



Engineering the earth

Potentieel thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)

Beheergebied van Waterschap Rijn en IJssel

Eindrapportage 7 juli 2017

Voorblad

Opdrachtgevers:**Waterschap Rijn en IJssel**

Postbus 148
7000 AC Doetinchem
Contactpersoon: Mirjam Ruigrok

Adviseur:**IF Technology bv**

Velperweg 37
Postbus 605
6800 AP ARNHEM
T 026-35 35 545 | b.scholten@iftechnology.nl
Contactpersonen: Barry Scholten en Marc Koenders

Colofon:

Auteurs: Edzard Gelderman en Barry Scholten
Kaarten: Coco van der Meer
Versie: Definitief
Gecontroleerd door: Marc Koenders
Vrijgegeven door: Rutger Wierikx

Detail inhoudsopgave

1. Inleiding
2. Factsheets concepten
 - I. Waterlopen en plassen
 - II. Diepe plassen
 - III. Kunstwerken
3. Rekenregels
4. Potentieelkaarten
5. Analyse potentieel

Aanvullende onderbouwing

Inhoud

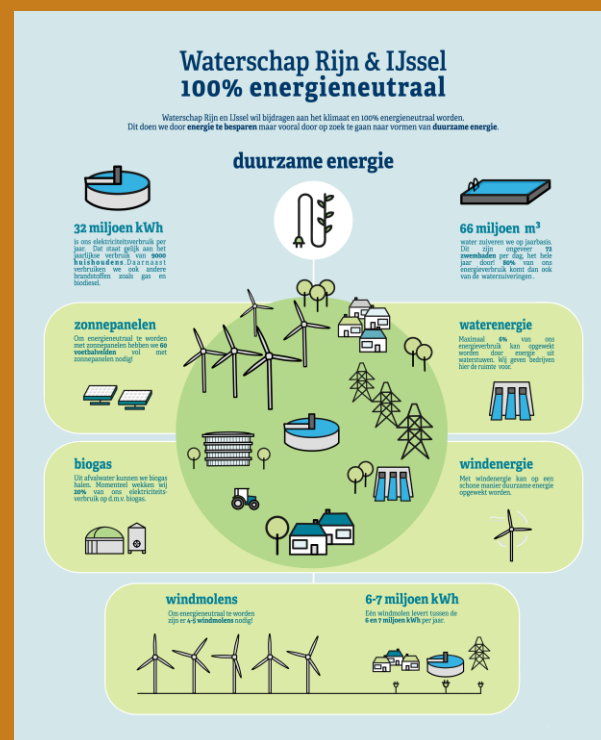
1. Inleiding
2. Factsheets concepten
3. Rekenregels
4. Potentieelkaarten
5. Analyse potentieel

Aanvullende onderbouwing



Regionale detaillering WRIJ

- Warmte voucher Interreg-V project WiEfm
- Legger watersysteem als basis (details)
- Kunstwerken (Gemalen en Stuwen)
- Diepe plassen
- Gemeenten betrekken voor vervolg
- Kansrijke locaties identificeren



Aanleiding

- Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) levert een significante bijdrage aan de duurzaamheidsambities van Waterschappen en gemeenten zoals ook geformuleerd in het SER Energieakkoord.
- Hieruit volgt de wens van het WRIJ om inzicht te krijgen in het energiepotentieel van het oppervlaktewater en de daarin aanwezige kunstwerken in relatie tot de energiebehoefte (warmte en koude).

Doelen project

- De potentie van thermische energie uit oppervlaktewater inzichtelijk maken (in kaarten en hoeveelheid).
- Bewustwording creëren van de kansen bij diverse belanghebbenden.

Opbrengst

- Kansenkaarten die inzicht bieden in de potentie van thermische energie uit het watersysteem, plassen en gemalen.
- Het beoogde gebied omvat het beheergebied van WRIJ met daarin 22 gemeenten, waaronder Arnhem, Doetinchem en Zutphen.

Plan van aanpak

Fase 1 Inventarisatie data- en informatiebronnen

watersysteem

plassen

kunstwerken

wateropgave

hittestress



Fase 2 Opstellen en analyse potentieelkaarten

warmte

koude

energie uit kunstwerken

Inhoud

1. Inleiding
2. Factsheets concepten
3. Rekenregels
4. Potentieelkaarten
5. Analyse potentieel

Aanvullende onderbouwing

Factsheet concepten



I. Waterlopen & plassen

- verwarming
- koeling



II. Diepe plassen

- koeling



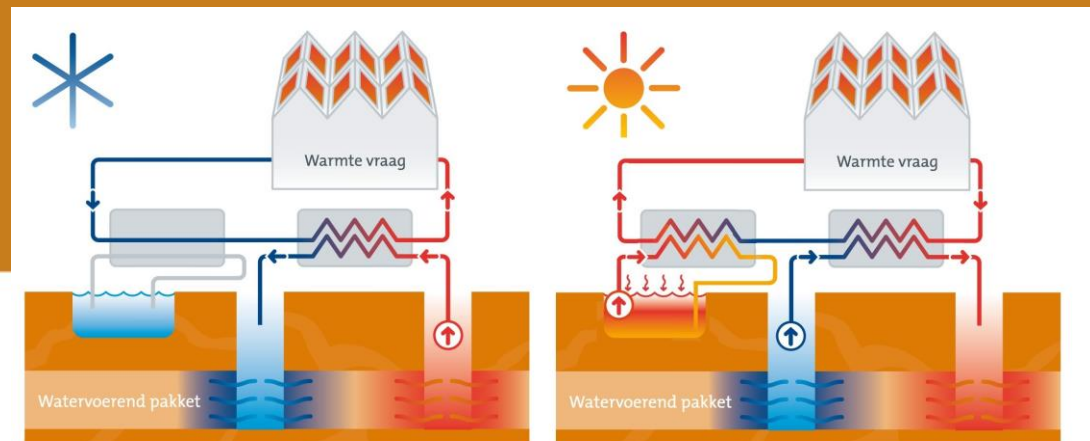
III. Kunstwerken

- verwarming
- koeling

Concept I. Waterlopen en plassen

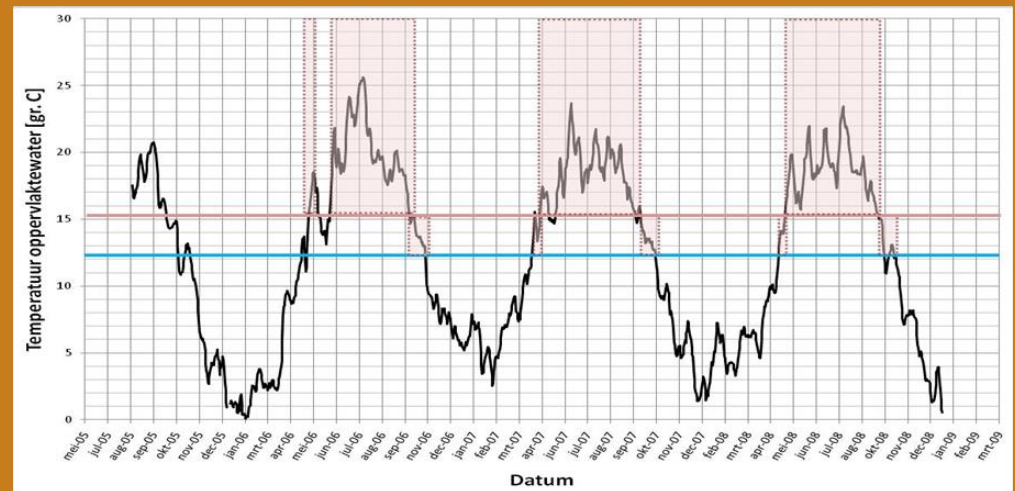
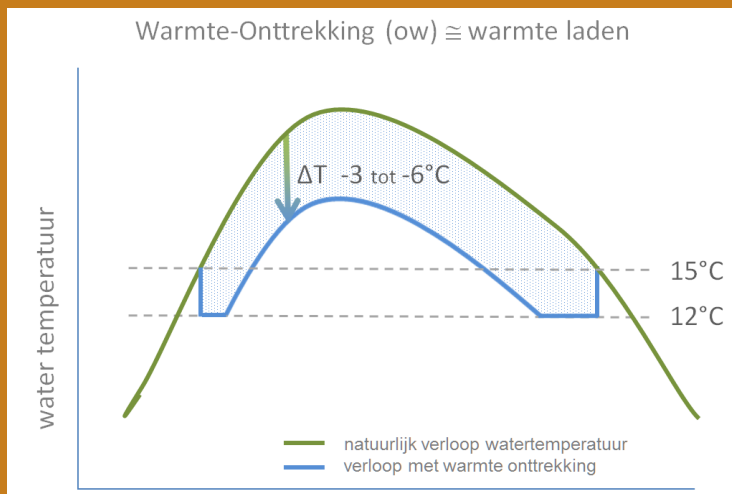
Principe warmtewinning/onttrekking (zomerperiode)

- Warm water wordt in de zomer uit oppervlaktewater onttrokken
- Het oppervlaktewater wordt geleid over een warmtewisselaar
- Gelijktijdig wordt koel grondwater (12 graden) verpompt vanuit de koude naar de warme bron (Warmte/koude opslagsysteem, WKO)
- Bij de warmtewisselaar wordt de warmte van oppervlaktewater overgedragen aan het grondwater en opgeslagen in de bodem
- Het oppervlaktewater koelt 3 graden af en wordt vervolgens geloost op het oppervlaktewater
- In de winter wordt het warme grondwater opgepompt om warmte te leveren via een warmtepomp aan woningen / gebouwen



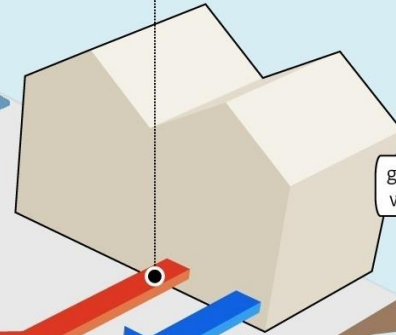
Concept I. Waterlopen en plassen

Principe warmtewinning/onttrekking (zomerperiode)





winter

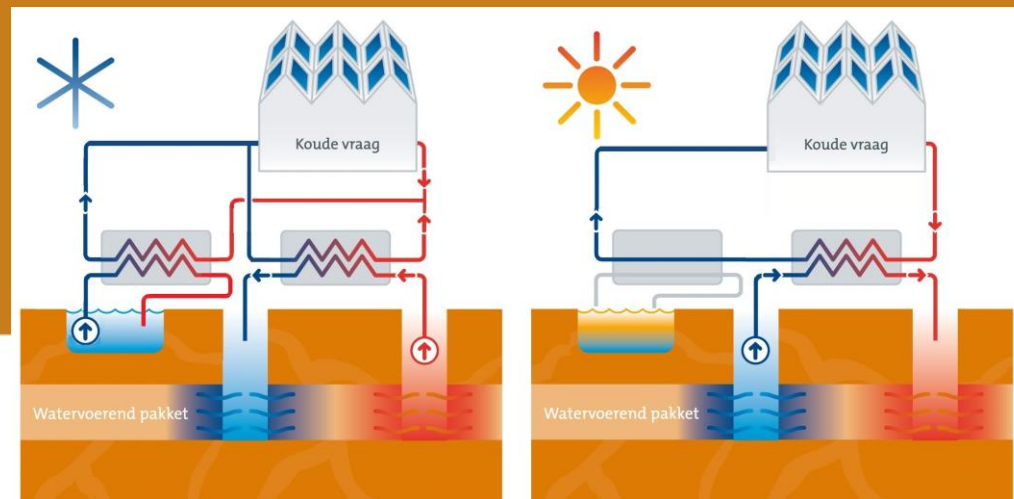


bodemenergiesysteem

Concept I. Waterlopen en plassen

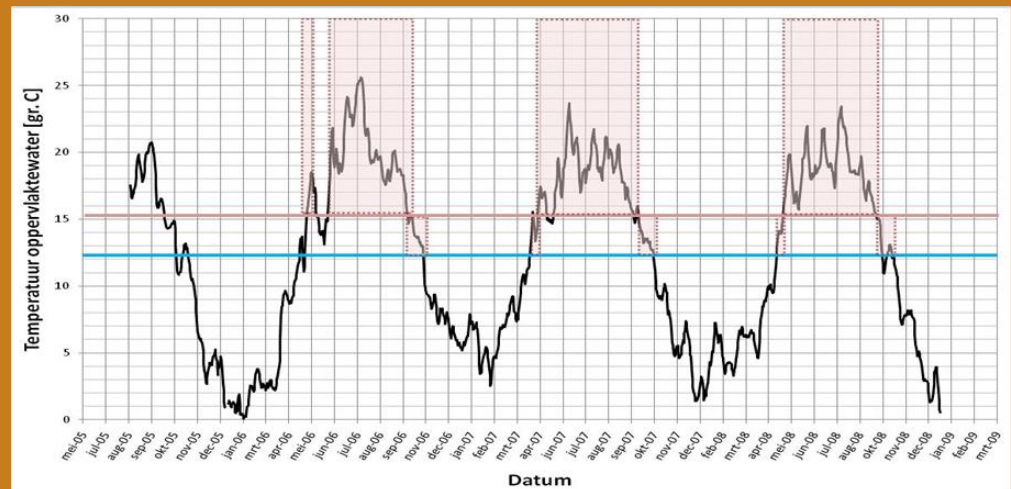
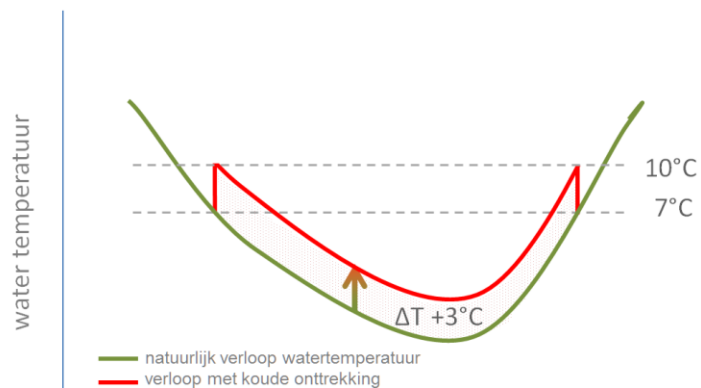
Principe koudewinning/onttrekking (winterperiode)

- Koud water wordt in de winter uit oppervlaktewater onttrokken
- Het oppervlaktewater wordt geleid over een warmtewisselaar
- Gelijktijdig wordt grondwater (12 graden) verpompt vanuit de warme naar de koude bron (Warmte/koude opslagsysteem, WKO)
- Bij de warmtewisselaar wordt de koude van oppervlaktewater overgedragen aan het grondwater en opgeslagen in de bodem
- Het oppervlaktewater warmt 3 graden op en wordt vervolgens geloost op het oppervlaktewater (alleen in de winter)
- In de zomer wordt het koude grondwater opgepompt om gebouwen mee te koelen



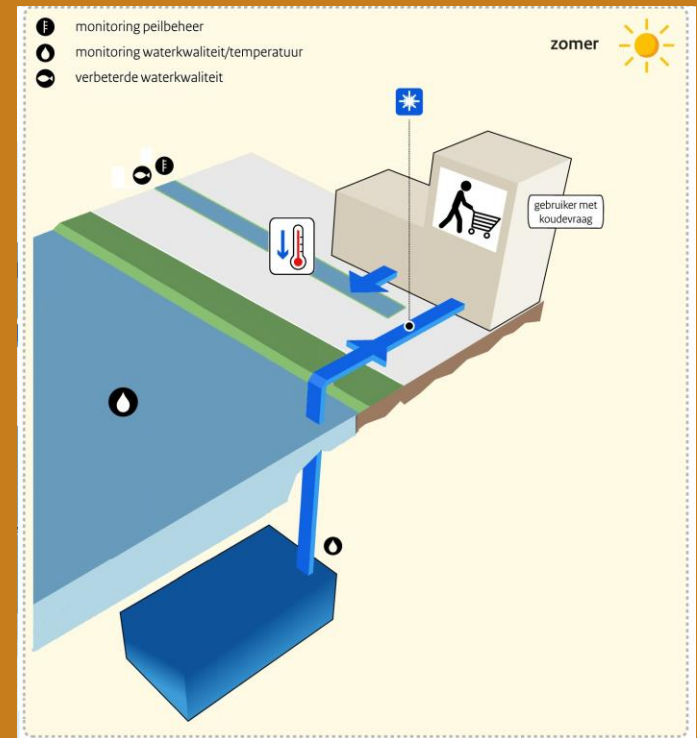
Concept I. Waterlopen & plassen

Koude-Onttrekking (ow) $\cong$ koude laden



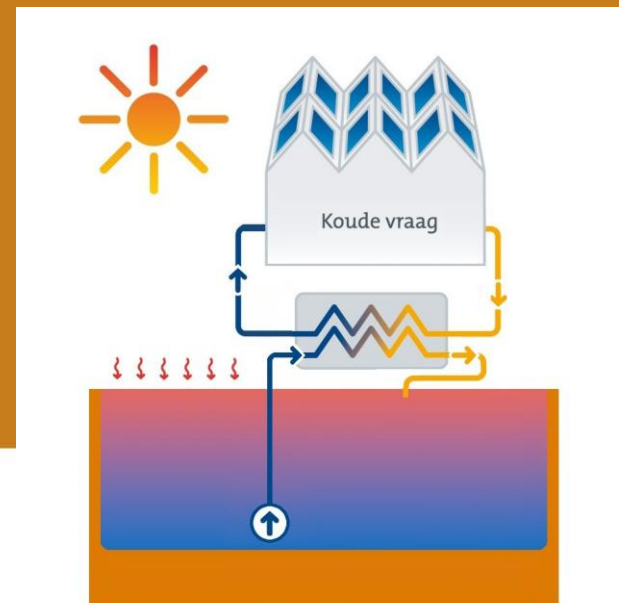
Engineering the earth

Concept II. Diepe plassen



Concept II. Diepe plassen

- Diepe plassen zijn gestratificeert (thermocline)
- Koud water (4-8 graden) is het jaar rond aanwezig onder de thermocline
- Dit wordt opgepompt om koeling mee te leveren
- Uitgangspunt: plassen dieper dan 18 m kunnen permanent koude leveren
- Geen opslag in de bodem nodig (WKO)



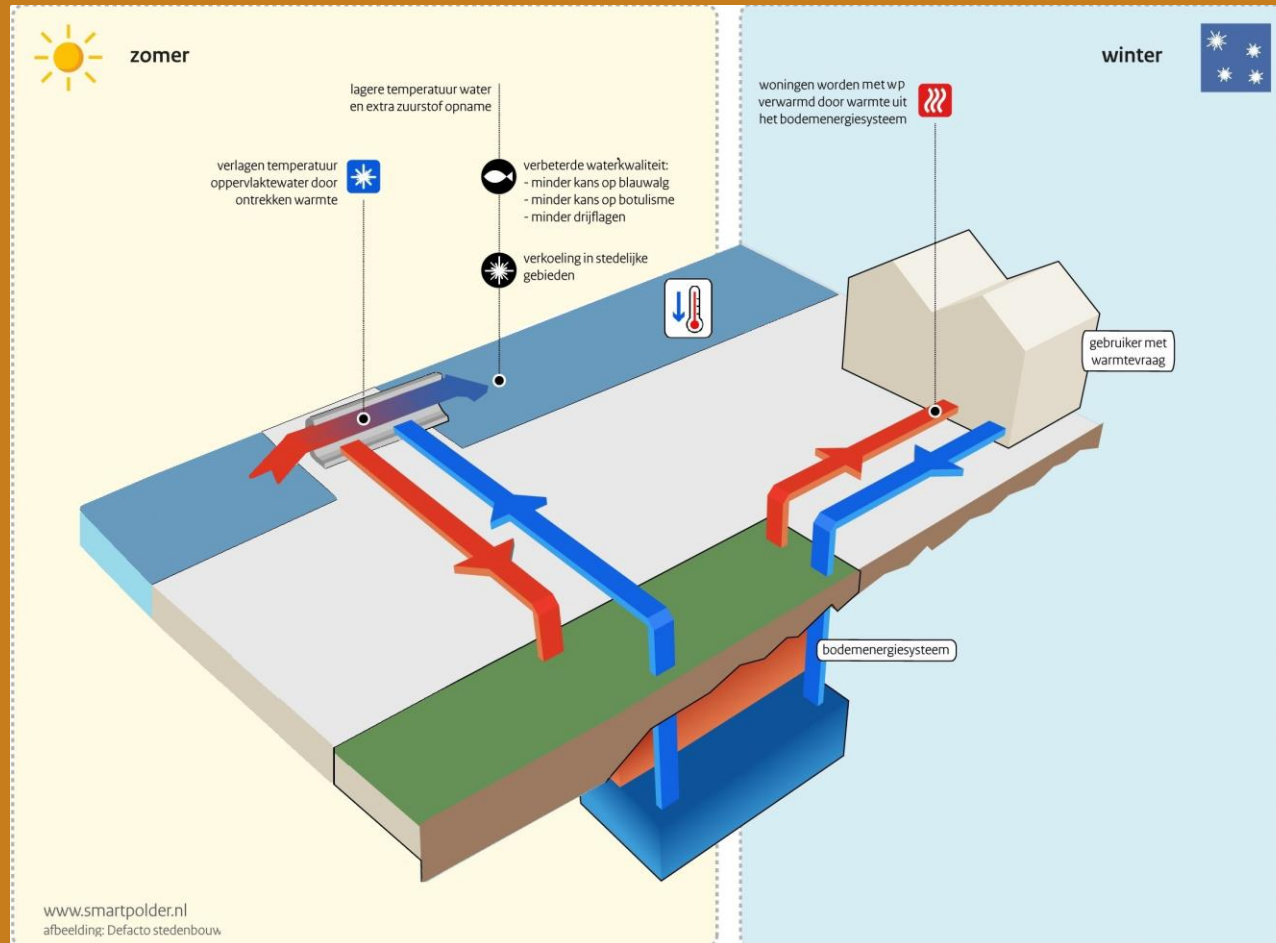
Concept III. Kunstwerken

Kunstwerken (stuwen en gemalen) worden voorzien van warmtewisselaars waarmee koude of warmte wordt gewonnen (principe vergelijkbaar als concept 1).

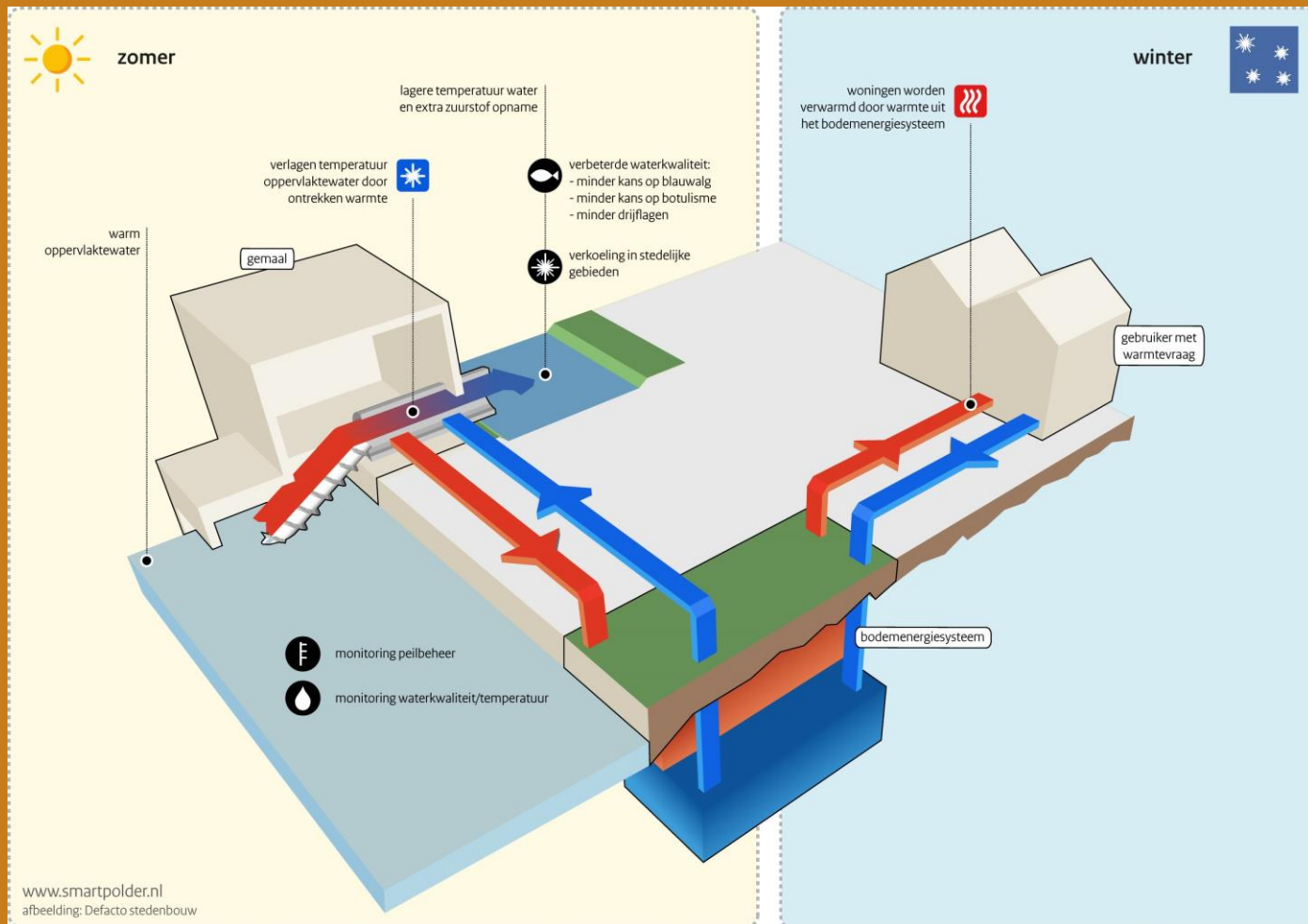
Voordeel onttrekken op kunstwerk:

- Scheiding tussen onttrekking en lozing (geen thermische kortsluiting).
- Weinig leidingwerk nodig (beperkte investering geeft hoog koel- of verwarmingsvermogen).
- Energie voor verplaatsen oppervlaktewater is al aanwezig (gemaal/verval)
- Afnemers dienen binnen ca. 1 km van het gemaal aanwezig te zijn.

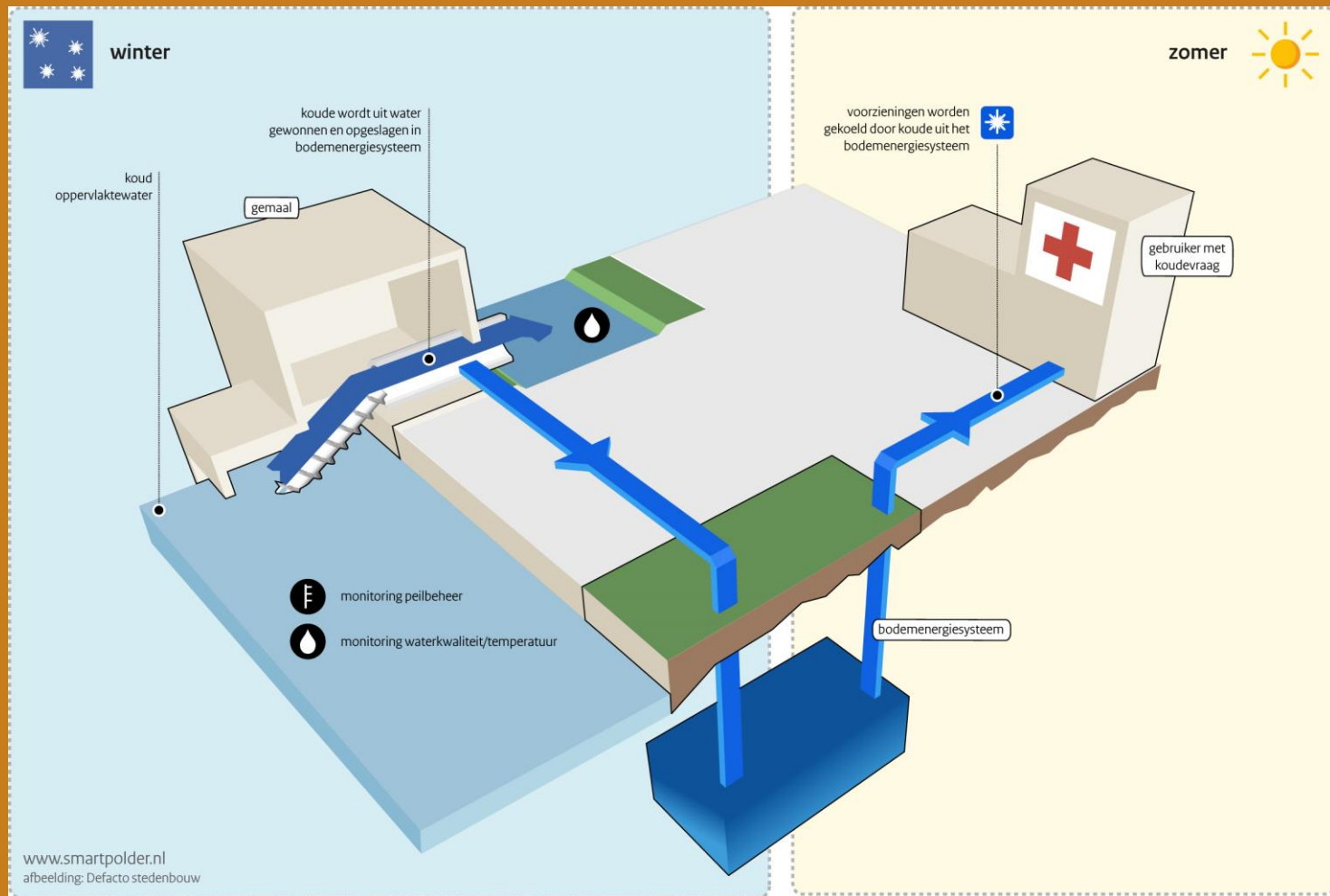
Concept III. Kunstwerken (stuw)



Concept III. Kunstwerken (gemaal)



Concept III. Kunstwerken (gemaal)



Inhoud

1. Inleiding
2. Factsheets concepten
3. Rekenregels
4. Potentieelkaarten
5. Analyse potentieel

Aanvullende onderbouwing

Definities Potentieel

waterlopen &
plassen

diepe plassen

gemalen

Potentiële energievoorraad

Technisch winbaar potentieel

Vervolgtraject:
Economisch winbaar potentieel
(buiten scope)

Definities Potentieel

Potentiële voorraad

De hoeveelheid thermische energie die in het natuurlijk watersysteem zit en in theorie benut kan worden

Technisch winbaar

De potentiële voorraad die op basis van de huidige technische mogelijkheden uit een waterlichaam kan worden gewonnen.

Voor de concepten waterlopen (& plassen) en gemalen vormt de beschikbare opslagcapaciteit van de ondergrond voor energieopslag een bepalende factor

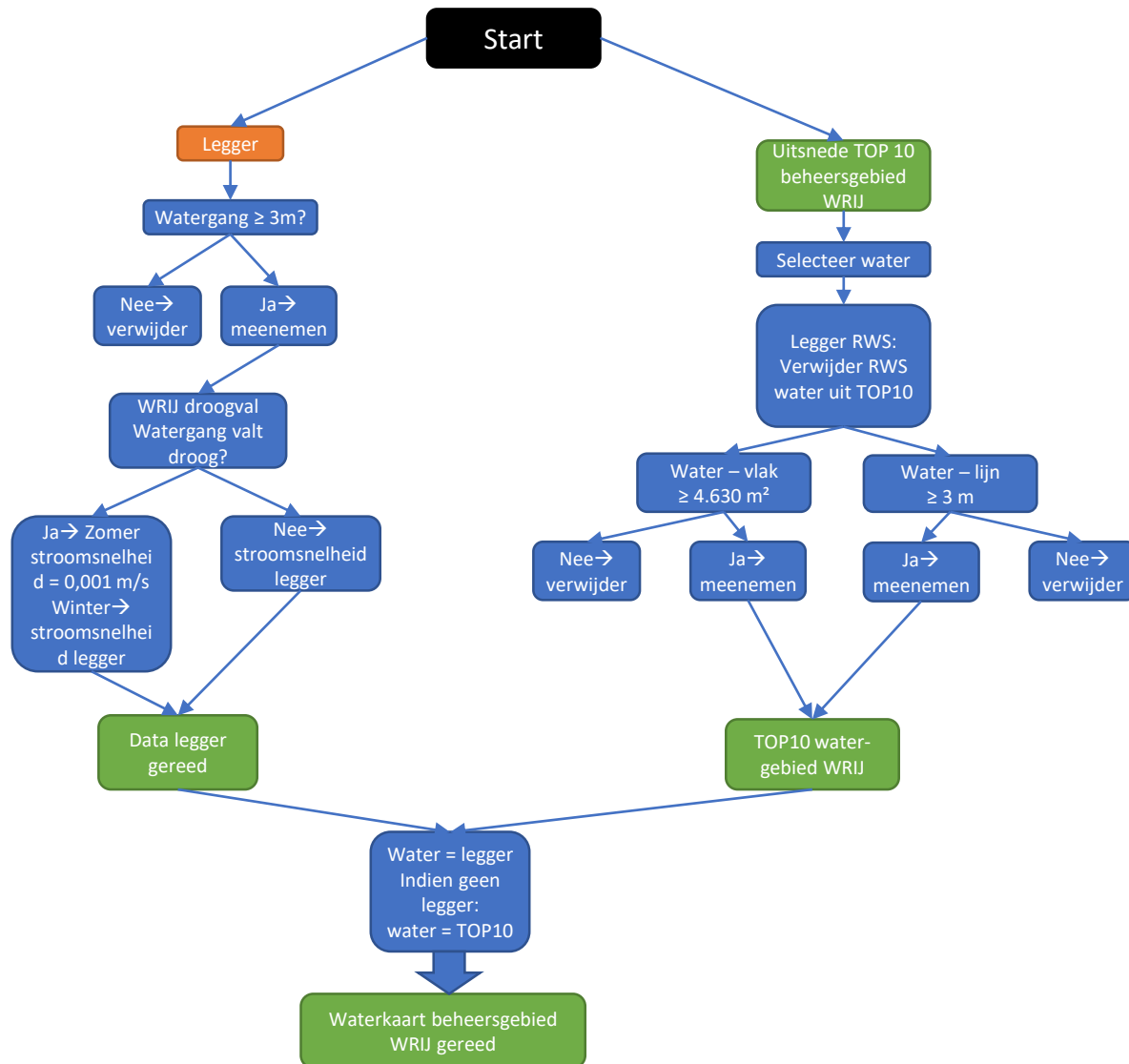
Economisch winbaar

Het technisch potentieel gecorrigeerd voor financiële haalbaarheidaspecten,

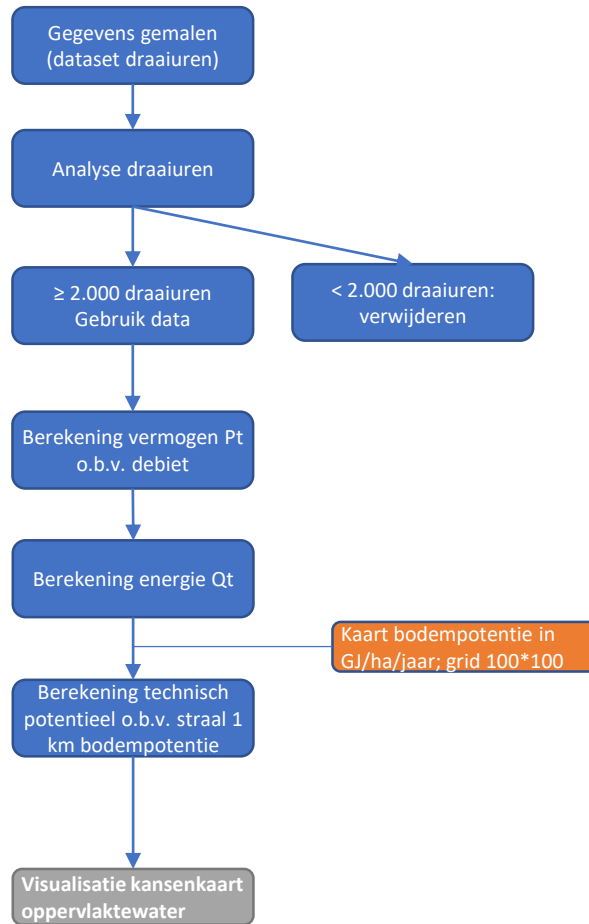
Dataselectie

- Op de volgende pagina's zijn flowcharts weergegeven met:
 - Dataselectie voor waterlopen en plassen
 - Dataselectie gemalen
 - Dataselectie stuwen
- Aangegeven is:
 - De bron van de data
 - De selectie- en filtercriteria

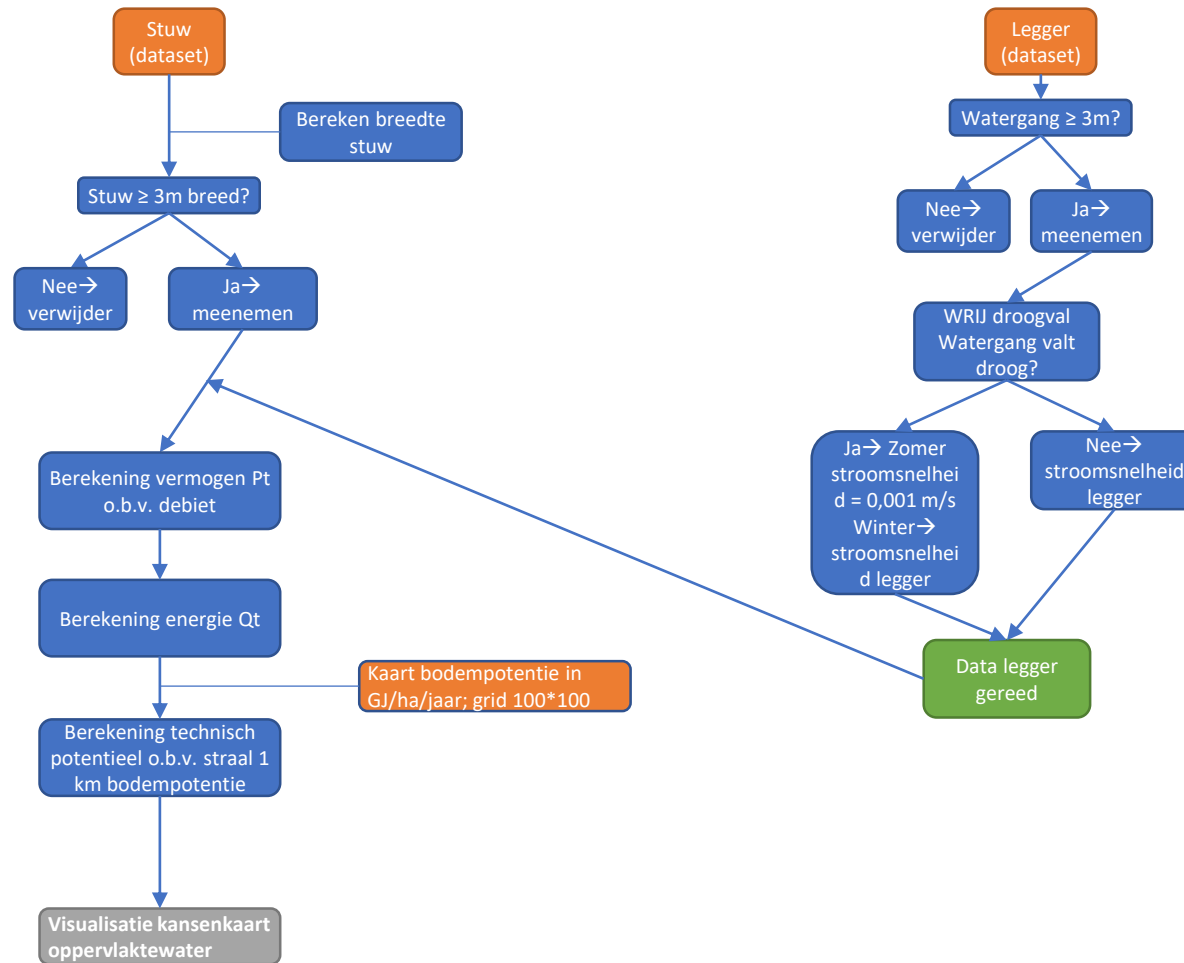
Flowchart dataselectie watergangen en plassen



Flowchart dataselectie gemalen



Flowchart dataselectie stuwen



Potentiële energievoorraad

- Dit is de hoeveelheid energie die in het natuurlijk watersysteem zit en in theorie benut kan worden.

Rekenregels concept I. Waterlopen en plassen (zie bijlage voor toelichting)

Type stroming	Koudelevering		Warmtelevering	
	Vermogen P_t [kW]	Energie Q_t [GJ/jaar] per ...	Vermogen P_t [kW]	Energie Q_t [GJ/jaar] per...
Stilstaand (met $v_w = 0$)	$= (A * Z_{\text{jaar}} * dT) / 1000 =$ $= (A * 10 * 3) / 1000 =$ $= 0,03 * A$ <i>Eenheid: per (stukje) waterloop</i>	$= P_t * h_{\text{eow}} * 0,0036 =$ $= P_t * 2.000 * 0,0036 =$ $= 7,2 * P_t = \mathbf{0,216 * A}$ <i>Eenheid: per gridcel</i>	$= (A * Z_{\text{jaar}} * dT) / 1000 =$ $= (A * 10 * 3) / 1000 =$ $= 0,03 * A$ <i>Eenheid: per (stukje) waterloop</i>	$= P_t * h_{\text{eow}} * 0,0036 =$ $= P_t * 2.000 * 0,0036 =$ $= 7,2 * P_t = \mathbf{0,216 * A}$ <i>Eenheid: per gridcel</i>
Langzaam stromend (met $v_w = 0,25$ m/s)	$= q_{wl} * dT * \rho_{\text{water}} * C_{\text{water}} =$ $= b * d * v_w * dT * \rho_{\text{water}} * C_{\text{water}} =$ $= b * d * 0,25 * 3 * 998 * 4,185 =$ $= b * d * 3.132$	$= P_t * h_{\text{eow}} * 0,0036 =$ $= P_t * 2.000 * 0,0036 =$ $= 7,2 * P_t = \mathbf{22.500 * b * d}$ <i>Eenheid: per gridcel</i>	$= q_{wl} * dT * \rho_{\text{water}} * C_{\text{water}} =$ $= b * d * v_w * dT * \rho_{\text{water}} * C_{\text{water}} =$ $= b * d * 0,25 * 3 * 998 * 4,185 =$ $= b * d * 3.132$	$= P_t * h_{\text{eow}} * 0,0036 =$ $= P_t * 2.000 * 0,0036 =$ $= 7,2 * P_t = \mathbf{22,5 * b * d}$ <i>Eenheid: per gridcel</i>
Snel stromend (met $v_w = 0,75$ m/s)	$= q_{wl} * dT * \rho_{\text{water}} * C_{\text{water}} =$ $= b * d * v_w * dT * \rho_{\text{water}} * C_{\text{water}} =$ $= b * d * 0,75 * 3 * 998 * 4,185 =$ $= b * d * 9.397$	$= P_t * h_{\text{eow}} * 0,0036 =$ $= P_t * 2.000 * 0,0036 =$ $= 7,2 * P_t = \mathbf{67.700 * b * d}$ <i>Eenheid: per gridcel</i>	$= q_{wl} * dT * \rho_{\text{water}} * C_{\text{water}} =$ $= b * d * v_w * dT * \rho_{\text{water}} * C_{\text{water}} =$ $= b * d * 0,75 * 3 * 998 * 4,185 =$ $= b * d * 9.397$	$= P_t * h_{\text{eow}} * 0,0036 =$ $= P_t * 2.000 * 0,0036 =$ $= 7,2 * P_t = \mathbf{67,7 * b * d}$ <i>Eenheid: per gridcel</i>

Rekenregels concept II. Diepe plassen

Type stroming	Koudelevering		Warmtelevering	
	Vermogen P_t [kW]	Energie Q_t [GJ/jaar] per ...	Vermogen P_t [kW]	Energie Q_t [GJ/jaar] per...
-	$= Q_t / h_{dp} =$ $= Q_t / 1.000$ <i>Eenheid: per plas</i>	$= 0,2761 * h * A * 0,5 * dT * 1,16 * 0,0036 =$ $=$ $= 0,2761 * h * A * 0,5 * 8 * 1,16 * 0,0036 =$ $= 1,28 * h * A * 0,0036$ <i>Eenheid: per plas</i>	n.v.t.	n.v.t.

Rekenregels concept III. Gemalen

Type stroming	Koudelevering		Warmtelevering	
	Vermogen P_t [kW]	Energie Q_t [GJ/jaar] per ...	Vermogen P_t [kW]	Energie Q_t [GJ/jaar] per...
Polder/ boezem	$= q_{\text{gemeal}} * dT * \rho_{\text{water}} * c_{\text{water}} * F_{\text{inzet}} =$ $= q_{\text{gemeal}} * 3 * 998 * 4,185 * (1/15) =$ $= q_{\text{gemeal}} * 835$ <i>Eenheid: per gemeal</i>	$= P_t * h_{\text{gemeal}} * 0,0036 =$ $= P_t * 2.000 * 0,0036 =$ $= 7,2 * P_t = 6.012 * q_{\text{gemeal}}$ <i>Eenheid: per gemeal</i>	$= q_{\text{gemeal}} * dT * \rho_{\text{water}} * c_{\text{water}} * F_{\text{inzet}} =$ $= q_{\text{gemeal}} * 3 * 998 * 4,185 * (1/20) =$ $= q_{\text{gemeal}} * 626$ <i>Eenheid: per gemeal</i>	$= P_t * h_{\text{gemeal}} * 0,0036 =$ $= P_t * 2.000 * 0,0036 =$ $= 7,2 * P_t = 4.507 * q_{\text{gemeal}}$ <i>Eenheid: per gemeal</i>
Inlaat/ doorstroom/ circulatie	n.v.t.	n.v.t.	$= q_{\text{gemeal}} * dT * \rho_{\text{water}} * c_{\text{water}} * F_{\text{inzet}} =$ $= q_{\text{gemeal}} * 3 * 998 * 4,185 * (1/1) =$ $= q_{\text{gemeal}} * 12.530$ <i>Eenheid: per gemeal</i>	$= P_t * h_{\text{gemeal}} * 0,0036 =$ $= P_t * 2.000 * 0,0036 =$ $= 7,2 * P_t = 90.216 * q_{\text{gemeal}}$ <i>Eenheid: per gemeal</i>

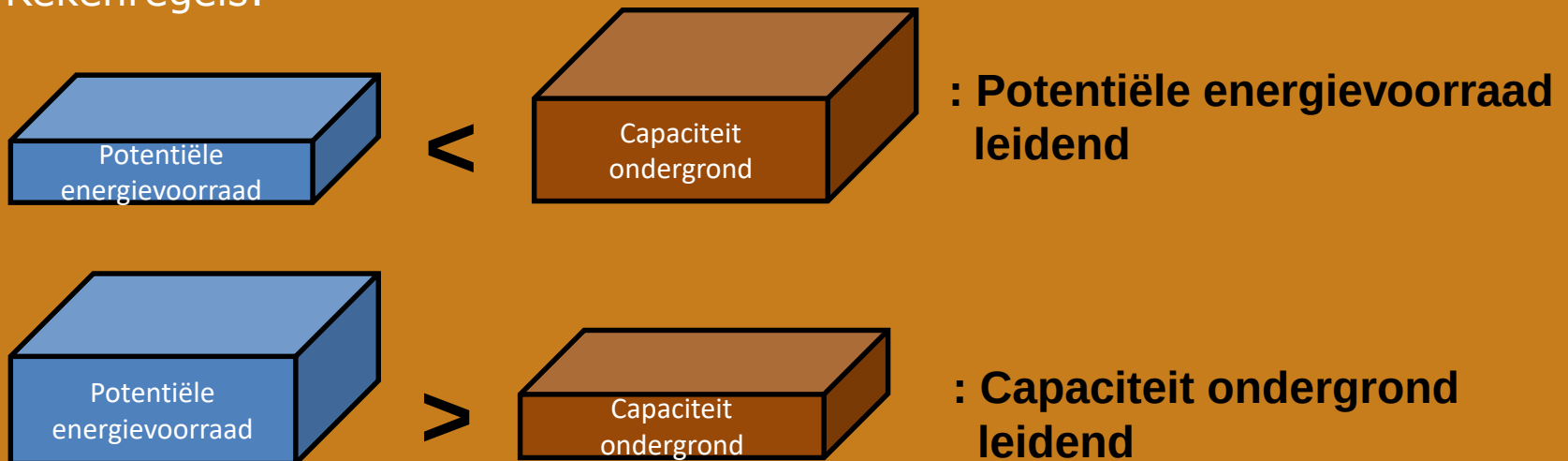
Toelichting parameters

- A : oppervlak waterloop of plas [m^2]
- b : breedte watergang [m]
- c_{water} : warmtecapaciteit water = $4,185 \text{ [kJ / kg } ^\circ\text{C]}$
- d : diepte waterloop [m]
- dT : delta temperatuur [$^\circ\text{C}$]
- E_t : energielevering winbaar potentieel [GJ/ha/jr]
- F_{inzet} : factor inzet gemaal [%]
- h : diepte waterplas vanaf 10 meter diepte tot de bodem [m]. Geldt voor waterplassen dieper dan 18 meter.
- h_{dp} : vollasturen diepe plas = 1.000 [h]
- h_{eow} : vollasturen EOW met KWO = 2.000 [h]
- h_{gemaal} : vollasturen gemaal = 2.000 [h]
- L = lengte waterloop [m]
- P_t : thermisch vermogen [kW_t]
- ρ_{water} : dichtheid water = $998 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
- q_{wl} : debiet waterloop [m^3/s]
- q_{gemaal} : maximaal debiet van het gemaal [m^3/s] Let op: wordt vaak uitgedrukt in m^3 per minuut.
- Q_t : energiehoeveelheid [kWh_t]
- V_w stroomsnelheid water [m/s]
- Z_{jaar} : zelfkoelingsgetal water = $10 \text{ [W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C]}$ (gemiddeld over het jaar) |

Technisch winbaar potentieel

- Dit is de potentiële energievoorraad die op basis van de huidige technische mogelijkheden uit een waterlichaam kan worden gewonnen.
- De beschikbare opslagcapaciteit van de ondergrond voor de toepassing van energieopslag vormt hierin een bepalende factor. Als deze kleiner is dan de potentiële energielevering uit het watersysteem, beperkt dit het potentieel.

Rekenregels:





Inhoud

1. Inleiding
2. Factsheets concepten
3. Rekenregels
4. Potentieelkaarten
5. Analyse potentieel

Aanvullende onderbouwing



Potentieelkaarten (apart bijgesloten)

1. Technisch potentieel (basiskaarten)
 - a. Warmte uit waterlopen, plassen en kunstwerken
 - b. Koude uit waterlopen, (diepe) plassen en kunstwerken
2. Maatschappelijke belangen

Inhoud

1. Inleiding
2. Factsheets concepten
3. Rekenregels
4. Potentieelkaarten
5. Analyse potentieel

Aanvullende onderbouwing



Technische winbaar potentieel (TEO)

- Warmte uit oppervlaktewater circa 70 PJ
- Koude uit oppervlaktewater en diepe plassen circa 140 PJ

Inhoud

1. Inleiding
2. Factsheets concepten
3. Rekenregels
4. Potentieelkaarten
5. Analyse potentieel