

Zuiver drinkwater?!

Docentenhandleiding

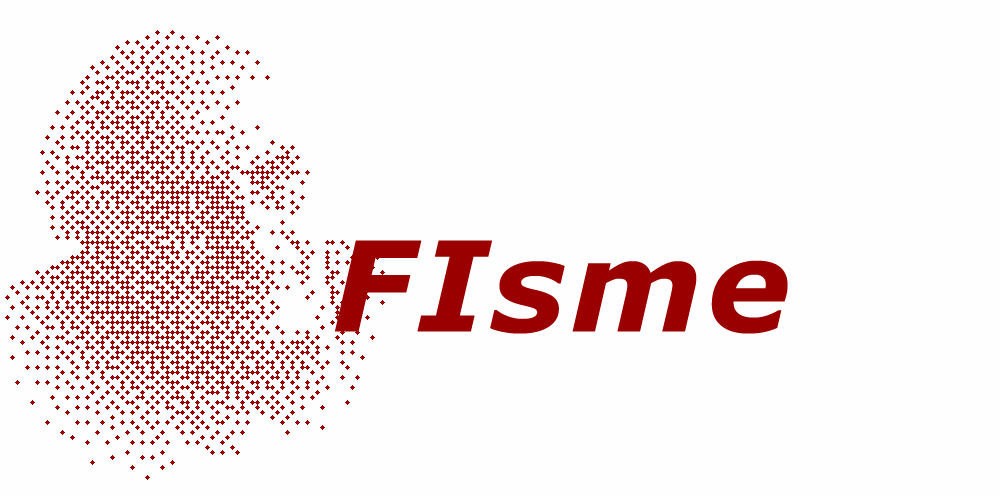
**Junior College**

**Utrecht**

Zuiver drinkwater?!

*Procesmodellering vlokbehandeling Docentenhandleiding*

*Versie 1.0*



*Op de omslag*

*Foto door Jørn Nøding, Noorwegen*

De module *Zuiver Drinkwater?!* is bestemd voor de lessen Natuur, Leven en Technologie. De module is op 4 juni 2009 gecertificeerd door de Stuurgroep NLT voor gebruik op het vwo in domein E (biofysica, biochemie en bioinformatica). Het certificeringsnummer is X224-041-VH.

De originele gecertificeerde module is in pdf-formaat downloadbaar via [http://www.betavak-nlt.nl](http://www.betavak-nlt.nl/)

De module is gemaakt in opdracht van het Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen en het Junior College Utrecht

Deze module is ontwikkeld door Gjalt Prins (Freudenthal Instituut) en Paul Drijvers (Freudenthal Instituut) in samenwerking met:

* Junior College Utrecht
  + Frans Teeuw
  + Rob Wiedemeijer
* Freudenthal Instituut/Sectie Chemiedidactiek
  + Astrid Bulte
  + Albert Pilot
  + Atie Wigmans
* Docentennetwerk Chemiedidactiek
  + Rens Bijma (Griftland College, Soest)
  + Jan de Vries (Oosterlicht College, Nieuwegein)
  + Jeannine Acampo (Bonifatius College, Utrecht)
  + Sanne Spijker (Lek & Linge, Culemborg)
  + Wijnand Rietman (Het Streek, Ede)
* Vormgeving
  + Krijn Kieviet
  + Communicatie en Vormgeving Faculteit Bètawetenschappen

© 2009. Versie 1.0

Voor deze module geldt een

Creative Commons Naamsvermelding-Niet-commercieel-Gelijk delen 3.0 Nederland Licentie



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl>

Het auteursrecht op de module berust bij de Universiteit Utrecht, het Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen en het Junior College Utrecht.

Aangepaste versies van deze module mogen alleen verspreid worden, indien in de module vermeld wordt dat het een aangepaste versie betreft, onder vermelding van de naam van de auteur van de wijzigingen.

De auteurs hebben bij de ontwikkeling van dit materiaal gebruik gemaakt van materiaal van derden. Waar dat is gebeurd, is zo veel mogelijk de bron vermeld. De module is met zorg samengesteld. De Universiteit Utrecht aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade voortkomend uit (het gebruik van) deze module.

Materialen die leerlingen nodig hebben bij deze module zijn beschikbaar via het vaklokaal NLT: <http://www.digischool.nl/nlt>

# Inhoudsopgave

[Inhoudsopgave 1](#_TOC_250036)

[Inleiding 3](#_TOC_250035)

[Achtergrond 3](#_TOC_250034)

[Introductie op de lessenserie 4](#_TOC_250033)

[Hoofdstuk 1. De module in één oogopslag 5](#_TOC_250032)

[Hoofdstuk 2. Leerdoelen 7](#_TOC_250031)

[Hoofdstuk 3. Context 8](#_TOC_250030)

[Hoofdstuk 4. Concepten 9](#_TOC_250029)

* 1. [Scheikunde: Drinkwaterbereiding | Zuiveringsstap vlokbehandeling 9](#_TOC_250028)
  2. [Procesvariabelen 9](#_TOC_250027)
  3. [Coagulatie | flocculatie 9](#_TOC_250026)
  4. [Wiskunde: Statistiek, in bijzonder Correlatie- & Regressieanalyse. 9](#_TOC_250025)
  5. [Schk + wisk: Procesmodellering 9](#_TOC_250024)

[Hoofdstuk 5. Vaardigheden 10](#_TOC_250023)

[Hoofdstuk 6. Vakkennis 11](#_TOC_250022)

[Hoofdstuk 7. Leerplan 12](#_TOC_250021)

[Hoofdstuk 8. Toelichting bij leerling-opdrachten 14](#_TOC_250020)

* 1. [Toelichting 14](#_TOC_250019)
  2. [Deel I: Introductie op deze lessenserie 14](#_TOC_250018)
  3. [Deel II: Oriëntatie op drinkwaterbereiding 14](#_TOC_250017)
  4. [Deel III: Procesmodellering vlokbehandeling 18](#_TOC_250016)
  5. [Deel IV: Werking van vlokbehandeling en procesvariabelen 20](#_TOC_250015)
  6. [Deel V: Experimenteel onderzoek en meetresultaten 22](#_TOC_250014)
  7. [Deel VI: Wiskundig model 26](#_TOC_250013)
  8. [Deel VII: Evaluatie, reflectie en aanbevelingen 28](#_TOC_250012)
  9. [Deel VIII: Afronding 30](#_TOC_250011)

[Hoofdstuk 9. Practicum 31](#_TOC_250010)

* 1. [Voorbereidingen en bestellingen 31](#_TOC_250009)
  2. [Demonstratie experiment 32](#_TOC_250008)
  3. [Leerlingenpracticum 33](#_TOC_250007)
  4. [Verdiepingsopdracht 2 Scheikunde 39](#_TOC_250006)

[Hoofdstuk 10. Toetsing 40](#_TOC_250005)

* 1. [Correctiemodel Factsheet Procesmodeleren vlokbehandeling 40](#_TOC_250004)
  2. [Referentie factsheet 42](#_TOC_250003)

[Hoofdstuk 11. Suggesties en extra opdrachten 46](#_TOC_250002)

* 1. [Verdiepingopdracht 1: ‘Wiskundige achtergronden van correlatie en regressie’ 46](#_TOC_250001)
  2. [Verdiepingopdracht 2: ‘Testen van het black-box model van proces vlokbehandeling’ 47](#_TOC_250000)

# Inleiding

## Achtergrond

Dit lesmateriaal is geënt op uitgevoerd werk door RIVM en TU/Delft. Door RIVM en TU/Delft is een wiskundig model opgesteld van het gehele proces van drinkwaterbereiding (model TAPWAT). Eén van de doelen van model TAPWAT is verontreinigingen in de bron door te kunnen berekenen naar uiteindelijke blootstelling van de consument als functie van de kwaliteit van het zuiveringstraject. Voor iedere zuiveringsstap in de keten van drinkwaterbereiding is systematisch de invloed van procesvariabelen op de verwijderingscapaciteit onderzocht. Deze invloed is gekwantificeerd en beschreven in wiskundige formules.

In deze lesmodule staat de zuiveringsmethode vlokbehandeling centraal. Vlokbehandeling is doorgaans de tweede stap in de zuiveringsketen voor oppervlaktewater. Door vlokbehandeling worden o.a. zeer fijne kleideeltjes, organische componenten en colloïdale deeltjes verwijderd. Deze deeltjes maken het water troebel. Vlokbehandeling vindt plaats door een zgn. vlokmiddel toe te voegen, bijvoorbeeld FeCl3. Er zijn diverse variabelen te onderscheiden die in combinatie de eindtroebeling van het water bepalen, waaronder de hoeveelheid vlokmiddel, de mate van begintroebeling en de *pH*. De mate van begintroebeling varieert per seizoen. Ook de *pH* van water varieert. Uiteraard speelt ook procesuitvoering een rol. Drinkwaterbedrijven staan voor de taak constant in te spelen op veranderende omstandigheden.

De uitgevoerde modelleeraanpak voor vlokbehandeling valt te kwalificeren als ‘black box’ modelleren (meer hierover bij onderdeel 3: Leerdoelen). De invloed van diverse procesvariabelen op de eindtroebeling is experimenteel gemeten. Tevens is gebruik gemaakt van reële bedrijfsgegevens. Vervolgens is een meervoudige regressieanalyse uitgevoerd op de data. Het ontwikkelde multiplicatieve meervoudige regressiemodel heeft de volgende vorm1:

0.321 0.815 1,37

*troebelingeind*  49,56 \* *troebeling* \* *dosis*  *vlokmiddel* \* *pH*

*begin*

Dit soort procesmodellen kunnen een bijdrage leveren om te komen tot (computergestuurde) vlokmiddeldosering, met als doelen 1) besparing op het chemicaliëngebruik en 2) milieu aspecten (o.a. verminderde slib productie). Vlokbehandeling is een oude zuiveringstechniek die echter nog altijd veel gebruikt wordt als eerste stap in de drinkwaterbereiding. Er wordt ook nog altijd veel onderzoek gedaan naar optimale procesuitvoering. De inhoud van deze module is dus actueel vanuit milieu en kosten oogpunt.

In deze lesmodule gaan leerlingen ook een ‘black box’ modelleeraanpak toepassen. Het proces van vlokbehandeling wordt inhoudelijk ver uitgediept. Het is een goed mix tussen onderzoek, dataverwerking en modellering. Leerlingen verdiepen zich allereerst in procesvariabelen en coagulatie/flocculatie, voeren experimenten uit en passen regressie toe. Er worden (slechts) drie procesvariabelen daadwerkelijk onderzocht: dosis vlokmiddel, begintroebeling en temperatuur. Uiteindelijk construeren leerlingen een meervoudig regressiemodel (die overigens afwijkt van het bovenstaande regressiemodel). De belangrijkste leerdoelen zijn dat leerlingen 1) op betekenisvolle wijze een modelleerprocedure doorlopen en 2) het door hen ontwikkelde regressiemodel kunnen evalueren o.a. op doel, betrouwbaarheid, geldigheid en passendheid.

*1 Bron: L. Rietveld (1999) TAPWAT; berekeningen met proces- en waterkwaliteitsparameters Presentaties Workshop TAPWAT, een zuiveringsmodel, RIVM/LWD.*

### Inleiding Zuiver Drinkwater?!

## Introductie op de lessenserie

(Onderstaande introductie staat ook in het lesboek)

Schoon *drink*water is belangrijk voor onze eigen gezondheid. Schoon drinkwater lijkt de normaalste zaak van de wereld: het stroomt immers zo uit de kraan. Maar zo vanzelfsprekend is dat in heel veel gevallen niet. De productie van drinkwater start met het oppompen van grondwater en oppervlaktewater uit meren en rivieren. Dit water is vervuild en niet geschikt als drinkwater. Het water moet eerst gezuiverd worden. Drinkwaterbedrijven zijn verantwoordelijk voor productie van schoon drinkwater.

Drinkwaterbereiding bestaat uit een aantal opeenvolgende zuiveringsstappen waarin telkens een aantal verontreinigingen wordt verwijderd. Op hoofdlijnen zijn er drie methoden om verontreinigingen te verwijderen: bezinken, filtreren en chemicaliën toevoegen. Op school heb je vast al wel eens gewerkt met deze scheidingstechnieken. Denk maar eens aan suspensies die je hebt laten bezinken en/of gefiltreerd en proefjes met Norit (actieve kool). Drinkwaterbedrijven gebruiken dezelfde technieken, alleen dan op veel grotere schaal. Het drinkwaterbereidingproces is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.

Bronnen

* grondwater
* oppervlaktewater

Drinkwater- bereiding

(meerdere stappen)

Drinkwater

Nu is het zo dat de kwaliteit van het te zuiveren water steeds verandert. Dit geldt vooral voor oppervlaktewater. Daarom moet ook het proces van drinkwaterbereiding continu worden aangepast om schoon drinkwater te produceren. Voorbeelden van aanpassingen zijn een langere of kortere tijd voor bezinken, gebruik van andere filters en/of het wijzigingen van de dosis toegevoegde chemicaliën. Al deze factoren die kunnen veranderen worden *procesvariabelen* genoemd.

In dit project ga je voor de zuiveringsstap vlokbehandeling de *procesvariabelen* identificeren, de invloed op de verwijdercapaciteit meten en het verband beschrijven in een wiskundige formule. Je doet hierbij kennis op over het proces van drinkwaterbereiding en vlokbehandeling in het bijzonder. Daarnaast leer je een aantal technieken en onderzoeksmethoden die ook in andere chemische vraagstukken bruikbaar zijn.

Dit *lesboek* bevat de centrale teksten en activiteiten. Naast dit lesboek is er een *bronnenboek* beschikbaar. In het bronnenboek staat informatie in de vorm van documenten, artikelen en handleidingen.

# Hoofdstuk 1. De module in één oogopslag

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| titel | Zuiver Drinkwater?! |  |
| code | Nltc-v224 |  |
| status | testversie |  |
| havo/vwo | vwo |  |
| beoogd leerjaar | 5 vwo |  |
| omschrijving | In deze module onderzoeken we de chemische achtergrond van de vlokbehandeling bij de bereiding van drinkwater. Vervolgens doen we een experimenteel onderzoek naar de invloed van de diverse variabelen op de vlokvorming. De experimentele resultaten worden wiskundig verwerkt tot een procesmodel. Dit model wordt tenslotte geëvalueerd op doel, geldigheid, betrouwbaarheid enz. |  |
| context | Uitvoeren van een deelopdracht in het kader van projectplan ‘verbeteren van de bedrijfsvoering van de drinkwaterbereiding’. Het projectplan betreft een groot, diepgaand onderzoek naar de gehele keten van drinkwaterbereiding. | * hfd 4 |
| concepten | Colloïdale deeltjes, coagulatie/flocculatie, correlatie- en regressieanalyse | * hfd 5 |
| vaardigheden | Alle vaardigheden uit domein A, met name:  Informatie zoeken en verwerken, experimenten uitvoeren en de resultaten analyseren met wiskundige technieken en naar aanleiding daarvan een wiskundig model ontwerpen en de betrouwbaarheid ervan evalueren | * hfd 6 |
| vakkennis TF | * Voor scheikunde is als voorkennis nodig: gedrag van zouten in water, vanderwaalsbinding, coulombkrachten. Deze begrippen vormen gewoonlijk onderdeel van de V4 stof voor scheikunde. Nieuwe kennis over colloïden wordt aangeboden in het bronnenboek. * Voor wiskunde volstaat als voorkennis de leerstof V4. Nieuwe kennis over correlatie- en regressieanalyse wordt in het bronnenboek aangeboden. | * hfd 7 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| studielast | 40 slu   * 20 slu begeleid en 20 slu huiswerk/onbegeleid | * hfd 8 |
| structuur | lineair | * hfd 8 |
| leerling- activiteiten | Informatie opzoeken en verwerken, experimenten opzetten en uitvoeren, gegevens m.b.v. statistische technieken analyseren  m.b.v. Excel en/of de grafische rekenmachine | * hfd 8/9 |
| faciliteiten | * TOA-assistentie nodig bij voorbereiden (minimaal 1 dag) en uitvoeren van een practicum van (minimaal) 2 klokuren. * Eventueel een expert voor een openingssessie. * Gewenste lesduur: 150 minuten * 1 les in een computerlokaal * 1 les in een practicumlokaal * 6 lessen in een gewoon lokaal * grafische rekenmachine. * IPCOACH voor centraal meetstation voor troebeling (Nephelometer | troebelingssensor). * Mogelijk: excursie en/of bezoek museum | * hfd 8/9 |
| toetsvormen en weging | Er wordt één eindprodukt gemaakt in de vorm van een factsheet. Dit kan beoordeeld worden. Daarnaast kan, indien gewenst, het proces beoordeeld worden | * hfd 11 |
| aansluitende modules | Drinkwater nlt3-v121. | * hfd 12 |

# Hoofdstuk 2. Leerdoelen

Leerdoelen, geformuleerd voor leerlingen:

Je maakt in deze module kennis met de bedrijfstak drinkwaterbereiding en met de methodes die gebruikt worden om de drinkwaterbereiding te onderzoeken.

Je leert in deze module hoe kleine zwevende verontreinigingen uit het water gehaald worden. Je onderzoekt experimenteel welke procesvariabelen hierbij een rol spelen. Je gaat de experimentele gegevens met wiskundige technieken analyseren en verwerken tot een model. Je evalueert de geldigheid en betrouwbaarheid van dit model.

Het doel van de lessenserie is dat leerlingen 1) op betekenisvolle wijze een modelleerprocedure doorlopen en 2) zicht krijgen op doel, betrouwbaarheid en geldigheid van een, in dit geval, regressiemodel. Nevendoel is dat leerlingen zicht krijgen op hoe ingenieurs te werk gaan bij dit soort chemische modelleervraagstukken.

De gevolgde modelleeraanpak valt te omschrijven als een ‘black-box’ modelleeraanpak, ofwel een statistisch-experimentele benadering voor het bestuderen van een grootheid (troebeling) als functie van verschillende beïnvloedende factoren. Deze modelleeraanpak omvat de volgende fasen:

* identificeer de relevante beïnvloedende factoren
* voer experimenten uit onder gecontroleerde omstandigheden uit voor verschillende waarden voor de beïnvloedende factoren
* meet de onderzochte grootheid zo nauwkeurig mogelijk voor de verschillende waarden van de beïnvloedende factoren
* probeer door middel van bijvoorbeeld een regressieanalyse het verband tussen de beïnvloedende factoren en onderzochte grootheid te modelleren
* behoud uitsluitend termen met coëfficiënten die statistisch significant van nul verschillen.

Procesmodellen kunnen ruwweg onderverdeeld worden in ‘black-box’ en mechanistische modellen. Mechanistische modellen zijn theoretisch gefundeerd op fysisch-chemische principes. Een mechanistisch model geeft een navolgbare en exacte beschrijving van de werking en gedrag van een proces. Het model is toetsbaar door experimenten uit te voeren (empirie). Het ontwikkelen van een mechanistisch model kost veel tijd (en dus geld). Dit geldt vooral voor processen die zeer complex zijn en/of processen waarover weinig bekend is. Soms is het ontwikkelen van een mechanistisch model niet mogelijk, terwijl het wel van belang is inzicht te verkrijgen in het gedrag van een proces. In dat soort omstandigheden worden ‘black-box’ modellen ontwikkeld. Bij de ‘black-box’ aanpak is de empirie het belangrijkste vertrekpunt. Echter, als het gaat om het beschrijven van trends in het gedrag van een proces, dan zijn ‘black box’ modellen vaak net zo effectief als mechanistische modellen. Een belangrijk aandachtspunt bij ‘black box’ modellen is de kwaliteit (en hoeveelheid) van de empirie. Met andere woorden: hoeveel empirie is nodig om je model als voldoende ‘betrouwbaar’ te bestempelen.

Naast de bovengenoemde leeropbrengsten m.b.t. modellen & modelleren leren leerlingen ook over drinkwaterzuivering, met name de zuiveringsstap vlokbehandeling (coagulatie mechanismen) en procesvariabelen. Daarnaast wordt geleerd over statistiek, in bijzonder Correlatie & Regressieanalyse.

# Hoofdstuk 3. Context

De context van deze module is een “authentieke modelleerpraktijk”. Dat wil zeggen dat in de module een onderzoek gedaan wordt naar de bereiding van drinkwater zoals dat ook in de praktijk plaatsvindt. De context wordt in de eerste activiteiten van de module neergezet, waarbij verwezen wordt naar o.a. bron 1 in het bronnenboek.

Om de context wat meer ‘levensecht’ te maken kan een watertechnoloog en/of onderzoeker van het waterleidingbedrijf worden uitgenodigd om de opdracht te geven / een lezing te houden/ de resultaten aan het eind van de module te beoordelen.

# Hoofdstuk 4. Concepten

## Scheikunde: Drinkwaterbereiding | Zuiveringsstap vlokbehandeling

Algemene kennis hierover wordt gezocht op internet, enkele sites:

<http://www.waternet.nl/>

<https://www.milieucentraal.nl/huis-en-tuin/gezonde->leefomgeving/drinkwater/

### https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/drinkwater

### <http://www.lenntech.com/> <http://www.vewin.nl/>

### <http://www.evides.nl/>

### <http://www.vitens.nl/>

Bij NPS Klokhuis zijn enkele informatie korte filmpjes via internet beschikbaar over waterzuivering,

o.a. vlokbehandeling in Nieuwegein.

## Procesvariabelen

Uitvoerig wordt in het lesboek via opdrachten kennisgemaakt met het begrip procesvariabelen.

## Coagulatie | flocculatie

Enkele centrale begrippen uit de colloïdchemie, zoals colloïden, coagulatie, flocculatie, coagulatie mechanismen. Dit bestuderen de leerlingen aan de hand van enkele artikelen. Deze zijn gegeven in bron 3 en 4 van het bronnenboek.

## Wiskunde: Statistiek, in bijzonder Correlatie- & Regressieanalyse.

De achtergronden worden behandeld in bronnen 6 t/m 15. De feitelijke analyse met Excel, of grafische rekenmachines zie bron16 – 18.

## Schk + wisk: Procesmodellering

Er wordt nu een wiskundige analyse uitgevoerd op de data uit de door de leerlingen uitgevoerde experimenten. Resultaat is een meervoudig regressiemodel die het verband aangeeft tussen de eindtroebeling en procesvariabelen.

# Hoofdstuk 5. Vaardigheden

### Alle vaardigheden uit domein A komen aan bod.

### In deze module zijn de volgende vaardigheden met name belangrijk: Subdomein A2-2: Ontwerpen

### De kandidaat kan een ontwerp op basis van een gesteld probleem voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren en daarbij relevante begrippen/theorie gebruiken. (In deze module wordt een model ontwikkeld dat ook geëvalueerd en getest wordt.)

### Subdomein A2-3: Modelvorming

### De kandidaat kan een realistische contextsituatie analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren en het model toetsen en beoordelen. (Dit is wel het hart van de module!)

### Subdomein A2-6: Rekenkundige en wiskundige vaardigheden

### De kandidaat kan een aantal relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden correct en geroutineerd toepassen bij vakspecifieke probleemsituaties. (Er zit een flink stuk wiskunde in de module, statistische verwerking van (experimentele) data)

### A3: Vakspecifieke vaardigheden

### Subdomein A3-1: Technisch-instrumentele vaardigheden

### De kandidaat kan op een verantwoorde manier omgaan met relevante vakinstrumenten, -apparaten en ICT-toepassingen. (Het practicum houdt in dat leerlingen oplossingen bereiden, verdunningsreeksen maken en metingen verrichten

### m.b.v. een nephelometer met IP-Coach als interface.)

### Subdomein A3-2: Vaktaal, conventies en notaties

### De kandidaat kan de correcte vakspecifieke taal en terminologie interpreteren en produceren, inclusief de daarbij inbegrepen formuletaal, conventies en notaties. (Enkele van de in de module gebruikte scheikunde bronnen zijn (bewerkte) wetenschappelijke artikelen.)

### Subdomein A3-3: Vakspecifiek gebruik van de computer

### De kandidaat kan de computer gebruiken bij modelleren en visualiseren van verschijnselen en processen, en voor het verwerken van gegevens. (In deze module wordt aangeleerd hoe data geanalyseerd worden d.m.v. correlatie- en regressieanalyse m.b.v. Excel)

# Hoofdstuk 6. Vakkennis

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| vak | vakkennis tf-programma | ll-instructie |
| scheikunde | Oplossingen, zouten, neerslagreacties | Behoort tot V4 lesstof |
| wiskunde | sommeren | Wordt in bron 6 behandeld indien nodig |

# Hoofdstuk 7. Leerplan

Onderstaande voorbeeld planning gaat uit van 8 blokken van ca. 150 minuten, exclusief tijd voor zelfstudie. De studielast voor leerlingen is dan ongeveer 40 slu.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Les* | *In de klas* | | *Zelfstudie door leerlingen* | | |
| 1 | Introductie op de lessenserie.  Deel I: Oriëntatie op drinkwaterbereiding Activiteit 1 Oriëntatie op drinkwaterbereiding Activiteit 2 Normoverschrijdingen  Activiteit 3 Demonstratie vlokbehandeling | | Deel I: Oriëntatie op drinkwaterbereiding Activiteit 4: Oriëntatie op de aanpak van experts  Deel II: Onze opdracht procesmodellering vlokbehandeling Activiteit 5 Opstellen globaal stappenplan | | |
| 2 | Terugblik activiteiten 4 en 5  Deel III: Werking van vlokbehandeling en procesvariabelen Activiteit 6 Werking van vlokbehandeling  Activiteit 7 Coagulatie & flocculatie  Activiteit 8 Verwachte verbanden tussen eindtroebeling en procesvariabelen  [NORMAAL LOKAAL] | |  | Deel III: Werking van vlokbehandeling en procesvariabelen Activiteit 9: Uitbreiden factsheet en begrippenlijst  Activiteit 10: bestuderen practicum voorschriften |  |
|  | | |
| 3 | Deel IV: Experimenteel onderzoek en meetresultaten  Activiteit 10: Experimenteel onderzoek naar de invloed van procesvariabelen.  ! Minimaal 120 minuten zuivere lestijd !  [PRACTICUM LOKAAL] | |  | Deel IV: Experimenteel onderzoek en meetresultaten Activiteit 11: Meetresultaten in beeld  Activiteit 12: Controle op uitschieters in de meetresultaten |  |
|  | | |
| 4 | Deel V: Wiskundig model Correlatie & regressie deel 1   * Inleiding correlatie en regressie * Meetniveau en meten. * Centrum en spreiding in beeld * Samenhang en Correlatie   [NORMAAL LOKAAL grafische rekenmachine.] |  |  | Deel V: Wiskundig model Correlatie & regressie deel 1  Activiteit 13: Uitbreiden factsheet en begrippenlijst  Activiteit 14: Correlatie tussen procesvariabelen en eindtroebeling |  |
|  | |  | | |

8

Deel VII: Afronding

Activiteit 20 Factsheet vlokbehandeling

Deel VI: Toepassing, reflectie en aanbevelingen Activiteit 18: Toepassing in bedrijfssituatie Activiteit 19: Reflectie en aanbevelingen

Deel VII: Afronding

Activiteit 20: Factsheet vlokbehandeling [NORMAAL LOKAAL | COMPUTER LOKAAL]

7

6

Deel V: Wiskundig model Correlatie & regressie deel 2

* Lineaire regressie
* Niet-lineaire regressie

[NORMAAL LOKAAL grafische rekenmachine]

5

Deel VIII: Verdieping

Afronden verdiepingsopdracht 1 | Verdiepingsopdracht 2

Deel VIII: Verdieping Verdiepingsopdracht 1: Wiskunde

Verdiepingsopdracht 2: Scheikunde

[NORMAAL LOKAAL | PRACTICUM LOKAAL]

Deel V: Wiskundig model Correlatie & regressie deel 3 Activiteit 16: Meervoudige regressie

Activiteit 17: Uitbreiden factsheet en begrippenlijst

Deel V: Wiskundig model Correlatie & regressie deel 3 Meervoudige regressie

[COMPUTER LOKAAL | NORMAAL LOKAAL grafische

rekenmachine]

Deel V: Wiskundig model Correlatie & regressie deel 2 Activiteit 15: Enkelvoudige regressie

# Hoofdstuk 8. Toelichting bij leerling-opdrachten

## Toelichting

In het navolgende worden alle leeractiviteiten kort besproken. De leeractiviteiten kunnen naar eigen inzicht worden aangepast. De practicumvoorschriften voor experimenteel onderzoek naar de invloed van drie procesvariabelen zijn in deze docentenhandleiding te vinden bij de beschrijving van het practicum (Hoofdstuk 9). Het is goed mogelijk de leerlingen in teams aan het werk te zetten.

*LET OP:* het bronnenboek is pas nodig vanaf activiteit 4. Ook dan pas uitreiken aan de leerlingen. In Bron 1 namelijk staat grotendeels de uitwerking van activiteiten 1 t/m 3.

## Deel I: Introductie op deze lessenserie

Zelfstudie | leesstof. Het doel van deze introductie is dat leerlingen op hoofdlijnen inzien wat ze gaan doen en leren in de lessenserie.

## Deel II: Oriëntatie op drinkwaterbereiding

|  |  |
| --- | --- |
| Oriëntatie op drinkwaterzuivering  . | Activiteit I: Oriëntatie op drinkwaterbereiding |
| Activiteit 2: Normoverschrijdingen chemische parameters |
| Activiteit 3: Verwijdering van troebeling [DEMONSTRATIE EXPERIMENT] |
| Activiteit 4: Oriëntatie op de aanpak door experts |

*Doel:*

* Leerlingen krijgen globaal beeld van zuiveringstraject van water tot drinkwater
* Leerlingen ervaren dat *hoe goed ook de zuivering, het lukt niet om alle verontreinigingen*

*volledig te verwijderen*

* Procesvariabelen hebben invloed op de kwaliteit van het zuiveringstraject
* Leerlingen denken na over een mogelijke redenen voor normoverschrijding troebeling, en mogelijke aanpak om deze te voorkomen.

Voorafgaand aan de uitvoering van deze lessenserie kan de thematiek drinkwaterbereiding op diverse manieren worden geïntroduceerd:

1. Filmpje Drinkwaterbereiding Nederland Vewin <https://www.youtube.com/watch?v=uFniYvVo3Zg>
2. Filmpje Drinkwaterbereiding Brabant Evides <https://www.youtube.com/watch?v=XJR6PQB0fTY>
3. Filmpje Drinkwater uit de duinen <https://www.youtube.com/watch?v=kZJW-mwGpys>
4. Excursie drinkwaterbedrijf.
5. Uitnodigen van expert in de klas om de opdracht te geven / lezing/ resultaten beoordelen.

In de introductie op deze lessenserie kan de problematiek van drinkwaterbereiding verder belicht worden door een aantal ‘keuzemogelijkheden voor zuivering’ te bespreken, zoals verschillende filters (zand, actieve kool, gravel) en verschillende mogelijkheden voor desinfectie (ozon, UV). Uiteindelijk is het de bedoeling dat leerlingen beseffen dat drinkwaterbereiding geen ‘statisch’ maar dynamisch proces is. Geen enkel zuiveringstraject is exact gelijk. Drinkwaterbedrijven dienen in te spelen op veranderende omstandigheden.

Activiteit 1: Oriëntatie op drinkwaterbereiding

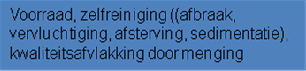
De eerste activiteit betreft een oriëntatie op de drinkwaterbereiding. Leerlingen maken twee blokschema’s van de zuivering van oppervlakte- en grondwater. Daarnaast zoeken leerlingen uit welke soort verontreinigingen door iedere stap wordt verwijderd. Deze activiteit kan ook als

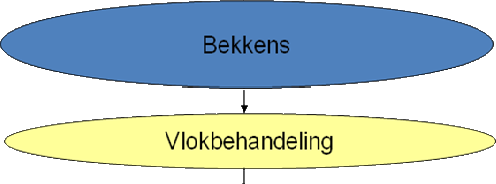


‘instapdracht’ voor aanvang van de lessenserie gegeven worden. In de 1e les wisselen de leerlingen resultaten uit maken ze bijv. een poster. Zie hieronder hoofdlijnen van de zuiveringstrajecten van resp. grond- en oppervlaktewater.

Hoofdlijnen zuiveringstraject grondwater:



Hoofdlijnen zuiveringstraject oppervlaktewater:



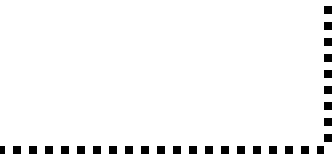
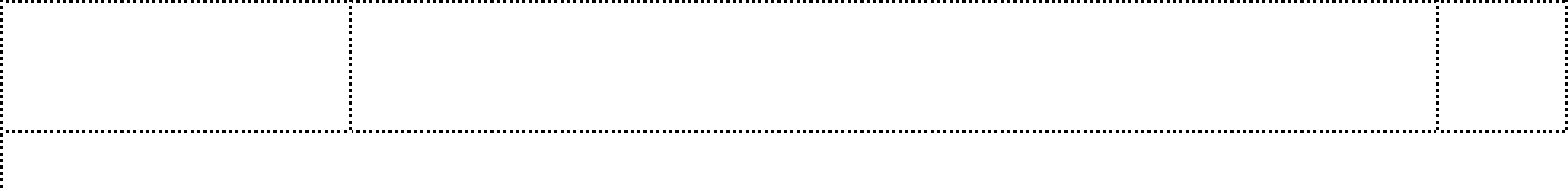
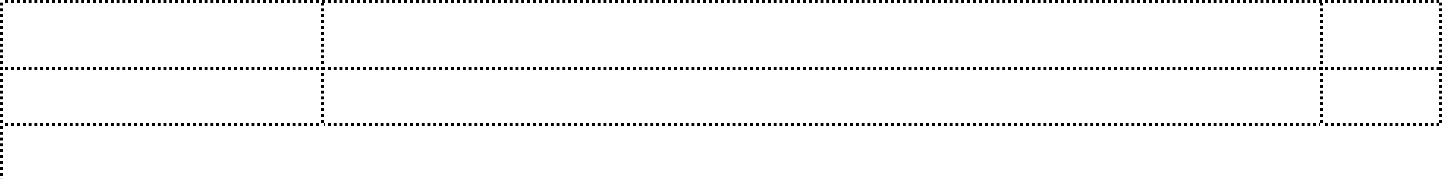
Activiteit 2: Normoverschrijdingen chemische parameters

Leerlingen bestuderen Fragmenten 1 & 2. Deze activiteit maakt leerlingen bewust van het feit dat incidenteel een norm voor drinkwater wordt overschreden. Leerlingen denken na over mogelijke oorzaken van incidentele normoverschrijdingen. Benadrukken dat de input van met name oppervlaktewater variabel van samenstelling is.

In activiteit 2 maken leerlingen een overzicht van normoverschrijdingen per zuiveringstap. De zuiveringsstap vlokbehandeling telt het grootste aantal overschrijdingen (177), voornamelijk veroorzaakt door normoverschrijdingen voor troebeling (105).

Uitwerking:

1. De troebelingsgraad (105 x) springt eruit. Verder mangaan en ijzer en nikkel. Deze vier overschrijdingen vinden plaats bij de vlokbehandeling. Verder zie onderstaande tabel.



**Zuiveringsstap**

Spaarbekken

**Verontreinigingen**

bacteriën, pesticiden, ijzer, mangaan, nikkel

**#**

86

Snelle + langzame zandfiltratie

Actieve koolfiltratie Desinfectie

broomdichloormethaan, trichloormethaan dichloormethaan, bacteriën, pesticiden, nitraat, nitriet, ammonium, waterstofcarbonaat

broomdichloormethaan, trichloormethaan, dichloormethaan, pesticiden Bacteriën

45

18

5

177

troebeling, ijzer, mangaan, nikkel

Vlokbehandeling

1. Mogelijke antwoorden: ingenomen water ‘te vies’ en/of zuivering niet optimaal.

Activiteit 3: verwijdering van troebeling

Door het uitvoeren van het demonstratie experiment krijgen leerlingen een beeld van vlokbehandeling. Bovendien worden leerlingen ‘op het spoor van ‘procesvariabelen’ gezet. Waarschijnlijk zien leerlingen in dat de procesvariabelen ‘dosis vlokmiddel’ en ‘begintroebeling’ invloed hebben op de eindtroebeling, naast het roeren (en temperatuur). In deze activiteit kan het onbekend zijn van het verband geproblematiseerd worden in de klas: een overmaat vlokmiddel toevoegen is geen oplossing (kosten van chemicaliën en norm voor ijzer in het drinkwater), te weinig ook niet (water blijft troebel). Het verband dient dus precies bekend te zijn.

Volg de aanwijzingen in het kader (zie volgende bladzijde) voor uitvoering van het demonstratie experiment.

Uitwerking:

1. Begintroebeling, hoeveelheid vlokmiddel, soort vlokmiddel, roersnelheid.
2. Te weinig vlokmiddel toegevoegd. Verhouding eindtroebeling - dosis vlokmiddel onbekend.
3. Meerdere antwoorden mogelijk:

* Je moet uitzoeken hoe vlokbehandeling precies werkt, welke chemische processen een rol spelen en welke variabelen het proces beïnvloeden.
* Je moet het verband (verhouding) uitzoeken. De kwaliteit van de input in de gaten houden.
* Het proces vlokbehandeling optimaliseren. Na bestudering van het proces in theorie [en praktijk] een onderzoek uitvoeren waarin vlokbehandeling verbeterd wordt.

*fi* Demonstratie experiment vlokbehandeling

|  |  |
| --- | --- |
| Chemicaliën | Materialen |
| Chamotte klei (0,5 mm, K-30000) | Statief |
| Mineraalwater (0,5 L) van de AH | Grote trechter |
| FeCl3 – oplossing (1 g Fe3+ / L) | Filtreerpapier (met grootte poriën) |
|  | 2 Grote bekerglazen (ca. 1 L) |
| Chamotte klei is o.a. te verkrijgen bij hobby/knutsel winkels. | Maatcilinder 10 ml  Roerder + (grote) roervlo |

Voorbereiding (TOA | practicumassistent):

* + In eerste bekerglas: suspensie van Chamotte klei in 0,5 L water. Chamotte klei met houten pollepel de klei in het water suspenderen. Daarna suspensie bezinken. Bovenstaande troebele water afschenken in het tweede bekerglas (foto).
  + Maak de FeCl3 – oplossing (1 g Fe3+ / L). Los bijv. 0,483 gr FeCl3 . 6H2O in 100 ml water.
  + Belangrijk (echt doen!)
    - Test het filtreerpapier door een klein volume troebel water te filtreren. Het filtraat moet troebel blijven. Gebruik niet analytisch filtreerpapier (grote poriën). Zie ook onderstaande stap 1.
    - Test het uitvlok experiment zoals onderstaand beschreven. Pas eventueel de hoeveelheid (ml) toegevoegde FeCl3 – oplossing aan.

In de klas (docent):

* 1. Eerst de suspensie filtreren. Schenk een klein beetje (max 100 ml) van de suspensie in het filter. Vang het filtraat op in een schoon bekerglas. Het filtraat blijft troebel. Dit is een illustratie dat de deeltjes niet door filtratie verwijderd kunnen worden. Schenk het filtraat (ca. 100 ml) weer bij de suspensie zodat je weer 0,5 L hebt.
  2. Plaats het bekerglas met suspensie op de roerder. Voeg een roervlo toe. Hard (max.) roeren!
  3. Voeg m.b.v. maatcilinder 10 mL FeCl3 – oplossing toe. 1 minuut hard blijven roeren. Vertel iets over coagulatie. Hard roeren voor goede menging.
  4. Roerder zacht zetten, 5 minuten roeren. Er ontstaan vlokken. Vertel iets over flocculatie. Zacht roeren voor stimuleren groeiproces vlokken. Niet te hard, want dan sla je de vlokken kapot.
  5. Roerder stoppen en vlokken laten bezinken. Problematiseren van de variabelen die een invloed hebben op dit proces.

Activiteit 4: Oriëntatie op de aanpak door experts

Leerlingen bestuderen Fragment 3 waarin onderzoeker Rietveld advies geeft over het verbeteren van het drinkwaterbereidingproces. In deze activiteit maken leerlingen kennis met de probleemomschrijving, de oplossing en voorgestelde aanpak door experts. Leerlingen bestuderen een aangepaste en ingekorte versie van een origineel RIVM projectplan ‘*Definitiestudie Drinkwaterzuivering*’ (Bron 1). Leerlingen wordt gevraagd de aanpak door experts te vergelijken met de eigen aanpak in activiteit 3. Vaak wordt het ontwikkelen van een wiskundig model niet als oplossingsrichting door leerlingen genoemd.

*LET OP:* vanaf hier hebben leerlingen het bronnenboek nodig.

Bewust is ervoor gekozen om het probleem te ‘conceptualiseren’ in de vorm van een ‘input-output’ probleem, met als doel dat leerlingen inzien dat de te leren aanpak breed toepasbaar is (bijv. voor andere processen in de (water)technologie, maar ook in de biologie (ecosystemen) en/of economie). Het verdient aanbeveling deze bredere toepasbaarheid te benadrukken in de klas. In activiteiten 18 en 19 wordt hierop terug gekomen.

Uitwerking:

a afhankelijk van antw act. 3c. b afhankelijk van antw act. 3c.

## Deel III: Procesmodellering vlokbehandeling

Activiteit 5: Opstellen globaal stappenplan voor aanpak van onze opdracht

Procesmodellering vlokbehandeling

Deze fase staat in het teken van inwerken in de problematiek. Belangrijkste doelen zijn:

* Verkennen van de opdracht
* Opstellen globaal stappenplan voor aanpak van de opdracht
* Zicht op verwachte eindproduct: factsheet

In Fragment 4 van het leerlingmateriaal staat de opdracht voor leerlingen. Er wordt ook het eindproduct aangekondigd: een factsheet. Leerlingen bestuderen in activiteit 5 een ‘voorbeeld factsheet’.

Activiteit 5: Opstellen globaal stappenplan voor aanpak van onze opdracht

Leerlingen stellen in deze activiteit een globaal stappenplan op aan de hand van een factsheet ‘actieve koolfiltratie’. Het is de bedoeling dat leerlingen de ‘lege’ structuur van de factsheet overnemen (zie volgende bladzijde) en zover mogelijk invullen. De factsheet actieve koolfiltratie functioneert nadrukkelijk als ‘organiser’. Aan de hand van de factsheet moet bij leerlingen een beeld ontstaan van de uit te voeren activiteiten in de rest van de module, en ook van het uiteindelijk op te leveren eindproduct (factsheet vlokbehandeling).

Bij deze opdracht is het van belang dat leerlingen zich niet verliezen in details rond ‘actieve koolfiltratie’. Het gaat om een analyse van de aanpak op hoofdlijnen. Sommige leerlingen hebben hier moeite mee.

In vraag b wordt leerlingen gevraagd de criteria te benoemen waarop het model wordt beoordeeld. Dit zijn o.a. de passendheid, geldigheid en betrouwbaarheid. Deze begrippen komen gedurende de deze lessenserie steeds terug. In activiteiten 18 en 19 wordt hierop gereflecteerd.

Hieronder staat een mogelijke leerling uitwerking van activiteit 5.

|  |
| --- |
| *Procesmodellering Vlokbehandeling Factsheet v l okbehandeling – t roebeling*  Onderzoekers: ………………………………………Datum oplevering: …………………………… |
| *Inleiding & doel* [Activiteiten 1 t/m 5]   * de reden aangeven voor dit onderzoek (= overschrijding norm troebelingsgraad) * doel van het onderzoek aangeven (= model voor beschrijven invloed procesvariabelen) * noemen begrippenlijst |
| *Werking van vlokbehandeling* [Activiteit 6]   * er achter komen hoe vlokbehandeling precies werkt * lezen over vlokbehandeling (literatuurstudie) |
| *Procesvariabelen* [Activiteit 7 & 8]   * een lijst maken van alle procesvariabelen * het type verband beschrijven |
| *Experimenteel onderzoek* [Activiteit 10]   * experimenten uitvoeren * invloed van 1 procesvariabele tegelijk meten * korte beschrijving van gebruikte apparatuur / meetopstelling * waarden van constant gehouden procesvariabelen vermelden * bereik van gevarieerde procesvariabelen vermelden |
| *Meetresultaten* [Activiteiten 11 en 12]   * Resultaten weergeven in puntenwolken / diagrammen * Uitschieters in meetresultaten verwijderen |
| *Wiskundig model* [Activiteiten 14, 15 en 16]   * Wiskundig model kiezen / ontwikkelen * Wiskundig model passend maken op de meetresultaten (= fitten) * Wiskundig model beoordelen op A) passendheid, B) betrouwbaarheid, C) geldigheid. |
| *Evaluatie* [Activiteit 18]   * Terugkijken op ontwikkelde model (evalueren) * Bekijken of en hoe het model verder getest / ontwikkeld moet worden. |
| *Reflectie en aanbevelingen* [Activiteiten 5 en 19]   * Terugkijken op het doel van het onderzoek * Terugkijken op de aanpak (wat er goed ging, wat beter kan, aandachtspunten, beschrijving aanpak) * Advies voor vervolgonderzoek |
| *Literatuur* |
| *Begrippenlijst* [Activiteiten 5, 9, 13 en 17]  - Lijst met begrippen |

## Deel IV: Werking van vlokbehandeling en procesvariabelen

|  |  |
| --- | --- |
| Werking van vlokbehandeling en procesvariabelen | Activiteit 6: Werking van vlokbehandeling |
| Activiteit 7: Coagulatie & Flocculatie |
| Activiteit 8: Verwachte verbanden tussen de eindtroebeling en procesvariabelen |
| Activiteit 8: Aanvullen factsheet en begrippenlijst |

*Doel:*

* Leerlingen hebben een volledig overzicht van procesvariabelen
* Leerlingen kunnen op kwalitatief niveau de invloed van iedere procesvariabele beschrijven.

Activiteit 6: Werking van vlokbehandeling

De eerste stap in het plan van aanpak betreft een literatuurstudie over vlokbehandeling. In het bronnenboek staat een artikel over de werking van vlokbehandeling. Leerlingen maken een samenvatting met expliciete aandacht voor:

* wijze van uitvoering van vlokbehandeling
* Coagulatie en flocculatie
* Vlokmiddel
* Grootheid troebeling van water
* Meten van troebeling
* Verdere aandachtspunten.

Activiteit 7: Coagulatie & Flocculatie

Er zijn meer procesvariabelen die een invloed hebben, zoals de *pH* en totale zoutconcentratie. Om ook deze procesvariabelen te identificeren en de invloed chemisch te verklaren, is (diepgaande) kennis nodig over mechanismen van coagulatie.

Ter voorbereiding op deze activiteit past een les (college) over colloïden, colloïdale systemen (o.a. omringing colloïden door ionen in Stern ring en diffuse ring), mechanismen (neutralisatie, uitzouten, inkapselen) en de invloed van de *pH*.

Uitwerking:

1. De deeltjes hebben een kleine massa, bezinken daardoor niet, en stoten elkaar af, ze hebben negatieve lading.
2. Drie mechanismen:

* Het verlagen van de oppervlaktelading van de deeltjes. Dit vindt plaats door ijzer(III)ionen die zich direct aan het oppervlak van de deeltjes hechten.
* Dubbele laag compressie. Toevoegen inert zout, niet de oppervlaktelading wordt nu beïnvloed maar de ionensamenstelling van de diffuse laag die bij hogere zoutconcentraties dunner wordt.
* Colloïden inkapselen. Colloidale deeltjes worden bij toevoeging van veel coagulant gebonden in netwerken van metaaloxiden.

1. pH en zoutconcentratie

Activiteit 8: Verwachte verbanden tussen de eindtroebeling en procesvariabelen

Activiteit 8 verwijst naar Bron 5.

Waterzuiveringsmethode ‘vlokbehandeling’ bestaat uit twee processen: het chemische proces *coagulatie* gevolgd door het fysische proces *flocculatie*. De hoeveelheid vlokmiddel, begintroebeling en de *pH* zijn de belangrijke variabelen met significante invloed op de eindtroebeling. Daarnaast spelen de menging van coagulant, temperatuur en zoutconcentratie een rol. Bij slechte menging vindt er slechts lokaal coagulatie plaats. De flocculatie zal daardoor veel tijd kosten. Deze procesvariabele wordt echter niet meegenomen in dit lesmateriaal.

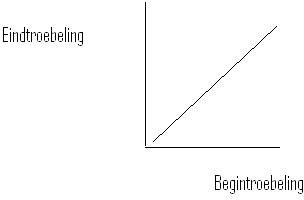
In Bron 5 wordt de verwachte invloed van een aantal procesvariabelen op de eindtroebeling beschreven. Hierbij worden enkele aannames gemaakt. Het is de bedoeling dat leerlingen hierop terugkomen in activiteiten 18 en 19.

Het is belangrijk dat leerlingen inzien dat een ‘black-box’ modelleeraanpak wordt gevolgd. Coagulatie is een complex proces, waarbij meerdere variabelen tegelijkertijd een rol spelen. Er valt op dit moment geen theoretisch onderlegd model te ontwikkelen. Black-box modelleren houdt in het fitten van wiskundige modellen op empirische data om het gedrag van het proces te beschrijven. In activiteiten 18 en 19 evalueren leerlingen de gehanteerde ‘black-box’ modelleeraanpak.

Daarnaast is het nodig dat leerlingen zicht krijgen op de verwachte invloed van (in ieder geval) procesvariabelen dosis vlokmiddel en begintroebeling. Dit vormt de ‘hypothese’ voorafgaand aan de experimenten. Leerlingen wordt gevraag een schets te maken van de verwachte verbanden.

Uitwerking:

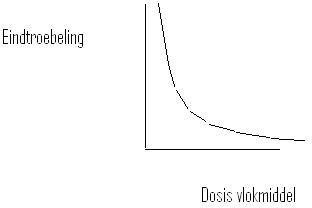
a Black-box modelleeraanpak. Complex proces. Interactie tussen deeltjes niet precies bekend.

Niet voldoende inzicht in precieze werking. b Schets van verbanden:

Verwacht lineair verband ET – B

Verwacht machtsverband ET – V

c Inhoudelijke reden & aanname:

* voor variabelen dosis vlokmiddel en begintroebeling wordt een verband verwacht.
* variabelen dosis vlokmiddel, begintroebeling en temperatuur lijken onafhankelijk van elkaar (anders dan zoutconcentratie en pH)

Activiteit 9: Aanvullen factsheet en begrippenlijst

Gedurende de lesmodule kunnen leerlingen werken aan hun factsheet een begrippenlijst. Dit vormt een terugkerende huiswerkopdracht. Op deze manier reflecteren leerlingen op de nieuw geleerde kennis. De begrippenlijst groeit gedurende de lessenserie uit tot een lijst concepten met omschrijving. Een aantal begrippen kan na activiteiten 6 t/m 8 omschreven worden, o.a.:

* Vlokbehandeling
* Troebeling
* Eenheid NTU / FTE
* Colloïden
* Vlokmiddel
* Coagulatie
* Flocculatie
* Procesvariabelen
* Stuurparameter
* Filtratie / sedimentatie

## Deel V: Experimenteel onderzoek en meetresultaten

|  |  |
| --- | --- |
| Experimenteel onderzoek en meetresultaten | Activiteit 10: Experimenteel onderzoek |
| Activiteit 11: Meetresultaten in beeld |
| Activiteit 12: Controle op uitschieters in de meetresultaten |
| Activiteit 13: Aanvullen factsheet en begrippenlijst |

*Doel:*

* Leerlingen voeren experimenteel onderzoek uit volgens voorschrift.
* Leerlingen evalueren hun meetresultaten op nauwkeurigheid en elimineren eventuele uitschieters.
* Leerlingen zetten hun meetresultaten in puntenwolken en analyseren de vorm van de puntenwolk vergelijken met het verwachte verband.

In het kader van deze module beperken we ons tot de invloed van ‘dosis vlokmiddel’, ‘begintroebeling’ en ‘temperatuur’.

Als de metingen goed worden uitgevoerd en voldoende in aantal, dan zal blijken dat de temperatuur GEEN significante invloed heeft in het bereik 5 – 25 graden. De temperatuur hoeft dan verder niet geanalyseerd te worden in de regressie (vanaf activiteit 14).

Het practicum vormt een cruciaal deel in de module. Het verdient aanbeveling leerlingen erop te wijzen dat de experimenten nauwkeurig en zorgvuldig uitgevoerd moeten worden. Eventueel kunnen dan de meetresultaten van de hele klas gecombineerd worden (gunstig voor de regressie).

Activiteit 10: Experimenteel onderzoek naar kwantitatieve invloed van procesvariabelen In de huidige opzet is ervoor gekozen leerlingen te laten werken met kant en klare practicumvoorschriften. Voer het practicum uit op één moment (niet verdelen over twee verschillende lessen op verschillende dagen), bij voorkeur in een dubbeluur. In het hoofdstuk practicum staan algemene aanwijzingen voor voorbereiding van het practicum en de practicumvoorschriften voor de leerlingen.

DE VOORBEREIDING VAN HET LEERLINGENPRAKTICUM DOOR DE TOA en/of PRACTICUMASSISTENT KOST CA. 1 DAG!

Er zijn diverse mogelijkheden voor uitvoering van het practicum:

* alle leerlingenteams onderzoeken alle drie procesvariabelen
* ieder leerlingenteam onderzoekt 1 procesvariabele

E.e.a. is afhankelijk van beschikbare tijd en middelen (hoeveelheid troebel water e.d.)

Hieronder een overzicht van meetresultaten verkregen door leerlingen van het St. Bonifatius college te Utrecht in Januari 2008. Alle deze resultaten zijn op basis van:

* Chamotte klei (0,5 mm, K-30000) in kraanwater.
* Vlokmiddel FeCl3·6H2O
* Uitvoering volgens practicumvoorschriften in hoofdstuk 10: Practicum.

Eventueel kan deze dataset gebruikt worden als reserve indien het practicum uitvalt en/of om andere redenen niet slaagt.

Procesvariabele hoeveelheid vlokmiddel

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Constante |  | *Hoeveelheid* | *Eindtroebeling (NTU)* | | | | | |  |
| procesvariabelen: | *mg Fe3+ / L in* |  | | | | | |
| Begintroebeling (BT) = 148 NTU | *het watermonster* |  | | | | | |
| Serie  1 | Serie  2 | Serie  3 | Serie  4 | Serie  5 | Serie  6 |
| Temperatuur (T) = 200C |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.1 | 121 | 118 | 104 | 104 | - | 128 |
|  | 0.3 | 114 | 108 | 101 | 110 | 110 | 120 |
|  | 0.6 | 110 | 85 | 94 | 95 | 97 | 112 |
|  | 1 | 68 | 62 | 40 | - | 66 | 57 |
|  | 2.0 | 24 | 33 | 71 | 38 | 42 | 70 |
|  | 5.0 | 16 | 22 | 34 | 33 | 27 | 30 |
|  | 10 | 14 | 19 | 25 | - | 16 | 40 |

Procesvariabele begintroebeling

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Constante |  | *Begintroebelin* | *Eindtroebeling (NTU)* | | | | | |  |
| procesvariabelen: | *g* |  | | | | | |
| Hoeveelheid vlokmiddel in het watermonster (V)  = 1 mg Fe3+ / L | *(NTU)* |  | | | | | |
| Serie 1 | Serie 2 | Seri e 3 | Serie 4 | Serie 5 | Serie 6 |
| Temperatuur (T) = 200C | 250 | 167 | 182 | 144 | 215 | 173 | - |
|  | 174 | 111 | 154 | 80 | 98 | 119 | 86 |
|  | 157 | 91 | 110 | - | - | 98 | 83 |
|  | 148 | 87 | - | 50 | 61 | 87 | 80 |
|  | 80 | 49 | 67 | 53 | 50 | 47 | 42 |
|  | 37 | 25 | 37 | 24 | 31 | 33 | 76 |

Procesvariabele Temperatuur

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Constante |  | *Temperatuur* | *Eindtroebeling (NTU)* | | |  |
| procesvariabelen: | *(*0C*)* |  | | |
| Hoeveelheid vlokmiddel in het watermonster (V) |  |  | | |
| Serie 1 | Serie 2 | Serie 3 |
| = 1 mg Fe3+ / L |  |  |  |  |
| Begintroebeling (BT) = |  |  |  |  |
| 30 | 137 | - | - |
| 148 NTU |
| 25 | - | 86 | 131 |
|  | 21 | - | 116 | 102 |
|  | 20 | - | - | - |
|  | 19 | 125 | - | - |
|  | 16 | 112 | - | - |
|  | 15 | - | - | 109 |
|  | 14 | - | 113 | - |
|  | 10 | 252 | - | 119 |
|  | 9 | - | 103 | - |
|  | 7 | - | 106 | - |
|  | 5 | - | - | 102 |
|  | 2 | 110 | - | - |

Aangemerkt door leerlingen als uitschieters = zie ook activiteit 12

Activiteit 11: Meetresultaten in beeld

In deze activiteit worden experimentele resultaten per procesvariabele met de hand in een spreidingsgrafiek uitgezet. Er ontstaan puntenwolken. Hieronder de puntenwolken uitgaande van de dataset bij activiteit 10. De uitschieters zijn verwijderd.

Procesvariabele hoeveelheid vlokmiddel

**Eindtroebeling vs dosis vlokmiddel**

140

120

100

80

60

40

20

0

0

2

4

6

8

10

12

**dosis Fe3+ mg/L**

**Eindtroebeling vs beginttroebeling**

200

150

100

50

0

0

50 100 150 200 250 300

**Begintroebeling (NTU)**

**Eindtroebeling vs temperatuur**

160

140

120

100

80

60

40

20

0

0

10

20

**Temperatuur (C)**

30

40

**Eindtroebeling (NTU)**

Procesvariabele begintroebeling

**Eindtroebeling (NTU)**

Procesvariabele Temperatuur

**Eindtroebeling (NTU)**

Activiteit 12: Controle op uitschieters in de meetresultaten

Leerlingen evalueren de verkregen experimentele resultaten. In de dataset bij activiteit 12 zijn de uitschieters rood gemarkeerd. Er kunnen diverse redenen zijn voor uitschieters, zoals:

* de metingen door verschillende personen zijn uitgevoerd;
* de vloeistofhoeveelheden tussen twee schaalstreepjes op een maatcilinder of pipet *geschat*

zijn;

* de Fe3+ oplossing snel of langzaam is toegevoegd;
* er misschien af en toe een halve druppel van de Fe3+ oplossing aan de pipet blijft hangen;
* er niet altijd even hard of zacht is geroerd;
* er niet altijd even lang is geroerd;
* er verschillend zijn tussen de gebruikte roervlootjes;
* de cuvet voor meting van de eindtroebelheid vervuild is met vet- of stofdeeltjes;
* de cuvet aan de buitenkant met vette vingers aangeraakt is;
* het bekerglas waarin het experiment uitgevoerd is niet schoon was.

Activiteit 13: Aanvullen factsheet en begrippenlijst

Thuiswerkopdracht: aanvullen factsheet en begrippenlijst.

## Deel VI: Wiskundig model

|  |  |
| --- | --- |
| Wiskundig model | Activiteit 14: Correlatie tussen procesvariabelen en eindtroebeling |
| Activiteit 15: Enkelvoudige regressie |
| Activiteit 16: Meervoudige regressie |
| Activiteit 17: Aanvullen factsheet en begrippenlijst |

*Doel:*

* Leerlingen analyseren puntenwolken en doen uitspraken over mate van samenhang.
* Leerlingen voeren enkelvoudige regressie uit van eindtroebeling op rep. dosis vlokmiddel en begintroebeling. Voor dosis vlokmiddel wordt een machtsverband aangenomen en voor begintroebeling een lineair verband.
* Leerlingen voeren een meervoudige regressie uit om de invloed van twee variabelen (dosis vlokmiddel en begintroebeling) op de eindtroebeling te beschrijven.

Leerlingen worden verwezen naar het bronnenboek voor achtergrond informatie.

Activiteit 14: Correlatie tussen procesvariabelen en eindtroebeling

Leerlingen analyseren de verkregen puntenwolken en doen uitspraken over type correlatie tussen eindtroebeling en resp. dosis vlokmiddel, begintroebeling en temperatuur. Hier volgt een uitwerking op basis van de voorbeeld puntenwolken (zie activiteit 11).

Uitwerking:

1. Samenhang met eindtroebeling
   * dosis Fe3+: negatieve correlatie met eindtroebeling
   * begintroebeling: positieve correlatie met eindtroebeling
   * temperatuur: geen correlatie met eindtroebeling [voor zover metingen dat aangeven]
2. Samenhang met eindtroebeling

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Procesvariabele | negatieve correlatie | geen | positieve correlatie |
| 1. dosis Fe3+ 2. begintroebeling 3. temperatuur | R = 0,95 | R = 0,36 | R = 0,94 |

Activiteit 15: Enkelvoudige regressie

In deze activiteit wordt een enkelvoudige regressieanalyse uitgevoerd. Een lineair en machtsmodel wordt gefit op de data. Dit kan met MS Excel en/of grafische rekenmachine. Leerlingen worden verwezen naar bronnen 10 en 11.

Aandachtspunt: leerlingen hebben de resultaten (grafieken + output) nodig voor de eindproducten (factsheet). Resultaten laten opslaan!

Op de volgende bladzijden volgt een overzicht van mogelijke leerlingenresultaten van de enkelvoudige regressieanalyse met MS Excel.

Hieronder volgt een uitwerking op basis van de voorbeeld dataset (zie activiteit 10).

Procesvariabele hoeveelheid vlokmiddel



**ET (NTU)**

**ET (NTU)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Procesvariabele | Regressiemodellen Lineair  Formule (*R2*) | Macht Formule (*R2*) |
| 1. dosis Fe3+ |  | ET = 53,135 V-0,4437 (*0,90*) |
| 2. begintroebeling | ET =0,6323 B + 0,5255 (*0,89*) |  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Uitkomsten regressieanalyse:* | 160  140  120  100  80  60  40  20  0 | 0 | 2 | 4 | **ET vs V**  y = 53,135x-0,4437 R2 = 0,8996  6 8 10  **V (mg/L)** | 12 |
| Macht: |
| ET = 53,135 V-0,4437 |
| Passendheid R2 = 0,8996 |
| Geldigheid: |
| Dosis Fe3+: 0,1 – 10 mg/L |
| Begintroebeling = 148 NTU |
| Temperatuur = 200C |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Uitkomsten regressieanalyse*: |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | **ET vs B** |  |  |  |
|  | 200 |  |  |  |  |  |
| Lineair: |
| ET = 0,6323 B + 0,5255 | 180  160 |  | y = 0,6323x + 0,5255 |  |  |  |
|  |  |  | R2 = 0,8915 |  |  |  |
|  | 140 |  |  |  |  |  |
| Passendheid R2 = 0,8915 | 120 |  |  |  |  |  |
|  | 100 |  |  |  |  |  |
| Geldigheid:  Begintroebeling: 37 – 250 NTU Dosis Fe3+ = 1 mg/L | 80  60 |  |  |  |  |  |
| Temperatuur = 200C | 40 |  |  |  |  |  |
|  | 20 |  |  |  |  |  |
|  | 0 |  |  |  |  |  |
|  |  | 0 | 50 100 150 | 200 | 250 | 300 |
|  |  |  | **B (NTU)** |  |  |  |

e Zet je resultaten in een tabel zoals onderstaand.

Activiteit 16: Meervoudige regressie

In deze activiteit wordt een meervoudige regressieanalyse uitgevoerd. Meervoudige lineaire regressie wordt uitgevoerd m.b.v. MS Excel. Voor zowel meervoudige lineaire als machtsregressie is ook een ‘knutselmethode’ beschreven in de vorm van het combineren van de enkelvoudige regressie modellen.

Het noodzakelijk dat leerlingen beschikken over alle experimentele meetgegevens van de procesvariabelen.

Uitwerking op basis van de voorbeeld dataset:

1. N.v.t.
2. Meervoudige regressie via twee manieren mogelijk.

Via LIJNSCH (LINEST) functie van Excel (meervoudig lineair)

- ET (NTU) = -9,85 V + 0,63 B + 0,88; *R2* = 0,77

Via ‘knutselmethode’:

* Meervoudig lineair: ET (NTU) = 9,71 V + 0,64 B – 0,27; *R2* = 0,77

- Meervoudig macht: ET (NTU) = 0,4974 V-0,44 B0,87; *R2* = 0,71

1. Geldigheidsbereik van model:

T = 20 C;

Fe3+: 0,1 < Fe3+ (mg/L) < 10;

Begintroebeling: 37 < B(NTU) < 250.

Waarde *R2*: zie vraag b.

Beschouwing:

De waarde van *R2* van de meervoudige modellen liggen lager dan bij enkelvoudige modellen. Logisch: passendheid wordt immers nu in twee dimensies bepaald. Op basis van deze resultaten lijkt het meervoudig lineair model (iets) beter te passen, hetgeen zou kunnen betekenen dat onze aanname (variabelen onderling onafhankelijk) klopt. Echter, het verschil tussen de *R2* van meervoudig lineair en macht is gering, dus geen harde conclusies mogelijk.

Activiteit 17: Aanvullen factsheet en begrippenlijst

Thuiswerkopdracht. Hieronder staat een overzicht van begrippen die leerlingen naar verwachting toevoegen op basis van activiteiten 14,15 en 16:

* Correlatie (negatieve – geen – positieve)
* Onafhankelijke en afhankelijke variabele
* Puntenwolk
* Regressiemodellen (type verbanden): lineair, macht
* Regressieanalyse
* Passendheid via *R2*

## 

## Deel VII: Evaluatie, reflectie en aanbevelingen

*Doel:*

* Leerlingen evalueren het meervoudig regressiemodel door toepassing in denkbeeldige bedrijfssituatie.
* Leerlingen denken na over het nut dit model vanuit milieu en kosten oogpunt.
* Leerlingen evalueren de modelleeraanpak en doen aanbevelingen voor vervolg onderzoek.

Activiteit 18: Toepassing in bedrijfssituatie

In deze activiteit rekenen leerlingen een denkbeeldige bedrijfssituatie door en krijgen enige notie van de kosten van productie van drinkwater. Tevens wordt wederom het belang van correcte afgepaste dosering vlokmiddel aangestipt, vanuit milieu en kosten oogpunt.

Uitwerking op basis van meervoudig lineair regressiemodel in act 16:

a Uitgaande van ‘best’ passende model bepaald bij act. 18.

ET (NTU) = -9,85 V + 0,63 B + 0,88

Gegevens:

Begintroebeling 45 NTU.

Gewenste eindtroebeling: ET 4 NTU.

Temperatuur geen significante invloed. Wordt niet meegenomen.

Invullen in formule levert:

4NTU = -9,85 V + 0,63 B + 0.88, waarbij B is 45. Gevraagd V.

V = 2,56 mg/L. Minimaal benodigde dosis Fe3+ = 2,56 mg/L

b Meerdere antwoorden mogelijk.

* Motivatie op basis van waarde van *R2* en bereik van model.
* Model is ontwikkeld op basis van laboratorium experimenten, dus niet zondermeer toepasbaar in bedrijfssituaties.

c Gegevens:

1. miljoen liter water FeCl3 = 38 EUR/kg.

Uitgaande van vraag a: benodigde dosis Fe3+: 2,56 mg/L. Totale benodigde hoeveelheid Fe3+: 12800 kg. Komt overeen met ca 229 mol Fe3+, dus ook 229 mol FeCl3, gelijk aan 36800 kg FeCl3. Totale kosten EUR 1.398.400,00 voor de chemicaliën.

Beschouwing:

* Instromende water niet hele jaar door troebeling van 45 NTU
* Model niet getest voor bedrijfssituatie. Vergelijken van uitkomsten met praktijkgegevens.

d O.a. de kosten voor verwerking van slib, de faciliteiten (gebouwen, ruimte).

e Bij correcte dosering kan er bespaard worden op hoeveelheid chemicaliën. Dit komt ook de drinkwaterkwaliteit ten goede (gehalte Fe3+ en CL- in drinkwater lager). Minder gebruik van Fe3+ geeft ook minder verontreinigd slib.

Activiteit 19: Evaluatie en reflectie

In deze activiteit evalueren leerlingen de modelleeraanpak, het bereikte resultaat en doen adviesen voor vervolgonderzoek. Het input-output systeem wordt hier weer expliciet herhaalt.

Uitwerking:

1. Voordelen: snel, goedkoop, goed om tendensen van proces te beschrijven. Nadelen: hoeveelheid en kwaliteit van benodigde empirie voordat model als ‘betrouwbaar’ bestempeld kan worden, geen theoretisch gefundeerde solide beschrijving van proces.
2. Aanname dat dosis vlokmiddel, begintroebeling en temperatuur onderling onafhankelijk zijn. Aanname dat zoutconcentratie geen (nauwelijks) effect zal hebben. Eigenlijk zijn meer metingen nodig om deze aannames te verifiëren. Verder is de pH buiten beschouwing gelaten. Daarvoor optimale waarde verwacht. Nagaan of dat klopt. Het nu ontwikkelde model is dus slechts geldig onder condities dat *pH* gelijk blijft. Dat is niet reëel.
3. Stappenplan voor input-output systemen – black-box modelleeraanpak:
4. Identificeer procesvariabelen. Analyseer effect op eindresultaat (type verband)
5. Voer experimenten uit. Gecontroleerde condities. Meet steeds begin en eindresultaat.
6. Analyseer de gegevens m.b.v. regressieanalyse.

d Meerdere antwoorden mogelijk.

Niet goed aan model:

* Model is nog niet ‘compleet’. Veel procesvariabelen niet meegenomen.
* Metingen waren [GOED | SLECHT] van kwaliteit.
* Model moet ook nog getest worden in bedrijfssituaties. Goed aan model:
* een eerste opstap is naar een ‘beter’ model. We hebben nu enig inzicht in het gedrag van proces.
* Er is een zinnig verband gevonden tussen dosis vlokmiddel, begintroebeling en eindtroebeling. Wellicht ook voor bedrijfssituaties mogelijk.

e Ja, er is reden voor vervolgonderzoek. Meerdere antwoorden mogelijk:

* Betere (en meer) metingen uitvoeren
* Andere modelleeraanpak (mechanistische): beter uitzoeken hoe vlokbehandeling precies werkt,
* Testen onder bedrijfssituaties, enz.
* Onderzoek uitvoeren naar effect van andere variabelen.

## Deel VIII: Afronding

Activiteit 20: Factsheet vlokbehandeling

Afronding

*Doel:*

* Leerlingen schrijven een factsheet met daarin al hun resultaten en bevindingen.

Activiteit 20: Factsheet vlokbehandeling

In het lesboek staat een leeg format voor de factsheet. Iedere paragraaf verwijst terug naar een aantal activiteiten. Leerlingen kunnen een samenvatting van die betreffende activiteiten in de factsheet plaatsen. Het is belangrijk te benadrukken dat een factsheet een korte, bondige weergave geeft van de feiten en bevindingen. De factsheet ‘actieve koolfiltratie’, bron 2 in het bronnenboek, dient nadrukkelijk als voorbeeld.

# Hoofdstuk 9. Practicum

Deze module bevat een demonstratie experiment en leerlingenpracticum. Beide onderdelen worden apart beschreven. De corresponderende leerlingenactiviteiten betreffen activiteit 3 en activiteit 11.

## Voorbereidingen en bestellingen

Ter voorbereiding op het demonstratie experiment en practicum moeten de volgende materialen en chemicaliën op voorraad en/of aanwezig zijn:

Chemicaliën:

* Chamotte klei (0,5 mm, K-30000). Chamotte klei is o.a. te verkrijgen bij hobby/knutsel winkels.
* Vlokmiddel FeCl3·6H2O

Materialen:

* Computer met CoachLab | CBL.
* Troebelingssensor (centraal meetstation in de klas) + extra cuvetten. Voor bestellen: zie bij leerlingenpracticum.
* Filtreerpapier met grove porie
* Per team van leerlingen:
  + Roermotor + vlo (minimaal 1, liefst 2)
  + Eén bekerglas van 250 mL
  + Maatcilinder van 100 mL
  + Injectiespuitje van 1 mL
  + 6 bekerglazen van 100 mL
  + reageerbuizen
  + Roerder en roervlo
  + Spuitfles met demiwater
  + Thermometer
  + Warm water uit de kraan en ijs
  + Extra (grote) bekerglazen

Aandachtspunten:

* voldoende (ca. 15) PET flessen (goed voor bewaren van troebele watermonsters)
* Alle hoeveelheden afgestemd op gebruik van chamotte klei en vlokmiddel FeCl3·6H2O. Andere klei kan, maar vraagt andere hoeveelheden vlokmiddel FeCl3·6H2O! Vooraf testen!

## Demonstratie experiment

Volg onderstaande procedure voor uitvoering van het demonstratie experiment (zie activiteit 3)

*fi* Demonstratie experiment vlokbehandeling

|  |  |
| --- | --- |
| Chemicaliën | Materialen |
| Chamotte klei (0,5 mm, K-30000). | Statief |
| FeCl3 – oplossing (1 g Fe3+ / L) | Grote trechter |
|  | Filtreerpapier (met grootte poriën) |
| Chamotte klei is o.a. te verkrijgen bij | 2 Grote bekerglazen (ca. 1 L) |
| hobby/knutsel winkels. | Maatcilinder 10 ml |
|  | Roerder + (grote) roervlo |

Voorbereiding (practicumassistent):

* + - In eerste bekerglas: suspensie van Chamotte klei in 0,5 L water. Chamotte klei met houten pollepel de klei in het water suspenderen. Daarna suspensie bezinken. Bovenstaande troebele water afschenken in het tweede bekerglas (foto).
    - Maak de FeCl3 – oplossing (1 g Fe3+ / L). Los bijv. 0,483 gr FeCl3 . 6H2O in 100 ml water.
    - Belangrijk (echt doen!)
      * Test het filtreerpapier door een klein volume troebel water te filtreren. Het filtraat moet troebel blijven. Gebruik niet analytisch filtreerpapier (grote poriën). Zie ook onderstaande stap 1.
      * Test het uitvlok experiment zoals onderstaand beschreven. Pas eventueel de hoeveelheid (ml) toegevoegde FeCl3 – oplossing aan.

In de klas (docent):

1. Eerst de suspensie filtreren. Schenk een klein beetje (max 100 ml) van de suspensie in het filter. Vang het filtraat op in een schoon bekerglas. Het filtraat blijft troebel. Dit is een illustratie dat de deeltjes niet door filtratie verwijderd kunnen worden. Schenk het filtraat (ca. 100 ml) weer bij de suspensie zodat je weer 0,5 L hebt.
2. Plaats het bekerglas met suspensie op de roerder. Voeg een roervlo toe. Hard (max.) roeren!
3. Voeg m.b.v. maatcilinder 10 mL FeCl3 – oplossing toe. 1 minuut hard blijven roeren. Vertel iets over coagulatie. Hard roeren voor goede menging.
4. Roerder zacht zetten, 5 minuten roeren. Er ontstaan vlokken. Vertel iets over flocculatie. Zacht roeren voor stimuleren groeiproces vlokken. Niet te hard, want dan sla je de vlokken kapot.
5. Roerder stoppen en vlokken laten bezinken. Problematiseren van de variabelen die een invloed hebben op dit proces.

## Leerlingenpracticum

Voorbereiding door TOA en Practicumvoorschriften voor leerlingen (zie ook activiteit 10)

De voorbereiding op het leerlingenpracticum kost ca. 1 dag!

Met name het maken van voldoende troebel water kost veel tijd. Het vlokmiddel moet vers gemaakt worden (vlak voor experiment), de troebele watermonsters kunnen vooraf gemaakt worden. Volg onderstaande procedure en pas deze aan voor eigen situatie.

Hieronder staat een overzicht van benodigde materialen en chemicaliën. De genoemde hoeveelheden moeten aangepast worden aan het aantal leerlingen en te onderzoeken procesvariabelen.

*fi*

Materialen

1. *Centraal meetstation: troebelingsmeter*

De troebelheidmetingen worden uitgevoerd met een zgn. ‘turbidity sensor’. De troebelingsmeter wordt gebruikt in combinatie met een coachlab 2. Volg de aanwijzingen binnen Coach om deze sensor toe te voegen. Maak, als dit nog niet gebeurd is, eerst een nieuwe activiteit aan voor de meter.

De troebelingsmetingen variëren tussen de 2 en 200 NTU. De metingen zelf zullen niet veel tijd in beslag nemen. Er kan dus worden volstaan met een centraal meetpunt in de klas. Bestel ook extra cuvetten voor een snellere doorstroming. De troebelingsmeter kost ca. EUR 180, incl. BTW. Hieronder staat het adres van een leverancier.

|  |  |
| --- | --- |
| Naam: | Volg onderstaande link voor informatie over de meter: |
| Rhombus | <http://www.rhombus.be/index.html?lang=nl&target=d165.html> |
| b.v.b.a. |  |
| Adres: Philippe |  |
| Spethstraat 97 |  |
| Stad: Kapellen |  |
| Land: België |  |
| Postcode: 2950 |  |
| Tel.: +32 (0)3 |  |
| 605 7891 Fax: |  |
| +32 (0)3 605 |  |
| 7892 |  |

IJken van de troebelingsmeter

Bovenstaande troebelingsmeter moet voor gebruik geijkt worden. Dit ijken vindt plaats met een blanco monster (demiwater) op 2 NTU en een standaard meegeleverde een witte colloïde ijkvloeistof van 100 NTU.

*Aandachtspunt:*

Instrueer leerlingen dat de potjes minimaal tot boven de markeringslijn met vloeistof gevuld moeten worden. Als leerlingen meetresultaten verkrijgen van 0 NTU (of daaronder), dan is er ergens iets mis gegaan (bijv. potje niet goed gevuld, potje vochtig aan de buitenkant of sensor niet goed gecalibreerd). In voorkomende gevallen: laat leerlingen het betreffende experiment opnieuw uitvoeren en ijk de sensor in de tussentijd opnieuw. Het kan nodig zijn de sensor periodiek opnieuw te calibreren tijdens het leerlingenpracticum.

1. *Materiaal per leerlingenteam*

Ieder groepje leerlingen heeft de beschikking over: Roermotor + vlo (minimaal 1, liefst 2)

Eén bekerglas van 250 mL Maatcilinder van 100 mL

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Verdunning nr. | g / L Fe3+ |  |
| 0 | 1 | - |
| 1 | 0,5 | 2x verdunnen |
| 2 | 0,25 | 4 x verdunnen |
| *3* | *0,1* | *10 x verdunnen* |
| 4 | 0,05 | 20 x verdunnen |
| 5 | 0,01 | 100 x verdunnen |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Injectiespuitje met 1 mL  6 bekerglazen van 100 mL reageerbuizen  Roerder en roervlo Spuitfles met demiwater Thermometer  Warm water uit de kraan en ijs Extra (grote) bekerglazen  Chemicaliën  Hieronder een overzicht van benodigde chemicaliën en oplossingen. Voor alle troebele watermonsters wordt gebruik gemaakt van chamotte klei in kraanwater. Meet de *pH* (ca. 7,5).  Experimenten   1. *Invloed dosis vlokmiddel (zie practicumvoorschrift op blz. 36)*   Vers maken: FeCl3-voorraadoplossing voor de gehele klas. 1 g Fe3+ / L. Los 2,41 g FeCl3.6H2O (s) op in 500 ml demi in maatkolf. Maak vervolgens een verdunningsreeks met bereik van 0.01 – 1 g Fe3+ / L.  *Verdunning 3* is de standaard te gebruiken in experimenten Invloed begintroebeling en temperatuur. Van deze verdunning dus relatief veel nodig.  Standaard begintroebeling ca. 150 NTU (verdunning III, zie onder).  *Aandachtspunt.* Vlokmiddel niet vers? Vlak voor uitvoering van experiment controleren of de vlokmiddel niet geoxideerd is (oplossing = troebel) en testen!   1. *Invloed begintroebeling (zie practicumvoorschrift op blz. 37)*   Maak een serie troebele watermonsters met verschillende begintroebelingen tussen 50 en  200 NTU. Neem een grote bak water, suspendeer de chamotte klei met een houten pollepel. Vervolgens twee mogelijkheden:   1. Filtreer de oplossing en vang het troebele filtraat op. Gebruik filtreerpapier met grote porie (niet analytisch) anders blijven kleideeltjes hangen in filter. Het filtreren van de vloeistof kost veel tijd. Gebruik grote trechter. Vervang het filtreerpapier regelmatig. 2. Laat de grote bak troebel water ruim 1 uur rustig staan. Grotere deeltjes zakken naar de bodem. Schenk het bovenstaande troebele water af (of overhevelen) en vang op in een aparte bak.   Verdun vervolgens totdat je een serie troebele watermonsters hebt met troebeling ongeveer zoals in onderstaande tabel. | | | |
|  | Verdunning nr. | Begintroebeling (NTU) |  |
| I | ca. 250 |
| II | ca. 200 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | *III* | *ca. 150* |  |
| IV | ca. 100 |
| V | ca. 75 |
| VI | ca. 50 |
| *Verdunning III* is de standaard te gebruiken in experimenten Invloed dosis vlokmiddel en temperatuur. Hiervan veel liters benodigd!  Standaard toe te voegen dosis vlokmiddel: 0.1 g Fe3+ / L (verdunning 3, zie boven).  *Aandachtspunten:*   * De *pH* moet gelijk zijn in alle verdunningen (ergens tussen 6,5 – 7,5). Eventueel corrigeren m.b.v. zuur of loog. * Bewaar de troebele watermonsters bij voorkeur in PET flessen (door schudden weer troebel). Vlak voor uitvoering van experiment de troebelingsgraad meten en *pH* (nogmaals) controleren.   *3. Invloed temperatuur (zie practicumvoorschrift op blz. 38)*  Standaard troebel watermonster van ca. 150 NTU (verdunning III, zie boven). Standaard dosis vlokmiddel van 0.1 g Fe3+ / L (verdunning 3, zie boven).  Warm water en ijs voor resp. verwarmen | koelen.  *Aandachtspunten:*   * Zet een aantal PET flessen met troebel water in de koelkast. Verwarmen gaat snelle dan koelen. Bespoedigd de snelheid van het leerlingen practicum   Rekenschema voor hoeveelheden (per duo leerlingen).  Onderstaande hoeveelheden als uitgangspunt nemen en doorrekenen voor eigen situatie! Uitgaande van een duo leerlingen, 120 minuten practicum tijd, drie procesvariabelen  te onderzoeken, twee roermotoren en voldoende glaswerk, kunnen leerlingen *maximaal 10 metingen per variabele* uitvoeren. Er is met name veel troebel water nodig. Zie onder.  10 metingen dosis vlokmiddel: ca. 500 mL troebel water ca. 150 NTU (Verdunning III) 10 metingen temperatuur: ca. 500 mL troebel water ca. 150 NTU (Verdunning III) Begintroebeling:   * 2 metingen begintroebeling ca. 250 NTU: ca. 100 mL * 2 metingen begintroebeling ca. 200 NTU: ca. 100 mL * 2 metingen begintroebeling ca. 150 NTU: ca. 100 mL (Verdunning III) * 2 metingen begintroebeling ca. 100 NTU: ca. 100 mL * 2 metingen begintroebeling ca. 75 NTU: ca. 100 mL * 2 metingen begintroebeling ca. 50 NTU: ca. 100 mL   Vlokmiddel:   * Verdunning 0 (1 g/L): ca. 1 mL * Verdunning 1 (0,5 g/L): ca. 1 mL * Verdunning 2 (0,25 g/L): ca. 1 mL * Verdunning 3 (0,1 g/L): ca. 12 mL (voor temperatuur en begintroebeling) * Verdunning 4 (0,05 g/L): ca. 1 mL * Verdunning 5 (0,01 g/L): ca. 1 mL | | | |

*Invloed procesvariabele hoeveelheid vlokmiddel*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Voer onderstaande procedure minimaal vijf keer uit met steeds een *andere* hoeveelheid vlokmiddel. Noteer de meetresultaten in de tabel bij Resultaten.  *Procedure:*  Coagulatie & Flocculatie   * Meet met behulp van de maatcilinder telkens 50 mL troebel watermonster af en schenk deze over in een bekerglas van 100 ml. Voeg een roervlo toe en plaats de oplossing op de roerder. * Zet de roerder op maximale roersnelheid. Voeg vervolgens 0.5 mL van de FeCl3- oplossing met een zekere concentratie Fe3+ toe m.b.v. het injectiespuitje. Bereken de concentratie Fe3+ in mg/L in het watermonster. Noteer de concentratie in de tabel bij Resultaten. * Roer het watermonster gedurende 1 minuut op maximale snelheid. * Verlaag hierna de roersnelheid tot een rustig tempo en laat roeren gedurende 5 minuten * Zet hierna de roerder uit. Neem het bekerglas van de roerder, verwijder de roervlo en laat de vloeistof rustig 20 minuten uitzakken.   Bepaling van de eindtroebeling   * Schenk de bovenstaande vloeistof in het bekerglas voorzichtig af in de kuvet van de troebelingsmeter. Controleer hierbij dat er geen vlokken meekomen. Zorg ervoor dat de kuvet schoon is (reinig eventueel met demiwater). * Meet de troebeling van de vloeistof en noteer de NTU waarde. * Zet de meetwaarden overzichtelijk in een tabel.   Resultaten  Tabel: Eindtroebeling afhankelijk van hoeveelheid vlokmiddel. Constante procesvariabelen:  Begintroebeling = NTU  Temperatuur = 0C | | | |
|  | Hoeveelheid mg Fe3+ / L in het watermonster | Eindtroebeling (NTU) |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

*Invloed procesvariabele begintroebeling*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Voer onderstaande procedure minimaal vijf keer uit met steeds een watermonster met een *andere* begintroebeling. Noteer de meetresultaten in de tabel bij Resultaten.  *Procedure:*  Coagulatie & Flocculatie   * Meet met behulp van de maatcilinder telkens 50 mL watermonster met een zekere begintroebeling af en schenk deze over in een bekerglas van 100 mL. Noteer de begintroebeling in de tabel bij Resultaten. Voeg een roervlo toe en plaats de oplossing op de roerder. * Zet de roerder op maximale roersnelheid. Voeg vervolgens 0.5 mL van de FeCl3- oplossing met 0.1 g Fe3+ / L toe m.b.v. het injectiespuitje * Roer het watermonster gedurende 1 minuut op maximale snelheid. * Verlaag hierna de roersnelheid tot een rustig tempo en laat roeren gedurende 5 minuten * Zet hierna de roerder uit. Neem het bekerglas van de roerder, verwijder de roervlo en laat de vloeistof rustig 20 minuten uitzakken.   Bepaling van de eindtroebeling   * Schenk de bovenstaande vloeistof in het bekerglas voorzichtig af in de kuvet van de troebelingsmeter. Controleer hierbij dat er geen vlokken meekomen. Zorg ervoor dat de kuvet schoon is (reinig eventueel met demiwater). * Meet de troebeling van de vloeistof en noteer de NTU waarde. * Zet de meetwaarden overzichtelijk in een tabel.   Resultaten  Tabel: Eindtroebeling afhankelijk van begintroebeling. Constante procesvariabelen:  Hoeveelheid vlokmiddel = mg Fe3+ / L in het watermonster  Temperatuur = 0C | | | |
|  | Begintroebeling (NTU) | Eindtroebeling (NTU) |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

*Invloed procesvariabele temperatuur*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Voer onderstaande procedure minimaal vijf keer uit met steeds een troebel watermonster met *andere* temperatuur. Noteer de meetresultaten in de tabel bij Resultaten.  *Procedure:*  Coagulatie & Flocculatie   * Vul de bodem van een groot bekerglas van 500 ml met water met een zekere temperatuur. Varieer de temperatuur tussen 5 en 250C. Gebruik warm water uit de kraan of ijs. Meet met behulp van de maatcilinder telkens 50 mL troebel watermonster af en schenk deze over in een bekerglas van 100 ml. Plaats het bekerglas in het grote bekerglas. Controleer de temperatuur van het watermonster met een thermometer. Het water in het grote bekerglas nog niet weggooien! * Als het watermonster de juiste temperatuur heeft bereikt, neem dan het bekerglas van 100 ml met het watermonster en plaats deze op de roerder. Voeg een roervlo toe. * Zet de roerder op maximale roersnelheid. Voeg vervolgens 0.5 mL van de FeCl3- oplossing met 0.1 g Fe3+ / L toe m.b.v. het injectiespuitje. * Roer het watermonster gedurende 1 minuut op maximale snelheid. * Verlaag hierna de roersnelheid tot een rustig tempo en laat roeren gedurende 5 minuten. * Zet hierna de roerder uit. Neem het bekerglas van 100 mL van de roerder en verwijder de roervlo. Plaats het 100 mL bekerglas vervolgens weer in het grote bekerglas met water. Laat de vloeistof rustig 20 minuten uitzakken.   Bepaling van de eindtroebeling   * Meet de eindtemperatuur van de uitgezakte vloeistof met een thermometer. Bereken de *gemiddelde* temperatuur (begin en eind) en noteer deze in de tabel bij Resultaten. * Schenk de bovenstaande vloeistof in het bekerglas voorzichtig af in de cuvet van de troebelingsmeter. Controleer hierbij dat er geen vlokken meekomen. Zorg ervoor dat de cuvet schoon is (reinig eventueel met demiwater). * Meet de troebeling van de vloeistof en noteer de NTU waarde. * Zet de meetwaarden overzichtelijk in een tabel.   Resultaten  Tabel: Eindtroebeling afhankelijk van de temperatuur Constante procesvariabelen:  Hoeveelheid vlokmiddel = mg Fe3+ / L in het watermonster  Begintroebeling = NTU | | | |
|  | Temperatuur 0C | Eindtroebeling (NTU) |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

## Verdiepingsopdracht 2 Scheikunde

Verdiepingsopdracht 2 omvat een practisch gedeelte. Het volstaat om voor leerlingen een bak troebel water ca. 200 NTU klaar te zetten, en vlokmiddel. Leerlingen kunnen zelf verdunningen maken. De verdunningen kunnen nu random gemaakt worden. Voor de rest verloopt de practicumproef identiek zoals beschreven bij leerlingenpracticum.

# Hoofdstuk 10. Toetsing

De leerlingen aan het eind van de module getoetst via de door hen gemaakte factsheet. In deze factsheet komen alle activiteiten samen. Aan de hand van de uitgebreide leerdoelen wordt duidelijk hoe deze in de factsheet tot uitingen komen. Verder is een correctiemodel en een voorbeeld factsheet (zoals leerlingen dat zouden kunnen inleveren) toegevoegd.

Indien gewenst is er ook een procesbeoordeling mogelijk: bij een aantal activiteiten kunt u rapportage vragen (via e-mail bijvoorbeeld).

Er zijn 2 bijlagen:

* Correctiemodel factsheet
* Referentiefactsheet

## Correctiemodel Factsheet Procesmodeleren vlokbehandeling

Hieronder staat een correctiemodel voor de factsheet die leerlingen inleveren.

|  |
| --- |
| *Procesmodellering Zuiveringsstap Vlokbehandeling Factsheet v l okbehandeling – t roebeling*  Onderzoekers: ………………………………………Datum oplevering: …………………………… |
| *Inleiding & doel:*  Max 3 punten:   * motivatie (aanleiding) onderzoek vlokbehandeling | normoverschrijding troebeling (1) * doel van onderzoek: ontwikkeling van model om eindtroebeling te voorspellen | verband onderzoeken tussen eindtroebeling en procesvariabelen (1) * Introductie begrippenlijst (1) |
| *Werking van vlokbehandeling*  Max 5 punten:   * Fijne klei deeltjes | colloïden als veroorzakers van troebeling: waarom zijn deze deeltjes lastig te verwijderen? (1) * Coagulatie: correcte beschrijving / uitleg (1) * Flocculatie | Sedimentatie (filtratie): correcte beschrijving / uitleg (1) * Grootheid troebeling * Aandachtspunten | proces- en stuurvariabelen invloed op eindtroebeling (1) |
| *Procesvariabelen*  Max 3 punten:   * Opsomming van *alle* procesvariabelen zoals geïdentificeerd in de klas (2) * Kwalitatieve beschrijving van invloed op *eindtroebeling* (2) |
| *Experimenteel onderzoek*  Max 5 punten: |

|  |
| --- |
| * Vermelding bereik van *alle* gevarieerde procesvariabelen (2) * Vermelding waarde van constant gehouden procesvariabelen (2) * Vermelding gebruikte apparatuur voor meten (bv. troebelingssensor) (1) |
| *Meetresultaten*  Max 5 punten:   * Tabellen en/of puntenwolken van *drie* gevarieerde procesvariabelen (V, BT + temperatuur) (3) * Grootheden en eenheden juist | grafieken correct. (2) |
| *Wiskundig model*  Max 9 punten:   * Regressie- en correlatieresultaten enkel- en meervoudig (3) * Argumenten voor lineair – niet lineair (2) * Kwaliteit adhv zowel R als KK (2 = 1 – 1) * Iets over geldigheidsbereik (2) |
| *Evaluatie*  Max 5 punten:   * Beschouwing over voorspellende waarde van meervoudig regressiemodel (3) * Indicatie vervolgonderzoek (2), waaronder bv:   + Meer metingen uitvoeren   + Meer variabelen simultaan variëren   + Betere (constantere) experimentele condities |
| *Reflectie en aanbevelingen*  Max 5 punten:   * Vermelding / terugkoppeling naar doel van onderzoek (2) * Reflectie op gevolgde modelleeraanpak voor dit soort input-output vraagstukken (black-box modelling | data driven modelling): (3)   + Benoemen generieke aanpak, waaronder 1) selectie relevante variabelen, 2) verbanden experimenteel onderzoeken, 3) data–analyse correlatie & regressie, 4) evaluatie.   + Aandachtspunten & aanbevelingen |
| *Literatuur*  Max 3 punten:   * Vermelding artikelen in bronnenboek * Vermelding additionele bronnen, zoals internetsites |
| *Begrippenlijst*  Max 6 punten (onderverdeeld in 3 pnt voor Sk en 3 pnt voor Cor&Reg):   * *Voldoende* begrippen *correct* omschreven   Puntenaftrek indien begrippenlijst zeer minimaal is ingevuld en/of omschrijvingen foutief. |

## Referentie factsheet

Hieronder staat een referentie factsheet die leerlingen naar verwachting opstellen en inleveren. Tevens is een begrippenlijst toegevoegd. Dit vormt de neerslag van de individueel bijgehouden begrippenlijsten door leerlingen.

|  |
| --- |
| **FA C T S H E E T V L O K B E H A N D E L I N G – TR O E B E L I N G**  Onderzoekers: [NAAM LEERLINGEN | KLAS] Projectleider (de docent): [NAAM]  Datum oplevering: [DATUM] |
| *Inleiding & doel*  In het kader van Project ‘Optimaliseren Drinkwaterzuivering’ is een onderzoek uitgevoerd naar zuiveringsstap vlokbehandeling.  Door vlokbehandeling worden kleine zwevende deeltjes en colloïden verwijderd, waardoor het water helder wordt. In deze studie is de verwijdering van troebeling onderzocht.  Het doel van het onderzoek was om het verband tussen eindtroebeling en procesvariabelen dosis vlokmiddel, begintroebeling en temperatuur te onderzoeken en beschrijven in wiskundig model.  Aan deze factsheet is een begrippenlijst toegevoegd. Begrippen die cursief en vetgedrukt zijn weergegeven, worden nader toegelicht in de begrippenlijst. |
| *Werking van vlokbehandeling*  In *vlokbehandeling* worden kleine zwevende deeltjes verwijderd. Deze deeltjes zijn zeer kleine slibdeeltjes en *colloïden*, negatief geladen deeltjes. Deze deeltjes zijn moeilijk te verwijderen, omdat ze een kleine massa hebben en elkaar afstoten. Daardoor blijven ze zweven in het water en maken het water troebel.  Door een *vlokmiddel* toe te voegen aan troebel water worden de deeltjes verwijderd. Een vlokmiddel is een zout met een sterk positief geladen ion, bijv. FeCl3. Onder hard roeren wordt het vlokmiddel toegevoegd aan het troebele water. Er vindt *coagulatie* plaats: de deeltjes klitten aan elkaar. Daarna wordt rustig geroerd en vindt er *flocculatie* plaats. Er ontstaan langzaam grote vlokken. Die vlokken kunnen bezinken (*sedimentatie*) of afgefiltreerd (*filtratie*) worden.  Voor een goed resultaat van vlokbehandeling is het nodig voorafgaand aan de uitvoering precies te weten hoeveel vlokmiddel er toegediend moet worden om helder water te produceren. Teveel is niet goed, want dan komt er teveel ijzer (Fe3+) in het water, te weinig is niet goed, omdat het water dan troebel blijft. De hoeveelheid vlokmiddel is de *stuurparameter*. |
| *Procesvariabelen*  Hieronder volgt een overzicht van de procesvariabelen vlokbehandeling. Per procesvariabele is een kwalitatieve invloedsbeschrijving op de eindtroebeling toegevoegd.   * Hoeveelheid vlokmiddel: hoe meer vlokmiddel er toegediend wordt, hoe lager de eindtroebeling (negatieve *correlatie*). Aanname: machtsverband * Begintroebeling: hoe hoger de begintroebeling, hoe hoger ook de eindtroebeling (positieve correlatie). Aanname: lineair verband.   Daarnaast hebben de pH, temperatuur, totale zoutconcentratie invloed. De uiteindelijke invloed van deze variabelen op de eindtroebeling is moeilijk te voorspellen.  In deze studie is alleen de invloed van de procesvariabelen hoeveelheid vlokmiddel, begintroebeling en temperatuur onderzocht. |
| *Experimenteel onderzoek*  In een serie experimenten, waarin vlokbehandeling op kleine (laboratorium) schaal is nagebootst, is de invloed van de procesvariabelen op de eindtroebeling onderzocht. Steeds is er één procesvariabele |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| veranderd, de andere zijn constant gehouden. De troebeling werd gemeten met een troebelingssensor aan de computer. De proeven zijn uitgevoerd op de volgende wijze:  [BEKNOPTE BESCHRIJVING]  Overzicht procesomstandigheden:   * Vlokmiddel: FeCl3. Hoeveelheid gevarieerd tussen: mg Fe3+ / L * Begintroebeling gevarieerd tussen: *NTU* * Temperatuur gevarieerd tussen: ˚C * Mengen: intensief op …. rpm gedurende … min, zacht op …. rpm gedurende … min, bezinken gedurende   … min. | | | |
| *Meetresultaten*  Hieronder zijn de *puntenwolken* per procesvariabele weergeven. In alle experimenten is de eindtroebeling de *afhankelijke variabele*, de procesvariabelen zijn de *onafhankelijke variabelen*.  Hoeveelheid vlokmiddel  Constante procesvariabelen:  Begintroebeling = NTU Temperatuur =  Begintroebeling  Constante procesvariabelen:  Hoeveelheid vlokmiddel = mg Fe3+ / L in het watermonster  Temperatuur =  *Temperatuur* | | | |
|  | Constante procesvariabelen:  Hoeveelheid vlokmiddel = mg Fe3+ / L in het watermonster  Begintroebeling = …NTU |  |  |
| *Wiskundig model*  Eerst is een enkelvoudige *regressieanalyse* uitgevoerd. Twee regressiemodellen zijn getest: *lineair en macht*. De passendheid van de modellen is bepaald op basis van de waarde van *R2*.  Hoeveelheid vlokmiddel  Geldigheid: Machtsregressiemodel:  < mg Fe3+ / L < Begintroebeling = NTU  Temperatuur R2 = | | | |

|  |
| --- |
| Begintroebeling  Geldigheid: Lineair regressiemodel:  < begintroebeling <  Hoeveelheid vlokmiddel = mg Fe3+ / L in het R2 = watermonster  Temperatuur =  Om met alle procesvariabelen tegelijk rekening te kunnen houden, is een meervoudige regressieanalyse uitgevoerd.  Regressiemodel vlokbehandeling: Eindtroebeling (NTU) = [ADDITIEF en MULTIPLICATIEF REGRESSIE MODEL] |
| *Evaluatie* Passendheid R2 = Geldigheid:  Betrouwbaarheid (o.a. aantal en kwaliteit van de metingen)  Opmerkingen en aanbevelingen   * Toepasbaarheid van model in reële praktijksituaties (bedrijfsinstallaties) * Verder onderzoek gericht op … |
| Reflectie en aanbevelingen  In deze paragraaf wordt teruggekeken op de belangrijkste resultaten van dit onderzoek. Tevens wordt een advies gegeven voor vervolg.  Het ontwikkelde regressiemodel voorspelt de eindtroebeling met [HOGE | LAGE] betrouwbaarheid. In een vervolgproject dient ……….  Met behulp van een wiskundige model kunnen drinkwaterbedrijven berekenen hoeveel vlokmiddel er nodig is om helder water te produceren.  De resultaten geven [WEL | GEEN] aanleiding tot een vervolgonderzoek naar optimalisatie van vlokbehandeling. Namelijk:  Beschouwing over ‘black-box’ modelleeraanpak, eventueel in vergelijking met ‘mechanistische modelleeraanpak’  Beschouwing over ‘generieke modelleeraanpak’ voor dit soort ‘input-output’ vraagstukken. |
| Literatuur   * Project ‘’. Aangepaste versie van RIVM document nr. 734301011 ‘Definitiestudie Zuiveringsmodel Drinkwater’, F.J. Kragt, F.W. van Gaalen, L.C. Rietveld, J.F. Schrijven, augustus 1996. * De werking van Vlokbehandeling. Bronnenboek bij lesmateriaal Zuiver Drinkwater?! * Coagulatie en flocculatie. Bronnenboek bij lesmateriaal Zuiver Drinkwater?!. * Bronnen ‘Corelatie & Regressie’ in Bronnenboek bij lesmateriaal Zuiver Drinkwater?! |
| *Begrippenlijst*  Vlokbehandeling Zuiveringsstap waarin door toevoegen van een vlokmiddel kleine zwevende deeltjes in het water worden verwijderd. Het water wordt hierdoor helder.  Troebeling Waterkwaliteitsparameter. Drinkwater mag niet troebeler zijn dan 4 NTU (FTE). Troebeling wordt veroorzaakt door kleine zwevende deeltjes in water.  Colloïden Kleine negatief geladen deeltjes met grootte tussen 0,01 en 01 µm (qua grootte tussen deeltjes in suspensies en oplossing in).  Vlokmiddel Zout met een sterk geladen positief ion, bijv. FeCl3.  Procesvariabelen Variabelen die een invloed hebben op een proces. Variabelen kunnen tijdens het proces van waarde veranderen.  Stuurparameter Bijzondere procesvariabele. Een stuurparameter is een procesvariabele die direct |

|  |
| --- |
| (rechtstreeks) veranderd kan worden.  Coagulatie Samenklitten van colloïde deeltjes tot groeikernen nadat de negatieve lading van de deeltjes is geneutraliseerd door toevoegen van een vlokmiddel.  Flocculatie Koppelen van de groeikernen tot vlokken die bezinken of door filtratie kunnen worden verwijderd.  Eenheid NTU / FTE Eenheid voor grootheid troebeling.  Correlatie Mate van samenhang tussen twee grootheden: sterk, zwak, volkomen of niet. Er zijn verschillende typen samenhang, bijv. positieve correlatie (evenredig verband) en negatieve correlatie (omgekeerd evenredig verband).  Regressieanalyse De mate van samenhang tussen grootheden uit te drukken in een wiskundige formule, bijv. lineair, dus als model: *y = ax + b*. Dat wil zeggen, dat bij gegeven waarde *x* de waarde van *y* min of meer is te voorspellen. Regressieanalyse kan tussen twee grootheden (enkelvoudig), of tussen meerdere grootheden (meervoudig).  Onafhankelijke en afhankelijke variabele Verband tussen twee variabelen, waarbij de waarde van de afhankelijke variabele wordt beïnvloed door de waarde van de onafhankelijke variabele.  Puntenwolk Een spreidingsgrafiek van experimentele gegevens van een afhankelijke en onafhankelijke variabele.  Regressiemodel: Een wiskundige formule van een lijn door een puntenwolk. Er zijn meerdere regressiemodellen mogelijk, bijv. lineair of macht.  Passendheid via R2 Bij een regressiemodel hoort een R2 waarde. De R2 geeft aan hoe goed het regressiemodel past bij de meetgegevens. |

# Hoofdstuk 11. Suggesties en extra opdrachten

## Verdiepingopdracht 1: ‘Wiskundige achtergronden van correlatie en regressie’

In de bronnen van het bronnenboek zijn verschillende uitspraken gedaan die niet worden hardgemaakt. Dat is vanuit wiskundig standpunt natuurlijk wat onbevredigend. Daarom ga je in deze verdiepingsopdrachten door middel van opgaven nader in op de wiskundige achtergronden van een en ander.

Opdracht 1. Standaardafwijking

a Ga na dat de eenheid van de standaardafwijking van *V*,  gelijk is aan die van *V* zelf. b Wat gebeurt er met de standaardafwijking van *V* als je *V* niet meet in mg/l maar in g/l?

Opdracht 2. Covariantie.

1. Welke eenheid heeft de covariantie van van *V* en *E*?
2. Ga na dat de covariantie van *V* met zichzelf gelijk is aan de variantie van *V*.

Opdracht 3. Correlatie

1. Welke eenheid heeft de correlatiecoëfficiënt *R*?
2. Hoe groot is de correlatiecoëfficiënt van *V* met zichzelf?
3. Bereken ook

*RV* ,*V*

1. Ga na dat

*RV* ,*E* gelijk is aan

*RE* ,*V* .

Opdracht 4. Kleinste kwadraten

De kwadraatfout van een lijn door het zwaartepunt van de puntenwolk van 21 metingen (*V*, *E*) is gelijk aan:

21

∑

*K* 2 (*c*)  1 ((*E*  *E*)  *c*(*V* *V* ))

2

*i i*

21 *i* 1

a Van welke variabelen in de formule voor *K*2 hierboven zijn de waarden bekend? b Differentieer *K*2 naar *c* en stel de afgeleide op 0.

1. Bepaal bij de 21 gegeven metingen de waarde van *c* waarvoor *K*2 minimaal is.
2. Bepaal de vergelijking van de best passende lijn bij de afhankelijkheid van *E* van *V*.
3. Gebruik deze vergelijking om te voorspellen welke *E*-waarde je vindt bij een *V*-waarde van 4 mg/L.

Opdracht 5. Verbanden tussen kwadraten

In bron 9 is het volgende verband gegeven tussen de correlatiecoëfficiënt *R* en de gemiddelde kwadraatfout *K*2:

*K* 2

2

*R*  1

2

**

*E*

Probeer dit verband te bewijzen.

### Docentenhandleiding Hoofdstuk 11. Suggesties en extra opdrachten

## Verdiepingopdracht 2: ‘Testen van het black-box model van proces vlokbehandeling’

In deze module hebben we een wiskundig model ontwikkeld dat de relatie beschrijft tussen de eindtroebeling en enkele procesvariabelen bij zuiveringsstap vlokbehandeling. Het ontwikkelde model kan gebruikt worden om het effect van veranderingen in één van de procesvariabelen op de eindtroebeling door te rekenen. De uitkomsten zijn bedoeld om de dosering van de stuurparameter dosis vlokmiddel aan te passen aan de omstandigheden.

Hoe betrouwbaar is het door ons ontwikkelde model? Om dat uit te zoeken is het nodig de *berekende* eindtroebeling volgens het model te vergelijken met de *gemeten* troebeling. Als de berekende en gemeten troebeling overeenstemmen, dan geeft het model een goede beschrijving van het gedrag van het proces. We gaan willekeurig een aantal watermonsters, met verschillende troebelingsgraden, behandelen met verschillende hoeveelheden vlokmiddel. We meten steeds de eindtroebeling en vergelijken die met de verwachte eindtroebeling volgens het model.

Voor deze opdracht zijn een aantal watermonsters, die onderling verschillen in de troebelingsgraad, beschikbaar en diverse doseringen vlokmiddel. Werk volgens onderstaande procedure.

* + 1. Maak een tabel volgens onderstaande opzet.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Watermonster nr. | Begintroebeling (NTU) | Dosis vlokmiddel (mg Fe3+ / L) | Gemeten eindtroebeling (NTU) | Berekende eindtroebeling (NTU) |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |

* + 1. Bepaal de troebelingsgraad van de watermonsters m.b.v. de troebelingssensor. Denk vervolgens na over de dosis vlokmiddel je aan ieder watermonster toe wilt voegen. Zorg voor een goede variatie binnen de geldigheidsvoorwaarden (!) van het model. Noteer de waarden in de tabel.
    2. Voeg vervolgens de experimenten uit en meet de eindtroebelingen. Houd de uitvoering van ieder experiment gelijk. Noteer de eindtroebelingen in de tabel.
    3. Bereken vervolgens de eindtroebeling m.b.v. het Black box model. Noteer ook deze waarden in de tabel.
    4. Maak een spreidingsdiagram van de *gemeten* eindtroebelingen tegen de *berekende* eindtroebeling. Voer vervolgens een lineaire regressie uit met coëfficiënt b = 0 (ga na waarom!). Noteer je conclusies over de betrouwbaarheid van het ‘black-box’ model.