

BÈTASTEUNPUNT WAGENINGEN

BÈTASIMULATIE BODEM-REDOX



Draag bij aan een schonere wereld
Lesbrief



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN **UR**



Bètasteunpunt
Wageningen

Colofon

Documenttitel:

Lesbrief – Bètasimulatie Bodem-Redox

Auteurs:

Durk Veenstra, Bètasteunpunt Wageningen

Lisanne Keijzer, Bètasteunpunt Wageningen

Jan Jaap ter Horst, Scholengemeenschap Pantarijn Wageningen

Wetenschappelijke experts:

Dr. Nora Sutton, Wageningen University

prof.dr.ir. Huub Rijnaarts, Wageningen University

dr.ir. Harry Bruning, Wageningen University

Onder redactie van:

Docent ontwikkelteam scheikunde Bètasteunpunt Wageningen

Vormgeving

Margriet van Vianen, Bètasteunpunt Wageningen

Foto voorpagina: worker in coveralls and mask takes a sample of the soil in the contaminated area, www.shutterstock.com

©2015. Versie 1.2

Het auteursrecht op de module berust bij Wageningen University. Wageningen University is derhalve de rechthebbende zoals bedoeld in de hieronder vermelde Creative Commons licentie. De auteurs hebben bij de ontwikkeling van de module gebruik gemaakt van materiaal van derden en daarvoor toestemming verkregen. Bij het achterhalen en voldoen van de rechten op teksten, illustraties, enz. is de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht. Verantwoording van de figuren is in de docentenhandleiding te vinden. Mochten er desondanks personen of instanties zijn die rechten menen te kunnen doen gelden op tekstgedeeltes, illustraties enz. van een module, dan worden zij verzocht contact op te nemen met Wageningen University. De module is met zorg samengesteld en getest. Wageningen University en Bètasteunpunt Wageningen aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor onjuistheden en/of onvolledigheden in de module. Ook aanvaarden Wageningen University en Bètasteunpunt Wageningen geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade, voortkomend uit (het gebruik van) deze module. Dit werk is gelicenseerd onder een Creative Commons Naamsvermelding-NietCommercieel-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie.

Inhoud

Inleiding	4
Challenge 1	5
Challenge 2	8
Challenge 3	11
Challenge 4	13
Challenge 5	16
Challenge 6	17
Challenge 7	18

Inleiding

Achtergrond

Nederlandse bodems zijn vaak vervuild. Bij veel oude benzinstations en chemische wasserijen lekten er vaak chemische stoffen weg in de bodem. Benzeen en perchloorethyleen (PCE) (systematische naam: tetrachlooretheen) zijn twee voorbeelden van zulke stoffen, die erg giftig zijn en bij blootstelling op langere termijn kanker kunnen veroorzaken. Vooral bij drinkwaterwinning en bij het graven in deze vervuilde bodems is er een groot gezondheidsrisico. Gelukkig kunnen deze stoffen worden opgeruimd! Vanaf de jaren '80 in de vorige eeuw is er steeds meer aandacht voor een schone omgeving en worden er bodemreinigingstechnieken ontwikkeld. In deze simulatie ga je ontdekken hoe je die technieken toepast om bodems weer schoon te maken.

Jouw rol

In de Bodem-redox Simulatie stap je in de schoenen van een milieutechnoloog en breng je je scheikundekennis in de praktijk door bodemverontreinigingen op te ruimen, te saneren. Je ontdekt welke hulpstoffen je kunt gebruiken om bodems schoon te maken. Daarbij krijg je inzicht in de basistechnieken van bodemsanering, en ontdek je hoe ingenieurs handig gebruik maken van zowel kennis van eenvoudige redoxkoppels en bijbehorende chemische reacties als van biologische processen. Ontdek hoe je je scheikundekennis nuttig kunt gebruiken om de wereld schoner te maken. Aan de slag!

In deze simulatie leer je spelenderwijs onderzoek doen, zoals dat op de universiteit gebeurt. Daarbij leer je werken met modellen, modellen stapsgewijs instellen, de effecten van je instellingen bekijken, resultaten interpreteren en inzichten verwerven op basis van je handelingen.

Challenge 1

Dit ga je ontdekken:

- Wat bodemsanering is, en hoe het werkt.
- Hoe je benzeen kunt opruimen door een redoxreactie te gebruiken.
- De techniek beluchting toepassen om de natuurlijke oxidatie van benzeen te stimuleren en de verontreiniging zo op te ruimen.

Neem de volgende achtergrondinformatie door:

In-situbodemsanering

Een ander woord voor het schoon maken van de bodem is saneren. Om bodems schoon te maken worden vaak in-situsaneringstechnieken gebruikt, wat letterlijk “op de plek schoonmaken” betekent. Deze technieken zijn vanaf de jaren '80 in ontwikkeling. In de jaren daarvoor moest grond vaak afgegraven worden. Dat hoeft nu niet meer. Bij in-situbodemsanering wordt vaak een saneringsmiddel in de grond gebracht - een schoonmaakmiddel welke met de verontreiniging reageert. De verontreiniging wordt daarbij afgebroken tot onschadelijke stoffen.

In deze simulatie ga je met twee manieren van in-situbodemsanering werken.

- In-situbiostimulering (ISB): deze manier versnelt de natuurlijke afbraak door micro-organismen in de bodem.
- In-situ chemische oxidatie (ISCO): deze manier werkt door sterke oxidatoren in de bodem te brengen die direct met de verontreiniging reageren.

Natuurlijke afbraak en biostimulering

De bodem kan worden bekeken als een levend organisme, waar tal van biochemische processen en omzettingen plaatsvinden. Veel soorten bodemverontreiniging kunnen door natuurlijke afbraak langzaam (gedurende 100 jaar) uit de bodem worden verwijderd. In de meeste gevallen gaat het hierbij om biologische afbraak waarbij micro-organismen zoals bacteriën de verontreiniging afbreken. De voorwaarden voor natuurlijke afbraak zijn gunstige omgevingsfactoren, zoals geschikte temperatuur, zuurgraad en voldoende ingrediënten voor de ademhaling van de bacteriën.

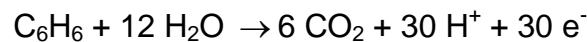
Door de omstandigheden voor de micro-organismen optimaal te maken kan je het afbraakproces versnellen. In-situbiostimulering werkt door de omstandigheden voor het natuurlijke afbraakproces te optimaliseren en zo te versnellen. Beluchting is een vorm van biostimulering waarbij extra zuurstof aan het grondwater wordt toegevoegd. Die hogere zuurstofconcentratie zorgt voor een snellere afbraak van een verontreiniging als benzeen.

Saneren van benzeen

Benzeen is de eerste verontreiniging die je leert saneren. Benzeen is een organische bodemverontreiniging en die wordt meestal afgebroken door oxidatieprocessen in microorganismen.. De reactie kan alleen plaatsvinden als er in de bodem stoffen voorkomen die de uit benzeen afkomstige elektronen kunnen opnemen, zogenaamde oxidatoren. De aanwezigheid van een werkend redoxkoppel is de bepalende factor bij de sanering.

De zuurstof, die van nature in grondwater aanwezig is, functioneert als natuurlijke oxidator waarmee micro-organismen lage concentraties verontreiniging benzeen, volledig kunnen afbreken. Andere natuurlijke oxidatoren zijn nitraat en ijzer. Bij hoge concentraties benzeen is het zelfreinigend vermogen van de bodem niet toereikend. Bij het toepassen van biostimulering wordt het grondwater belucht, zodat er meer zuurstof beschikbaar is voor de reactie en het zelfreinigend vermogen als het ware wordt vergroot.

In aanwezigheid van zuurstof als elektronacceptor (oxidator) kunnen micro-organismen benzeen - C_6H_6 – omzetten tot CO_2 en H_2O . Hierbij raakt een molecuul benzeen 30 elektronen kwijt. De netto-halfreactie hierbij is:



Speel Challenge 1:

- Lees de opdracht op het tabblad *Challenge*.
- Klik op de + icoontjes in het scherm om meer informatie te krijgen over de verschillende elementen die bij een bodemsanering spelen.
- Ga nu naar tabblad *Simulatie*. Maak de volgende run:
Een beluchting met een saneringsperiode van 2 jaar en een observatieperiode van 100 dagen. Klik op "Run".
- Kijk naar de grafieken op tabblad *Resultaten*. Beweeg met je muis over de grafieken heen, dan zie je precieze waarde per punt tevoorschijn komen.
Je ziet dat de waarde van 0,0003 mmol/L nog niet gehaald is.
- Klik op "Start nieuwe run" om een nieuwe run te beginnen. Je ziet dat de vorige waarden zijn overgenomen. Maak een nieuwe run:
Een beluchting met een langere saneringsperiode, waarbij je de eindwaarde denkt te bereiken.
- Herhaal tot je je doel bereikt hebt. Als de Challenge niet gelukt is, druk je op F5 voor een nieuwe poging.

Beantwoord nu de volgende vragen in deze lesbrief:

- 1) Bereken per liter grondwater hoeveel mmol zuurstof er in het totaal is toegevoegd. Neem aan dat er elke dag opnieuw 0.014 mmol zuurstof aan een liter grondwater is toegevoegd (de maximale oplosbaarheid van zuurstof in water).

Je ziet dat de beginconcentratie opgelost benzeen in het grondwater gelijk is aan 0,5 mmol/L. Een ander deel van het benzeen is echter geadsorbeerd aan de grond, en dus niet in oplossing. Ga ervan uit dat er per liter grondwater zo'n 1 mmol benzeen aan de grond geadsorbeerd is, en er dus bruto 1,5 mmol benzeen per liter grondwater aanwezig is.

- 2) Geef de vergelijking van de halfreactie van de omzetting van zuurstof.
- 3) Bepaal met behulp van de totaalvergelijking hoeveel mmol zuurstof er strikt genomen nodig is voor het opruimen van alle benzeen uit 1 L grondwater?
- 4) Hoeveel maal zuurstof heb je volgens de simulatie meer gebruikt dan het in opg. 3 berekende aantal mmol? Verklaar het verschil.

Rond de challenge af op het tabblad *Afronding*:

- Beantwoord de vragen en klik op "Antwoorden opslaan".
- **Let op:** Wanneer je de antwoorden opgeslagen hebt kan je deze niet meer aanpassen.

- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.
- Ga met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Challenge 2

Dit ga je ontdekken:

- Je gaat een nieuwe techniek leren, chemische oxidatie, die je kunt gebruiken om organische verontreinigingen, zoals benzeen, op te ruimen.
- Je gaat leren wat de sliders “concentratie” en “aantal doseringen” betekenen en ontdekken hoe je bodems schoonmaakt door deze in te stellen.

Neem de volgende achtergrondinformatie door:

In-situ chemische oxidatie

Bij een bodemsanering door in-situ chemische oxidatie (ISCO) wordt een sterk oxidatiemiddel met vrij hoge concentratie in de bodem gebracht. Hierdoor wordt de verontreiniging chemisch afgebroken (geoxideerd) en ontstaan er onschadelijke verbindingen. Met deze techniek is een grote hoeveelheid aan verontreiniging in een korte periode grondig te verwijderen uit de bodem en blijft er vergeleken met andere in-situ technieken slechts een kleine restverontreiniging achter. Vergeleken met biostimulering is het echter ook een duurdere techniek.

Bij chemische oxidatie is de verontreiniging de elektronen donor en speelt het saneringsmiddel de rol van elektronacceptor. Er zijn drie eigenschappen van belang bij een saneringsmiddel:

1. Reactiviteit - hoe makkelijk de stof reageert.
2. Stabiliteit – stoffen kunnen spontaan ontleden, hoe instabieler de stof hoe korter zijn gemiddelde levensduur
3. Hoeveel mol elektronen de stof per mol kan opnemen.

ISCO en de bodem

Het belangrijkste aspect van een ISCO-sanering is dat het oxidatiemiddel voldoende in contact moet komen met de verontreiniging. Daarom is een goede bodemdoorlaatbaarheid bepalend voor de effectiviteit en het succes van de sanering. Een andere voorwaarde is een laag gehalte aan organisch materiaal (plantenresten) in de grond. Zandbodems hebben een hoog gehalte vrije bodemporiën (open bodemruimte) en bevatten doorgaans weinig organisch materiaal. Meestal is er twee tot vijf keer meer oxidatiemiddel nodig ten opzichte van de aanwezige verontreiniging, omdat er zoveel plantenresten en bodemleven mee geoxideerd wordt.

Tijdens oxidatie bij een ISCO-sanering, kunnen de omstandigheden in de bodem tijdelijk zuurstofrijker worden. Dat kan biologische afbraakprocessen versnellen. Bacteriën kunnen ISCO overleven, omdat ze in heel kleine bodemporiën buiten bereik van het oxidatiemiddel blijven. Daarnaast vindt bij de toepassing van alle oxidatiemiddelen zuurvorming plaats, en kunnen de restproducten van een oxidator de doorlaatbaarheid van de bodem beïnvloeden.

Kaliumpermanganaat

Kaliumpermanganaat (KMnO_4) is een relatief sterke oxidator en blijft lang stabiel in de bodem; het heeft een gemiddelde levensduur van ongeveer 3 maanden. Kaliumpermanganaat is een oplosbaar zout dat bestaat uit K^+ en MnO_4^- , waarbij MnO_4^- het werkzame deel is, daarom wordt het soms ook eenvoudiger aangeduid met alleen permanganaat - MnO_4^- . Bij reactie van permanganaat ontstaat mangaanoxide (bruinsteen), een zout dat in de bodem neerslaat.

Permangaat kan 3 elektronen per molecuul accepteren en reageert als:



Speel nu Challenge 2:

- Lees de opdracht op het tabblad *Challenge*.
- Ga nu naar tabblad *Simulatie*. Maak de volgende run:
Een sanering met chemische oxidatie met een concentratie KMnO_4 van eerst 1 mmol per L grondwater. Kies zelf het aantal doseringen. Klik op Run.
- Kijk naar de grafieken op tabblad *Resultaten*. Check door met je muis over de grafieken te bewegen of je de waarde van 0,0003 mmol/L bereikt hebt.
- Klik nu op "Edit" om je run te bewerken, je ziet dat de oude waardes terugkomen. Pas een van beide sliders aan en bekijk het effect van de verandering.
- Doe dat steeds apart voor beide sliders concentratie en aantal doseringen, en laat in de eerste run de concentratie KMnO_4 na een dosering niet hoger dan 4 mmol/L worden. Ga door totdat je de eindwaarde gehaald hebt.
- Klik op "Start nieuwe run" om een nieuwe run te beginnen. Je ziet dat de vorige waardes zijn overgenomen. Maak een nieuwe run:
Verdubbel de concentratie ten opzichte van Run 1, en kijk of je toe kunt met tweemaal zo weinig doseringen. Optimaliseer het aantal doseringen.

Beantwoord nu de volgende vragen in deze lesbrief:

1. Leg uit waarom het interval op 90 dagen staat. Kijk in het dashboard bovenaan het scherm voor een aanwijzing.
2. Verklaar het verloop van de grafieken tijdens de sanering. Waar komen de "hobbels" vandaan?
3. Hoeveel mmol KMnO_4 heb je uiteindelijk per liter grondwater toegevoegd in de eerste run?

Ook hier zit er bruto (bodem en grondwater) 1,5 mmol benzeen in 1 L grondwater. Gebruik voor de volgende vraag de volgende info uit het dashboard: het aantal mol elektronen per mol benzeen en het aantal mol elektronen per mol KMnO_4 .

4. Bereken de efficiëntie van de eerste run met de volgende formule. (Efficiëntie = mol met benzeen gereageerd KMnO_4 / mol toegevoegd KMnO_4)
5. Bereken ook de efficiëntie van de tweede run. Beredeneer waarom die anders is dan die van de eerste run.
6. Geef een chemisch argument waarom teveel plantenresten (bijvoorbeeld veen) in de bodem de afbraak van de verontreiniging verstoort.

Rond de challenge af op het tabblad *Afronding*:

- Beantwoord de vragen en klik op “Antwoorden opslaan”.
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.
- Ga met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Challenge 3

Dit ga je ontdekken:

- Je maakt kennis met een nieuwe stof voor de techniek chemische oxidatie: waterstofperoxide.
- Je maakt kennis met een nieuwe verontreiniging: PCE.
- Je gaat leren wat de slider “interval” betekent.

Neem de volgende achtergrondinformatie door:

PCE-verontreiniging

Je maakt nu kennis met een nieuw soort verontreiniging: PerChloorEthyleen, afgekort tot PCE (C_2Cl_4). PCE is een stof uit de groep vluchtige chloorkoolwaterstoffen. Deze stoffen zijn vloeibaar, sterk hydrofoob en worden veel als oplossings- en ontvettingsmiddel gebruikt in wasserijen en diverse industrieën. PCE is geen prettig stofje. Het breekt langzaam af, haar afbraakprodukten zijn behoorlijk giftig en het verspreidt zich gemakkelijk en zakt door het hoge soortelijk gewicht vaak diep de bodem in.

Om PCE te saneren zijn er, afhankelijk van de omstandigheden, verschillende technieken toe te passen. Een handige eigenschap van PCE is namelijk dat het zowel als reductor als oxidator kan reageren. Bij saneringen kan het dus ook op verschillende manieren worden afgebroken.

Oxidatie van PCE

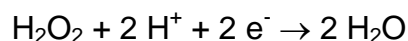
Eerst richten we ons op oxidatie van PCE. Oxidatie van PCE verloopt net zoals bij benzeen. Dit kan door het toevoegen van een sterke oxidator waarbij dan $2CO_2$ en $4Cl^-$ ontstaan. Een zwakke oxidator zoals zuurstof in het grondwater is niet sterk genoeg om een reactie aan te gaan.

In de aanwezigheid van een elektronacceptor (oxidator) reageert PCE - C_2Cl_4 - als elektrondonor tot $2CO_2$ en $4Cl^-$. Hierbij doneert een molecuul PCE 4 elektronen. De halfreactie hierbij is:



Waterstofperoxide

Waterstofperoxide - molecuulformule H_2O_2 - is een nog sterkere oxidator dan permangaat (sterkere reactiviteit) maar is behoorlijk instabiel. Doordat waterstofperoxide makkelijk ontleedt heeft het een korte gemiddelde levensduur van twee dagen. Het is dezelfde stof die ook wordt gebruikt om bijvoorbeeld je haar te bleken, hoewel je daarvoor een oplossing van slechts drie massaprocent gebruikt. Waterstofperoxide kan twee elektronen per molecuul opnemen en reageert als:



Speel nu Challenge 3:

- Lees de opdracht op het tabblad *Challenge*.

Challenge 4

Dit ga je ontdekken:

- Je leert dat PCE ook gereduceerd kan worden in een anaerobe omgeving met in-situ biostimulering.
- Je maakt kennis met twee nieuwe stoffen voor de techniek biostimulering: acetaat en HRC.

Neem de volgende achtergrondinformatie door:

Reductie van PCE

Het is ook mogelijk om PCE te reduceren. Er is dan een elektrondonor (reductor) in het grondwater nodig en PCE reageert als elektronacceptor (oxidator). PCE neemt bij reductie twee elektronen op, er wordt een chlooratoom in de vorm van ion vrijgelaten en een H^+ ion als H-atoom aan het molecuul vastgemaakt. Er is dan C_2Cl_3H ontstaan. Als deze reactie viermaal wordt herhaald, zijn er $4Cl^-$ en etheen (C_2H_4) ontstaan. In het totaalproces neemt PCE dus 8 elektronen op.

Natuurlijke afbraak van PCE in veen

De reactie die plaatsvindt wordt als het ware gekatalyseerd door speciale bacteriën die in plaats van zuurstof PCE kunnen gebruiken voor hun ademhaling. Door PCE af te breken, groeit het aantal bacteriën. Hoe meer ze afbreken, hoe meer bacteriën er komen en hoe sneller de sanering gaat! Het gunstige van deze reductiereactie is dat deze verloopt bij aanwezigheid van organische stoffen in het grondwater, zoals plantenresten (natuurlijke reductoren). Veenbodems hebben een hoog gehalte aan organische stoffen, en PCE wordt in veenbodems dus langzaam op natuurlijke wijze afgebroken.

Biogestimuleerde afbraak van PCE

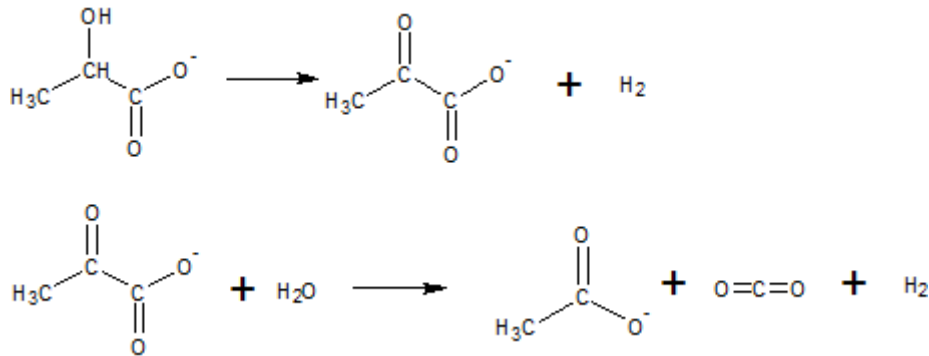
Ook de natuurlijke reductie van PCE kan worden versneld met in-situbiostimulering, door extra organisch materiaal (reductor) aan het grondwater toe te voegen. Biostimulering is langzamer, maar goedkoper dan chemische oxidatie. Veelgebruikte reductoren zijn acetaat (de zuurrest van azijnzuur) en HRC (Hydrogen Release Compound) een commercieel verkrijgbare organische stof die langzaam lactaat loslaat, de zuurrest van melkzuur. Lactaat reageert tot acetaat, waarbij tweemaal een waterstofmolecuul vrijkomt.

Acetaat

Acetaat (CH_3COO^-) is een goed oplosbare organische stof met een vrij korte gemiddelde levensduur van twee weken. Acetaat is een veelvoorkomende stof en daarmee goedkoop om aan de bodem toe te dienen. Acetaat kan acht elektronen per molecuul doneren.

Lactaat

Lactaat is het actieve bestanddeel van HRC. Door langzaam lactaat los te laten blijft HRC gedurende een jaar actief in de bodem. Bij de omzetting van lactaat naar acetaat komt er tweemaal H_2 vrij, wat heel efficiënt met PCE kan reageren. HRC is duurder per mol dan acetaat, maar ook efficiënter. Lactaat is de zuurrest van melkzuur ($CH_3^+CHOH-COOH$).



Lactaat wordt in twee stappen omgezet tot acetaat zoals in bovenstaande figuur te zien is. De twee H₂ moleculen die hierbij ontstaan doneren ieder twee elektronen. Samen met de acht elektronen gedoneerd door acetaat, levert lactaat dus in totaal twaalf elektronen per ion.

Speel nu Challenge 4:

- Lees de opdracht op het tabblad *Challenge*.
- Ga nu naar tabblad *Simulatie*. Maak de volgende run:
Een biostimulering-sanering met acetaat met een interval van eerst 25 dagen. Kies zelf het aantal doseringen. Klik op "Run".
- Kijk naar de grafieken op tabblad *Resultaten*. Check door met je muis over de grafieken te bewegen of je de waarde van 0,0002 mmol/L bereikt hebt.
- Klik nu op "Edit" om je run te bewerken, je ziet dat de oude waardes terugkomen. Pas een van beide sliders aan en bekijk het effect van de verandering.
- Doe dat steeds apart voor beide sliders interval en aantal doseringen. Ga door totdat je de eindwaarde gehaald hebt.
- Klik op "Start nieuwe run" om een nieuwe run te beginnen. Je ziet dat de vorige waardes zijn overgenomen. Maak een nieuwe run:
Een biostimulering-sanering met HRC met een interval van 1 jaar. Kies zelf het aantal doseringen.
- Klik nu op "Edit" om je run te bewerken, je ziet dat de oude waardes terugkomen. Pas een van beide sliders aan en bekijk het effect van de verandering.

Beantwoord nu de volgende vragen in deze lesbrief:

1. Leidt de vergelijking van de halfreactie voor de omzetting van acetaat in CO₂. Naast acetaat en CO₂ komen ook H₂O, H⁺ en e⁻ in de vergelijking voor
2. Reken uit hoeveel mmol acetaat en HRC je in totaal per L grondwater hebt toegevoegd.

Acetaat: mmol

HRC: mmol

3. Hoeveel maal meer acetaat heb je gebruikt ten opzichte van HRC?

4. Welke omrekeningsfactor moet je toepassen om acetaat en HRC met elkaar te vergelijken? Vermenigvuldig het antwoord van vraag 3 met deze omrekeningsfactor. Leg uit waarom dit getal ontstaat.

Rond de challenge af op het tabblad *Afronding*:

- Beantwoord de vragen en klik op “Antwoorden opslaan”.
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.
- Ga met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Challenge 5

Dit ga je ontdekken:

- Hoe je biogestimuleerde sanering versneld gaat laten verlopen.

In deze challenge is er geen extra achtergrondinformatie.

Speel nu Challenge 5:

- Lees de opdracht op het tabblad *Challenge*.
- Ga nu naar tabblad *Simulatie*. Maak een eerste run, kies zelf je instellingen.
- Klik op “Start nieuwe run” om een nieuwe run te beginnen. Je ziet dat de vorige waardes zijn overgenomen. Maak een nieuwe run en ga door totdat je de eindwaarde gehaald hebt.

Rond de challenge af op het tabblad *Afronding*:

- Beantwoord de vragen en klik op “Antwoorden opslaan”.
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.
- Ga met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Challenge 6

Dit ga je ontdekken:

- Je gaat de voor- en nadelen van chemische oxidatie in een veengrond onderzoeken.
- Oxidatie in veengrond is niet duurzaam: veen wordt geoxideerd.

In deze challenge is er geen extra achtergrondinformatie.

Speel nu Challenge 6:

- Lees de opdracht op het tabblad *Challenge*.
- Ga nu naar tabblad *Simulatie*. Maak de volgende run:
Een biostimulering-sanering met HRC. Bepaal zelf de concentratie, het aantal doseringen en het interval. Maak de saneringsduur zo kort mogelijk.
- Klik nu op "Edit" om je run te bewerken, je ziet dat de oude waardes terugkomen. Pas een van de sliders aan en bekijk het effect van de verandering. Ga door totdat je de eindwaarde gehaald hebt.
- Klik op "Start nieuwe run" om een nieuwe run te beginnen. Je ziet dat de vorige waardes zijn overgenomen. Maak een nieuwe run:
Een ISCO-sanering met KMnO_4 . Kies zelf weer de concentratie, het aantal doseringen en het interval. Maak de saneringsduur zo kort mogelijk.
- Klik nu op "Edit" om je run te bewerken, je ziet dat de oude waardes terugkomen. Pas een van de sliders aan en bekijk het effect van de verandering. Ga door totdat je de eindwaarde gehaald hebt.

Rond de challenge af op het tabblad *Afronding*:

- Beantwoord de vragen en klik op "Antwoorden opslaan".
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.
- Ga met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Challenge 7

Dit ga je ontdekken:

- Hoe je benzeen in een veengrond opruimt.

Neem de volgende achtergrondinformatie door:

Oxidatie in veengrond

In Nederland komt veel veengrond voor. Waar zandgrond bestaat uit inerte siliciumoxidekorrels (kwarts), wordt veengrond gevormd door verteerde plantenresten die als reductor met al het beschikbare zuurstof in het grondwater hebben gereageerd. In veen zijn er dus zuurstofloze (anaerobe) omstandigheden en daarom vindt er geen natuurlijke afbraak van benzeen plaats.

Het toevoegen van een oxidator in het grondwater van een veenbodem zal niet alleen de verontreiniging afbreken, maar ook als oxidator met de plantenresten reageren. Dit zorgt ervoor dat de verontreiniging langzamer wordt afgebroken, want er is minder saneringsmiddel (oxidator) beschikbaar voor de afbraak van de verontreiniging.

Speel nu Challenge 7:

- Lees de opdracht op het tabblad *Challenge*.
- Ga nu naar tabblad *Simulatie*. Maak de volgende run:
Een ISCO-sanering met KMnO_4 . Kies zelf de concentratie, het aantal doseringen en interval. Voeg zo weinig mogelijk saneringsmiddel toe.
- Klik nu op "Edit" om je run te bewerken, je ziet dat de oude waardes terugkomen. Pas een van de sliders aan en bekijk het effect van de verandering. Ga door totdat je de eindwaarde gehaald hebt.
Klik op "Start nieuwe run" om een nieuwe run te beginnen. Je ziet dat de vorige waardes zijn overgenomen. Maak een nieuwe run:
Een ISCO-sanering met H_2O_2 . Kies zelf weer de concentratie, het aantal doseringen en het interval. Voeg zo weinig mogelijk saneringsmiddel toe.
- Klik nu op "Edit" om je run te bewerken, je ziet dat de oude waardes terugkomen. Pas een van de sliders aan en bekijk het effect van de verandering. Ga door totdat je de eindwaarde gehaald hebt.
- Klik op "Start nieuwe run" om een nieuwe run te beginnen. Je ziet dat de vorige waardes zijn overgenomen. Maak een nieuwe run:
Een biogestimuleerde sanering met beluchting. Kies zelf weer het aantal doseringen en het interval (saneringsperiode = aantal doseringen * interval).
- Klik nu op "Edit" om je run te bewerken, je ziet dat de oude waardes terugkomen. Pas een van de sliders aan en bekijk het effect van de verandering. Ga door totdat je de eindwaarde gehaald hebt.

Rond de challenge af op het tabblad *Afronding*:

- Beantwoord de vragen en klik op "Antwoorden opslaan".
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.
- Ga met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.