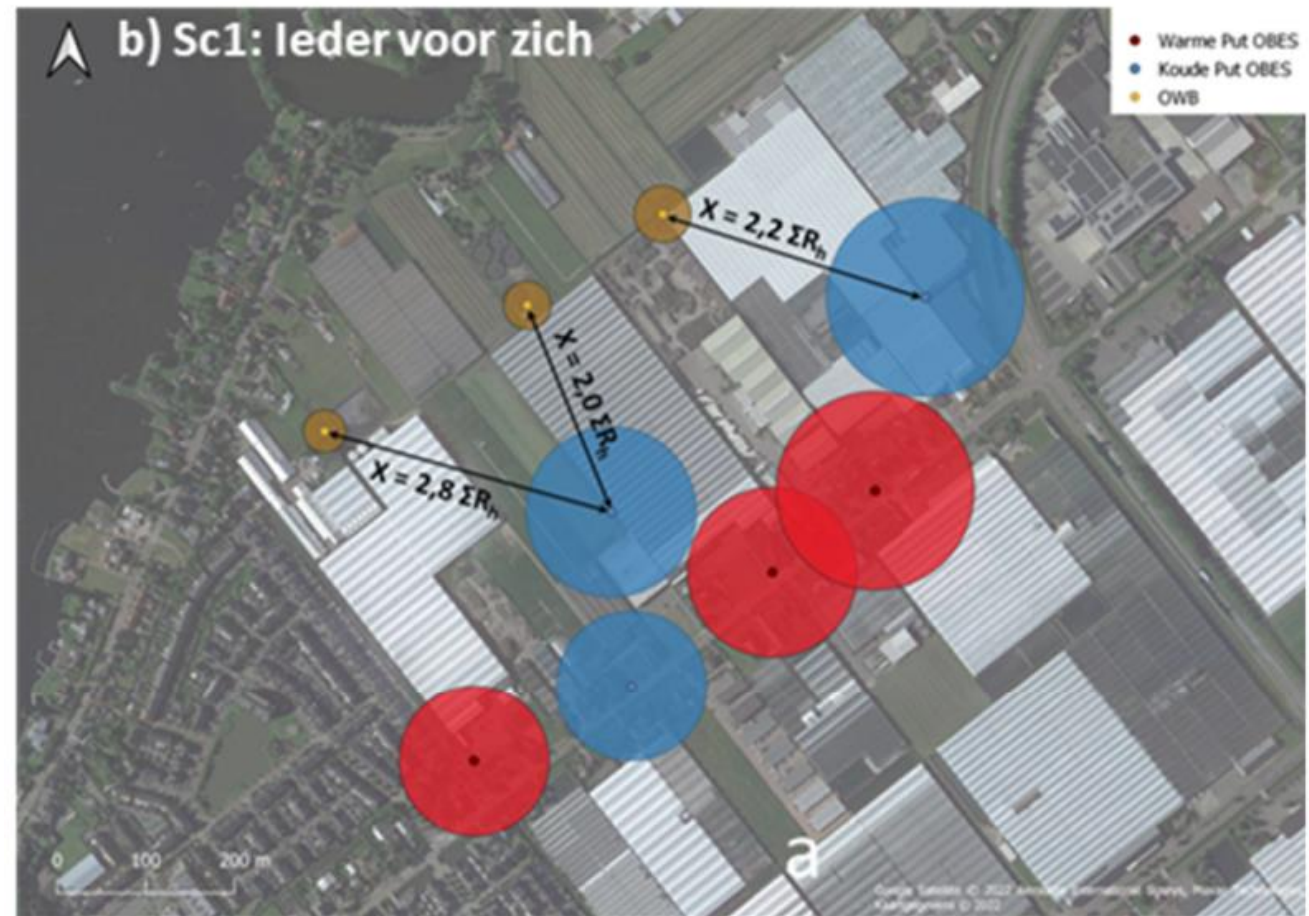




- I. Waterbalans
- II. Karakterisering van de ondergrond
- III. Infiltratie
- IV. Terugwinning
- V. Afdrijving en opdrijving
- VI. Maatwerk putconfiguraties
- VII. Onderlinge beïnvloeding**

~ Onderlinge beïnvloeding

- Niet alleen ASR:
 - Brakke winningen & retourinfiltraties voor omgekeerde osmose (RO)
 - Aquifer thermal energy storage (ATES) (= Warmte/koude opslag WKO)
- Stijghoogteverandering
 - Grondwaterstroming
 - beïnvloedt de terugwinefficiëntie
 - Meer/minder infiltratiedruk
 - beïnvloedt de infiltratiecapaciteit



Conclusies

- De ondergrond biedt ruimte, tijd en reactiviteit
- Potentie en capaciteit van ASR kan worden bepaald met:
 - een waterbalans
 - kennis van de ondergrond
 - een aantal ontwerpnormen
- Verhoging efficiëntie ASR door maatwerk putconfiguraties



Teun van Dooren

teun.van.dooren@kwrwater.nl

+31 30 606 9563

+31 6 53247963



@DoorenTeun



linkedin.com/in/teun-van-dooren



Groningehaven 7
3433 PE Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl



@KWR_Water



KWR



KWR_Water



Teun van Dooren

teun.van.dooren@kwrwater.nl

+31 30 606 9563

+31 6 53247963



@DoorenTeun



[linkedin.com/in/teun-van-dooren](https://www.linkedin.com/in/teun-van-dooren)