



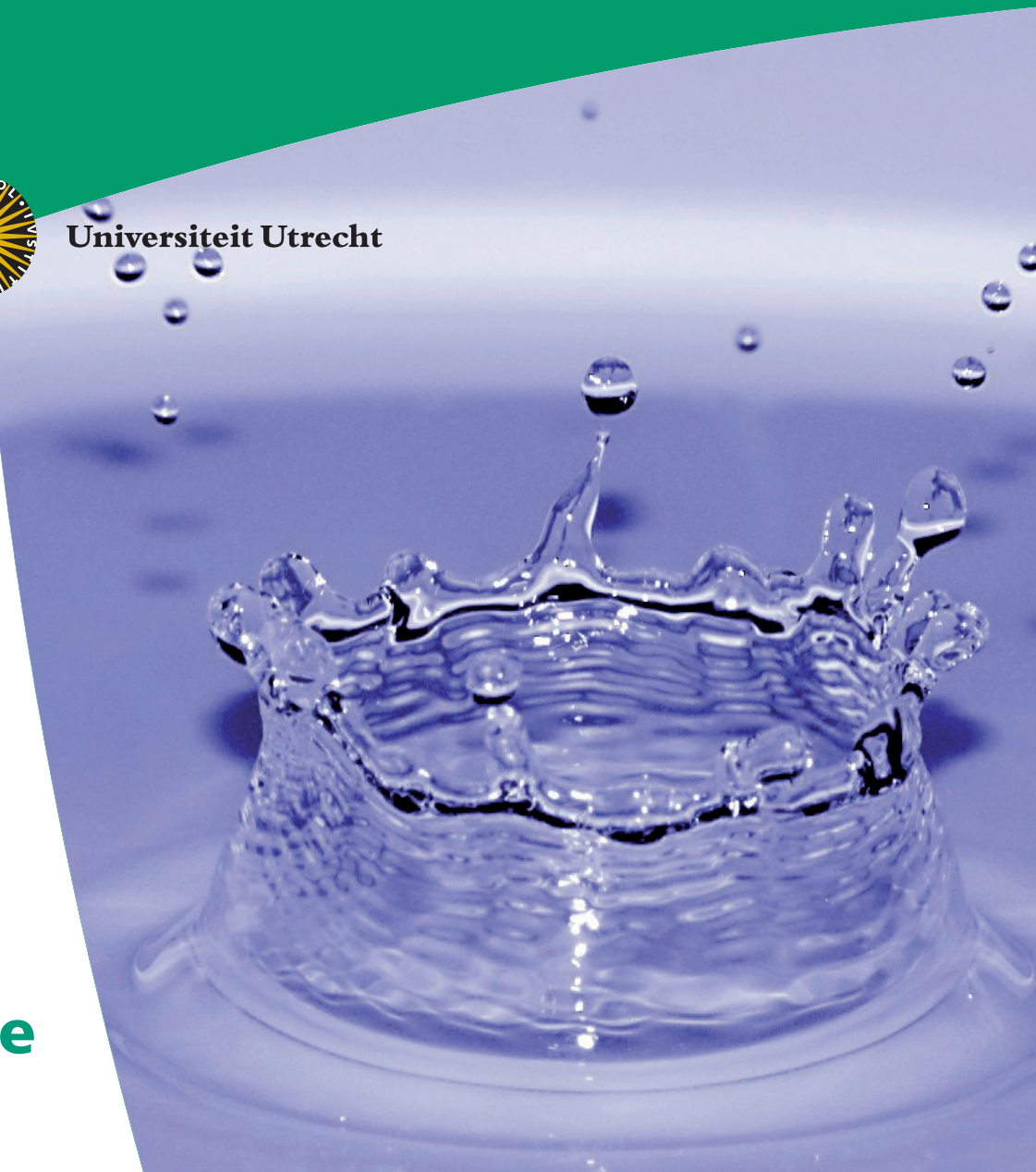
Zuiver drinkwater?!

een nlt-module voor 5 vwo



Universiteit Utrecht

**Junior College
Utrecht**



Zuiver drinkwater?!

Procesmodellering vlokbehandeling

Versie 1.0



Universiteit Utrecht



FIsme

**Junior College
Utrecht**

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>

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 (Griffland 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>

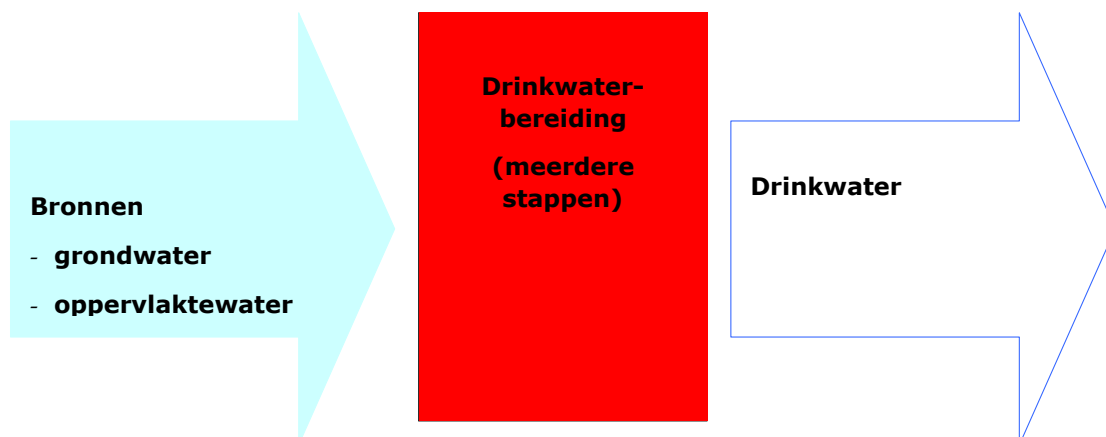
Inhoud

Inhoud	1
Hoofdstuk 1. Introductie op deze lessenserie	3
Hoofdstuk 2. Oriëntatie op drinkwaterbereiding	5
Hoofdstuk 3. Procesmodellering vlokbehandeling	9
Hoofdstuk 4. Vlokbehandeling en procesvariabelen	11
Hoofdstuk 5. Experimenteel onderzoek en meetresultaten	13
Hoofdstuk 6. Wiskundig model	15
Hoofdstuk 7. Evaluatie, reflectie en aanbevelingen	17
Hoofdstuk 8. Afronding	19

Hoofdstuk 1. Introductie op deze lessenserie

Schoon drinkwater 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 Norrit (actieve kool). Drinkwaterbedrijven gebruiken dezelfde technieken, alleen dan op veel grotere schaal. Het drinkwaterbereidingproces is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



Nu is het zo dat de kwaliteit van het te zuiveren water steeds veranderd. Dit geldt vooral voor oppervlaktewater. Daarom moet ook het proces van drinkwaterbereiding continue 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 wijzigen 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 2. Oriëntatie op drinkwaterbereiding

Het is zo vanzelfsprekend: je draait de kraan open en er komt schoon drinkwater uit. Maar daarvoor heeft het water al een heel zuiveringstraject van bron tot kraan afgelegd. Het duurt enkele weken voordat ongezuiverd grond- en oppervlaktewater als drinkwater uit de kraan stroomt. In de volgende activiteit gaan we het zuiveringstraject van grond- en oppervlaktewater in kaart brengen.

Activiteit 1: Oriëntatie op drinkwaterbereiding

- a Maak twee blokschema's van het waterzuiveringproces voor de twee bronnen voor drinkwater:
 - i oppervlaktewater
 - ii grondwater
- b Noteer per zuiveringsstap welke verontreinigingen en/of klasse van stoffen worden verwijderd. Maak de blokschema's volgens onderstaande opzet:



Als start voor je informatiezoektocht verwijzen we o.a. naar onderstaande internetsites:

Vers water is :

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

Milieu centrale:

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

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer:

<http://www.vrom.nl/pagina.html?id=21581>

Ingenieursbedrijf Lenntech:

<http://www.lenntech.com/>

Vereniging drinkwaterbedrijven in Nederland:

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

Drinkwaterbedrijven

Evides:

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

Vitens:

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

Het geschoonde water dient te voldoen aan kwaliteitseisen. De eisen voor drinkwater zijn wettelijk vastgelegd in normen. In fragment 1 staan een aantal chemische normen voor drinkwater vermeld. Ondanks jarenlange ervaring in het zuiveren van water, vinden er incidenteel toch normoverschrijdingen plaats. In fragment 2 staat een overzicht van normoverschrijdingen in Nederland in 2002. In activiteit 2 maken we een overzicht van normoverschrijdingen per zuiveringsstap.

Activiteit 2: Normoverschrijdingen chemische parameters

- a Ga na bij welke zuiveringsstappen er sprake is geweest van een normoverschrijding. Gebruik hierbij je uitwerking van activiteit 1 en de informatie in fragment 2.
- b Bedenk redenen waarom er incidenteel normoverschrijdingen plaatsvinden.

Fragment 1: Normen uit het Waterleidingbesluit | Bron: 'De kwaliteit van het drinkwater in Nederland, in 2002', Ministerie van VROM, VROM-inspectie i.s.m. Centrum voor Inspectieonderzoek, Milieucalamiteiten en Drinkwater van het RIVM.

Parameter	Norm	Eenheid
<i>Aeromonas</i>	1000	kve/100 mL
Aluminium	200	µg/L
Ammonium	0,2	mg/L
Bacteriën van de coligroep	0/100 mL	kve
Broomdichloormethaan	15	µg/L
Chloride	150	mg/L (jaargem.)
Clostridia, sulfiet reducerende sporen	0/100 mL	kve
<i>E.coli</i>	0/100 mL	kve
Gehalogeneerde koolwaterstoffen	1	µg/L
Geleidingsvermogen	125	mS/m
Hardheid	1 < hardheid < 2,5	mmol
IJzer	200	µg/L
Kleurintensiteit	20	Pt/Co-schaal
Koper	2	mg/L
Koperoplossend vermogen*	2	mg/L (16 uur stilstand)
Lood	10	µg/L (tot 1-1-2006: 25)
Loodoplossend vermogen *	200	µg/L (16 uur stilstand)
Mangaan	50	µg/L
Natrium	150	mg/L
Nikkel	20	µg/L
Nitraat	50	mg/L
Nitriet	0,1	mg/L
Nitriet	0,1	µg/L
Pesticiden	> 0,2	SI
Saturatie Index	25	°C
Temperatuur	25 (90 percentiel)	µg/L
Trihalomethanen	50 (maximum)	µg/L (tot 1-1-2006: 100)
Troebelingsgraad	1 (af pompstation)	FTE
Troebelingsgraad	4 (af tap)	FTE
Waterstofcarbonaat	> 60	mg/L
Zuurgraad	7,0 < pH < 9,5	pH
Zuurstof	> 2	mg/L

* Dit zijn geen wettelijke normen

Fragment 2: Een overzicht van overschrijdingen van de norm per parameter | Bron: 'De kwaliteit van het drinkwater in Nederland, in 2002', Ministerie van VROM, VROM-inspectie i.s.m. Centrum voor Inspectieonderzoek, Milieucalamiteiten en Drinkwater van het RIVM.

Parameter	Totaal aantal metingen	Aantal overschrijdingen
Pesticiden	45340	9
Broomdichloormethaan	683	3
Trichloormethaan	1160	3
Dichloormethaan	602	3
Ammonium	5070	4
Nitraat	1160	2
Nitriet	4978	5
Waterstofcarbonaat	4437	11
Nikkel (ionen oxiden)	349	4
Mangaan (ionen oxiden)	4670	57
IJzer (ionen oxiden)	4953	11
Bacteriën van de coligroep	15008	5
Troebelingsgraad	13599	105

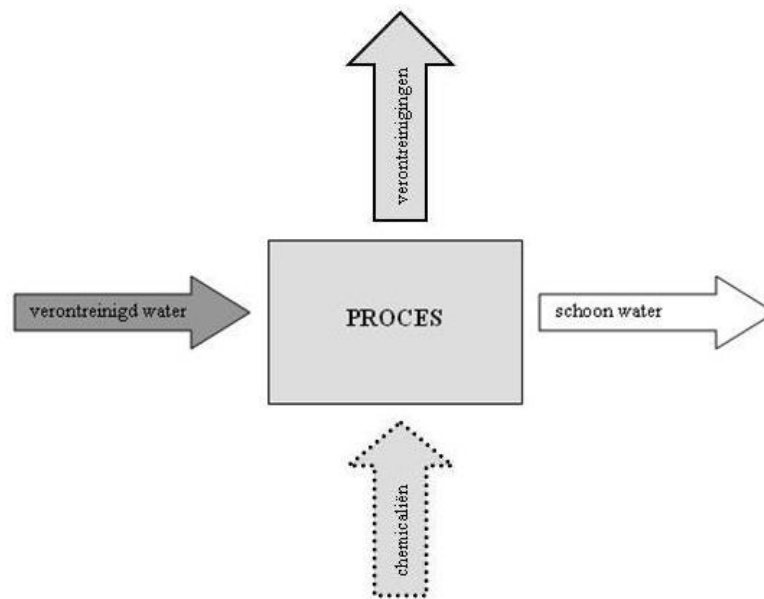
De troebelingsgraad is één van de parameters die is overschreden. Troebeling wordt veroorzaakt door kleine zwevende deeltjes in het water. Deze worden verwijderd in de zuiveringsstap vlokbehandeling. In activiteit 3 gaan we dieper in op de verwijdering van troebeling door vlokbehandeling.

Activiteit 3: Verwijdering van troebeling

De werking van zuiveringsstap vlokbehandeling wordt gedemonstreerd. Beantwoord vervolgens onderstaande vragen.

- Welke procesvariabelen hebben invloed op vlokbehandeling? Motiveer je antwoord.
- Bedenk mogelijke oorzaken (redenen) voor normoverschrijding van de troebelingsgraad.
- Wat moet je weten en uitzoeken over vlokbehandeling om normoverschrijding troebelingsgraad te voorkomen? Omschrijf je aanpak op hoofdlijnen.

De verwijdering van troebeling door zuiveringsstap vlokbehandeling is een voorbeeld van andere normoverschrijdingen bij andere zuiveringsstappen. Steeds gaat het om hetzelfde basisprobleem: inspelen op de veranderde kwaliteit van het instromende water door de uitvoering van de zuiveringsstap(pen) aan te passen. Iedere zuiveringsstap is als volgt schematisch weer te geven:



Figuur 2-1 Schematische weergave van zuiveringsstap met stofstromen.

Er stroomt verontreinigd water in. Dit wordt de input genoemd. Soms worden chemicaliën toegevoegd (weergegeven m.b.v. stippellijn). Vervolgens vindt een zuivering plaats waarin een beperkt aantal verontreinigen verwijderd. Dit wordt het proces genoemd. Na het proces stroomt het (deels) geschoonde water uit. Dit wordt de output genoemd. In deze lesmodule gaan we dieper in op dit soort vraagstukken. Ook experts werkzaam bij RIVM en TU Delft werken aan dit soort vraagstukken. In fragment 3 staat een persbericht dat de bereiding van drinkwater verbeterd kan worden. Dit leidt o.a. tot een betere drinkwaterkwaliteit. In activiteit 4 gaan we ons oriënteren op de aanpak van de experts.

Activiteit 4: Oriëntatie op de aanpak van experts

In Bron 1 staat een aangepaste versie van een origineel projectplan opgesteld door het RIVM voor het verbeteren van de bedrijfsvoering van de drinkwaterbereiding, getiteld '*Definitiestudie Zuiveringsmodel Drinkwaterbereiding* (Bron 1)'. Het projectplan betrof een voorstel voor een groot, diepgaand onderzoek naar de gehele keten van drinkwaterbereiding. Lees het projectplan door en beantwoord onderstaande vragen.

- Welke *overeenkomsten* zijn er tussen de aanpak van experts en jouw voorstelde aanpak (= activiteit 3)?
- Benoem ook de *verschillen* tussen de aanpak van experts en jouw voorstelde aanpak?

Fragment 3: Bereiding drinkwater kan beter. Bron: Technische Universiteit Delft | Datum: 18 februari 2005.

Bereiding drinkwater kan beter

De bedrijfsvoering van drinkwaterzuiveringsinstallaties in Nederland kan aanzienlijk worden verbeterd. Dit leidt tot een betere waterkwaliteit, verlaging van de zuiveringskosten en de uitstoot in het milieu. Dat stelt onderzoeker Luuk Rietveld, die op 22 februari op dit onderwerp promoveert aan de TU Delft.

Rietveld constateert dat de bedrijfsvoering van drinkwaterzuiveringsinstallaties vooral is gebaseerd op ervaring. De waterkwaliteit wordt gemonsterd om te bewijzen dat de kwaliteitsnormen worden gehaald en soms worden laboratoriumtesten uitgevoerd om bijvoorbeeld de dosering van chemicaliën te bepalen. Dit soort gegevens wordt echter zelden gebruikt om de dagelijkse besturing te verbeteren en verdwijnt doorgaans in een bureaula.

Hoofdstuk 3. Procesmodellering vlokbehandeling

Troebeling wordt veroorzaakt door kleine zwevende deeltjes in het water. In de zuiveringsstap vlokbehandeling worden deze kleine deeltjes verwijderd waardoor het water helder wordt. In de komende lessen gaan wij hier mee aan de slag. Onze opdracht staat in onderstaand fragment 4.

Fragment 4: Onze opdracht: Procesmodellering vlokbehandeling.

In de zuiveringsstap vlokbehandeling worden kleine zwevende deeltjes in het water verwijderd. Deze deeltjes veroorzaken troebeling van het water. Diverse procesvariabelen hebben een invloed op het eindresultaat. Echter, het verband tussen de eindtroebeling en de procesvariabelen is onbekend.

De opdracht luidt:

Onderzoek op laboratoriumschaal het verband tussen de eindtroebeling van water en de procesvariabelen en beschrijf dit verband met een wiskundig model.

De eindrapportage vindt plaats in de vorm van een factsheet procesmodellering vlokbehandeling.

In activiteit 3 en activiteit 4 hebben we nagedacht over een aanpak op hoofdlijnen. In activiteit 5 gaan we onze aanpak verder invullen. We gaan dat doen aan de hand van een al eerder uitgevoerd soortgelijk onderzoek naar de zuiveringsstap actieve koolfiltratie. De resultaten zijn beschreven in een factsheet (Bron 2).

Activiteit 5: Plan van aanpak voor onze opdracht

Bestudeer Bron 2. Neem vervolgens de structuur van een factsheet over (bijv. in een tekstverwerker op de computer). Dit 'lege' raamwerk vormt het begin van onze factsheet *procesmodellering vlokbehandeling*.

- a Maak een stappenplan voor aanpak van onze opdracht door de factsheet zover in te vullen als mogelijk is. Geef voor iedere paragraaf aan wat we nog moeten *weten*, *uitzoeken* en *doen*. Gebruik de *Factsheet procesmodellering actieve koolfiltratie* (Bron 2) als voorbeeld. Ga na op welke wijze de experts te werk zijn gegaan en 'vertaal' deze aanpak. Concentreer je hierbij op de hoofdzaken, inhoudelijke details zijn niet belangrijk.
 - b Ga ook na op welke criteria het ontwikkelde wiskundige model wordt beoordeeld? Geef per gevonden criterium een korte beschrijving.
-

Hoofdstuk 4. Vlokbehandeling en procesvariabelen

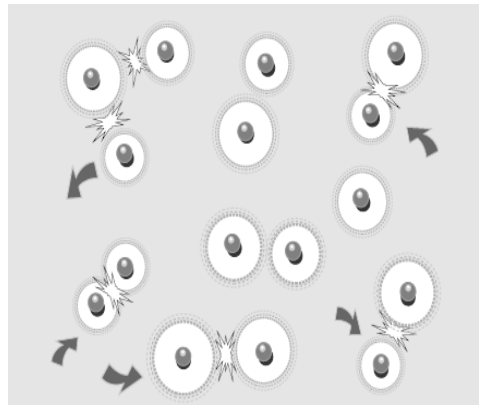
In de volgende activiteiten gaan we ons inhoudelijke verdiepen in vlokbehandeling en de procesvariabelen. Dat doen we aan de hand van artikelen in het bronnenboek.

Activiteit 6: Werking van vlokbehandeling

Maak een samenvatting van het artikel 'Werking van Vlokbehandeling' (Bron 3). Ga vooral in op onderstaande aspecten:

- Coagulatie proces
- Flocculatie proces
- Grootheid troebeling en eenheid NTU (FTE)
- Metten van troebeling
- Aandachtspunten en/of onzekerheden bij de uitvoering van vlokbehandeling.

Troebeling van water wordt veroorzaakt door kleine zwevende deeltjes en colloïden die zeer traag bezinken. Onder natuurlijke omstandigheden zijn de zwevende deeltjes in water negatief geladen. Hierdoor stoten de deeltjes elkaar af. Dit voorkomt het samenklitten van de deeltjes tot grotere deeltjes die wel vanzelf bezinken. Door het toevoegen van een vlokmiddel lukt het wel om de deeltjes samen te brengen.



In activiteit 3 hebben we al een aantal procesvariabelen genoemd. De vraag is of deze lijst nu al compleet is. Wellicht zijn er nog andere beïnvloedende variabelen waar we rekening mee moeten houden. Om deze vraag te beantwoorden moeten we ons verdiepen in het proces coagulatie & flocculatie en de onderliggende mechanismen.

Activiteit 7: Coagulatie & flocculatie

Het proces coagulatie & flocculatie leidt tot de vorming van vlokken. In deze activiteit gaan we ons verdiepen in de onderliggende mechanismen die leiden tot vlokvorming. Aan de hand van deze kennis kunnen we onze lijst met procesvariabelen uitbreiden. In het bronnenboek staat een artikel over *Coagulatie & Flocculatie* (Bron 4). Bestudeer het artikel en beantwoord onderstaande vragen.

- Waarom bezinken deeltjes kleiner dan $1\ \mu\text{m}$ niet (of oneindig traag)?
- Welke drie mechanismen zijn er? Beschrijf de mechanismen op hoofdlijnen.
- Welke procesvariabelen hebben (ook) invloed op vlokbehandeling?

We hebben nu een (complete) lijst met procesvariabelen die (mogelijk) een invloed hebben op de eindtroebeling. In de volgende activiteit gaan we na welke type verbanden we verwachten tussen de eindtroebeling en iedere procesvariabele en waarom.

Activiteit 8: Verwachte verbanden tussen de eindtroebeling en procesvariabelen

In Bron 5 staat een artikel over procesmodellering in het algemeen en de invloed van de afzonderlijke procesvariabelen vlokbehandeling in het bijzonder. Bestudeer bron 6 en beantwoord vervolgens onderstaande vragen.

- a Welke modelleeraanpak (mechanistisch of black-box) is voor onze opdracht geschikt? Motiveer je antwoord?
 - b Maak twee schetsen van het verwachte verband tussen eindtroebeling en hoeveelheid vlokmiddel enerzijds en eindtroebeling en begintroebeling anderzijds. Zet de eindtroebeling op de y-as en de procesvariabele op de x-as.
 - c In het vervolg van deze module beperken we ons onderzoek tot de procesvariabelen *dosis vlokmiddel*, *begintroebeling* en *temperatuur*. Geef een inhoudelijke reden voor deze beperking. Welke aanname speelt hierbij een rol?
-

De resultaten tot dusver noteren we in onze factsheet. Tevens breiden we onze begrippenlijst verder aan.

Activiteit 9: Aanvullen factsheet en begrippenlijst

Breid je factsheet uit. Vul ook de begrippenlijst aan met nieuwe begrippen met betrekking tot vlokbehandeling, coagulatie & flocculatie en procesvariabelen.

Hoofdstuk 5. Experimenteel onderzoek en meetresultaten

Of de procesvariabelen inderdaad (de verwachte) een invloed hebben, en zo ja hoe 'groot' deze invloed is, dient experimenteel vastgesteld te worden. Helaas kunnen we op school niet alle procesvariabelen onderzoeken. Daarvoor ontbreekt de geschikte apparatuur. De mogelijke invloed van bijv. de menging en/of roeren laten we buiten beschouwing. We beperken ons onderzoek tot de invloed van de *dosis vlokmiddel*, *begintroebeling* en *temperatuur*. Als vlokmiddel wordt $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (s) gebruikt. Voor iedere onderzoek is een apart practicumvoorschrift beschikbaar.

Voor de experimenten zijn de volgende chemicaliën en materialen beschikbaar:

Chemicaliën:

Vlokmiddel: 1 g Fe^{3+} / L

Troebel water ca. 200 NTU

Helder water ca. 2 NTU

Materialen:

Glaswerk: bekeerglazen, reageerbuizen, maatcilinders.

Roerder en roervlooiën.

Injectiespuitjes van 1 mL | Finnpijet.

Warm water en ijs.

Thermometer.

Cuvet voor meten van troebeling van het water.

Stopwatch

Centraal meetstation:

Troebelingmeter aangesloten op CoachLab II op de computer.

De volgende activiteiten staan in het teken van voorbereiding, uitvoering en verwerken van de meetgegevens van het experimenteel onderzoek.

Activiteit 10: Experimenteel onderzoek naar de invloed van procesvariabelen

Voer de experimenten uit volgens het voorschrift. Noteer de resultaten op de volgende wijze:

Onderzochte procesvariabele: <NAAM>
 Constant gehouden procesvariabelen: <NAAM + WAARDEN>
 Eventuele opmerkingen over de uitvoering: <OPMERKINGEN>
 Overzicht meetresultaten in tabelvorm: <TABEL MET MEETRESULTATEN>
 Conclusies <CONCLUSIES>
 (o.a. gemeten invloed t.o.v. verwachte invloed)

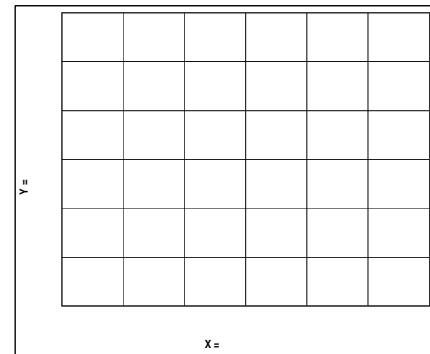
Hebben de procesvariabelen *dosis vlokmiddel* en *begintroebeling* inderdaad de verwachte invloed op de eindtroebeling? Heeft de *temperatuur* een (significante) invloed? Om deze vragen te beantwoorden moeten we onze meetresultaten analyseren m.b.v. statistiek. Statistiek houdt zich bezig met het ordenen, analyseren en extrapoleren van meetresultaten. Een (grote) verzameling meetresultaten wordt ingedikt tot enkele overzichtelijke kengetallen, op basis waarvan men

uitspraken doet over de mate van samenhang tussen variabelen. Tabellen en grafieken worden gebruikt om de gegevens weer te geven.

In activiteit 11 presenteren we onze meetgegevens in spreidingsdiagrammen.

Activiteit 11: Meetresultaten in beeld

- Lees bron 7 en ga na op welk meetniveau de verschillende variabelen zijn gemeten.
- Plaats de meetresultaten in een spreidingsdiagram. In bron 8 zie je daar een voorbeeld van.
- Maak voor iedere procesvariabele een aparte spreidingsdiagram.
- Plaats de gemeten eindtroebeling op de y-as (afhankelijke variabele), en de procesvariabele op de x-as (onafhankelijke variabele). Bedenk zelf een passende schaalverdeling voor de assen.



Bij experimenten worden meetfouten gemaakt. Bij een goed uitgevoerd experiment schommelen de meetgegevens rond een gemiddelde. Het is echter ook mogelijk dat er 'uitschieters' in de meetresultaten voorkomen. Deze uitschieters vallen geheel uit een waargenomen tendens. In activiteit 12 controleren we onze meetgegevens op de aanwezigheid van uitschieters.

Activiteit 12: Controle op uitschieters in de meetresultaten

In bron 7 is sprake van uitschieters. Ga op basis van de spreidingsdiagrammen na of er in je eigen meetresultaten vreemde uitschieters voorkomen. Probeer, voor zover mogelijk, een oorzaak voor de uitschieters te achterhalen. Als je zeker weet dat er sprake is van een uitschieter, verwijder die dan uit de meetresultaten en spreidingsdiagrammen.

In de volgende activiteit noteren we de uitvoeringscondities van de experimenten en meetresultaten in onze factsheet. Tevens breiden we onze begrippenlijst uit.

Activiteit 13: Aanvullen factsheet en begrippenlijst

Breid je factsheet uit. Vul ook de begrippenlijst aan met nieuwe begrippen met betrekking tot de grafische verwerking van meetgegevens.

Hoofdstuk 6. Wiskundig model

Op basis van de spreidingsdiagrammen kun je een conclusie trekken over de mogelijke samenhang tussen de eindtroebeling en de onderzochte procesvariabelen *dosis vlokmiddel* en *begintroebeling*. Tevens gaan we na of de temperatuur een significante invloed heeft.

Activiteit 14: Correlatie tussen procesvariabelen en eindtroebeling

Bestudeer bron 9 en, als je moeite hebt met het somteken, ook bron 6.

- Bestudeer de puntenwolken voor elke procesvariabele. In hoeverre is er sprake van een samenhang met de eindtroebeling?
- Maak een tabel zoals onderstaand met een overzicht van je conclusies. Maak bij de berekening van de correlatiecoëfficiënten zo nodig gebruik van bronnen 16 (Excel), 17 (TI84) en 18 (Casio9860).

Procesvariabele	Samenhang met eindtroebeling		
	negatieve correlatie	geen	positieve correlatie
1. dosis Fe^{3+}			
2. begintroebeling			
3. temperatuur			

Procesvariabelen die geen samenhang vertonen, laten we verder buiten beschouwing. Voor procesvariabelen *dosis vlokmiddel* en *begintroebeling* zijn we uitgegaan van een bepaald type verband (zie activiteit 8). De vraag is nu of dit ook uit de meetresultaten blijkt, en zo ja, welke formule hoort bij de 'best passende' lijn die door de puntenwolk gaat. Het bepalen van een formule bij een lijn en het beoordelen van de 'passendheid' daarvan wordt regressie genoemd. In dit geval spreken we van een enkelvoudige regressie, omdat we te maken hebben met één onafhankelijke variabele.

Er zijn verschillende manieren waarop een enkelvoudige regressie uitgevoerd kan worden. Volg de aanwijzingen van de docent. Let op: bewaar alle puntenwolken en tabellen met meetgegevens goed! Die zijn later weer nodig voor het maken van de factsheet vlokbehandeling. In activiteit 15 voeren we een enkelvoudige regressie uit.

Activiteit 15: Enkelvoudige regressie

- Bestudeer bronnen 10 en 11 en, in het geval je nog meer inzicht in machtsregressie wilt hebben, bron 12.

Volg onderstaande procedure voor procesvariabelen *dosis vlokmiddel* en *begintroebeling*.

- Bepaal de modellen bij regressie van eindtroebeling op de procesvariabelen *dosis vlokmiddel* en *begintroebeling* uitgaande van de meetresultaten. Gebruik zo nodig de technische ondersteuning voor het gebruik van ICT in bronnen 16-18.
- Analyseer de resultaten. Betrek de waarde van R^2 in je motivatie. Noteer de resulterende formule.
- Noteer het geldigheidsbereik van elk regressiemodel.
- Zet je resultaten in een tabel zoals onderstaand.

Procesvariabele	Regressiemodellen	
	Lineair Formule (R^2)	Macht Formule (R^2)
1. dosis Fe^{3+}		
2. begintroebeling		

De enkelvoudige regressiemodellen beschrijven de invloed van slechts één procesvariabele op de eindtroebeling en laat de invloed van andere procesvariabelen buiten beschouwing. In ons geval zijn er echter meerdere procesvariabelen die tegelijk een invloed uitoefenen. We moeten dus één wiskundige formule ontwikkelen die de invloed van alle procesvariabelen op de eindtroebeling beschrijft. Deze aanpak wordt meervoudige regressie genoemd. Voorwaarde hiervoor is allereerst dat het om dezelfde afhankelijke variabele gaat, in ons geval de eindtroebeling.

We gaan twee typen meervoudige regressiemodellen fitten, namelijk lineair en macht. Een meervoudig lineair regressiemodel is een voorbeeld van een additief model. Een additief model is geschikt indien er tussen de onafhankelijke variabelen onderling geen interactie bestaat. Dus, toegepast op onze situatie, dat de *dosis vlokmiddel*, *begintroebeling* (en mogelijk de *temperatuur*) elkaar niet beïnvloeden. Een meervoudig machtsregressiemodel is een voorbeeld van een multiplicatief model. Een multiplicatief model is geschikt indien er wel interactie bestaat tussen de onafhankelijke variabelen. In het geval van vlokbehandeling valt interactie tussen de *dosis vlokmiddel* en *begintroebeling* op voorhand niet geheel uit te sluiten. Door toevoeging van het vlokmiddel FeCl_3 treedt er een pH verandering op. Dit beïnvloedt het coagulatie mechanisme (zie activiteit 7). Het is de vraag of deze interactie verwaarloosbaar klein is of niet.

In de volgende activiteit voeren we een meervoudige regressie uit op de meetresultaten en bepalen we de passendheid van resp. een additief lineair model en een multiplicatief machtsmodel.

Activiteit 16: Meervoudige regressie

- a Bestudeer bron 14.
 - b Fit twee typen meervoudige regressiemodellen (lineair model en machtsmodel) op de meetresultaten en bereken de waarden van de coëfficiënten van het meervoudige regressiemodel m.b.v. de regressieprocedures.
 - c Denk na over het geldigheidsbereik en rapporteer de 'fit' door de waarde van R^2 te berekenen. Vergelijk de waarden van R^2 van de meervoudige regressiemodellen onderling en met die van de enkelvoudige regressiemodellen. Formuleer je conclusies.
-

In activiteit 17 breiden we onze factsheet verder uit.

Activiteit 17: Aanvullen factsheet en begrippenlijst

Breid je factsheet uit met de resultaten van de correlatie en regressie. Vul ook de begrippenlijst aan met nieuwe begrippen uit de statistiek met betrekking tot de correlatie- en regressierekening.

Hoofdstuk 7. Evaluatie, reflectie en aanbevelingen

In activiteit 16 hebben we een meervoudig regressiemodel ontwikkeld die het verband beschrijft tussen de eindtroebeling en procesvariabelen. Wat kunnen we nu met dit model? In de volgende activiteit passen we het door ons ontwikkelde model toe in een (denkbeeldige) bedrijfssituatie.

Activiteit 18: Toepassing in bedrijfssituatie

Bij een pompstation wordt water uit het Amsterdam-Rijn kanaal ingenomen om te worden bewerkt tot drinkwater. Het water wordt eerst in spaarbekkens opgeslagen en ondergaat vervolgens een vlokbehandeling. Het pompstation vraagt aan ons een advies te geven over de dosering van het vlokmiddel. Het water dat binnenkomt, heeft de volgende karakteristieken:

Begintroebeling: 45 NTU

Temperatuur: 11 °C

a Bereken met behulp van het door ons ontwikkelde model de minimaal benodigde dosis vlokmiddel (Fe^{3+} in g/L) om water te produceren dat aan de norm voor eindtroebeling voldoet (= 4 NTU).

b Denk na over de voorspellende waarde van je berekening.

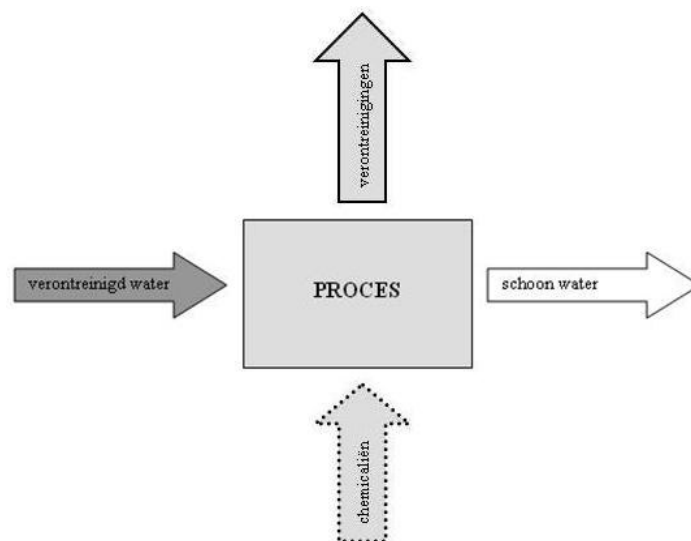
Twee belangrijk aspecten van zuivering door vlokbehandeling zijn de kosten en de milieueffecten.

c Bereken, op basis van de uitkomst van vraag a, de kosten van vlokbehandeling op jaarbasis. Ga uit van een kostprijs van vlokmiddel FeCl_3 van € 38,00 per kg en een inname van 5 miljoen liter water per jaar.

d Welke andere kostenposten zijn er nog naast de kosten van de chemicaliën?

e Reflecteer op het nut van (computer gestuurde) dosering van vlokmiddel d.m.v. een onderliggend rekenmodel vanuit oogpunt van milieuproblematiek en productiekosten.

In de voorgaande activiteiten hebben we de verwijdering van troebeling door vlokbehandeling onderzocht. In activiteit 2 hebben we gezien dat er bij meerdere zuiveringsstappen normoverschrijdingen hebben plaatsgevonden. In alle gevallen is er sprake van een input-output vraagstuk zoals weergegeven in onderstaande figuur 7-1.



Figuur 7-1: Schematische weergave van zuiveringsstap met stofstromen.

Onze aanpak kan wellicht ook worden toegepast bij procesmodellering van andere zuiveringsstappen. In activiteit 19 kijken we terug op het ontwikkelde regressiemodel en onze aanpak.

Activiteit 19: Evaluatie en reflectie

We hebben een black-box modelleeraanpak gevolgd, zoals op hoofdlijnen beschreven in Bron 5.

- a Noem een aantal voor- en nadelen van deze aanpak?
- b Welke aannames hebben we in het begin gemaakt? Noem ook eventuele zaken die we verwaarloosd hebben. Geef een kritische beschouwing over het (de eventuele) effect(en) hiervan.
- c In activiteit 5 heb je een stappenplan opgesteld voor onze opdracht procesmodellering Vlokbehandeling. Benoem en reflecteer op de belangrijkste stappen in je aanpak. Stel een *algemene* modelleerprocedure op voor aanpak van input-output vraagstukken.

Evaluatie van het regressiemodel:

- d Is het door ons ontwikkelde model 'goed genoeg'? Geef duidelijk aan wat 'goed' is aan het model en wat 'niet goed' is en/of 'verbeterd' moet worden. Motiveer jullie keuzes en beschrijf de kracht en de beperkingen van jullie meervoudig regressiemodel.
 - e Is er reden voor een vervolgonderzoek? Zo ja, hoe zou jij dat vervolgonderzoek inrichten? Op welke manier zou jij te werk gaan?
-

Hoofdstuk 8. Afronding

Onze bevindingen moeten worden gerapporteerd in de vorm van een factsheet vlokbehandeling. De factsheet geeft een overzicht van de uitgevoerde werkzaamheden, de belangrijkste resultaten en eindigt met een evaluatie en reflectie. In fragment 5 staat de structuur van de factsheet weergegeven. Per onderdeel is aangegeven in welke activiteiten daaraan gewerkt is.

Fragment 5: Opzet voor factsheet

<i>Procesmodellering Vlokbehandeling</i> <i>Factsheet vlokbehandeling – troebeling</i>	
Onderzoekers:	Datum oplevering:
<i>Inleiding & doel:</i> [Aan gewerkt in activiteit 1 t/m 4]	
<i>Werking van vlokbehandeling</i> [Aan gewerkt in activiteit 6]	
<i>Procesvariabelen</i> [Aan gewerkt in activiteit 7 en 8]	
<i>Experimenteel onderzoek</i> [Aan gewerkt in activiteit 10]	
<i>Meetresultaten</i> [Aan gewerkt in activiteit 11 en 12]	
<i>Wiskundig model</i> [Aan gewerkt in activiteit 14 t/m 16]	
<i>Evaluatie</i> [Aan gewerkt in activiteit 18]	
<i>Reflectie en aanbevelingen</i> [Aan gewerkt in activiteit 5 en 19]	
<i>Literatuur</i>	
<i>Begrippenlijst</i> [Aan gewerkt in activiteit 9, 13 en 17]	

Activiteit 20: Factsheet vlokbehandeling

Breid de factsheet *procesmodellering vlokbehandeling* uit en maak deze definitief. De factsheet dient een beknopt maar volledig overzicht te geven van de uitgevoerde werkzaamheden en resultaten. Gebruik eventueel de factsheet *procesmodellering actieve koolfiltratie* (Bron 2) in het bronnenboek als voorbeeld.

