



Module 4

Alternatieve drinkwaterproductie

Stand van zaken technologie energie uit water en waterzuivering met passende experimenten voor het voortgezet onderwijs

Brechje van Rij
Cora Bouwland



Inhoud

Inhoud	2
Inleiding Iespakketten.....	3
Schoon drinkwater	4
Inleiding	4
Experimenten.....	9
<i>Geladen watermoleculen</i>	<i>9</i>
<i>Chloor maken, om bacteriën te doden.....</i>	<i>10</i>
Leerlingwerkblad.....	11
Geladen waterdruppels	11
Leerlingwerkblad.....	13
Chloor maken, om bacteriën te doden.	13

Inleiding Iespakketten

De Club van Rome voorspelde in de jaren 60 al een tekort aan fossiele brandstoffen. Maar niet alleen het opraken van deze energiebron is een probleem, er zitten meer nadelen aan het gebruik van fossiele brandstoffen. Eén daarvan is het opwarmen van de aarde door het broeikaseffect, veroorzaakt door de vorming van CO₂, ook 'global warming' genoemd.

Global warming is een groot probleem. Maar als je eenmaal de luxe van een auto, elektriciteit in huis of schoon drinkwater gewend bent, dan wil je niet meer zonder. De oplossingen moeten daarom van de kant van de technologie komen. Maar zijn er oplossingen? Waar wordt momenteel aan gewerkt? En waarom zijn vakken als scheikunde, natuurkunde en biologie daarbij zo belangrijk? Allemaal vragen waar in dit Iespakket antwoord op wordt gegeven.

In vier losse modules worden vier aparte thema's behandeld. Het is mogelijk om alle thema's achter elkaar te behandelen maar u kunt ook kijken welk thema goed bij uw lessen past.

De inhoud van het dvd-Iespakket rust op drie pijlers:

1. De technologische ontwikkelingen in het onderzoek.
2. De toepassingen van watertechnologie in de praktijk.
3. Proeven die ook in de klas gedaan kunnen worden.

Doordat deze indeling zo praktijkgericht is, krijgen de leerlingen een goed idee wat ze met watertechnologie kunnen en kunnen worden. Het is mogelijk om de proeven in de les te gaan doen, of er een heel project omheen te maken, inclusief excursies. Maar het is ook al zeer de moeite waard om alleen de korte films van de dvd te bekijken.

De vier modules zijn, in principe, op zichzelf staande thema's maar ze kunnen ook heel goed aansluiten op bestaande onderwerpen binnen het scheikunde-, natuurkunde- of biologieonderwijs.

Het niveau van de vier modules is niet gelijk. Daarom wordt, in onderstaand schema, van elk thema aangegeven voor welk leerjaar het geschikt is.

dvd-thema	toepasbaar bij:	klas
Blue Energy	lessen over ionen, neerslagreacties, diffusie, osmose en turgor	4/5
	osmose en turgor, neerslagreacties	3
Scheiden bij de bron	duurzaamheid, (an)aërobe afbraak en pH	3
Schoon drinkwater	reactieschema's, transport, indicatoren, analytische chemie	2/3/4
Elektrospray	elektromagnetisme, wereld waterproblematiek en destillatie	3/4/5

De doelgroepen van de dvd-thema's.

De indeling per onderwerp is als volgt. Elke module bestaat uit een dvd-fragment van vier tot tien minuten, een stukje theorie (beschreven in de module) en twee tot drie leerlingwerkbladen met practica die geschikt zijn voor in de les als demo of als leerlingenproef. Deze fragmenten zijn natuurlijk ook gescheiden te gebruiken. Maar het is de moeite waard om in elk geval de dvd in zijn geheel te tonen.

Schoon drinkwater

Inleiding

Veilig drinkwater is van levensbelang. In bijna alle ontwikkelde landen is er dan ook een centrale voorziening die iedereen, via een ingewikkeld leidingstelsel, van schoon drinkwater voorziet. Elke dag wordt er schoon drinkwater geproduceerd. Voor het bereiden van drinkwater wordt er een aantal zuiveringstappen uitgevoerd. Op de traditionele manier zijn de zuiveringsstappen: beluchting, filtratie en extra stappen zoals ontharding, coagulatie en weer filtratie. Een meer moderne manier van drinkwater zuiveren is membraanfiltratie. Dit kan een deel van het zuiveringsproces vervangen of als extra stap worden toegevoegd.

Maar wat als er geen schoon drinkwater uit de kraan stroomt? Of als er helemaal geen distributiesysteem voor drinkwater aanwezig is? In die gevallen ben je op alternatieve methoden aangewezen.

Op dit moment wordt veel onderzoek gedaan naar alternatieve manieren voor het produceren van drinkwater voor verschillende doeleinden. Zo is bijvoorbeeld de **Life Straw**, een rietje dat het water zuivert tijdens het drinken, geschikt voor de liefhebber van extreme survival en is de **Dutch Watermaker**, een apparaat dat op zeer goedkope wijze met weinig energie water kan zuiveren, zeer geschikt in rampgebieden.



De Life Straw in gebruik.

In India wordt gebruik gemaakt van huishoudelijke waterzuivering omdat het water dat uit de kraan komt nog niet drinkbaar is. Deze methoden worden uitgelegd in de film over schoon drinkwater. Maar er zijn meer methoden om drinkwater te verkrijgen. Afhankelijk van de herkomst van het water, kan de meest geschikte zuiveringsmethode bepaald worden.

De wind is een perfecte transporteur voor water in de vorm van waterdamp. Op zee komt, door de warmte van de zon, waterdamp in de lucht. Door de wind wordt deze damp moeiteloos honderden kilometers landinwaarts getransporteerd. Vaak komt water daarna als neerslag naar beneden, waar het in het oppervlaktewater terecht komt, als grondwater wordt opgeslagen of naar zee terugkeert voor de volgende ronde. Dat wordt de **waterkringloop** genoemd.

Helaas komt de waterdamp niet altijd als neerslag naar beneden, maar passeert ongebruikt gebieden die snakken naar een beetje vocht. In deze gebieden zou je op een of andere manier neerslag willen laten ontstaan, uit de passerende waterdamp in de lucht.

Dauw is een vorm van neerslag die ontstaat als waterdamp in de “warme” lucht op “koudere” vaste voorwerpen condenseert. Warme lucht kan namelijk meer vocht bevatten dan koude lucht. Wanneer warme lucht afkoelt, condenseert de waterdamp en wordt dauw (faseovergang: gas → vloeibaar). Bij de winning van water uit waterdamp wordt waterdamp uit de lucht verzameld op een plek waar waterdruppels kunnen ontstaan.



*Dauwdruppels op een
spinnenweb*



Dauw op een plant

In gebieden waar land aan zee grenst, komt dit verschijnsel van waterdamp condenserend tot dauw, veel voor. Ook als er grote temperatuurverschillen zijn, zoals in woestijnen, is dauwvorming een veel voorkomend verschijnsel.

In dergelijke gebieden met grote temperatuurverschillen kunnen technieken worden toegepast waarbij dauw wordt verzameld op voorwerpen. Een voorbeeld hiervan is een groot net dat als een spinnenweb is opgehangen. De dauw op de draden loopt naar beneden, wordt in gootjes opgevangen en naar een verzamelpunt geleid.

Een ander voorbeeld is **The Waterboxx**, een soort schaal met een stervormig gat in het midden die om de voet van een plant wordt gezet. De dauw die aan de onderkant van de schaal ontstaat, loopt naar het midden en geeft water aan de plant.



The Waterboxx



*Een Dutch Rainmaker midden in de
woestijn.*

Nog een voorbeeld is de **Dutch Rainmaker**. Dit is een windmolen die een koelmachine aandrijft. Hiermee wordt een koelelement koud gemaakt. Waterdamp uit de lucht condenseert op dit koelelement tot waterdruppels, die vervolgens worden opgevangen in een verzamelbak. Deze Rainmaker is ontwikkeld in Leeuwarden.

Een Dutch Rainmaker windmolen, zoals afgebeeld in het plaatje hiernaast, kan mits hij kan draaien en er genoeg water in de lucht is, 8000 liter water per dag produceren.

De efficiëntie van de waterdampwinning kan enorm verbeterd worden door niet-poreuze, waterdamp-selectieve membranen te gebruiken. Deze membranen laten alléén waterdamp door naar het koelelement. Hierdoor wordt alleen de waterdamp gekoeld en gecondenseerd en hoeft niet de hele luchtstroom te worden gekoeld. Naast deze energiebesparing wordt ook de kwaliteit van het condenswater verbeterd, aangezien geen stofdeeltjes, bacteriën, virussen of andere verontreinigingen het membraan kunnen passeren. Deze membranen maken lokale, goedkope productie van water, met een superieure kwaliteit en tegen een concurrerende prijs, mogelijk. De richtprijs voor de productie van drinkwater uit de lucht bedraagt €1 per m³.

Water komt op onze planeet in ontzettend grote hoeveelheden voor in de vorm van zeewater. Als we dit als drinkwater gemakkelijk zouden kunnen winnen, zou er geen enkel waterprobleem zijn wat betreft hoeveelheid. Wat dan nog rest, is het transportprobleem naar de gebruikers.

Het grootste probleem van dit zeewater is het zout. Dit zout moet eerst worden verwijderd voordat het bruikbaar is als drinkwater of voor landbouw en industrie.



Zeewater als onuitputtelijke bron van drinkwater.

Zout is een stof die heel goed oplost in water. Omgekeerd is zout er niet gemakkelijk te verwijderen omdat het zout bij het oplossen uiteen valt in de ionen. Deze zijn zo klein dat ze de meeste filters met gemak passeren.

Er zijn op dit moment twee basistechnieken in gebruik voor het op grote schaal **ontzilten van zeewater**:

Multistageflash: het water wordt in meerdere stappen verdampt, waarna de damp wordt opgevangen en gecondenseerd.

Bij de tweede methode wordt water onder hoge druk door een heel fijn membraan geperst, waarbij de zoutdeeltjes (ionen) achterblijven. Dit proces heet **omgekeerde osmose** en wordt op dit moment op grote schaal het meest toegepast.



Grootschalige omgekeerde osmose installatie voor de productie van drinkwater.

Beide technieken verbruiken echter zeer veel energie. Als al onze waterwinning uit zee zou moeten komen, zou het wereldenergieverbruik verdubbelen. Bovendien produceren de twee methoden behoorlijk grote hoeveelheden chemicaliën (anti-aanslag- en schoonmaakmiddelen) die in het milieu komen. Bovendien ontstaat een geconcentreerde zoutwaterstroom waar een oplossing voor gezocht moet worden. De kosten voor waterproductie is te hoog voor gebruik in industrie en landbouw. Watergebruik door de landbouw (70% van de wereldwijde behoefte) vereist grote hoeveelheden goedkoop irrigatiewater voor

voedselproductie. Voor de productie van één kilogram graan is 1 m³ (duizend liter) irrigatiewater nodig. Met de huidige graanprijs van € 0,20 per kilogram is het heel duidelijk dat de prijs van ontzout water veel te hoog is. Daarom is er onderzoek nodig naar nieuwe methodes voor ontzouting. We moeten heel goed begrijpen hoe zout water in elkaar zit en dan nieuwe, duurzame methodes ontwikkelen om het zout er uit te halen.

De behoefte aan water voor de industrie (20% van de totale waterbehoefte) is twee maal zo groot als de persoonlijke waterbehoefte (10% van wereldbehoefte). Het **hergebruiken van afvalwater** zou een duurzame bron van schoon water kunnen worden.

Membraanfiltratie heeft de potentie om afvalwater voldoende te zuiveren voor hergebruik. Daarbij wordt ervan uit gegaan dat de productie van geconcentreerde pekelenstromen wordt geminimaliseerd.

Voor het gebruik van membraanfiltratie op grote, industriële schaal zijn er nieuwe, niet vervuilende membranen nodig die bovendien bestand zijn tegen chemicaliën en mechanische slijtage. De hoeveelheid afvalwater vereist dat de membranen veel water per tijdseenheid aankunnen en dat de filtereigenschappen niet gevoelig zijn voor hoge ionenconcentraties in de reststroom.

Een belangrijk doel is het minimaliseren van de reststroom (pekelen) door het verwijderen van bepaalde zouten door middel van neerslaan. Hierdoor vermindert de reststroom tot minder dan 1% van het aanvankelijke toevoervolume en dit levert nagenoeg 100% hergebruik van water voor industriële doelen op.

In deze geïntegreerde aanpak is de controle van het chemische evenwicht essentieel om anorganische componenten te verwijderen en water te leveren, dat geen kalklaag achterlaat. Bij het kiezen van de chemicaliën en andere omstandigheden moet echter wel rekening worden gehouden met bacteriën. Deze kunnen bij de zuivering pas hun werk doen bij bepaalde instellingen van zuurgraad, zoutconcentratie en temperatuur.

De Dutch Watermaker is een andere manier om drinkwater te zuiveren. Vaak is er in een rampgebied, bijvoorbeeld na een tsunami, wel water maar geen gezuiverd water. De Dutch Watermaker of Purifier biedt dan uitkomst. Bovendien heeft deze techniek als voordeel dat hij zeer goedkoop is.



The Dutch Watermaker.

In deze Purifier kan bovenin vervuild water worden gegoten. Eerst gaat het water door een grove filter om de stukjes steen tegen te houden. Door de zwaartekracht gaat het naar beneden en wordt het door een membraan geperst. Dit membraan haalt allerlei onzuiverheden uit het water.

Tot slot vindt er een elektrolysestap plaats, waarbij een kleine hoeveelheid actief chloor wordt gevormd, die de overgebleven ziekteverwekkers doodt. Nu is er zuiver drinkwater dat zelfs in een vervuilde emmer schoon blijft vanwege de actieve chloor.

Elektrospray is een hulpmiddel dat ook gebruikt kan worden voor het produceren van drinkwater. Het maakt gebruik van het ouderwetse destillatie principe maar dan verbeterd met een functionele en energiezuinige vernevelaar.

Een nevel heeft minder warmte nodig om te verdampen en het creëren van een nevel met behulp van Elektrospray kost niet veel energie. Het gaat uit van het principe dat water bipolair is en reageert op een elektromagnetische lading.

Dit principe is onlangs beschreven in onderzoek dat gedaan is bij de Niagara Falls. Men ontdekte dat kleine waterdruppels hoger stegen dan grote waterdruppels en dat het natuurkundige principe van actie en reactie niet de enige oorzaak was. Het bleek dat vooral kleine waterdruppels, die minder door de zwaartekracht worden gehinderd, reageren op het elektromagnetische veld van de aarde.



De nevel bij de Niagara Falls.

Door de val van het water krijgen de druppels een lading. Deze lading zorgt ervoor dat de druppeltjes de veldlijnen gaan volgen van het elektromagnetische veld, zich naar boven verplaatsen en daar ook langer kunnen blijven zweven dan gebruikelijk.

Bij Elektrospray wordt het elektromagnetische veld niet geleverd door de veldlijnen van de aarde maar door een, met behulp van een hoge spanning maar een zeer kleine stroom, opgelegd elektromagnetisch veld. Dit kost maar heel weinig energie: een batterij van 1,5 V voldoet. Dus kleine waterstraaltjes (denk aan een douche) worden door elektromagnetisch veld gestuurd en de druppeltjes gaan de veldlijnen volgen en zweven in de lucht. Nu kunnen ze heel gemakkelijk verdampen. Na deze stap is alleen een condensatie stap nodig en het water is ontzout.

Voor veel landen, waar zonlicht gemakkelijk als energie leverancier kan fungeren, zou dit een goede oplossing zijn voor het drinkwatertekort. Het meest geschikt zijn natuurlijk de landen die aan de kust liggen.

Grote voordelen van dit systeem zijn:

goedkoop;

kost weinig energie;

verbruikt geen fossiele waterbronnen (waterbronnen die diep onder de grond liggen en niet meer worden aangevuld).

Experimenten

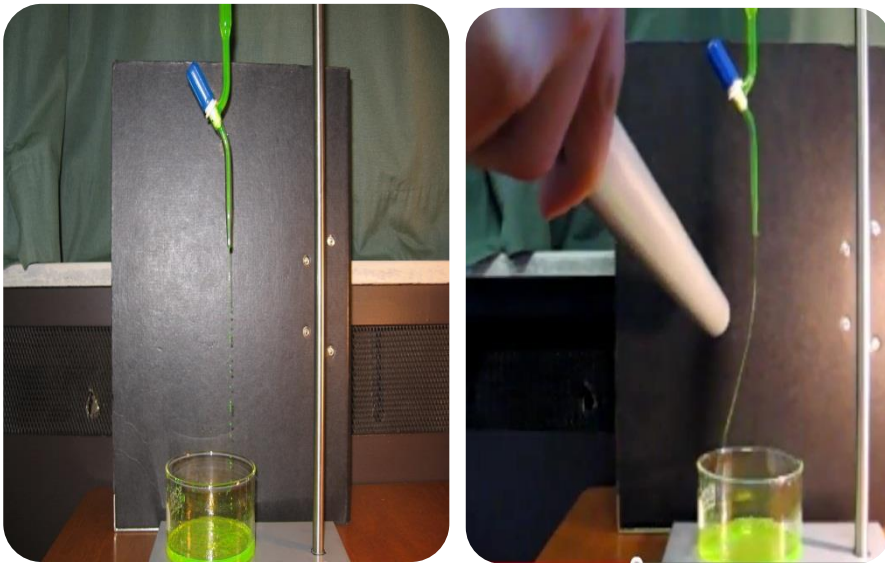
Bij Electropray past het volgende experiment:

1. Geladen watermoleculen
2. Chloor maken, om bacteriën te doden.

Geladen watermoleculen

Doel van de proef:

Leerlingen ontdekken hoe je elektromagnetische krachten kunt inzetten om een ander proces (in dit geval verdampen van water) te versnellen.



De weg van de waterdruppels afbuigen met behulp van een statisch geladen voorwerp.

Bij elektropray worden waterdruppeltjes zwevend gehouden door middel van een aangelegd elektromagnetisch veld. Het beïnvloeden van waterdruppels op deze manier kan goed geïllustreerd worden door een statisch geladen voorwerp in de buurt van een druppelende waterstraal te houden. Dit kan een plastic buis zijn maar ook een ballon die, door middel van wrijving, opgeladen is.

Chloor maken, om bacteriën te doden.

Chloor is een stof die bacteriën kan doden. Chloorhoudende schoonmaakmiddelen kun je bij ons in de supermarkt kopen en worden gebruikt om de wc mee te reinigen.

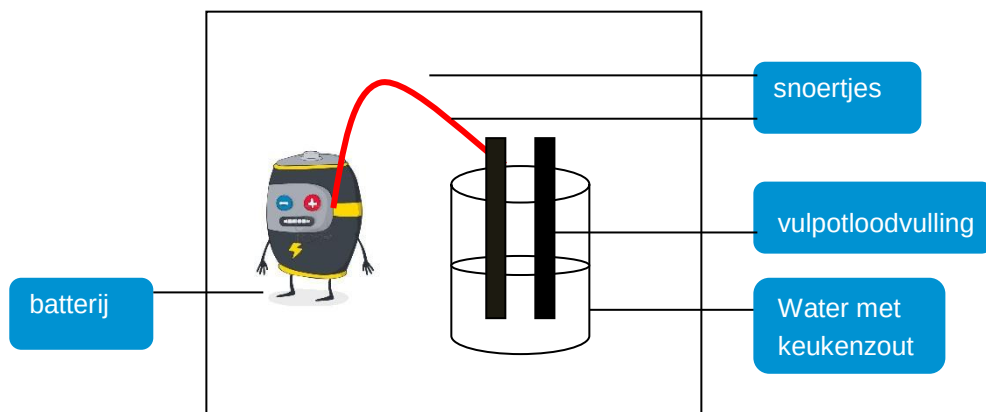
In landen waar de Dutch Rainmaker wordt gebruikt, is de laatste stap het bacterievrij maken van het water. Bacteriën kunnen ziekteverwekkers zijn en moeten om die reden verwijderd worden. Dit vindt niet plaats door een schoonmaakmiddel voor de wc aan toe te voegen, maar door keukenzout te ontleiden door middel van elektrolyse.

Doel van de proef:

Leerlingen ervaren dat je met eenvoudige middelen een stof kunt maken die van levensbelang kan zijn.

De leerlingen bouwen een eenvoudige opstelling om uit een keukenzoutoplossing chloor te maken. De geur van chloor kennen ze wel uit het zwembad.

De leerlingen kunnen de proef voor een tweede maal uitvoeren met water waaraan, naast keukenzout, ook de kleurstof cochenillerood is toegevoegd. Chloor heeft ook een ontkleurende werking.



Dit experiment kan ook uit uitgevoerd worden tijdens een biologieles. Eerst moet een bacteriecultuur gekweekt worden. Vervolgens wordt een suspensie van een beetje bacteriemateriaal gemaakt waaraan keukenzout wordt toegevoegd die vervolgens wordt blootgesteld aan elektrolyse. Daarna kan door middel van een bacteriekweek getest worden, of de bacteriën gedood zijn.

Leerlingwerkblad

Geladen waterdruppels

Bij dit experiment ga je zelf de weg, die waterdruppels afleggen als ze de ruimte in worden gespoten, beïnvloeden. Dit ga je doen met behulp van statische lading.

Bij **Elektrospray**, een manier om uit oppervlaktewater drinkwater te maken, wordt gebruik gemaakt van elektrostatische eigenschappen van materialen. Heel fijne waterdruppels die ontstaan in de branding of bij een waterval, krijgen een statische lading door de wrijving die ze ondervinden met de lucht. Deze fijne druppels worden zwevend gehouden door een aangelegd elektromagnetisch veld. De fijne waterdruppels die vervolgens in de lucht zweven, kunnen nu gemakkelijk verdampen. Als de waterdamp die ontstaat daarna afgekoeld wordt, condenseert het weer tot water in de vloeibare fase en is dan zuiver

Benodigheden:

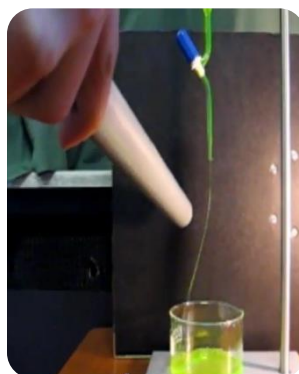
- Gekleurd water.
- Buret
- PVC-buis of een ballon
- Wollen sjaal of handschoen



De nevel bij de Niagara Falls.

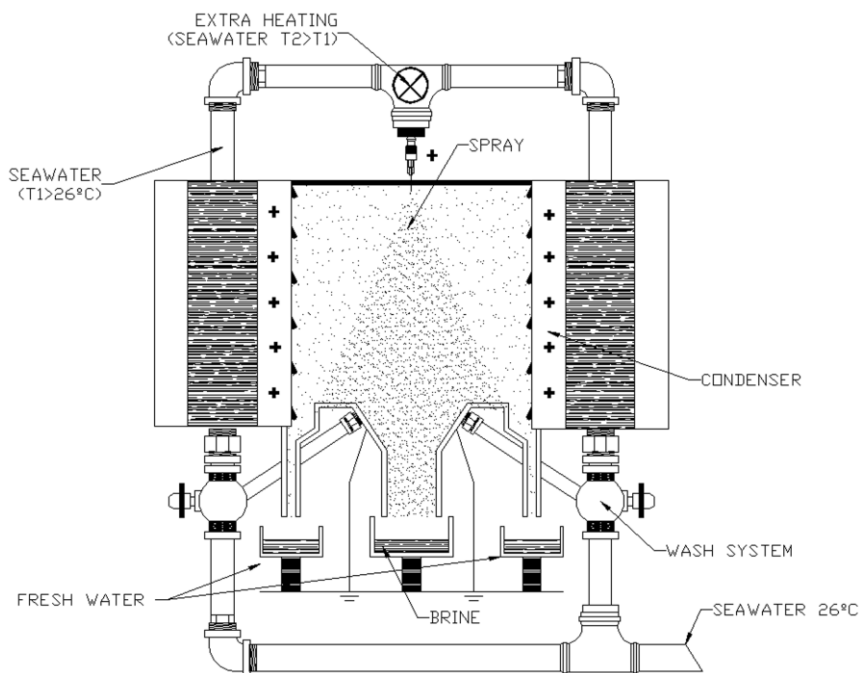
Uitvoering

- Vul de buret met het gekleurde water.
- Draai de kraan zo open dat er achter elkaar druppels uitstromen.
- Wrijf de PVC-buis of de ballon op met het wollen kledingstuk.
- Houd de buis of ballon vlakbij de waterstraal.



Als je de waterstraal heel fijn maakt, kun je er voor zorgen dat er druppels water naar de ballon springen.

Hieronder zie je een schematische weergave van de Elektrospray opstelling.



Probeer antwoorden te vinden op de volgende vragen.

1. Bestudeer het schema en probeer uit te vinden hoe het systeem werkt. Welke afvalstroom ontstaat er?
2. Bedenk wat je met deze afvalstroom zou kunnen doen.

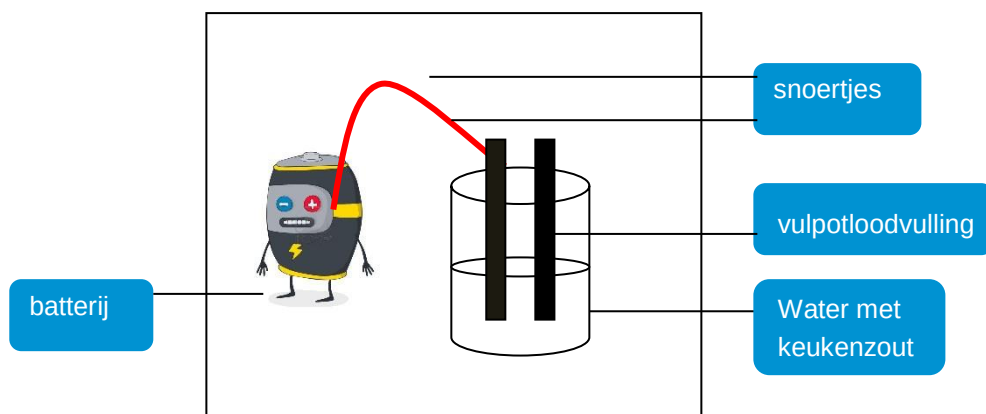
Leerlingwerkblad

Chloor maken, om bacteriën te doden.

Chloor is een stof die bacteriën kan doden. Chloorhoudende schoonmaakmiddelen kun je bij ons in de supermarkt kopen en wordt gebruikt om de wc mee te reinigen.

In landen waar de **Dutch Rainmaker** wordt gebruikt, is de laatste stap het bacterievrij maken van het water. Bacteriën kunnen ziekteverwekkers zijn en moeten om die reden verwijderd worden. Dit vindt niet plaats door een schoonmaakmiddel voor de wc aan toe te voegen, maar door keukenzout (natriumchloride NaCl) te ontleden door middel van elektrolyse.

De opstelling die je nodig hebt ziet er zo uit:



Benodigheden:

- blokbatterij (9V)
- 2 elektriciteitssnoeren
- 2 krokodillenklemmen
- 2 vulpotloodvullingen (hoe dikker, hoe minder snel ze breken als je bouwt)
- bekerglas
- water
- keukenzout

Laat de elektrolyse enkele minuten duren en ruik vervolgens boven de vloeistof. Je hebt chloor gemaakt uit keukenzout.

Probeer de volgende vragen te beantwoorden:

1. Wat is het probleem als je op deze manier het water ontsmet (= vrijmaken van ziekteverwekkers)?
2. Kun je de chloor dat bij deze methode is ontstaan, verwijderen met behulp van actieve kool? Volg de beschrijving van de proef *Adsorptie* van module 2.

3. Chloor kan ook ontkleurend werken. Kun je op deze manier ook water kleurloos maken? Probeer een zoutoplossing met een heel kleine hoeveelheid van de kleurstof cochenillerood te ontkleuren.
4. Geef de reactievergelijking voor de ontleding van keukenzout.
5. Welke methodes om ziekteverwekkers in water te doden, ken je nog meer?