



Milieu consultancy
Watermanagement
Ruimtelijke ordening



KWR 04.042
31 augustus 2004

Elektroontzouting in de glastuinbouw

Tussenrapportage haalbaarheidsonderzoek

KWR 04.042
31 augustus 2004

Elektroontzouting in de glastuinbouw

Tussenrapportage haalbaarheidsonderzoek

© 2004 Kiwa N.V.
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
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, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de
uitgever.

Kiwa N.V.
Water Research
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511
Fax 030 60 61 165
Internet www.kiwa.nl



Milieu consultancy
Watermanagement
Ruimtelijke ordening



Colofon

Titel

Elektroontzouting in de glastuinbouw
Tussenrapportage haalbaarheidsonderzoek

Projectnummer

305206.010

Projectmanager

Gerard Boks, Aad Wubben

Auteur(s)

Joost Kappelhof, Rogier Sterk

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het project.
Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Voorwoord

Dit haalbaarheidsonderzoek, naar de toepassing van Elektro-Ontzouting in de glastuinbouw, is uitgevoerd door Kiwa Water Research, Aqua-Terra Nova, en Priva Hortimation . Opdrachtgevers en financiers van dit project zijn onder meer het Productschap Tuinbouw, de Provincie Zuid-Holland, Gemeente Westland, Hoogheemraadschap Delfland. Het project wordt begeleid door een commissie waarin alle belanghebbenden uit de keten zijn vertegenwoordigd:

- de tuinbouwsector (Productschap Tuinbouw, LTO Nederland en LTO Groeiservice);
- de Provincie Zuid-Holland;
- de Gemeente Westland;
- Priva Hortimation
- het Hoogheemraadschap van Delfland.

Wanneer het haalbaarheidsonderzoek positief wordt afgerond: dwz. dat Elektro-Ontzouting een technisch/economisch interessant alternatief is, zal een demonstratietraject worden gestart.

Samenvatting

Beperking van lozingen in de glastuinbouw is voor meerdere partijen in de waterketen interessant:

- de tuinder heeft belang bij beperking van het gietwatergebruik, de meststoffen en de lozingskosten
- de Provincie heeft belang bij beperking van gebruik van zoete grondwaterbronnen
- de waterkwaliteitsbeheerder heeft belang bij beperking van de te lozen zoutvracht, gewasbeschermingsmiddelen en meststoffen
- de gemeenten hebben belang bij beperking van de noodzaak tot rioleren en beperking van de aanleg en/of uitbreiding van riolering in het buitengebied
- toeleveranciers van kennis en apparatuur hebben belang bij kennisontwikkeling en afzet van apparatuur om een bijdrage te leveren aan een verbeterd waterhergebruik

Vanwege de veelal gezamenlijke belangen is dit project met de veelheid van partijen gerealiseerd. De financiers zijn dan ook afkomstig uit alle bovenstaande geledingen, te weten:

- het productschap tuinbouw
- de Provincie Zuid Holland
- het hoogheemraadschap Delfland
- de Gemeente Westland
- Priva Hortimation

Het project is tot stand gekomen met de ontwikkeling van een nieuwe ontzoutingstechniek: "elektro-ontzouting", als drijvende kracht. Deze techniek lijkt op basis van de ervaringen en literatuur voor toepassing in de glastuinbouw grote potentie te hebben. Uitvoering van het project ligt in handen van:

- Aqua Terra Nova; Water en Milieu, adviesbureau voor de tuinbouw;
- Priva Hortimation, toeleverancier van apparatuur en kennis in de agro-sector
- Kiwa Water Research NV, onderzoeksinstituut op het gebied van water en milieu.

Doelstelling is om een beeld te vormen van de integrale haalbaarheid van waterhergebruik in de glastuinbouw door toepassen van elektro-ontzouting.

Allereerst is experimenteel vastgesteld welke ontwerpgrondslagen gekozen moeten worden voor de ontzouting van enkele representatieve watertypen uit de glastuinbouw. Dit is gerealiseerd op basis van uitgebreide laboratoriumexperimenten. Hieruit bleek dat elektro-ontzouting een zeer eenvoudige, goed reproduceerbare ontzoutingstechniek is, waarmee de ontzoutingsdoelstellingen kunnen worden bereikt.

De experimentele resultaten zijn vertaald naar een ontwerp, waarvoor, op basis van informatie van een leverancier, een kostencalculatie is gemaakt.

De kosten voor elektro-ontzouting zijn vergeleken met drie andere technieken: omgekeerde osmose, elektrolyse en ionenwisseling. Ondanks dat de nauwkeurigheid van de kostenberekening beperkt zijn, kan duidelijk worden geconcludeerd dat elektro-ontzouting, volgens de huidige stand der techniek nog niet economisch aantrekkelijk is ten opzichte van de andere technieken. Bovendien is het waterverlies erg hoog (50%). Er zijn een aantal positieve ontwikkelingen op het vlak van elektro-ontzouting gaande, zowel ten aanzien van kosten als de opbrengst. Deze ontwikkelingen worden op de voet gevolgd. Desondanks wordt de aandacht voorlopig verlegd naar het verkrijgen van een beeld van de haalbaarheid van verbeterd waterhergebruik in de glastuinbouw door toepassen van ontzouting met ook andere technieken dan elektro-ontzouting. Dit wordt gerealiseerd door een integrale studie uit te voeren naar zowel de kosten (toepassen van ontzouting) en de baten (lagere kosten gietwater, minder meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen, beperking lozingen) bij toepassing van waterhergebruik met verschillende technieken.

Inhoud

	Voorwoord	1
	Samenvatting	2
	Inhoud	4
1	Inleiding	6
1.1	Probleemstelling	6
1.2	Een zuiveringsstap ten behoeve van kringloopsluiting	6
1.3	Elektro-Ontzouting	7
1.4	Kosten en energieverbruik	8
1.5	Toepasbaarheid Elektro-Ontzouting in de glastuinbouw	9
1.5.1	Type teelt.	9
1.5.2	Teelt.	9
1.5.3	Terugverdientijd.	9
1.5.4	Type uitgangswater.	10
1.5.5	Resumé	10
1.6	Doel van het onderzoek	10
1.7	Onderzoeksvragen	10
2	Onderzoeksopzet	11
2.1	Laboratoriumexperimenten	11
2.1.1	Meetopstelling	11
2.1.2	Meetmethode	12
2.1.3	Meetprogramma	12
2.1.4	Analyseoverzicht	12
3	Resultaten	14
3.1	Conditie van de testunit (reproduceerbaarheid)	14
3.2	Schakelmoment	14
3.2.1	Productiecyclus	14
3.2.2	Regeneratiecyclus	15
3.3	Oplossing NaCl in Demiwater	17
3.3.1	Invloed flow	17
3.3.2	Vier cycli	18
3.3.3	Invloed temperatuur	19
3.3.4	Invloed concentratie voedingswater	20
3.4	Drinkwater	21
3.5	Drainagewater	22
3.6	Oppervlaktewater	25
3.7	Conditie testunit	27

4	Economische analyse	29
4.1	Vertaling minibrick naar praktijk	29
4.2	Kosten, afhankelijk van capaciteit	30
4.3	De Adelaar	34
5	Haalbaarheid	35
5.1	Kosten elektro-ontzouting	35
5.1.1	Aanbevelingen leverancier	35
5.1.2	Verbeteren opbrengst	35
5.2	Baten bij toepassen van elektro-ontzouting	35
6	Definitie vervolgactiviteiten	37
6.1	Ontwikkelingen elektro-ontzouting	37
6.2	Integrale vergelijking	37
6.3	Activiteiten	38
6.3.1	Berekeningen	38
6.3.2	Consequenties bij tuinders in brakke kwelgebieden	39
6.3.3	Mogelijkheden afvalstroom (brijn van de ontzoutingsinstallatie)	39
6.3.4	Is er markt voor behandeld drainagewater?	39
6.3.5	Vervolg	39

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Zowel vanuit milieu- als uit kosten oogpunt is minimalisatie van lozingen een doelstelling van de glastuinbouwsector. Minimalisatie of voorkomen van de lozing van een spuiroom kan plaats vinden door optimalisatie van het recirculatiesysteem. Hierdoor komen minder meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen in het milieu. Ook kosten voor riolering en afvalwaterzuivering kunnen hierdoor worden bespaard. Bovendien wordt bespaard op de productie van gietwater: minder gebruik van bronwater en geringere zuiveringsinstallaties t.b.v. de productie van gietwater.

Zowel landelijk als regionaal zijn er in het buitengebied nogal wat glastuinbouwbedrijven die niet, of alleen voor het huishoudelijk afvalwater, zijn aangesloten op de riolering. Deze dienen uiterlijk in 2004 op de riolering te worden aangesloten (Aanvullende beleidsnotitie voor de glastuinbouw in het kader van het rioleringsbeleid in het buitengebied van Zuid-Holland). In bijvoorbeeld het beheersgebied van het Hoogheemraadschap Delfland betreft dit circa 3.250 bedrijven in het buitengebied (Bron: beleidsnota Rioleringsbeleid, Hoogheemraadschap van Delfland, 30 november 2000). Deze bedrijven bestaan voornamelijk uit glastuinbouw. Door het ontbreken van riolering, vinden ongewenste lozingen van stoffen plaats op het oppervlaktewater. Aanleg of uitbreiding van riolering is in veel gevallen een zeer kostbare zaak. Preventie van lozingen is altijd te prefereren boven aansluiting of lozing op riolering of oppervlaktewater. Soms kan behandeling op locatie een goed alternatief zijn voor aansluiting op riolering.

De vuillast van de lozingen bestaat voornamelijk uit meststoffen en mogelijk gewasbeschermingsmiddelen. Deze stoffen kunnen nuttig worden hergebruikt in het glastuinbouwbedrijf. Dit hergebruik wordt echter meestal gelimiteerd door de natriumtolerantie van de teelt. Het meeste gietwater in het glastuinbouwbedrijf wordt door het gewas opgenomen of verdampt. NaCl wordt hierbij beperkt opgenomen, waardoor de concentratie natrium in het achterblijvende water stijgt. Wanneer dit water (drain-/drainagewater) wordt hergebruikt kan de concentratie natrium in het gietwater de natriumtolerantie van de teelt overschrijden, waardoor geloosd moet worden (spuiwater).

1.2 Een zuiveringsstap ten behoeve van kringloopsluiting

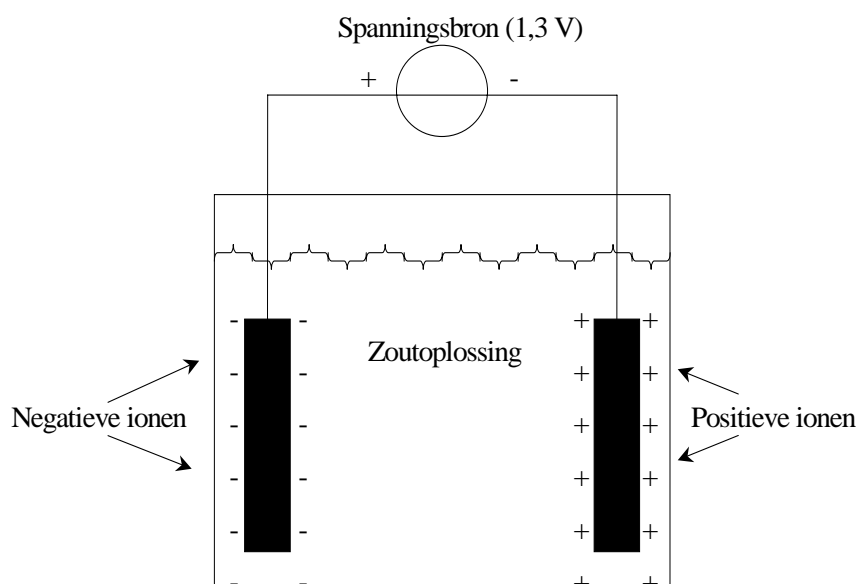
Bij optimalisatie van recirculatiesystemen in de glastuinbouw zullen zuiveringstappen nodig zijn wanneer, ten gevolge van de recirculatie, componenten dermate accumuleren dat er negatieve effecten op het gewas optreden. In de meeste situaties geldt dat natrium de eerste component is die in te hoge concentraties aanwezig wordt bij verhoging van de recirculatie.

Het accumuleren van natrium kan worden voorkomen als het te veel aan natrium verwijderd wordt uit het drain- en/of drainagewater. Voor het verwijderen van zouten, zoals natrium, zijn verschillende technieken beschikbaar. Zo kan gedacht worden aan omgekeerde osmose, ionenwisseling of indampen. Omgekeerde osmose vereist hoge investeringskosten. Daarnaast zijn chemicaliën noodzakelijk voor preventie van vervuiling (fouling) en/of reiniging van de membranen. Bij de toepassing van ionenwisseling vormt de benodigde hoeveelheid chemicaliën ten behoeve van regeneratie het grootste struikelblok. Bij indampen worden ook meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen verwijderd. Die komen vervolgens in een reststroom die moet worden afgevoerd en verwerkt, terwijl deze stoffen, wanneer ze niet worden verwijderd, nuttig kunnen worden (her)gebruikt in het teeltsysteem. Daarnaast kost indampen veel energie. Toepassing van ontzouting op drain- en/of drainagewater is in de afgelopen decennia (nog) geen serieuze optie gebleken.

Een nieuw alternatief wordt mogelijk gevormd door Elektro-Ontzouting. Hierbij worden in een doorstroomcel de ionen gebonden aan elektroden van "carbon aerogel" (zie § 1.3.2). Deze techniek is zeer eenvoudig van opzet en er zijn naar verwachting geen chemicaliën noodzakelijk. Een oriënterend labexperiment met praktijkwater heeft geresulteerd in positieve resultaten (zie projectvoorstel, hoofdstuk 3). Belangrijk onderdeel van het onderzoek zal de technische en economische haalbaarheid vormen.

1.3 Elektro-Ontzouting

Elektro-Ontzouting wordt uitgevoerd met behulp van een doorstroomcel met twee elektroden. Over de elektroden wordt een beperkte spanning gezet (van ca. 1,3 V). De elektroden bestaan uit carbon aerogel. Aanwezige ionen zullen onder invloed van het spanningverschil worden geïmmobiliseerd in de diffuse dubbellaag aan het oppervlak van de elektroden. Wanneer deze diffuse dubbellaag is verzadigd, worden de elektroden kortgesloten, waardoor de ionen in de oorspronkelijke vorm van de elektroden komen. De brijn die hierbij ontstaat dient te worden afgevoerd.



Figuur 1: Principeschets Elektro-Ontzouting

Carbon aerogel is een nieuw actief kool product. Dit product vertoont grote overeenkomsten met actieve koolvezels (zeer groot oppervlak door poreuze structuur). Grootste verschil is dat carbon aerogel door de gel als bindmiddel een goede geleider is. Hierdoor kan het als elektrode worden gebruikt met een goed over het oppervlak verdeeld potentiaalverschil. Het carbon aerogel product is reeds gepatenteerd in de vorm van "bricks". Deze bricks zijn kant en klare doorstroomcellen, waarin de procesomstandigheden reeds vergaand zijn geoptimaliseerd. Door deze bricks parallel te schakelen kan de hoeveelheid te behandelen water per tijdseenheid worden vergroot, terwijl schakeling in serie, het zuiveringsrendement vergroot. Elektro-ontzouting is hierdoor goed modulair op te bouwen. De techniek is geschikt te maken voor zowel zeer beperkte natriumverwijdering (substraatteelt met regenwater) als voor verdergaande natriumverwijdering (drainagewater met oppervlaktewater als bron). De bricks worden reeds op kleine schaal geproduceerd voor met name onderzoek op het vlak van drinkwaterproductie (pilot-schaal). De resultaten van dit onderzoek zijn veelbelovend.

1.4 Kosten en energieverbruik

Procesvoering met bricks vindt volledig geautomatiseerd plaats, waardoor verbruikskosten beperkt kunnen blijven tot onderhoud en energieverbruik. Voor de toepassing op brak water is op basis van de literatuur het energieverbruik vier keer kleiner dan dat van omgekeerde osmose (Bij een concentratie zouten van 400 mg/l ca. 0,27 kWh/m³) ('Purification of Brackish or Sea Water using Electronic Water Purification', Robert Atlas in Desalination & Water reuse Vol. 10/4). Tegenover deze lage verbruikskosten staan de relatief hoge investeringskosten. Deze investeringskosten dalen echter met de groei van de afzetmarkt. Voor de introductie van de bricks

waren de kosten van carbon aerogel €565,- per m². Naar verwachting zal dit na het op de markt brengen van de bricks dalen tot minder dan €35,- per m² (persbericht fabrikant). De huidige prijs van een brick bedraagt ca. €10.000,- (dit komt overeen met ca. €700,- per m²). Wanneer de marktintroductie van de bricks naar wens is verlopen, dalen de kosten naar verwachting tot beneden de € 1.000,- per brick. Op basis van de effectiviteit van de techniek kan met deze uitgangspunten een kostencalculatie worden uitgevoerd

1.5 Toepasbaarheid Elektro-Ontzouting in de glastuinbouw

Toepassing van Elektro-ontzouting in de glastuinbouw heeft naar verwachting interessante mogelijkheden. Deze mogelijkheden zijn afhankelijk van de volgende aspecten:

- Type teelt (substraat- of grondteelt)
- Teelt (het gewas)
- Terugverdiëntijd
- Type uitgangswater

1.5.1 *Type teelt.*

Bij substraatteelt is een grote mate van controle over de gietwaterkwaliteit mogelijk. Het gebruikte water wordt gecontroleerd opgevangen en kan optimaal worden hergebruikt.

Bij grondteelt kan via een drainagesysteem het water worden opgevangen ten behoeve van hergebruik. Het water zal echter ten dele gemengd zijn met kwel- of inzijgingswater, waardoor de hergebruikmogelijkheden op het eerste gezicht zullen afnemen. Het biedt echter ook een kans om het kwel- en inzijgingswater als extra waterbron toe te passen.

1.5.2 *Teelt.*

De toepasbaarheid van Elektro-ontzouting is nadrukkelijk afhankelijk van de teelt. Voor de meeste teelten is natrium de beperkende factor voor recirculatie. Ieder gewas heeft zijn eigen natriumtolerantie. Daarbij is de opname van natrium door het gewas en de introductie van natrium via het gietwater bepalend voor de mate waarin natrium accumuleert en daarmee de beperkende factor voor recirculatie. Bovendien moet rekening gehouden worden met andere aspecten die de recirculatiemogelijkheden kunnen beperken, zoals het uitscheiden van wortel-exudaten, zoals in de rozenteelt.

1.5.3 *Terugverdiëntijd.*

Naast de technische aspecten is de toepasbaarheid van Elektro-ontzouting afhankelijk van de terugverdiëntijd. Deze terugverdiëntijd is naast de investeringskosten en de kosten voor de bedrijfsvoering afhankelijk van de reductie van onder meer de volgende kosten:

- Eventuele aanleg/ uitbreiding van riolering;
- Gebruik gewasbeschermingsmiddelen en meststoffen;
- Regenwateropslag;
- Gebruik van drinkwater of andere waterbronnen;
- Zuiveringsheffing.

1.5.4 *Type uitgangswater.*

Regenwater bevat zeer lage natriumconcentraties zodat daarbij de beste recirculatiemogelijkheden worden verwacht. De noodzaak voor natriumverwijdering wordt groter naarmate het uitgangswater meer natrium bevat. Bij gebruik van oppervlaktewater moet rekening gehouden worden met de variatie van natrium in de bron. Bij grondteelt kan het natrium in het te behandelen drainagewater vanwege het kwel- of inzijgingswater zijn toegenomen, zodat vanwege het aandeel kwel- of inzijgingswater een grotere natriumverwijderingsinstallatie nodig zal zijn.

1.5.5 *Resumé*

Daar, waar op basis van voorgestelde studie, toepassing van Elektro-ontzouting zowel technisch als bedrijfseconomisch haalbaar blijkt, kan deze techniek een belangrijke rol spelen bij het sluiten van de waterkringloop op het bedrijf.

1.6 Doel van het onderzoek

In dit project is onderzoek verricht naar de toepasbaarheid van Elektro-ontzouting in de glastuinbouw. Het doel van dit project kan als volgt worden gedefinieerd:

Het in kaart brengen van de technische en bedrijfseconomische toepasbaarheid van Elektro-ontzouting voor het ontzouten van drain-/ drainagewater in de glastuinbouw ter voorkoming van lozingen als gevolg van het overschrijden van de natriumtolerantie.

Voor het realiseren van de doelstelling wordt specifiek onderzoek gedaan naar de effectiviteit van de techniek, eventuele vervuiling van de elektroden, de bedrijfseconomische haalbaarheid en de toepassingsgebieden binnen specifiek de grond- en substraatteelt.

1.7 Onderzoeksvragen

Om een betrouwbaar beeld te krijgen van de betekenis van het proces voor de glastuinbouw worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

- welke ontwerpgrondslagen dienen te worden gehanteerd
 - a. ontwerpgrondslagen op basis van een haalbaarheidsexperiment
 - b. stabiliteit van het proces
- Wat zijn de economische consequenties van het inpassen van deze techniek
- Welke consequenties heeft hergebruik volgens dit concept voor de teelt
- Wat is de duurzaamheid van het concept.

Dit wordt gerealiseerd door eerst een kort haalbaarheidsexperiment uit te voeren, waarin de grove ontwerpgrondslagen worden vastgesteld.

Na deze haalbaarheidsfase kan gekozen worden voor een duurproef

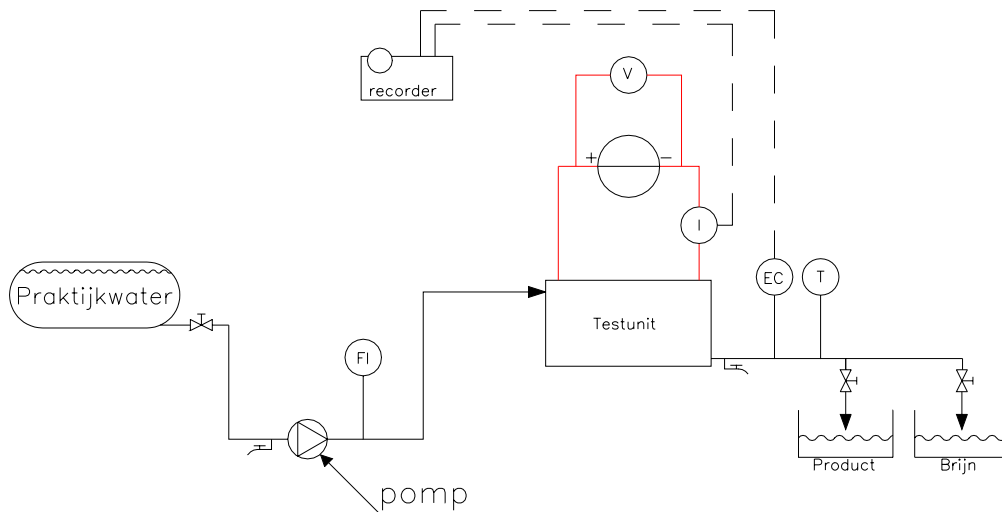
2 Onderzoeksopzet

2.1 Laboratoriumexperimenten

De experimenten die zijn uitgevoerd in de proefhal van Kiwa te Nieuwegein zijn uitgevoerd voor het bepalen van de ontwerpgrondslagen. In deze fase is getracht duidelijkheid te verschaffen omtrent de invloed van verschillende procesparameters, zoals volumestroom en temperatuur, op de prestaties van de testunit.

2.1.1 Meetopstelling

Een aanvoerslang is via een slangenpompje (50 tot 100 ml/min) en een debietmeter (tot 100 ml/min) bevestigd aan de invoer van de testunit. Het product wordt via een kolf (6 liter) met aftapkraan afgevoerd. De elektroden van de testunit zijn aangesloten op een spanningsbron (1,3V DC, tot 10 A). Tijdens productie en regeneratie wordt voortdurend de volumestroom, geleidbaarheid (EC) en temperatuur van het product en de elektrische stroom naar de testunit gemeten en geregistreerd. In figuur 2 wordt de meetopstelling schematisch weergegeven.



Figuur 2: Schematische voorstelling meetopstelling bij de laboratoriumexperimenten.

Bij het experiment bij verlaagde temperatuur is de voeding van de testunit door een koelspiraal in een thermostaatbad geleid.

2.1.2 Meetmethode

Voorafgaand aan ieder experiment is de unit gespoeld (zonder aangelegde spanning) met het water voor het betreffende experiment tot dat de geleidbaarheid (EC) van het effluent gelijk is aan de EC van de voeding. Hiermee is bereikt dat het te behandelen water in evenwicht is met de carbon aerogel. Uitgangspunt is dat andere verwijderingsmechanismen dan elektroontzouting hiermee worden geminimaliseerd. Nadat het debiet is ingesteld, wordt de productiecyclus gestart door een elektrische spanning van 1,3V op de elektroden van de testunit te zetten. De regeneratiecyclus wordt gestart door de elektroden kort te sluiten. Tijdens de regeneratiecyclus, komen de geladen deeltjes los van de elektroden en wordt de brijn uit de testunit gespoeld. Bij de experimenten waar demiwater als voeding is gebruikt, werd het product en de brijn na iedere volledige cyclus weer gemengd en hergebruikt.

Bij de experimenten met ander water (drinkwater, drainagewater, oppervlaktewater) is telkens nieuwe voeding gebruikt om zeker te stellen dat de voedingsamenstelling constant blijft tijdens de experimenten. Na regeneratie is tijdens de volgende productiecyclus de spanning omgekeerd ten opzichte van de voorgaande cyclus. Dit om blijvende vervuiling van de elektroden te voorkomen.

2.1.3 Meetprogramma

Voor, tussen en na de experimenten is steeds de conditie van de testunit bepaald met een gestandaardiseerde cyclus (oplossing van NaCl (1,3 g/l en 1,6 mS/cm_{20°C}) in demiwater bij een flow van 6 l/h en een temperatuur van 20°C). In tabel 1 staat een overzicht van de uitgevoerde laboratoriumexperimenten.

Tabel 1 Overzicht van uitgevoerde laboratoriumexperimenten

Watertype	Flow (l/h)	Temperatuur (°C)	Toelichting
Drinkwater	5,9	20°C	Proefdraaien
Demiwater	3, 5, 6 en 7	20°C	Invloed flow
Demiwater	7	20°C	4 cycli
Demiwater	6	10°C	Invloed temperatuur
Drainagewater	6	20°C	4 cycli
Oppervlaktewater	6	20°C	4 cycli

2.1.4 Analyseoverzicht

Een overzicht van de analyses die zijn uitgevoerd in deze fase van het onderzoek wordt weergegeven in tabel 2.

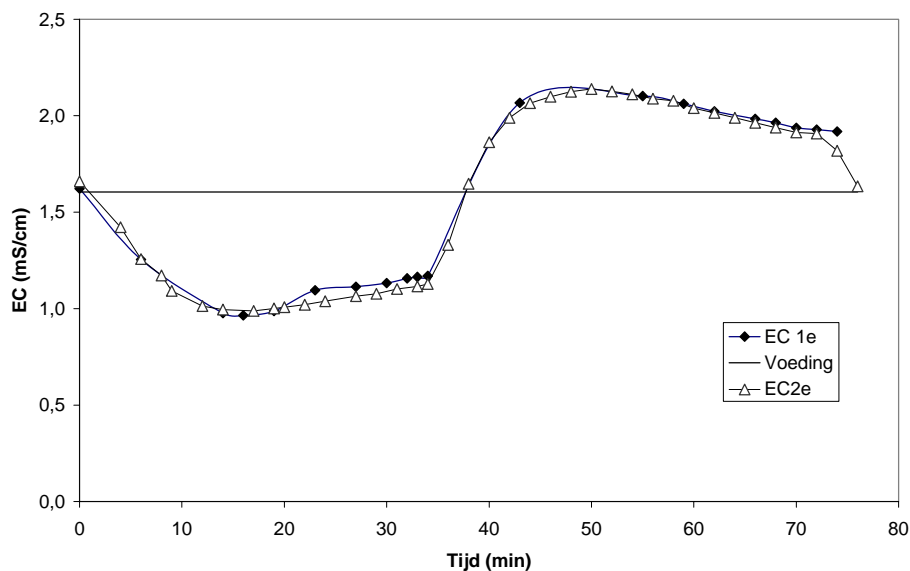
Tabel 2 Analyseoverzicht laboratoriumexperimenten

Analyse	Voeding	Product	Brijn	Opmerkingen
Ionenbalans (inclusief sporenelementen)	Duplo	2	2	
GBM (gerichte analyse, afhankelijk van teelt of GC-MS screening)	Duplo	2		
N(tot) & P(tot)	Duplo	2		
DOC	Duplo	2		
ATP, KG22 en KG37	2			Voor en na desinfectie
GBM (gerichte analyse of screening GC-MS)			2	
N(tot) & P(tot)			2	
CZV, BZV en Nkj	Duplo		2	

3 Resultaten

3.1 Conditie van de testunit (reproduceerbaarheid)

Toestandsveranderingen van de testunit door irreversibele vervuiling of slijtage van het elektrodemateriaal worden vastgesteld door voor en na series van experimenten de verwijdering te bepalen met een NaCl-oplossing in demiwater (1,3 g/l) onder gestandaardiseerde omstandigheden (5,8 l/h en 20°C): een referentiemeting. De eerste meting is in duplo uitgevoerd om de reproduceerbaarheid vast te stellen. De meetresultaten van dit experiment worden weergegeven in figuur 3.



Figuur 3: Referentiemeting onder gestandaardiseerde omstandigheden. In de grafiek is de actuele geleidbaarheid van het effluent van de testunit uitgezet tegen de tijd.

In de productiefasen van de duplo werd respectievelijk 27 en 28% zout verwijderd (op basis van EC). De snelheid van verwijdering was respectievelijk 2,5 en 2,6 mS/cm *l/h. Vastgesteld kan worden dat het experiment goed reproduceerbaar is.

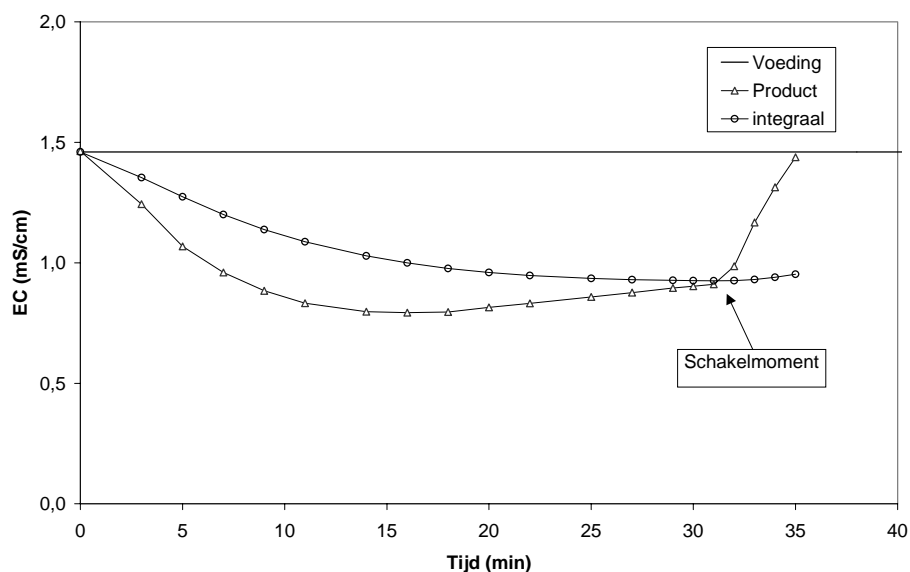
3.2 Schakelmoment

Procescycli worden afgesloten door het kortsluiten van de elektroden. Regeneratiecycli worden afgesloten door weer een spanning van 1,3 V op de elektroden te zetten. De keuze van het schakelmoment kan grote invloed hebben op de effectiviteit van de ontzouting.

3.2.1 Productiecyclus

Aan het eind van iedere procescyclus worden de elektroden kortgesloten, waardoor de ionen los komen uit de diffuse dubbellaag en het brijn dat

daarbij ontstaat kan worden afgevoerd (regeneratie). De leverancier heeft geadviseerd de elektroden kort te sluiten wanneer de brick bijna verzadigd is (op 20% van maximale ontzouting). Wij hebben echter gekozen voor schakelen op het moment dat het product minder van kwaliteit is dan het verzamelde product van de betreffende procescyclus. Vanaf dat moment zou langer doorproduceren de mate van ontzouting nadelig beïnvloeden. Om dit te illustreren is in figuur 4 de geleidbaarheid van het product en van het verzamelde product tijdens een typische productiecyclus weergegeven .

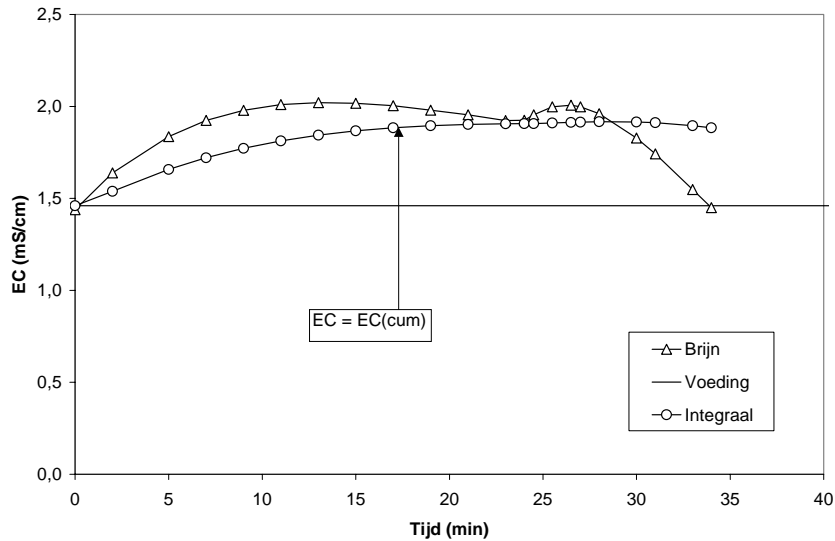


Figuur 4: De geleidbaarheid van het product en van het verzamelde product tijdens een typische productiecyclus, waarbij de elektroden worden kortgesloten op het moment dat het product zouter wordt dan het verzamelde product na start van de productiecyclus.

Wanneer voor een later schakelmoment zou worden gekozen, zal het product steeds zouter worden, waardoor het verwijderingrendement zal afnemen. Derhalve kiezen wij voor het schakelen op het moment dat de EC van het verzamelde product (integraal) haar optimum heeft bereikt. Zowel de procentuele verwijdering als de snelheid van verwijdering is bij deze schakelmethode hoger dan bij schakelen bij 20% van de maximale ontzouting.

3.2.2 Regeneratiecyclus

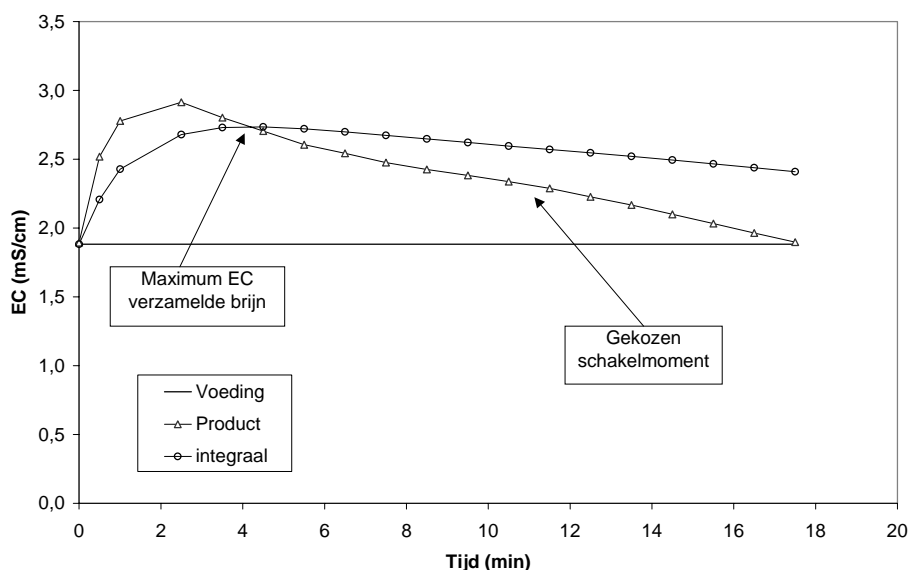
Omdat het verloop van de geleidbaarheid tijdens een regeneratiecyclus met constante volumestroom vergelijkbaar is met het verloop tijdens een productiecyclus, is bij de labexperimenten gekozen voor de zelfde schakelstrategie. In figuur 5 is de geleidbaarheid van het product en van de verzamelde brijn tijdens een typische regeneratiecyclus weergegeven.



Figuur 5: De geleidbaarheid van de brijn en van de verzamelde brijn (integraal) tijdens een typische regeneratiecyclus, waarbij de elektroden weer onder spanning worden gezet op het moment dat de brijn minder zout wordt dan de verzamelde brijn vanaf de start van de regeneratiecyclus.

Bij regeneratie is het opvallend dat na het schakelmoment extra ionen loskomen uit de diffuse dubbellaag ('bult' bij 26 minuten). Dit wordt veroorzaakt doordat na de regeneratie de brick in productie wordt genomen door het inschakelen van de spanning bij een omgekeerde polariteit ten opzichte van de voorgaande productiecyclus. Hierbij worden geladen deeltjes, die op het oppervlak van de elektroden zijn blijven zitten, afgestoten. De regeneratie is bij deze schakelstrategie (max. EC-integraal) niet volledig.

Bij de verschillende experimenten is ook de elektrische stroom gemeten. Hierbij is waargenomen dat na iedere productiecyclus, gedurende de gehele regeneratiecyclus een stroom terug uit de elektroden loopt. Deze stroom loopt onder invloed van een restspanning die langzaam uit de elektroden loopt. Deze restspanning werkt mogelijk remmend op het loskomen van de ionen uit de diffuse dubbellaag. In figuur 6 wordt het EC verloop weergegeven tijdens een regeneratie die wordt voorafgegaan door een periode waarin de flow is gestopt en de restspanning uit de elektroden heeft kunnen stromen.



Figuur 6: De geleidbaarheid van de brijn en van de verzamelde brijn tijdens een regeneratiecyclus, die is voorafgegaan door een periode waarin de productie is gestopt en de restspanning uit de elektroden heeft kunnen stromen.

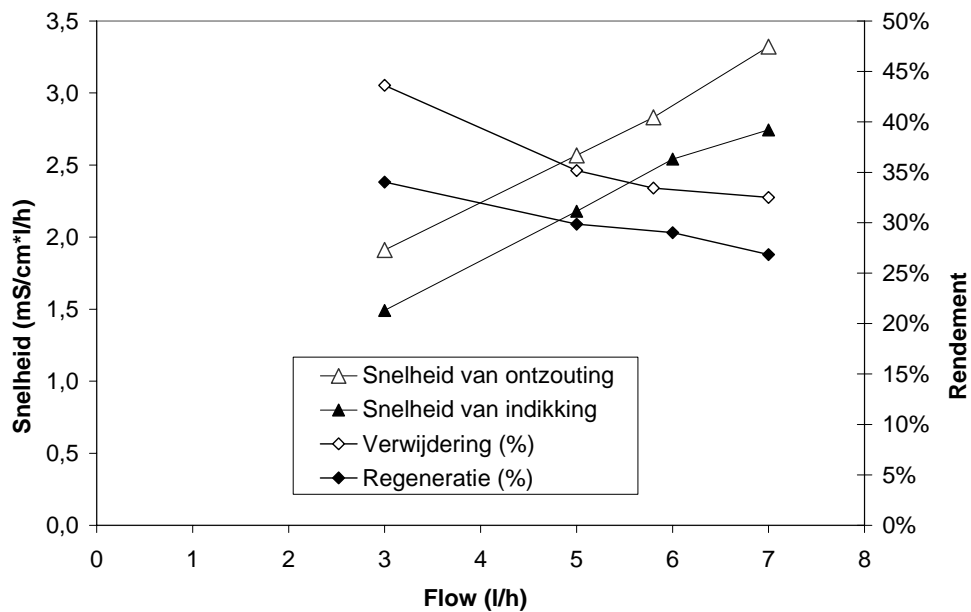
Na de periode van stilstand stroomt de brijn met een relatief hoog zoutgehalte (EC) uit de testunit. Het schakelmoment waarvoor is gekozen (bij het maximum van de geleidbaarheid van de verzamelde brijn) wordt hierdoor bereikt na circa een half bedvolume. Wanneer op dit moment zou worden geschakeld, blijft een te groot aantal ionen achter in de testunit tijdens de productiecyclus. Op het moment dat geschakeld is heeft dit niet geresulteerd in een snelle daling van de geleidbaarheid. Geconcludeerd kan worden dat de stilstand, voorafgaand aan de regeneratie, de indikking kan bevorderen, maar dat bij deze werkwijze een ander schakelmoment moet worden gekozen.

3.3 Oplossing NaCl in Demiwater

In praktijkwater kunnen allerlei storende componenten aanwezig zijn, die potentieel een blijvende vervuiling van de carbon aerogel tot gevolg kunnen hebben. Een voorbeeld daarvan is Natuurlijk Organisch Materiaal (NOM), zoals humuszuren. Voor het vaststellen van de afhankelijkheid van debiet en temperatuur is het van belang de meetresultaten te kunnen interpreteren zonder invloed van geleidelijke achteruitgang van de testunit. Garantie hierop is verkregen door de experimenten waarin de diverse verbanden worden onderzocht met een oplossing van NaCl in demiwater uit te voeren.

3.3.1 Invloed flow

De resultaten van de experimenten waarin de volumestroom is gevarieerd, worden weergegeven in figuur 7.



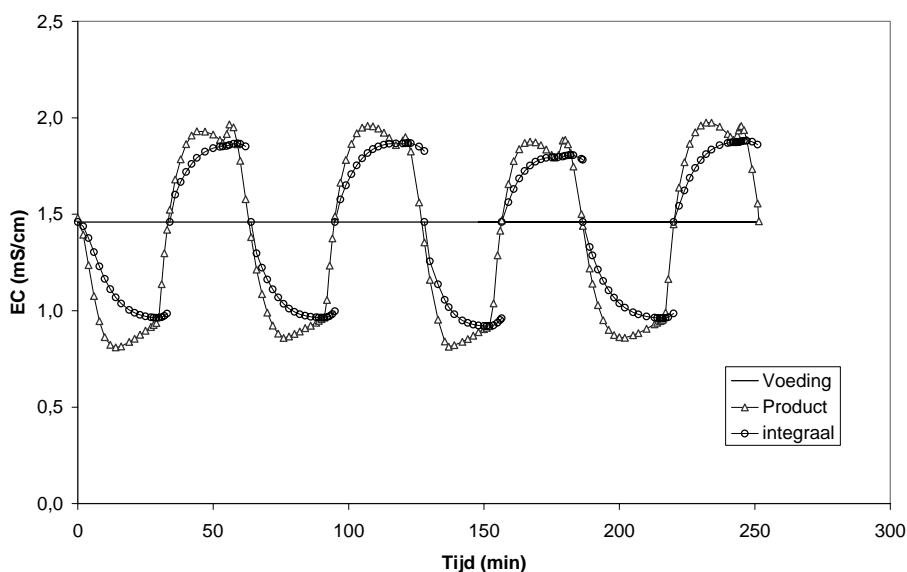
Figuur 7: Relatie tussen debiet (flow), snelheid van ontzouting en procentuele ontzouting tijdens productie en regeneratie.

Uit figuur 5 wordt duidelijk dat de ontzoutingsnelheid toeneemt met de volumestroom. Het optimum zal, zowel voor productie als regeneratie boven de 7 l/h liggen. Deze snelheden worden door de leverancier echter voor de testunit afgeraden in verband met hydraulische beperkingen van deze unit.

De hoeveelheid ionen die tijdens de productiefase worden vastgelegd is groter is dan de hoeveelheid ionen die tijdens regeneratie vrij komen. Na regeneratie met het gekozen schakelregime (zie §3.2) blijft 5 a 10% van de ionen uit de diffuse dubbellaag achter in de testunit. Wanneer meer cycli achter elkaar wordt doorgedraaid zal de hoeveelheid ionen die tijdens de productiefase worden vastgelegd gelijk zijn aan de hoeveelheid ionen die tijdens regeneratie vrij komen (aangenomen dat er geen accumulatie van ionen plaats vindt). Ook de snelheden zijn verschillend. Dit wordt veroorzaakt door een verschil in mechanismen. Tijdens productie vindt transport van ionen plaats onder invloed van een spanningsveld, terwijl tijdens regeneratie het ionentransport plaatsvindt onder invloed van een concentratieverschil (diffusie).

3.3.2 Vier cycli

Als blanco voor de experimenten met praktijkwater is met een oplossing van NaCl in demiwater (1,3 g/l) een proef gedaan met 4 cycli achter elkaar. De resultaten zijn weergegeven in figuur 8.



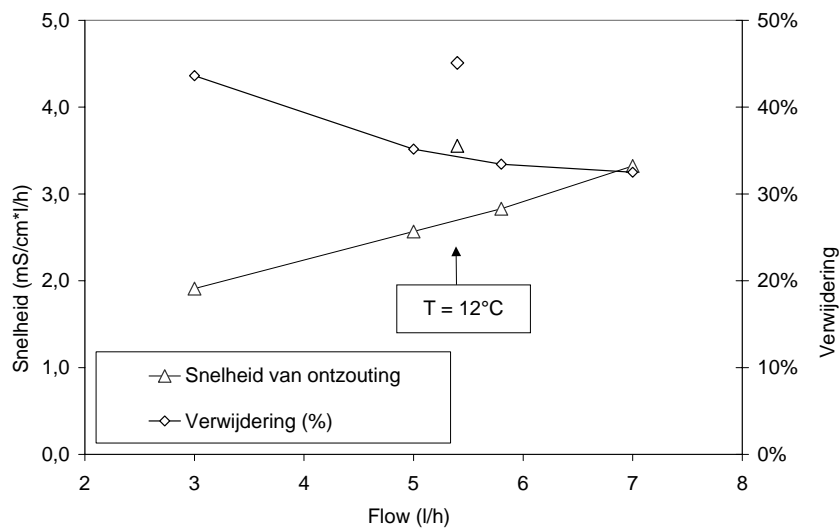
Figuur 8: Vier complete cycli met een oplossing van NaCl in demiwater bij een debiet van 7 l/h en een temperatuur van 20°C. Zowel de actuele EC als de integraal (waar het schakelmoment op wordt gebaseerd) zijn in deze figuur weergegeven.

De prestaties van de testunit zijn tijdens de 4 cycli constant gebleven. De lijn die 'integraal' wordt genoemd geeft de concentratie van het verzamelde product van de betreffende cyclus aan. Deze berekende waarde wordt gebruikt voor het bepalen van het schakelmoment (zie figuur 4).

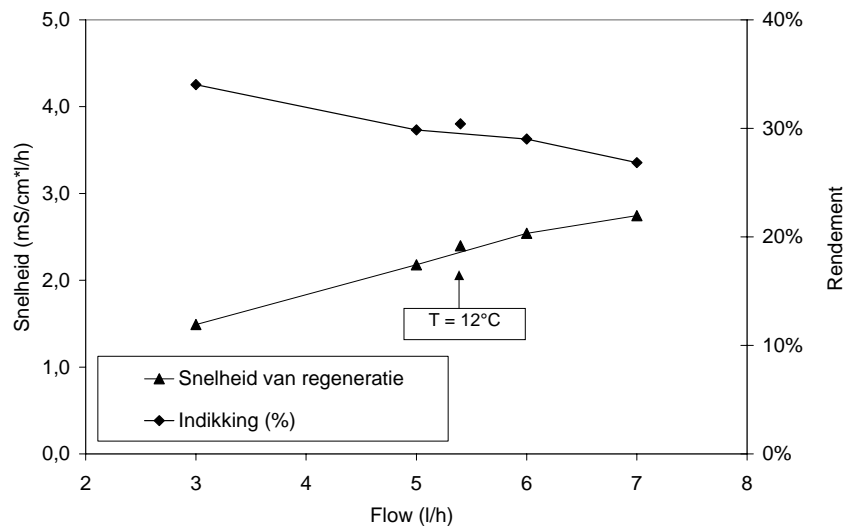
Tijdens het experiment is ook de stroom geregistreerd. Op basis van deze registratie is het verbruik van de 2^e t/m 4^e cyclus uitgerekend (de eerste cyclus is minder representatief door de verschillende uitgangssituatie). Gemiddeld betreft dit 2,22 Wh per cyclus ($\pm 0,1$ Wh (Sdev)). Een cyclus duurt gemiddeld een uur, waarvan een half uur wordt geproduceerd. Bij de toegepaste 7 l/h betreft het dus 3,5 liter productie per cyclus en een wateropbrengst van 50%, waarvan 25% EC is verwijderd (0,7 g NaCl per cyclus). Het energieverbruik ten gevolge van de ontzouting betreft daarmee bij dit experiment ca. 0,185 kWh/mol. Daarnaast zal ook pompenergie worden verbruikt. Een groot deel van de stroom loopt na uitschakelen van de spanningsbron terug uit de elektroden. Bij de leverancier wordt onderzoek verricht naar het benutten van deze stroom voor reductie van het netto verbruik. De flow tijdens regeneratie is een punt van onderzoek. Getracht wordt deze te minimaliseren, opdat een zo groot mogelijke wateropbrengst kan worden gerealiseerd.

3.3.3 Invloed temperatuur

Om vast te stellen of de temperatuur invloed heeft op de verwijdering c.q. regeneratie is een experiment bij verlaagde temperatuur (ca. 12°C) uitgevoerd. De resultaten van deze metingen worden in de figuren 9 en 10 vergeleken met metingen bij 20°C.



Figuur 9: Effect van de temperatuur op de ontzouting (zoutvracht) en ontzoutingspercentage, afhankelijk van het debiet.



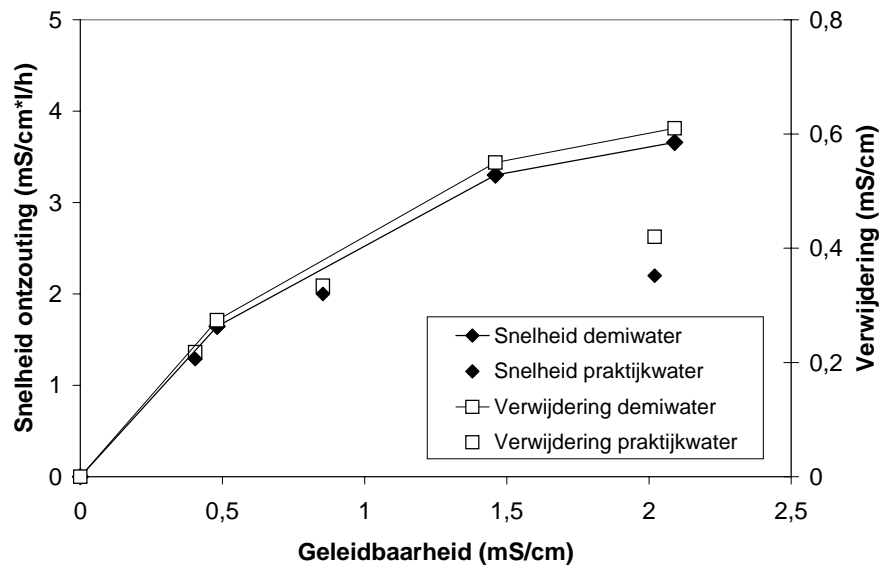
Figuur 10: Effect van de temperatuur op de regeneratie (zoutvracht) en het regeneratierendement, afhankelijk van het debiet.

Bij de lagere temperatuur is zowel het verwijderingspercentage als de verwijderingssnelheid toegenomen met ca. 28%. De helft van deze toename is te verklaren door het toenemen van de prestaties van de testunit in de tijd (zie figuur 12). De resterende toename van ca. 14% kan mogelijk worden verklaard door een stabielere diffuse dubbellaag, waardoor 'terugdiffusie' vanuit de dubbellaag wordt gereduceerd. De lagere temperatuur heeft geen significante invloed op de regeneratie.

3.3.4 Invloed concentratie voedingswater

Voor een bepaling van de invloed van de voedingsconcentratie op de verwijdering zijn experimenten uitgevoerd met verschillende concentraties

NaCl. Bij deze experimenten is een temperatuur van 20°C en een flow van 6 liter per uur toegepast. De resultaten zijn weergegeven in figuur 11.

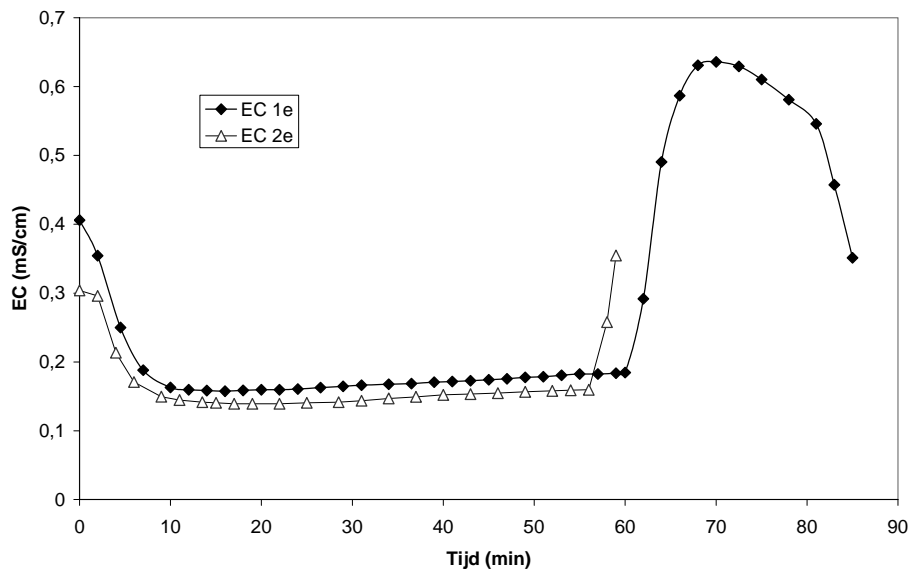


Figuur 11: de snelheid van ontzouting bij verschillende voedingsconcentraties bij 20°C en 6 l/h.

De snelheid van ontzouting en het verwijderingrendement nemen toe met de concentratie. Bij hogere concentraties wordt dit effect minder. De zoutverwijdering gaat met NaCl in demiwater beter dan met praktijkwater (oplopend in geleidbaarheid: drinkwater, oppervlaktewater en drainagewater). Dit verschil wordt groter bij oplopende geleidbaarheid.

3.4 Drinkwater

De experimenten met drinkwater hebben plaatsgevonden na een referentiemeting met demiwater. Bij de regeneratie na de eerste procescyclus lijkt slechts een klein deel (ca. 30%) van het zout los te komen uit de diffuse dubbellaag.



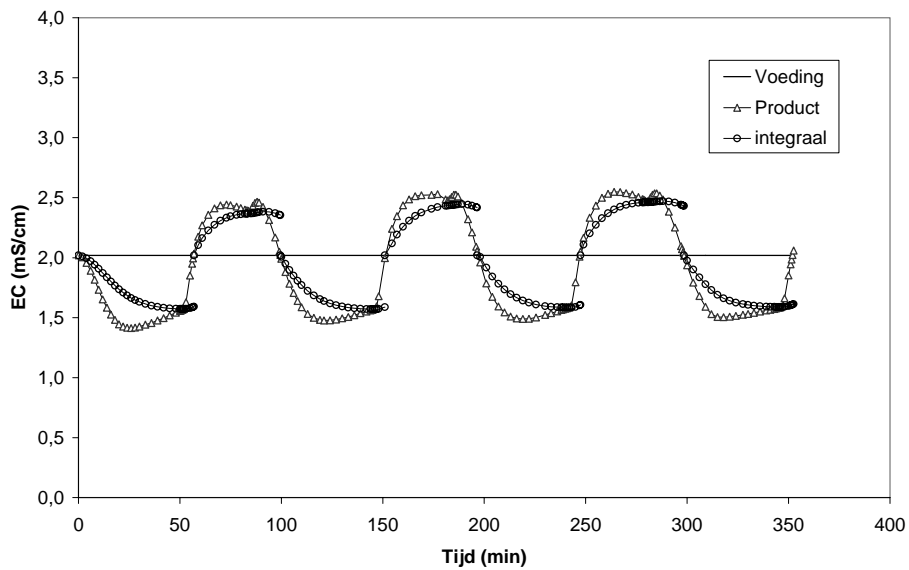
Figuur 12: Eerste en tweede procescyclus met Nieuwegeins drinkwater.

De EC van het voedingswater, dat bestaat uit gerecirculeerd brijn en product, is na regeneratie gedaald met ca. 25%. Geconcludeerd kan worden dat een deel van de belading niet is losgekomen van de elektroden. Naar verwachting betreffen het organische deeltjes zoals humuszuren die tijdens productie zijn geadsorbeerd. Uit figuur 12 wordt duidelijk dat de testunit bij een tweede procescyclus significant minder presteert. In de twee procescycli werd respectievelijk 54 en 47% EC verwijderd, een daling van 7%. De snelheid van verwijdering was respectievelijk 1,29 en 0,85 mS/cm*1/h (een daling van 34%). Na spoelen met demiwater presteert de testunit weer goed vergeleken met de referentiemeting (zie figuur 15). De daling van de prestaties na de eerste procescyclus met drinkwater kan zijn veroorzaakt door vervuiling van het elektrodemateriaal dat tijdens spoelen met demiwater is uitgespoeld. Een andere mogelijke oorzaak is de veranderde samenstelling van het voedingswater na de eerste cyclus.

De procentuele verwijdering van EC bij drinkwater is groter dan bij een oplossing van NaCl in demiwater (54% vs 33 %). De snelheid van verwijdering is kleiner (1,3 vs 2,8 EC*1/h). Deze verschillen worden naar verwachting veroorzaakt door het verschil in het totaal aantal geladen deeltjes in het water (zie figuur 11). De EC van het drinkwater en het demiwater was respectievelijk 0,40 mS/cm en 1,46 mS/cm.

3.5 Drainagewater

Op basis van de resultaten met drinkwater is voor de praktijkwatertypen besloten experimenten uit te voeren met meerdere cycli. Het verloop van de EC tijdens het experiment met drainagewater wordt weergegeven in figuur 13.



Figuur 13: Het EC verloop tijdens vier cycli met drainagewater bij een flow van 6 l/h en een temperatuur van 20°C.

Het drainagewater, dat afkomstig is van een Santiniteler, wordt gekenmerkt door een relatief hoge EC. Opmerkelijk is dat de cycli zeer constant verlopen. De verwijdering is gemiddeld 20,8% (Sdev = 0,5%), wat overeenkomt met 0,421 (mS/cm). De snelheid van ontzouting bedraagt 2,5 (mS/cm * l/min). De analyseresultaten van dit experiment zijn in tabel 3 opgenomen.

Tabel 3 Analyseresultaten laboratoriumexperimenten drainagewater bij 50% recovery

	4 augustus: drainagewater				recovery 50%	
	mg/l				balans per component (adsorptie)	
	voeding	voeding	produkt	brijn	meq/l	%
Ammonium (mg/l N)	0,242	0,252	0,123	0,287	2,3E-03	17
Calcium (mg/l)	261	261	206	297	4,8E-01	4
Chloride (mg/l)	94,2	94	83,8	114	1,4E-01	-5
Kalium (mg/l)	169	169	113	206	2,4E-01	6
Magnesium (mg/l)	43,1	43,1	37,3	48,5	1,7E-02	0
Natrium (mg/l)	71	70,7	54,1	87,6	0,0E+00	0
Nitraat (mg/l N)	5,18	5,51	7,09	4,4	6,5E-03	-7
Nitriet (mg/l N)	0,097	0,095	0,097	0,204	1,2E-03	-57
Ortho-fosfaat (mg/l P)	5,85	6,18	3,63	6,72	-2,7E-02	14
Sulfaat (mg/l SO ₄)	271	275	240	319	1,4E-01	-2
Waterstofcarbonaat (mg/l)	424	424	384	474	8,2E-02	-1
Boor (mg/l)	0,43	0,42	0,28	0,33	-1,1E-02	28
Fluoride (mg/l)	0,282	0,285	0,258	0,305	-1,1E-04	1
Ijzer (mg/l)	0,133	0,133	0,044	0,047	4,7E-03	66
Koper (ug/l)	37,6	37,7	10,7	13,4	8,1E-01	68
Mangaan (mg/l)	0,185	0,185	0,095	0,182	1,7E-03	25
Molybdeen (ug/l)	35,9	33,2	28,1	43,8	-2,9E-02	-4
Zink (ug/l)	62,6	59,3	113	104	-1,5E+00	-78

componenten zonder lading	voeding	voeding	produkt	brijn	mg/l	% adsorptie
Silicaat (mg/l Si)	13	14,6	10,7	12,4	2,25	16
N-Kj (mg/l N)	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0
P-tot (mg/l P)	5,31	5,23	3,38	5,81	0,68	13
DOC (mg/l C)	11,1	11,1	5,27	5,54	5,695	51

GC/MS screening	groter dan 0,1 ug/l				ug/l	%adsorptie
	voeding	voeding	produkt	brijn		
2-hydroxyfenyl-2-(4-hydroxyfenyl)-trifenyfosfaat	0,17	0,05	0,05	0,05	0,06	55
isooctyl-difeny fosfaat (octicizer)	0,05	0,05	0,12	0,05	-0,035	-70
atrazine	0,33	0,05	0,05	0,05	0,14	74
primicarb	0,11	0,05	0,05	0,12	-0,005	-6
onbekende verbindingen	0,3	0,3	0,5	0,3	-0,1	-33

0,05 = < 0,1 (onder significantiegrens)

Uit de analyseresultaten wordt afgeleid dat een aantal componenten in module achterblijft, waaronder:

- Ijzer
- Koper
- Mangaan
- DOC

Verwacht wordt dat een deel van deze componenten als deeltjes in het water aanwezig zijn en vervolgens in de module worden afgevangen (ijzer, mangaan). DOC zal waarschijnlijk aan de carbon aerogel adsorberen.

Er zijn ook componenten die vrij lijken te komen uit de module, zoals:

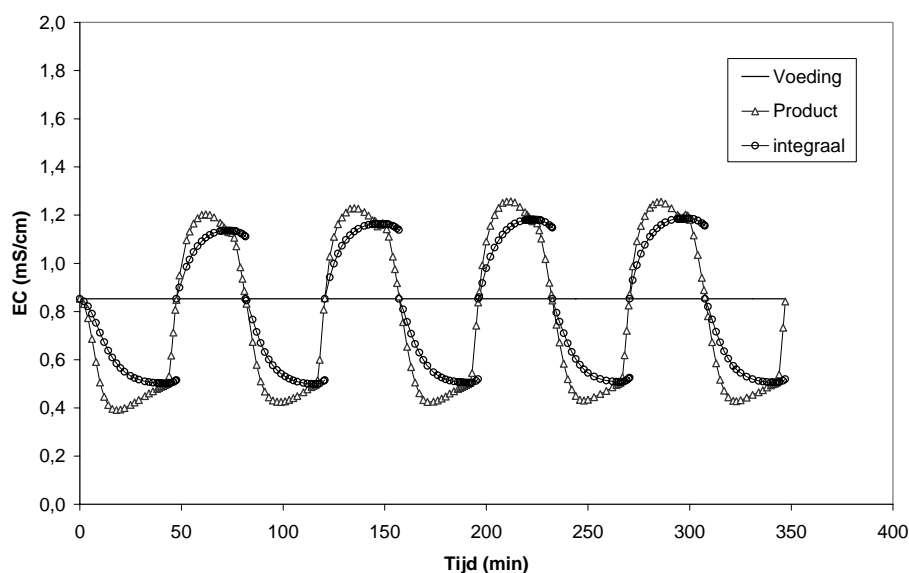
- nitriet
- zink
- trifenyfosfaat

- isooctyldifenyfosfaat
- enkele onbekende organische verbindingen

Het zou kunnen zijn dat in de module oxidatie van ammonium plaatsvindt tot nitriet. Het verdient de aanbeveling om de mate waarin dat gebeurt nader te onderzoeken. Het vrijkomen van zink en organische micro's kan veroorzaakt kunnen zijn door uitloging van deze componenten uit de aerogel of het voor de constructie gebruikte PVC of lijm.

3.6 Oppervlaktewater

Het oppervlaktewater betreft boezemwater uit het Westland. Dit water is in een droge en warme periode ingenomen. Het verloop van de EC tijdens het experiment met oppervlaktewater wordt weergegeven in figuur 14.



Figuur 14: Het EC verloop tijdens vier cycli met oppervlaktewater bij een flow van 6 l/h en een temperatuur van 20°C.

De verwijdering is gemiddeld 39,0% (Sdev = 0,5%), wat overeenkomt met 0,334 (mS/cm). De snelheid van ontzouting bedraagt 2,0 (mS/cm * l/min). De verschillen in ontzoutingrendement kunnen verklaard worden door de concentratieafhankelijkheid (zie figuur 8).

Tabel 4 Analyseresultaten laboratoriumexperimenten oppervlaktewater bij een recovery van 50%

ionen	7 augustus: oppervlaktewater				recovery 50%	
	voeding	voeding	produkt	brijn	balans per component (adsorptie)	
					meq/l	%
Ammonium (mg/l N)	0,266	0,216	0,216	0,456	-5,3E-03	-39
Calcium (mg/l)	74,8	75,6	47,8	101	4,0E-02	1
Chloride (mg/l)	117	114	63,5	180	1,8E-01	-5
Kalium (mg/l)	26,1	26,1	12,4	38,6	1,5E-02	2
Magnesium (mg/l)	19,4	19,6	12,6	27,4	-4,2E-02	-3
Natrium (mg/l)	63,8	64,2	37,7	91	-1,5E-02	-1
Nitraat (mg/l N)	4,87	4,24	5,39	4,98	1,0E-02	-14
Nitriet (mg/l N)	0,255	0,095	0,19	0,189	3,2E-04	-8
Ortho-fosfaat (mg/l P)	1,44	1,51	0,772	2	-2,8E-03	6
Sulfaat (mg/l SO ₄)	93,2	93,2	50,1	142	5,9E-02	-3
Waterstofcarbonaat (mg/l)	204	204	138	266	-3,3E-02	1
Boor (mg/l)	0,13	0,13	0,05	0,05	-7,3E-03	62
Fluoride (mg/l)	0,213	0,217	0,155	0,276	2,6E-05	0
Ijzer (mg/l)	0,021	0,019	0,006	0,006	7,5E-04	70
Koper (ug/l)	15,7	14,4	2,5	2,5	4,0E-04	83
Mangaan (mg/l)	0,076	0,077	0,034	0,087	5,8E-04	21
Molybdeen (ug/l)	4,6	4,4	2,4	5,9	7,3E-06	8
Zink (ug/l)	169	133	80	109	1,7E-03	37
componenten zonder lading	voeding	voeding	produkt	brijn	mg/l	% adsorptie
Silicaat (mg/l Si)	2,57	2,57	2,4	2,4	0,17	7
N-Kj (mg/l N)	1,1	1,3	0,87	0,78	0,375	31
P-tot (mg/l P)	1,27	1,26	0,995	1,62	-0,04	-3
DOC (mg/l C)	9,35	9,5	3,95	3,79	5,555	59
GC/MS screening	(groter dan 0,1 ug/l)					
	voeding	voeding	produkt	brijn	ug/l	%adsorptie
tetrametylbutylfenol	0,11	0,12	0,07	0,05	0,055	48
trifenyfosfaat	0,05	0,05	0,23	0,25	-0,19	-380
isooctyldifeny fosfaat (octicizer)	0,05	0,05	0,23	0,21	-0,17	-340
atrazine	0,14	0,17	0,05	0,05	0,105	68
dimethyltalaat	0,19	0,14	0,05	0,05	0,115	70
pyrimethanil	0,18	0,16	0,05	0,05	0,12	71
furalaxyl	0,13	0,11	0,05	0,05	0,07	58
onbekende verbindingen	0,5	0,5	0,05	0,05	0,45	90

0,05 = < 0,1 (onder significantiegrens)

Uit de analyseresultaten (tabel 4) wordt afgeleid dat een aantal componenten in module achterblijft, waaronder:

- boor
- Ijzer
- Koper
- Zink
- N-Kj
- DOC
- Organische micro's

Verwacht wordt dat een deel van deze componenten als deeltjes in het water aanwezig zijn en vervolgens in de module worden afgevangen (ijzer, mangaan). DOC en organische micro's zullen waarschijnlijk aan de carbon aerogel adsorberen.

Er zijn ook bij deze analyse componenten die vrij lijken te komen uit de module, zoals:

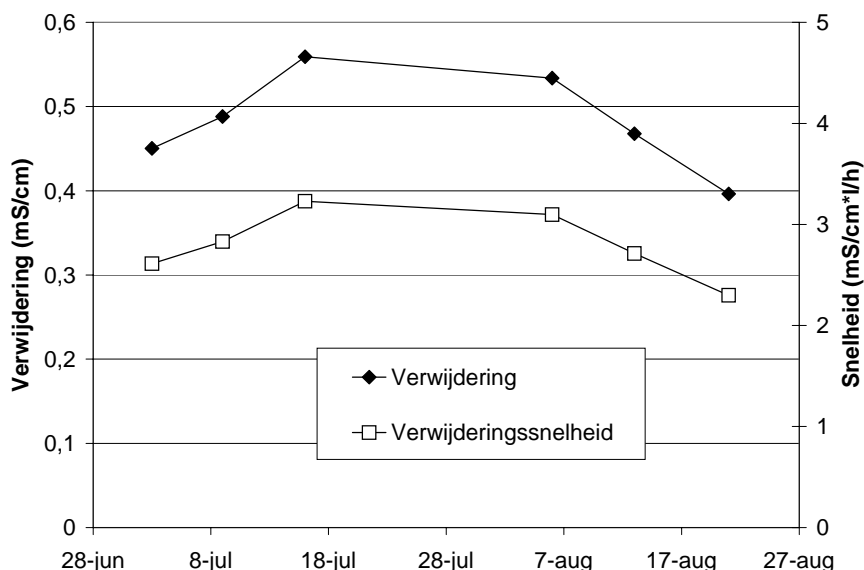
- ammonium
- trifenylfosfaat
- isooctyldifenylfosfaat

De hypothese uit de resultaten met drainagewater ten aanzien van partiele oxidatie van ammonium in de module, wordt met bovenstaande resultaten niet onderschreven. Er komt kennelijk ammonium uit de module. Mogelijk is de gehanteerde reinigingsprocedure niet volledig, waardoor de balans niet geheel kloppend te krijgen is.

Wel kan worden geconcludeerd een vergelijkbaar beeld ontstaat ten aanzien van ijzer, mangaan, koper, die in het systeem worden afgevangen. Tevens worden dezelfde microverontreinigingen in het product en de brijn gevonden. De aanwezigheid van deze componenten is zeer waarschijnlijk het resultaat van uitloging uit het systeem (carbon aerogel en/of andere gebruikte materialen)..

3.7 Conditie testunit

Toestandsveranderingen van de testunit door irreversibele vervuiling of slijtage van het elektrodemateriaal worden vastgesteld door voor en na series van experimenten de verwijdering te bepalen met een NaCl-oplossing in demiwater (1,3 g/l) onder gestandaardiseerde omstandigheden (5,8 l/h en 20°C): een referentiemeting (zie §3.1). In figuur 15 worden de resultaten van deze referentiemetingen weergegeven.



Figuur 15: Conditiemetingen van de testunit uitgedrukt in verwijderingcapaciteit en verwijderingssnelheid.

Opvallend is dat het conditieverloop uitgedrukt in verwijderingcapaciteit een vergelijkbaar verloop heeft als het conditieverloop uitgedrukt in

verwijderingsnelheid. In de eerste weken van het onderzoek, waarin geëxperimenteerd is met drinkwater en demiwater neemt de conditie van de testunit toe. Deze toename kan mogelijk toegeschreven worden aan de aanvankelijk onvolledige bevochtiging van het elektrodeoppervlak. De afname van de conditie in de laatste weken van het onderzoek viel samen met de experimenten met praktijkwater. Mogelijk wordt deze daling van de conditie veroorzaakt door vervuiling van het elektrodemateriaal. Aanbevolen wordt de testunit langdurig te spoelen met demiwater met aansluitend een nieuwe conditiebepaling.

4 Economische analyse

De economische haalbaarheid wordt bepaald door het verschil tussen de investering- en exploitatiekosten van de ontzoutingstechniek (elektro-ontzouting) en de kostenbesparingen:

- op voedingswater en meststoffen
- op lozingskosten (aanleg riolering, heffingen)

Van zowel de voedingszijde als de afvalzijde is nog onvoldoende bekend van de kosten. Deze kosten zullen bovendien per tuinder sterk verschillen. Wat wel bekend is zijn de globale ontwerpgrondslagen voor elektro-ontzouting.

In dit hoofdstuk wordt berekend wat de kosten zijn voor het toepassen van elektro-ontzouting op praktijkwater.

Hiervoor is een vertaalslag gemaakt van de resultaten met de mini-brick naar een praktijkbrick. Vervolgens zijn, afhankelijk van de te behandelen capaciteit, de behandelkosten bepaald. Deze behandelkosten zijn vergeleken met bestaande alternatieve technologieën. Gezien de onzekerheden is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op verschillende parameters.

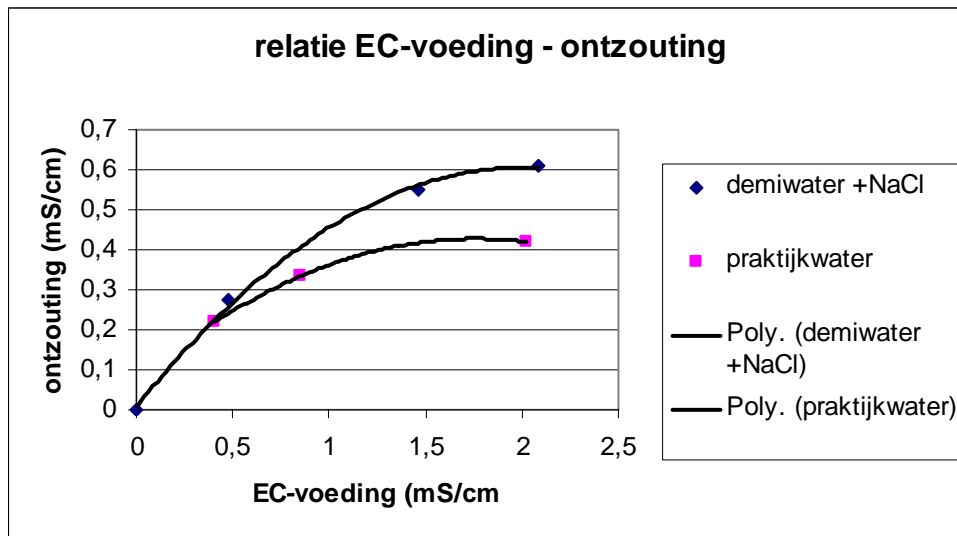
4.1 Vertaling minibrick naar praktijk

De minibrick heeft andere dimensies als de praktijkbrick. Hierdoor kunnen de met de experimenten behaalde resultaten niet direct vertaald worden naar praktijkschaal. In tabel 1 zijn de dimensies weergegeven van de minibrick en de praktijkbrick.

Tabel 5 *dimensies minibrick en praktijkbrick*

		proefbrick	praktijkbrick
oppervlak	m ²	0,96	46,45
vrij volume	l	1,00	48,39
debiet	l/h	6,00	157,73
verblijftijd	h	0,17	0,31
lengte	m	0,30	0,61
breedte	m	0,16	0,31
aantal vellen		20,00	250,00

In tabel 5 is als uitgangspunt gekozen dat zowel de ruimte tussen de elektroden als de hydraulische condities gelijk zijn bij beide bricks. Dat betekent dat de verblijftijd ongeveer twee keer zo groot is en dat de ontzouting per m² elektrode vergelijkbaar is. Wij hebben echter geconstateerd dat de ontzouting een relatie heeft met het zoutgehalte in de voeding. Om dit effect mee te kunnen nemen is gebruik gemaakt van de proefresultaten uit figuur 16. Aanname hierbij is dat de ontzouting van praktijkwater ongeveer vergelijkbaar is met de onderzochte praktijkwaters. Wanneer de verhouding tussen Na en de andere ionen sterk wijzigt, kan een afwijking van de gevonden relatie optreden.



Figuur 16 relatie tussen voedingssamenstelling en ontzouting

Met behulp van bovenstaande gegevens is afhankelijk van de EC-voeding vast te stellen welke mate van ontzouting kan worden gerealiseerd bij toepassing van een praktijkbrick.

Ten aanzien van de hydraulische capaciteit per brick is de door de leverancier aangegeven capaciteit als leidraad gebruikt. Een hogere hydraulische belasting kan uit oogpunt van efficiency aantrekkelijk zijn. Verondersteld wordt echter dat hydraulische beperkingen (lekkage e.d.) verantwoordelijk zijn voor deze beperking.

4.2 Kosten, afhankelijk van capaciteit

Op basis van expert-kennis van Priva zijn de kosten voor de bouw en voor de automatisering van een EO-installatie begroot. Deze kosten zullen niet sterk toenemen bij toenemende capaciteit. Het aantal bricks dat moet worden toegepast wordt bepaald door de ontzoutingsgraad en de te behandelen capaciteit.

Uitgangspunten die bij de kostenberekeningen zijn gehanteerd zijn:

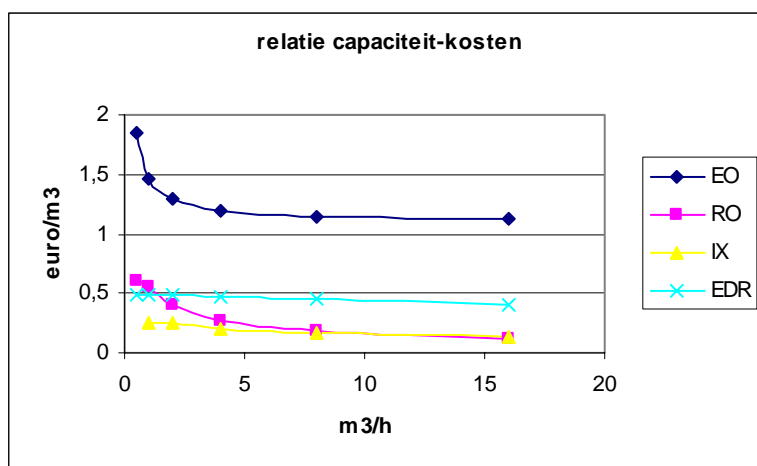
- afschrijvingstermijn 5 jaar
- afschrijving annuïtair, 6% rente
- uren per 24 uur in bedrijf 24 (piekfactor = 1)
- er is geen rekening gehouden met engineeringkosten, gebouw, inrichtingskosten e.d.
- energie: 0,07 euro/kWh
- brick 5000 euro/brick
- ontwerpcapaciteit 1 m³/h
- recovery 80%

Er is een vergelijking gemaakt met kosten van omgekeerde osmose, ionenwisseling en elektrolyse. Handicap hierbij was dat er relatief weinig

gegevens beschikbaar waren omtrent investeringskosten voor kleine IX en ED installaties. Hierin is een redelijk grote onzekerheid te verwachten.

De nauwkeurigheid van de kostenberekeningen is, mede vanwege de geringe capaciteit beperkt. Rekening moet gehouden worden met een onzekerheid tot 50%. In de praktijk blijkt dat voor eenzelfde installatie vaak een verschil in aanbodingsprijs op kan treden van meer dan 50% vanwege de marktwerking. Voor een vergelijking zijn de kostenberekeningen representatief.

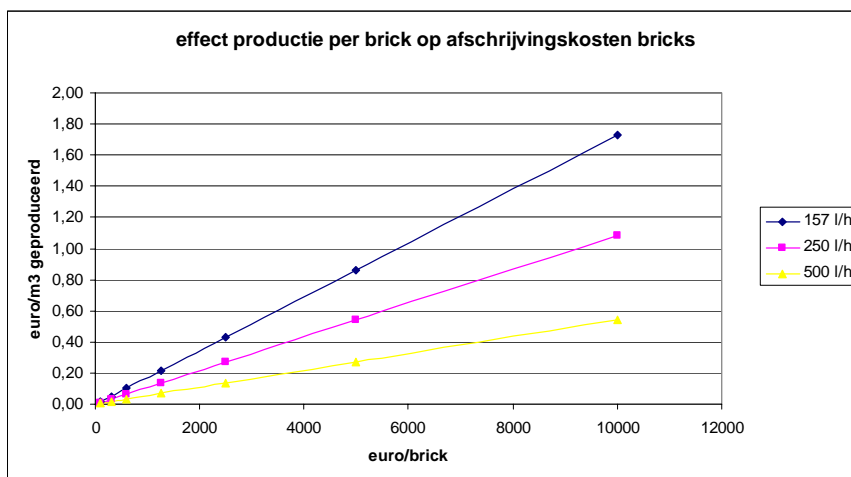
De kosten, afhankelijk van de ontwerpcapaciteit zij gegeven in figuur 17.



Figuur 17 relatie tussen de ontwerpcapaciteit en de kosten per m³ productwater bij toepassing van EO, RO, IX of ED.

Uit figuur 17 blijkt duidelijk dat de kosten voor elektro-ontzouting veel hoger zijn dan voor de alternatieve technieken. Bij hogere capaciteiten wordt dit veroorzaakt door de prijs per brick en de beperkte capaciteit per brick. Bij lage capaciteiten wordt dit mede veroorzaakt door de blijvende kosten voor de bouw en automatisering. Bij een capaciteit van 1 m³/h zijn reeds 6 bricks nodig. Uit technologisch oogpunt zou een hogere productie per brick aantrekkelijk zijn .

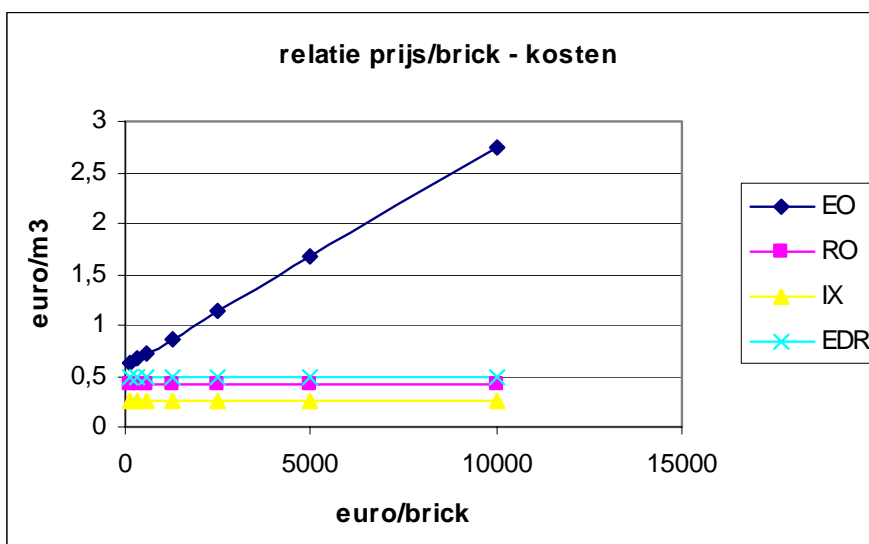
Het effect van het verlagen van de brickprijs en het verhogen van de per brick te behandelen capaciteit is inzichtelijk gemaakt in figuur 18.



Figuur 18 effect verhogen capaciteit en verlagen kostprijs per brick op de afschrijvingskosten voor de bricks.

Pas wanneer de afschrijvingskosten duidelijk lager worden dan circa 0,20 euro per m³, zal EO economisch aantrekkelijk worden ten opzichte van RO, IX en ED. Dat betekent dat de kostprijs met een factor 4-5 moet worden gereduceerd.

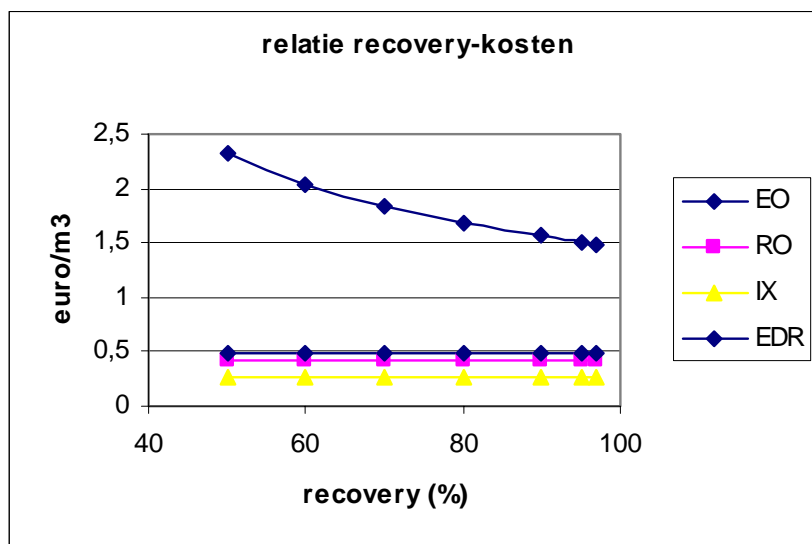
Het effect van de brickprijs op de totale waterbehandelingskosten is beschouwd in vergelijking met de alternatieve technieken. Figuur 4 geeft daarvan de resultaten.



Figuur 19 effect brickprijs op de vergelijking bij een ontwerpcapaciteit van 1 m³/h en een recovery van 80%

Duidelijk blijkt dat de kosten voor elektro-ontzouting ondanks een sterke daling van de brickprijs hoger blijven dan de alternatieve technieken. Bij hogere capaciteiten zal de prijs voor elektro-ontzouting bij lage brickprijs concurrerend worden ten opzichte van RO, IX en ED

Tijdens de experimenten werd een recovery (opbrengst) van 50% bereikt. Volgens de literatuur moet een recovery van ten minste 75% haalbaar zijn. De kostenberekeningen zijn uitgevoerd op basis van 80% recovery. Vanwege de onzekerheid hierin is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar het effect van de recovery op de kosten. De resultaten zijn weergegeven in figuur 20.



Figuur 20 effect van recovery op de kosten

De recovery heeft een redelijk groot effect op de kosten. Desondanks wordt EO bij toenemende recovery niet goedkoper dan de alternatieven.

De gevoeligheidsanalyses geven aan dat een verlaging van de kosten mogelijk is wanneer:

- de kostprijs per brick sterk afneemt
- de hydraulische belasting per brick toeneemt
- de recovery toeneemt

Op basis van de ontwikkelingen bij de huidige leverancier van de bricks (CDT) moet geconstateerd worden dat er nog onvoldoende zicht is op een ontwikkeling waarmee de kosten concurrerend worden ten opzichte van omgekeerde osmose, ionenwisseling of elektrolyse.

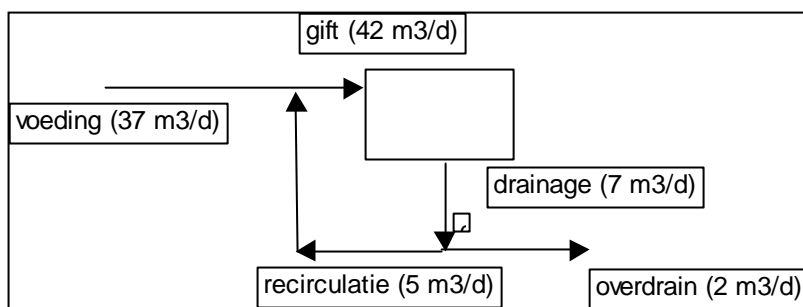
Geconcludeerd wordt dat met het onderzochte materiaal bij de huidige prijsniveaus elektro-ontzouting uit economisch oogpunt niet competitief is ten opzichte van haar alternatieven (RO, IX, ED).

Er zijn ontwikkelingen bij, zowel de leverancier van de gebruikte bricks (CDT) als bij andere leveranciers die waarschijnlijk betere perspectieven bieden (zie ook §6.1). Hiervan wordt notie gemaakt in stuk PBC-EO-11.

4.3 De Adelaar

Kostenberekeningen zijn uitgevoerd op basis van de uitgangspunten zoals ze gelden voor tuinbouwbedrijf "de De Adelaar (teelt in de grond)".

De waterhuishouding van dit bedrijf is op hoofdlijnen geschetst in figuur 6.



Figuur 21 schematische weergave van de waterhuishouding van 'de Adelaar'.

Op de Adelaar kan worden volstaan met een deelstroombehandeling van 0,15 m³/h, waaruit natrium van 2 naar 0,8 mmol/l wordt gereduceerd in één stap. Hiervoor volstaat één brick.

De kostprijs per m³ productwater bedraagt 4,76 euro. Per jaar zal 'De Adelaar' 5700 euro aan kosten kwijt zijn voor deze behandeling. Als reststroom blijft 0,14 m³/h concentraat over. Dat geloosd dient te worden.

Gezien de geringe capaciteit lopen de kosten per m³ geproduceerd water hoog op. Elektro-ontzouting is ook bij deze kleine capaciteiten ongunstig in vergelijking met RO, IX en ED.

Het verdient de aanbeveling om een integrale beschouwing van de kosten te maken, waarin naast de behandlingskosten tevens worden meegewogen:

- de kostenreductie van ingenomen water
- de kostenreductie t.g.v. het recirculeren van meststoffen
- de kostenreductie voor afvoer van de reststroom.

Bij voorkeur wordt deze berekening ook uitgevoerd voor andere voorbeeldbedrijven. Het ligt voor de hand om voorafgaand daaraan een beperkt aantal veel voorkomende situaties te definiëren, waar waterhergebruik het rioleringsprobleem sterk kan beperken.

5 Haalbaarheid

5.1 Kosten elektro-ontzouting

De kosten voor elektro-ontzouting zijn, zoals in hoofdstuk 4 is beschreven, in vergelijking met bestaande en gangbare technieken ongunstig. Er is een forse ontwikkeling noodzakelijk voordat de kosten van elektro-ontzouting competitief zijn met RO, ED en IX.

Om die reden worden een aantal aanbevelingen gedaan voor de producenten en/of leveranciers van elektro-ontzouting.

5.1.1 Aanbevelingen leverancier

De leverancier kan het volgende worden aanbevolen:

- Verhoging van de hydraulische capaciteit van de testunits (omdat dit beperkend is voor de prestaties).
- Verhogen van de elektrodedichtheid in de units (hogere verhouding oppervlak/ volume door bijvoorbeeld stijvere elektrodes in combinatie met dunnere spacers)

5.1.2 Verbeteren opbrengst

Regeneratie betreft het uitspoelen van de inhoud van de unit. Bij de huidige procesvoering moet telkens met meer dan 3 bedvolumes gespoeld worden voordat de volgende procescyclus kan worden gestart. Bij een ideaal blokfront en zonder verblijftijdspreiding zou 1 bedvolume voldoende zijn. Optimalisatie van de regeneratie moet gericht zijn op het reduceren van de verblijftijdspreiding. Tijdens de experimenten is vastgesteld dat, na het kortsluiten van de elektroden (start regeneratie), de spanning aanvankelijk snel daalt, waarna hij langzaam reduceert tot nul (zie §3.2). De restspanning die er hierdoor tijdens regeneratie bestaat werkt remmend op het uitspoelen van het elektrodemateriaal. Aanbevolen wordt dit remmende effect te onderzoeken door de spanning geforceerd weg te nemen (ompolen i.p.v. kortsluiten) en/of door te wachten met spoelen tot de spanning is gereduceerd tot nul. Na het ompolen zou moeten worden kortgesloten op het moment dat de spanning over de elektroden nul is. Deze werkwijze vereist een nieuwe definitie van het schakelmoment bij regeneratie (zie §3.2).

5.2 Baten bij toepassen van elektro-ontzouting

De potentiële baten zijn reeds genoemd in de inleiding en betreffen:

- besparing van de hoeveelheid gietwater en hiermee de kosten daarvan (grondwaterbelasting, (regenwater)opslag, drinkwaterkosten, behandelkosten)

- besparing van de meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Per m³ gietwater wordt soms tot 2 euro aan meststoffen gedoseerd. Een deel van de meststoffen spoelt uit met het afvalwater. Hergebruik beperkt de hoeveelheid uitgespoelde meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen, zodat minder hoeft te worden gedoseerd.
- Besparing in lozingskosten. De noodzaak voor aanleg van riolering wordt kleiner, de riolering kan kleiner worden uitgevoerd, de hoeveelheid te lozen water en hiermee de lozingsheffing wordt lager, de te lozen zoutvracht wordt kleiner doordat minder meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen worden uitgespoeld

Deze baten gelden in meer of mindere mate ook voor andere ontzoutingstechnieken.

Kwalitatief kunnen de baten in beeld gebracht worden. Kwantitatief is pas mogelijk wanneer een beeld bestaat van:

- de gebruikte bronnen en de kosten daarvan
- de verbetering van het waterhergebruik bij toepassing van ontzouting
- de kosten voor aanleg van riolering en de wijze waarop deze worden doorberekend aan de tuinders, uitgaande van de huidige volumestromen en de volumestromen bij toepassing van ontzouting en verbeterd hergebruik
- de mate waarin meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen worden geloosd en het effect van waterhergebruik op de vermindering van de te doseren hoeveelheden meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen

Aanbevolen wordt om zicht te krijgen op de baten door een inventariserende studie uit te voeren naar de tuinders in het Westland. Hierbij kunnen tevens voor de waterkwaliteitsbeheerders van belang zijnde parameters als N en P worden meegenomen.

Uitwerking van de integrale kosten en baten voor een beperkt aantal representatieve locaties/tuinders geeft een indruk van de haalbaarheid van de toepassing van elektro-ontzouting of een andere ontzoutingstechniek t.b.v. waterhergebruik.

6 Definitie vervolgactiviteiten

In de eerste fasen van het onderzoek naar de toepasbaarheid van elektro-ontzouting voor hergebruik van water in de glastuinbouw, is als hoofdconclusies vastgesteld dat met het materiaal van CDT het niet nuttig wordt geacht om een duurproef uit te voeren. Er is een forse ontwikkeling van de elektroden nodig om de techniek economisch aantrekkelijk te maken.

6.1 Ontwikkelingen elektro-ontzouting

Er zijn bij twee andere leveranciers van elektro-ontzouting (Imag en Sabrex) mogelijk interessante ontwikkelingen gesignaleerd, die kunnen leiden tot significante kostenverlaging. De meest veelbelovende ontwikkeling, bij Imag (momenteel Agrotechnology & Food Innovations: A&F) is op haalbaarheid verkend aan de hand van een gesprek bij A&F. Hieruit bleek dat de ontwikkelingen weliswaar potentieel aantrekkelijk zijn, maar dat een proef op demonstratieschaal voorlopig nog niet haalbaar is. Er zijn goede resultaten met een laboratoriumopstelling bereikt. Vanwege de gunstige grondstofprijzen kan een forse kostenverlaging van de elektroden worden verwacht. De ontwikkeling heeft echter nog niet geleid tot een systeem. Verwacht wordt dat het ontwikkeltraject daarvoor tenminste een jaar in beslag zal nemen.

6.2 Integrale vergelijking

Omdat een demonstratietraject momenteel nog niet verantwoord is, heeft de PBC besloten om fase 4 van het onderzoek uit te voeren. Met de huidige informatie wordt een integrale studie uitgevoerd naar de mogelijkheden en de consequenties van het toepassen van ontzouting in de glastuinbouw. Het betreft:

- economische effecten voor tuinders en overheid (riolering)
- effecten op de waterbehoefte
- effecten op de omvang en samenstelling van de afvalstromen
- diversificatie naar verschillende bronnen en technieken

Het betreft in hoofdlijn de door Priva, de Provincie Zuid Holland, Gemeente Westland en het Hoogheemraadschap Delfland gestelde additionele vragen. Deze zijn in het oorspronkelijke plan van aanpak reeds globaal begroot (zie tabel 1). De in fase 4 uit te voeren activiteiten zullen deels op deze begroting worden gebaseerd.

Op basis van de opbrengsten tot nu toe zijn we in staat om:

- ontwerpgrondslagen voor elektro-ontzouting op te stellen
- de selectiviteit van EO in te schatten
- de kosten voor EO te ramen

- globale ontwerpgrondslagen voor overige technieken (Omgekeerde osmose, ionenwisseling en elektrolyse) op te stellen
- globale selectiviteit van RO, IX en ED te berekenen
- de kosten voor RO, IX en ED in te schatten

Deze opbrengsten vormen de basis om de betekenis van waterhergebruik in de glastuinbouw in te kunnen schatten.

In de praktijk is elke situatie uniek, en zal de haalbaarheid van hergebruik per bedrijf verschillen. Bepalende factoren hierin zijn onder meer:

- de bron voor het water
- de waterkwaliteitseisen (en natriumtolerantie)
- substraat- of volle-grond teelt
- plaats van de behandeling t.b.v. waterhergebruik (voedingswater of drain/drainagewater)
- de effecten op de teelt
- locatie van het bedrijf

In dit project hebben we tot op heden geen aandacht besteed aan de invloed op de teelt. Dat zullen we vooralsnog in fase 4 ook achterwege laten.

6.3 Activiteiten

6.3.1 Berekeningen

- kies 5 voedingswatertypen voor ontzouting (zowel voedingswater als drainagewater); zodanig dat met de gekozen situaties een algemeen beeld voor de glastuinbouw kan worden bepaald. Voor elke voeding van de ontzouting wordt één, hypothetische, maar realistische situatie beschouwd:
 - o behandeling drainagewater
 - o behandeling bij toepassing van regenwater (wel/niet geïnfiltreerd)
 - o behandeling drinkwater
 - o behandeling oppervlaktewater
 - o behandeling zoet of brak grondwater
- bepaal 'gemiddelde' ontwerputgangspunten voor deze 5 situaties (ontwerpcapaciteit, jaarcapaciteit, ontzoutingseisen) voor 4 ontzoutingstechnieken (elektro-ontzouting, ionenwisseling, omgekeerde osmose en elektrolyse)
- bereken voor deze situaties de effecten van waterbehandeling (met de 4 genoemde technieken) op:
 - o de waterbehoefte
 - o de afvalwaterproductie (hoeveelheid en samenstelling): maak hierbij de effecten van selectieve natriumverwijdering inzichtelijk
 - o de kosten

6.3.2 *Consequenties bij tuinders in brakke kwelgebieden*

- definieer het onderzoeksgebied
- inventariseer gietwater, drainage en spuiwaterhoeveelheden voor een steekproef van 25 bedrijven
- stel seizoensafhankelijkheid van de bronnen vast voor deze bedrijven
- calculeer de benodigde opslag van gietwater
- vertaal de steekproef naar een algemeen beeld voor het onderzoeksgebied
- verken de mogelijkheden en kosten voor verbetering het te lozen drainagewater t.a.v. N, P en gewasbeschermingsmiddelen.
- pas de berekeningen (voorgaande activiteit) toe op het algemene beeld van het onderzoeksgebied zodat de effecten van onzouting en hergebruik voor een groot gebied worden gecalculeerd

6.3.3 *Mogelijkheden afvalstroom (brijn van de ontzoutingsinstallatie)*

- neem de samenstellingen uit de modelberekeningen als uitgangspunt
- verken de mogelijkheden voor verwerking (zuivering) van deze afvalstromen
- maak een raming van de kosten en het energiegebruik

6.3.4 *Is er markt voor behandeld drainagewater?*

- Geef een indicatie van mogelijkheden en kosten voor behandeling van drainagewater tot voedingswater
- Geef een indicatie van de omvang van deze 'waterbron' (uit inventarisatie 25 locaties)
- vergelijk deze kosten met 'normale voedingswaterkosten'

6.3.5 *Vervolg*

Uit de voorgaande activiteiten ontstaat een overzicht van mogelijkheden voor het ontzouten van voedingswater of drainagewater en de effecten op de waterbehoefte en de te lozen reststoffen. Hierbij worden verschillende ontzoutingstechnieken beschouwd. Daarnaast ontstaat inzicht in de consequenties van het 'loosbaar maken' van drainagewater (verwijderen van N, P en gewasbeschermingsmiddelen)

Uit dit overzicht kunnen door de PBC de meest urgente en meest veelbelovende opties worden gedestilleerd. In de vervolgfase kan een verdieping worden uitgevoerd naar deze opties. De verdieping kan bestaan uit:

- een verdere detaillering van de berekeningen (door concrete situaties door te rekenen)
- een bevestiging van de gekozen uitgangspunten (door experimenten uit te voeren)
- een demonstratie van de optie (via een demonstratietraject)

Deze nadere verdieping wordt door de PBC vastgesteld op basis van het overzicht van mogelijkheden.

