

Computerondersteund modelleren
scheikunde

Waskracht!

2^e editie



Universiteit Utrecht
Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen
Ontwikkelgroep Dynamisch Modelleren

Voorwoord

Dit lesmateriaal is een onderdeel van het onderwijsproject *Computerondersteund modelleren*. Dit project bestaat uit vier modules. De eerste drie modules zijn voor achtereenvolgens de vakken natuurkunde, scheikunde en biologie. In die drie modules leer je hoe je *modellen van dynamische verschijnselen* kunt maken met behulp van het programma Powersim. Dynamische verschijnselen zijn verschijnselen waarbij verschillende grootheden, die elkaar beïnvloeden, in de loop van de tijd veranderen. Na afronding van de eerste drie modules kun je modellen van dynamische verschijnselen ontwerpen, bouwen en testen. Deze vaardigheid gebruik je in de vierde en laatste vakoverstijgende module om beter te begrijpen hoe het *Systeem Aarde* werkt. Met systeem aarde bedoelen we alle verschijnselen en processen die samen ertoe leiden dat er op aarde een leefbaar klimaat ontstaat.

Bij het lesmateriaal hoort de *Basishandleiding Powersim*. De handleiding geeft een overzicht van de basishandelingen voor het bouwen en doorrekenen van een Powersimmodel.

De Ontwikkelgroep Dynamisch Modelleren bestaat uit:

Rob Burer
Kees Hooyman
Koos Kortland
John Meyer
Ad Mooldijk
Gjalt Prins
Elwin Savelsbergh
Marijke Thijssen
Joop van Well
René Westra
Robert Wielinga

De homepage van de ontwikkelgroep: <http://www.cdbeta.uu.nl/model>

Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen
Universiteit Utrecht
Postbus 80.000
3508 TA Utrecht

Computerondersteund modelleren, Scheikunde: Waskracht!, 2^e editie
Gjalt Prins, Elwin Savelsbergh en de Ontwikkelgroep Dynamisch Modelleren

© 2002 Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Utrecht

Deze publicatie mag in ongewijzigde vorm worden verveelvoudigd en verspreid ten behoeve van niet commercieel gebruik in het onderwijs, mits met vermelding van deze bepaling en van het bovenstaande copyright. Voor alle andere vormen van vermenigvuldiging of openbaarmaking is schriftelijke toestemming van de Universiteit Utrecht vereist.

Powersim en *Powersim Constructor* zijn geregistreerde handelsmerken van Powersim. Constructor Lite versie 2.51 mag kosteloos verspreid worden t.b.v. niet-commercieel schoolgebruik. Powersim levert echter geen technische ondersteuning bij deze versie van de software.

Dit onderwijsmateriaal kwam tot stand met financiële ondersteuning van het Ministerie van OC&W.

Inhoud

Inleiding	1
Wassen van textiel.....	2
Ontwerpen van een wasprogramma	4
Een eenvoudig model van een wasprogramma.....	5
Wassen: een korte analyse.....	11
Een beter model van een wasprogramma.....	14
Wateroplosbaar vuil	14
Modelleren van vuilverwijdering.....	16
Vetvlekken	17
Eiwitvlekken	19
Modellen koppelen.....	22
Wat er nog meer een rol speelt bij wassen.....	26
Extra opdrachten	27
Enzymen beter bekeken	27
Hard water.....	28
Opwarmen van het water	28
Bijlage A: Gegevens over Wassen	29
Bijlage B: Snelheid van vuilverwijderingsprocessen.....	30
Bijlage C: Wasexperimenten met wateroplosbaar vuil.....	32
Bijlage D: Wasexperimenten met vetvlekken.....	33
Bijlage E: Wasexperimenten met eiwitvlekken.....	34

Inleiding

Deze tweede module – voor het vak *scheikunde* – gaat over wassen van textiel. Wassen is een ingewikkeld proces waarbij allerlei invloeden van belang zijn: de beweging door de wasmachine, temperatuur van het water, samenstelling van het wasmiddel, hoeveelheid en soort vuil. Vuil verwijderen kost tijd en het ene soort vuil is sneller te verwijderen dan het andere. Gunstige omstandigheden voor verwijderen van het ene soort vuil kunnen ongunstig zijn voor de andere. Bij het ontwerpen van een nieuw – verbeterd – wasprogramma moet met al deze factoren tegelijkertijd rekening gehouden worden. Een (computer)model is dan eigenlijk een onmisbaar instrument om diverse situaties snel door te rekenen.

In deze lessenserie ga je met hulp van een computermodel een *wasprogramma* ontwerpen. Je moet daarvoor wel eerst eerst een bruikbaar model maken.

Wassen van textiel



Figuur 1 – Wassen in een wastobbe met Sunlight zeep ca. 50 jaar geleden.

Uit onderzoek is gebleken dat in een gemiddeld Nederlands gezin per week vier tot vijf textielwassen worden uitgevoerd; anders gezegd, ongeveer anderhalve was per persoon per week. Vooral ook door het gemak van een wasmachine. In 1998 bedroeg het aantal wasmachines in Nederland meer dan 6 miljoen, dat wil zeggen dat 92% van de Nederlandse huishoudens over een wasmachine beschikte. En dan te bedenken dat het nog maar goed vijftig jaar geleden is dat er elke maandag ‘op de hand’ werd gewassen, gewoon in een tobbe met Sunlight zeep.

Die tijd is voorbij, want wassen is een stuk gemakkelijker geworden. Niet alleen door de moderne wasmachines, maar ook door ontwikkelingen in de wasmiddelenindustrie. Het aantal wasbeurten per huishouden is de laatste tien jaar gestegen van 3,6 naar 4,4 wassen per week. Aangezien ook het aantal huishoudens en de samenstelling ervan is veranderd, kunnen we stellen dat het totaal aantal wassen in Nederland aanzienlijk is toegenomen. Daartegenover staat dat door verbeterde prestaties van zowel de textielwasmiddelen als de machines sinds 1970 het aantal wassen boven 70°C met meer dan 30% is afgenomen. Tegenwoordig wordt ongeveer 90% van de huishoudwassen uitgevoerd op temperaturen tussen 25°C en 70°C. Aangezien de meeste energie bij het wassen wordt gebruikt om het water op te warmen, resulteert de lagere wastemperatuur in een verlaging van het energiegebruik. Het aantal wassen waarbij een voorwas gebruikt werd, is in de afgelopen 20 jaar sterk verminderd zodat nu nog bij slechts 4% van de wassen een voorwas wordt uitgevoerd. Ook hierdoor daalt het energiegebruik. In vergelijking met tien jaar geleden besparen we zo’n 450 miljoen kilowatt elektriciteit per jaar. Dat is genoeg om een gemeente met 150.000 inwoners, bijvoorbeeld Apeldoorn, een jaar lang van elektriciteit te voorzien.

De textielwasmiddelen zijn tegenwoordig geconcentreerder: dat blijkt uit het gemiddelde aantal grammen wasmiddel dat nodig is per wasbeurt. Rond 1975 was dit nog 200 gram voor een hoofdwas. Nu is dit met meer dan de helft gedaald tot minder dan 100 gram per was. Dat is ook de reden dat het verbruik per inwoner na 1990 is gedaald, terwijl het aantal wassen per huishouden de laatste jaren gelijk blijft. We kunnen dus concluderen dat er de laatste decennia veel gebeurd is in wasmiddelenland.

Bron: folder *Wasmiddelen* van Lever Fabergé, 1999

In de afgelopen jaren zijn wasprogramma's en wasmiddelen sterk verbeterd. Fabrikanten zijn constant bezig om nieuwe, betere wasmachines en wasmiddelen te ontwikkelen.

- 1 Aan welke eisen voldoet een goed wasprogramma? Noteer de eisen vanuit onderstaande perspectieven.

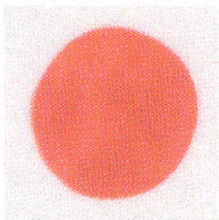
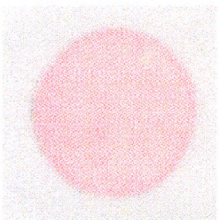

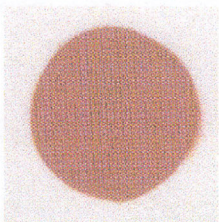
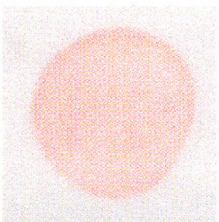

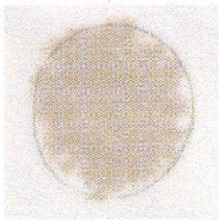
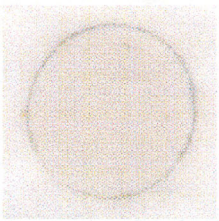
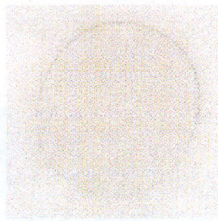
De consument

De overheid

- 2 Geef aan op welke wijze de fabrikanten proberen tegemoet te komen aan de eisen van de consumenten en de overheid.

Ontwerpen van een wasprogramma

Tijdens het ontwikkelen van een nieuw wasprogramma worden door de onderzoekers op researchafdelingen van wasfabrikanten speciale wasexperimenten uitgevoerd. Met deze experimenten bepaalt men per type vuil hoe goed een wasprogramma werkt. Bij deze experimenten worden proeflapjes textiel gebruikt. Deze proeflapjes worden voorzien van een bekende hoeveelheid van één soort vuil. Vervolgens worden de proeflapjes gewassen onder verschillende omstandigheden en wordt naderhand bepaald hoeveel vuil er nog over is. Talloze testen moeten er worden gedaan voordat men exact weet wat de optimale condities zijn voor verwijdering van die ene soort vuil. Vervolgens wordt deze procedure herhaald voor een ander soort vuil. Al deze experimenten zijn zeer tijdrovend. Bovendien: normaal vuil wasgoed bevat verschillende soorten vuil. Gunstige omstandigheden voor verwijdering van het ene soort vuil kunnen ongunstig blijken voor een ander soort vuil. Uiteindelijk moeten de resultaten van alle experimenten worden gecombineerd om iets te kunnen zeggen over het totale wasresultaat.

Wasduur	30 min.	60 min.	90 min.
Lippenstift			
Jam			
Motorolie			

Figuur 2 – Wasexperimenten met proeflapjes met bekende hoeveelheid vuil.

Het scheelt ontzettend veel tijd als in plaats van al die experimenten een model gebruikt kan worden die het wasresultaat onder verschillende omstandigheden direct doorrekenet. In de praktijk wordt dus steeds vaker gebruik gemaakt van (reken-)modellen bij de ontwikkeling van een nieuw wasprogramma. Er zijn situaties bekend dat een fabrikant gedwongen is in korte tijd een nieuw wasprogramma te ontwikkelen omdat bijv. de concurrent nieuwe wasprogramma's op de markt heeft gebracht die goed verkocht worden. In dat geval heeft de fabrikant niet voldoende tijd om een

nieuw wasprogramma uitgebreid te testen en moet gebruik worden gemaakt van een model bij de ontwikkeling van een nieuw wasprogramma.

Stel je voor: jij bent ontwikkelaar en krijgt de opdracht een nieuw wasprogramma ontwikkelen. Je hebt echter geen tijd voor uitgebreide wasexperimenten, alleen beschikking over de resultaten van een serie wasexperimenten. Met deze gegevens moet je het doen. Om deze opdracht uit te voeren ontwikkel je een model.

Een eenvoudig model van een wasprogramma

Hoe ziet een model van een wasprogramma eruit? In dit hoofdstuk laten we je zien op welke manier de resultaten van wasexperimenten met een proeflapje textiel met vuil door een model kunnen worden beschreven. We doen dat aan de hand van een vereenvoudigd model van een wasprogramma. Met dit vereenvoudigde model kun je al voorspellingen doen over het wasresultaat onder andere condities.

- 3 Een proeflapje textiel met 10 gram vuil wordt gewassen in een wasmachine. Hieronder zie je een afbeelding van een wasmachine. Geef in de tekening alle stromen aan die de wasmachine in- en uitgaan. Maak daarbij onderscheid tussen het begin van het wasproces, tijdens het wasproces en het eind van het wasproces. Gebruik pijlen om de richting van de stromen aan te geven.



- 4 Wat voor soorten vuil moet zo'n wasprogramma aankunnen? Geef meerdere voorbeelden.

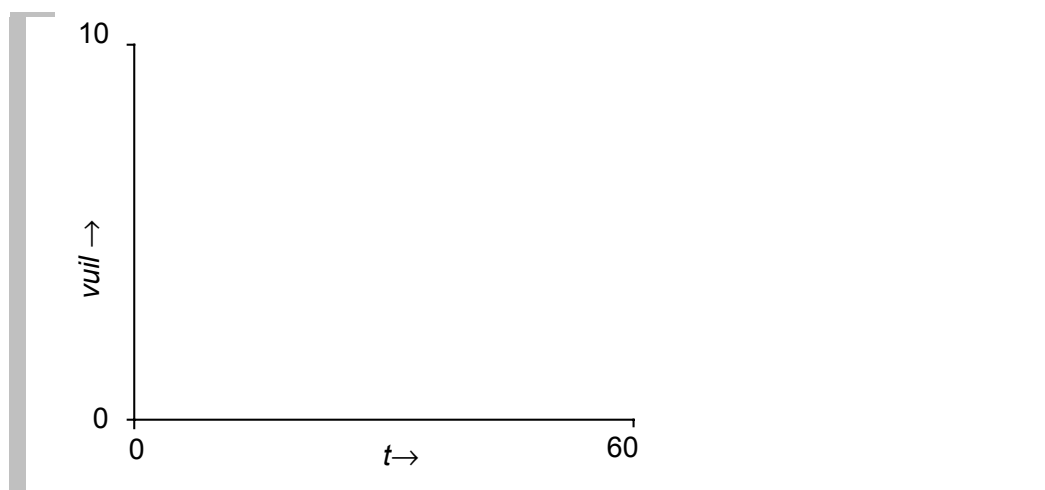
- 5 Het wasresultaat hangt mede af van de instellingen en het ontwerp van de wasmachine. Welke factoren spelen een rol? Beschrijf de rol van elke factor.

Om te bepalen hoe goed verschillende wasprogramma's werken, wordt een serie wasexperimenten met het proeflapje uitgevoerd. Het lapje wordt gewassen op verschillende temperaturen en elke 10 minuten wordt gemeten hoeveel vuil er nog aanwezig is op het lapje. In de onderstaande tabel zijn de resultaten van de experimenten weergegeven.

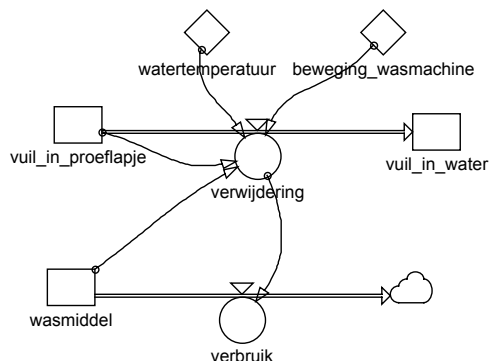
Overgebleven hoeveelheid vuil in proeflapje (gram)			
Wastijd (minuten)	30°C	60°C	90°C
0	10,0	10,0	10,0
10	4,5	2,25	1,25
20	2,5	1,25	0,75
30	2,0	0,9	0,5
40	1,5	0,75	0,25
50	1,25	0,5	0,20
60	1,0	0,3	0,15

Tabel 1 – Resultaten van een serie wasexperimenten met een proeflapje met 10 gram vuil.

- 6 Geef de resultaten van het experiment weer in de onderstaande grafiek. Op de y-as staat de hoeveelheid vuil. Op de x-as staat de tijd in minuten. Geef duidelijk aan bij welke temperatuur een grafiek hoort! Gebruik b.v. verschillende kleuren.



Het wassen van het proeflapje is hieronder in een Powersim-model weergegeven.



Figuur 3 – Een Powersim model van wassen van een proeflapje met vuil.

Het vuil in het proeflapje wordt verwijderd onder invloed van het toegevoegde wasmiddel. In het model in figuur 1 zijn drie voorraadgrootheden opgenomen: *vuil_in_proeflapje*, *wasmiddel* en *vuil_in_water*. Verder zijn er twee factoren opgenomen. De factor *beweging_wasmachine* geeft de invloed van de beweging door de wasmachine weer. De *watertemperatuur* tenslotte geeft aan bij welke temperatuur er gewassen wordt.

7 Het model uit figuur 1 staat op de diskette onder de naam *was1*¹. Stel de temperatuur in op 30°C en laat het model doorrekenen. Het model rekent standaard door tot $t = 100$. Het wasprogramma duurt in dit geval 100 minuten. Vergelijk het resultaat van het model met de resultaten van het wasexperiment (zie vraag 6). Komen de resultaten overeen?

8 Test het model ook bij de temperaturen 60°C en 90°C. Wat is nu je conclusie?

9 Hoe verwacht je dat de verwijdering van het vuil tegen de tijd zal verlopen als er gewassen wordt op 20°C? Schets het verloop in de grafiek bij vraag 6 en test vervolgens je voorspelling m.b.v. het model. Wat is je conclusie?

10 Stel de *beginhoeveelheid* vuil is 20 gram i.p.v. 10 gram. Verdere gegevens zijn allemaal hetzelfde. Hoe verwacht je dat het vuilverwijderingsproces zal verlopen in vergelijking met een beginhoeveelheid vuil van 10 gram. Geef voor onderstaande beweringen aan of deze juist of niet juist zijn. Motiveer steeds je antwoord.

¹ Alle genoemde modellen zijn ook beschikbaar op <http://www.cdbeta.uu.nl/model>.

Er wordt per tijdseenheid meer vuil verwijderd.....Juist/Onjuist

Op $t = 100$ blijft er evenveel vuil overJuist/Onjuist

Het duurt langer om hetzelfde resultaat te krijgenJuist/Onjuist

- 11** Controleer je voorspellingen uit vraag 10. Stel de beginhoeveelheid van *vuil* in *proeflapje* op 20 gram. Laat het model doorrekenen met de nieuwe waarde. Zijn je voorspelling in vraag 10 juist? Verklaar eventuele verschillen.

- 12** Stel dat je geen model had van het vuilverwijderingsproces. Op welke manier had je dan je voorspellingen uit vraag 10 moeten controleren? Motiveer je antwoord.

Je hebt nu een eenvoudig model bekeken van de verwijdering van vuil uit een proeflapje. Je hebt een indruk hoe een eenvoudig model van een wasprogramma eruit kan zien en je weet ongeveer welke *procescondities* een rol spelen bij wassen.

In dit geval vervangt het model experimenten. Het gebruik van een model i.p.v. was-experimenten heeft een aantal voordelen. Twee belangrijke voordelen zijn:

- Tijdwinst. Het model voorspelt direct het wasresultaat onder verschillende procescondities.
- Kostenbesparing. Er zijn (veel) minder wasexperimenten nodig, dus ook minder water, wasmiddel en energie.

Als je gebruik wilt maken van een model moet je wel zeker weten dat het model betrouwbaar is. Daarom is het belangrijk dat je eerst test of de uitkomsten van het model overeenkomen met de resultaten van meerdere wasexperimenten. Als dat het geval is, kun je het model gebruiken om het resultaat onder andere procescondities te voorspellen.

Omdat bij wassen meerdere soorten vuil verwijderd moeten worden, heb je een betrouwbaar model nodig van de verwijdering van al die soorten vuil. In het volgende hoofdstuk analyseer je het totale wasproces om te ontdekken welke soorten vuil er zijn en welke stoffen er in wasmiddelen zitten. Daarnaast ga je na welke andere factoren, naast de temperatuur van water, de tijd en beweging door de wasmachine, van invloed zijn op het wassen van textiel.



Figuur 4 – Verschillende soorten vuil.

Wassen: een korte analyse

Wassen doe je om vuil uit textiel te verwijderen. Textiel wordt vuil door gebruik. Zelfs textiel dat lang ongebruikt in de kast ligt, kan vuil worden door stof. Als iets gewassen wordt, dan betekent dat eigenlijk dat vuil en vlekken losgeweekt worden van het textiel en in het waswater achterblijven.

Er zijn grofweg vijf soorten vuil:

- Wateroplosbaar vuil
- Kleurstofhoudend vuil
- Eiwithoudend vuil
- Vetvlekken
- Wateronoplosbaar vuil dat bestaat uit kleine deeltjes

13 Geef van iedere soort vuil tenminste één voorbeeld. Geef bij ieder voorbeeld aan of deze vlek goed of slecht oplosbaar is in water.

Soort vuil	Voorbeeld	Oplosbaarheid in water (goed matig slecht)
Wateroplosbaar		
Vetvlekken		
Eiwithoudend		
Kleurstofhoudend		
Wateronoplosbaar vuil in de vorm van kleine deeltjes		

De meeste vlekken bestaan uit een combinatie van verschillende typen vuil. Neem bijvoorbeeld chocoladevlekken: die bestaan uit suiker, vet, cacao (kleurstof) en melk (eiwit).

Er is vuil dat slecht of zelfs helemaal niet oplost in water. Alleen water is dus niet voldoende. Er is wasmiddel nodig om moeilijk oplosbaar vuil te verwijderen. Een wasmiddel bestaat uit verschillende stoffen die elk specifiek één soort vuil verwijderen.

In de onderstaande tabel is de samenstelling van een wasmiddel gegeven:

Component	Massapercentage (%)
Zeep	30
Zeolieten.....	30
Bleekmiddelen.....	15
Enzymen	3
Witmakers	0.1 – 0.5
Rest (geurstoffen, weekmiddelen, wasverzachters, stabilisatoren, oplosmiddelen (water, alcoholen en glycolen))	rest

Tabel 2 – Samenstelling van een wasmiddel.

14 Geef van onderstaande componenten in wasmiddelen aan welk soort vuil ze verwijderen.

Zeep
Bleekmiddelen
Enzymen

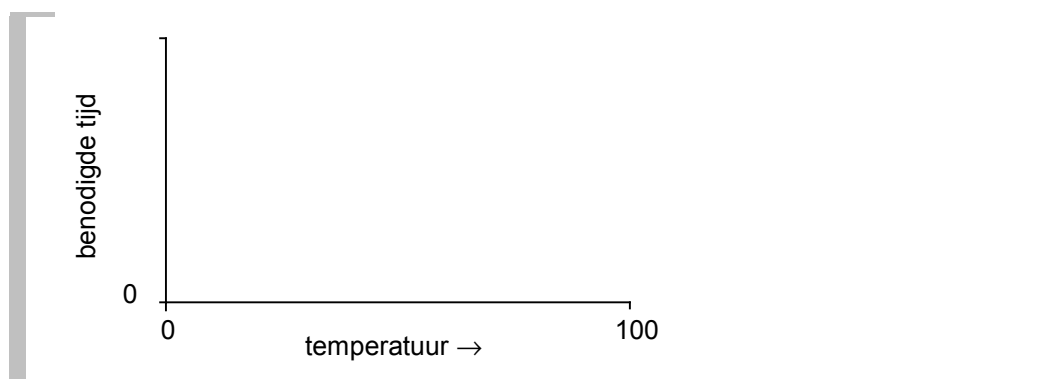
Door wasmiddel alleen wordt vuile was niet schoon. Er zijn ook andere procescondities van belang.

In koud water is het moeilijk de was schoon te krijgen, hoe goed het wasmiddel ook is. Het water moet warm zijn. In principe geldt: hoe vuiler de was, hoe heter het water.

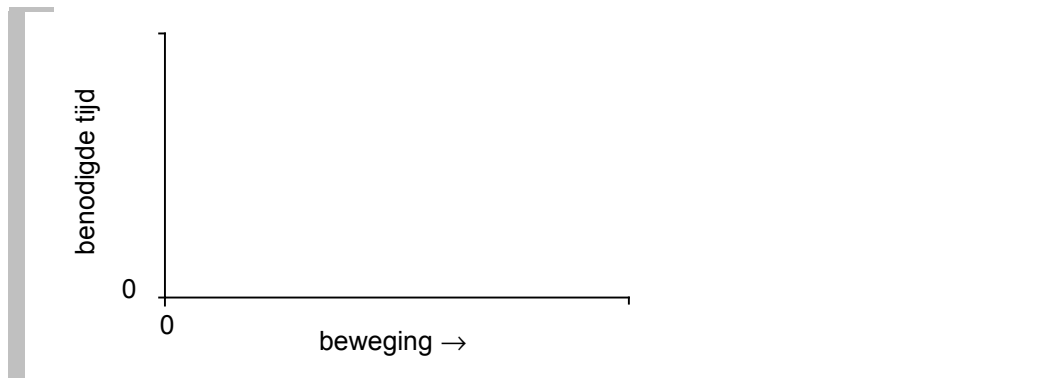
In stilstaand water beperkt de werking van een wasmiddel zich tot het losmaken en voorbehandelen van vuil en vlekken. Inweken is een goede voorbehandeling voor extra vuile was en moeilijke vlekken. Maar het vuil kan zonder beweging niet goed loskomen van het textiel. Ook het spoelen van de was moet bewegend gebeuren omdat er anders wasmiddelresten in het textiel blijven zitten.

De was zal een bepaalde tijd nodig hebben om schoon te worden. Het sop moet diep doordringen in de textielvezels, het vuil moet worden losgeweekt. Sterkere stoffen, zoals katoen en linnen, kunnen een langere wastijd verdragen dan fijnere stoffen. Moderne wasmachines hebben verschillende programma's voor de diverse textielsoorten.

15 Schets in de onderstaande grafiek de relatie tussen de temperatuur van het water en de benodigde tijd voor het wasprogramma.



- 16 Schets in de onderstaande grafiek de relatie tussen de beweging door de wasmachine en de benodigde tijd voor het wasprogramma.



- 17 Als gewassen wordt in heet water en met veel beweging wordt het vuil sneller verwijderd. Waarom is het toch niet verstandig altijd te wassen een hoge watertemperatuur en veel beweging?

[Empty box for answer]

Een goed wasresultaat wil zeggen dat alle soorten vuil grotendeels verwijderd worden.

- 18 Geef aan waarom voor het bereiken van een goed wasresultaat met alle tot nu toe genoemde factoren *tegelijkertijd* rekening moet worden gehouden. Motiveer je antwoord.

[Empty box for answer]

Wassen is dus veel ingewikkelder dan je op het eerste gezicht zou zeggen: verschillende soorten vuil, verschillende soorten textiel, verschillende componenten in het wasmiddel, de invloed van temperatuur, beweging en tijdsduur.

In de volgende hoofdstukken ga je de verwijdering van verschillende soorten vuil achtereenvolgens bestuderen en in model brengen. Uiteindelijk ga je de verschillende modellen van ieder soort vuil aan elkaar koppelen zodat er één groot model ontstaat met verschillende soorten vuil. Je hebt dan een totaalmodel van het wasproces. Met dat model kun je een goed wasprogramma ontwerpen.

Een beter model van een wasprogramma

Wateroplosbaar vuil

Allereerst ga je de meest makkelijk te verwijderen soort vuil *modelleren*: het wateroplosbare vuil.

19 Beschrijf door welk proces wateroplosbaar vuil wordt verwijderd.

De snelheid van de verwijdering van wateroplosbaar vuil wordt hoofdzakelijk bepaald door de volgende factoren:

- De temperatuur van het water
- De hoeveelheid wateroplosbaar vuil
- De hoeveelheid water
- Beweging door de wasmachine

20 Vul de volgende beweringen aan.

Bij een hogere temperatuur, verloopt de verwijdering van wateroplosbaar vuil _____.

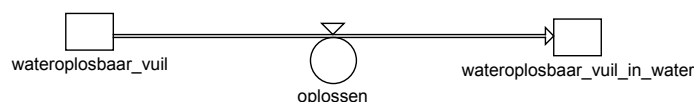
Als de beginhoeveelheid wateroplosbaar vuil groter is, wordt per tijdseenheid _____ wateroplosbaar vuil verwijderd.

Bij een grotere waterhoeveelheid verloopt de verwijdering van wateroplosbaar vuil _____.

Bij intensievere beweging door de wasmachine verloopt de verwijdering van wateroplosbaar vuil _____.

21 Waarom is wasmiddel niet van belang voor de snelheid?

22 Geef het oplossen van wateroplosbaar vuil in water schematisch weer. Laat zien welke factoren van invloed zijn.



23 Bouw je model-ontwerp na in Powersim.

Om het model te laten rekenen moeten er nog een aantal zaken worden toegevoegd:

1. De waarden van alle grootheden en variabelen;
2. De formules voor oplossen;
3. Een grafiek om het verloop van de hoeveelheid *wateroplosbaar_vuil* tegen de tijd te kunnen volgen;

In Bijlage A vind je allerlei gegevens over wassen. Proeflapje A is voorzien van een bekende hoeveelheid wateroplosbaar vuil. Gebruik deze hoeveelheid voor *wateroplosbaar_vuil*. Wat is de beginhoeveelheid *wateroplosbaar_vuil_in_water*?

De snelheid van een vuilverwijderingsproces kan worden beschreven door een algemene formule, die vervolgens aangepast moet worden aan de specifieke situatie. In Bijlage B wordt deze algemene formule beschreven. Bestudeer deze bijlage en leid hieruit af hoe de formule voor *oplossen* luidt.

24 De formule voor *oplossen* luidt:

Bouw het Powersim model af, vul waarden voor de variabelen en de formule voor *oplossen* in. Voeg een grafiek in.

Zoals je weet moeten de resultaten van het model overeenstemmen met de resultaten van eerdere wasexperimenten. In Bijlage C staan de resultaten van wasexperimenten bij twee temperaturen: 30°C en 60°C. Daarbij is 25 liter water gebruikt. De wasmachine heeft bij deze experimenten volgens een vast programma bewogen. Voor deze factor (*beweging_wasmachine*) bestaat geen algemeen aanvaarde eenheid. In het model los je dat proefondervindelijk op door verschillende waarden uit te proberen tot je een waarde vindt die klopt met de verwachte resultaten (zie ook Bijlage A).

25 Stel in je model de *waterhoeveelheid* en *watertemperatuur* in zoals in het eerste experiment. Bepaal een geschikte waarde voor de *beweging_wasmachine* door uitproberen. Test vervolgens of de gekozen waarde ook voor het tweede experiment een kloppend resultaat oplevert. Herhaal zonodig bovenstaande procedure totdat de resultaten van het model overeenkomen met die in Bijlage C.

De waarde van *beweging_wasmachine* is:

26 Bepaal nu met behulp van je model bij welke temperatuur, waterhoeveelheid en tijdsduur het wasresultaat voor wateroplosbaar vuil voldoende is. Noteer je conclusies door antwoord te geven op de onderstaande vragen.

Wat vind jij voldoende wasresultaat?

Om dit resultaat te bereiken kies ik de volgende procescondities:

Dit resultaat wordt bereikt na:min

Bij een watertemperatuur van: °C

En een waterhoeveelheid van:..... liter

Welke overwegingen hebben een rol gespeeld bij de keuze van de procescondities?

LET OP: geef je model een naam en bewaar het op een diskette. Je hebt dit model later weer nodig.

Modelleren van vuilverwijdering

In het vorige hoofdstuk heb je wateroplosbaar vuil gemodelleerd. Bij het modelleren van de andere soorten vuil is het handig dezelfde werkwijze te volgen.

27 Bij het modelleren van wateroplosbaar vuil heb je verschillende fasen doorlopen. Eerst heb je het proces geanalyseerd, vervolgens een model gebouwd en tenslotte getest. Kijk nog eens terug op de manier waarop je gewerkt hebt.

Welke informatie leverde de analyse op?

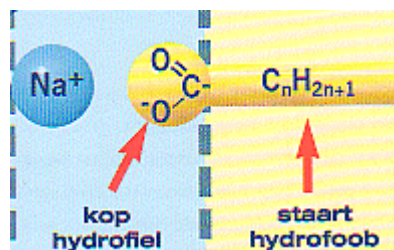
Welke stappen heb je vervolgens gezet om het model te bouwen?

Hoe heb je het model getest? Op welk moment besloot je dat je model goed werkte?

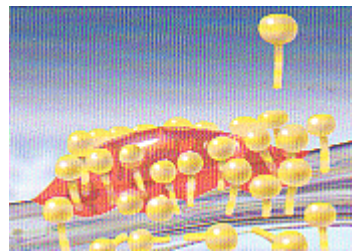
Tenslotte heb je het model gebruikt om de procescondities voor wateroplosbaar vuil te optimaliseren. Hoe heb je dat gedaan?

Vetvlekken

Zoals je wellicht verwacht zijn vetvlekken moeilijker te verwijderen dan wateroplosbare vlekken. Om vettig vuil te verwijderen bevatten wasmiddelen zeep. Zeep hecht zich aan het vet. Door mechanische (beweging) en thermische (temperatuur) invloeden laat het vet omringd door zeep vervolgens los van het textiel. Is het eenmaal los, dan wordt het vet door de zeepmoleculen in de waterfase gehouden en vervolgens afgevoerd met het spoelwater.



Figuur 5a – De opbouw van een zeepmolecuul

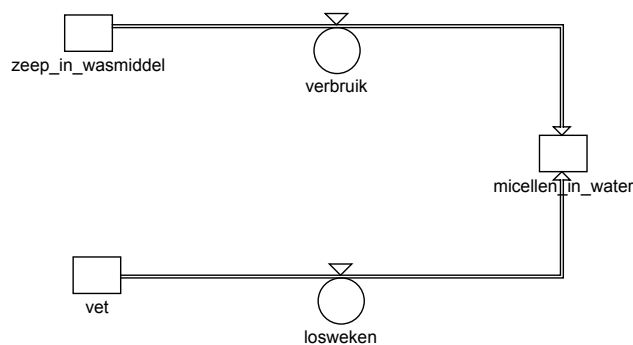


Figuur 5b – Zeep in actie

- 28 Vetvlekken worden door zeep verwijderd uit de kleding en komen als *micellen* in de waterfase. Een micel kun je je voorstellen als een bolletje met in het centrum een aantal vetmoleculen omringd door zeepmoleculen. Een zeepmolecuul bestaat uit een lange apolaire staart en een kleine polaire kop. Teken de structuur van een *micel* in water. Laat duidelijk zien waar de vetmoleculen, zeepmoleculen en watermoleculen zich bevinden. Zie voor meer informatie over zeepwerking je scheikunde boek, bijv. CHEMIE 1 dl. 1, hoofdstuk 6.6 *Zeep, waswerking*.

29 Welke procescondities hebben volgens jou invloed op de verwijderingssnelheid van vetvlekken?

Bouw een model in Powersim van het verwijderen van vet. Vet en zeep vormen samen micellen. Dit kun je als volgt weergeven in het Powersimmodel:



Figuur 6 – De vorming van micellen in Powersim model.

De zeepwerking vindt plaats in water. Het vetverwijderingsproces (*losweken*) wordt beïnvloed door de *concentratie* zeep in water (gram/liter).

30 Geef de formule voor het berekenen van de concentratie zeep in water.

Voeg de variable *zeepconcentratie* in je model in. De snelheid van het vetverwijderingsproces kan worden beschreven door de algemene formule, met een paar aanpassingen aan de specifieke situatie (zie Bijlage B).

31 De formule voor *losweken* luidt:

Vul in je Powersimmodel de waarden voor de constanten en de formule voor *losweken* in. Net als in het vorige deelmodel gebruik je de gegevens uit bijlage A, alleen nu proeflapje B.

De laatste formule die moet worden ingevuld is *verbruik*. Zeepverbruik is gekoppeld aan *losweken*, d.w.z. dat als *losweken* sneller verloopt, ook het *verbruik* sneller gaat en andersom. Bedenk een geschikte formule voor het zeepverbruik. (Aanwijzing: bestudeer model *was1* (zie figuur 3).

32 De formule voor *verbruik* luidt:

Je model is nu klaar om te rekenen. Test en controleer je model aan de hand van gegevens in Bijlage D.

33 Bepaal nu met behulp van je model bij welke temperatuur, waterhoeveelheid en tijdsduur het wasresultaat voor vetvlekken voldoende is. Noteer je conclusies door antwoord te geven op de onderstaande vragen

Wat vind jij voldoende wasresultaat?

Om dit resultaat te bereiken kies ik de volgende procescondities:

Dit resultaat wordt bereikt na:min

Bij een watertemperatuur van: °C

En een waterhoeveelheid van:..... liter

Welke overwegingen hebben een rol gespeeld bij de keuze van de procescondities?

LET OP: geef je model een naam en bewaar het op een diskette. Je hebt dit model later weer nodig.

Eiwitvlekken

Eiwitvlekken zijn lastig te verwijderen, terwijl ze veel voorkomen. Vlekken door bloed en transpiratievocht zijn voorbeelden van vuil waar eiwitten inzitten. Enzymen zijn ingewikkelde organische moleculen die in alle levende wezens aanwezig zijn en die kunnen worden gebruikt om eiwithoudende vlekken af te breken. In de folder van de wasmiddelfabrikant staat:

Om deze vlekken te verwijderen zijn enzymen in het wasmiddel nodig. Enzymen werden al voor de eerste wereldoorlog toegepast in wasmiddelen. Het is echter de vraag of deze enzymen een werkelijk nuttige bijdrage konden leveren aan het vuilverwijderingsproces. Sinds de jaren vijftig kwam de grote doorbraak. Men ontdekte een klasse enzymen die een veel hogere activiteit en stabiliteit bezaten dan de eerste toegepaste enzymen. Dit enorme succes leidde ertoe dat thans in meer dan 90% van de wasmiddelen enzymen worden verwerkt.

De eigenschappen waaraan een enzym moet voldoen om geschikt te zijn voor verwerking in wasmiddelen volgen uit de condities waaronder het enzym zijn werk moet doen, namelijk in het sop, in aanwezigheid van diverse wasmiddelcomponenten, bij pH tussen 7 en 11 en over een breed temperatuurgebied. Enzymen zijn vooral bedoeld om zgn. eiwitvlekken te verwijderen, zoals transpiratie, bloed en sommige voedselvlekken. Enzymen zelf zijn complexe eiwitmoleculen. Enzymen voor wasmiddelen worden op een economisch aantrekkelijke manier verkregen door bacteriën of andere micro-organismen te kweken die deze enzymen kunnen produceren. Veel enzymen werken heel specifiek. Alleen door onderzoek in laboratoria kan aangetoond worden welk micro-organisme het meest effectief een enzym met de gewenste eigenschappen produceert.

Bron: folder *Wasmiddelen* van Lever Fabergé, 1999

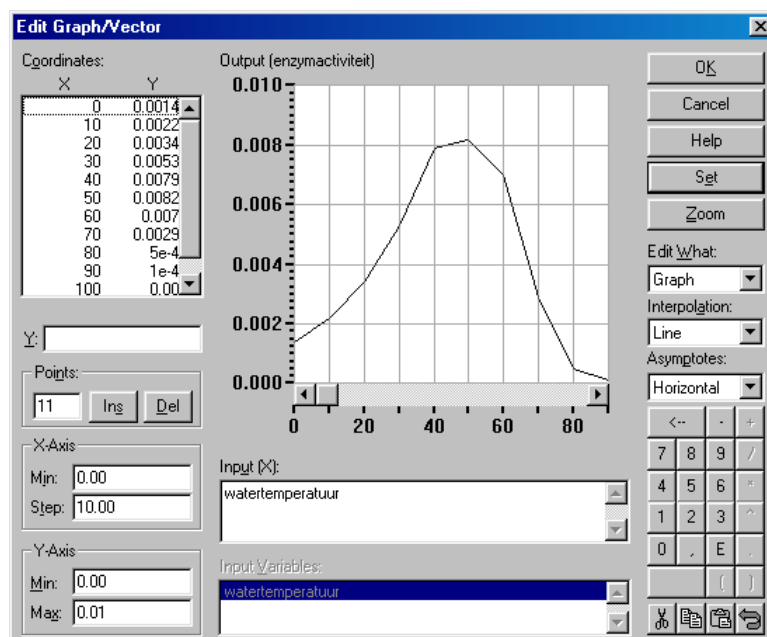


Figuur 7 – Enzymen in actie volgens de folder van de fabrikant: in enkele stappen wordt het vuil afgebroken

Enzymen zijn biologische katalysatoren. Een katalysator is een stof die wordt toegevoegd om een reactie te versnellen en daarbij zelf niet wordt verbruikt. Een bekend voorbeeld is de katalysator in de uitlaat van auto. Deze katalysator versnelt o.a. het omzetten van NO_x in N_2 en O_2 . De actieve component in een autokatalysator is platina.

- 34** Geef twee verschillen tussen biokatalysatoren zoals enzymen en anorganische katalysatoren, zoals het platina in de autokatalysator. Zie voor meer informatie over katalysatoren je scheikundeboek, bijv. CHEMIE 1 dl 1, hoofdstuk 8.2 *Kwalitatieve proeven over reactiesnelheid.*

De enzymactiviteit is afhankelijk van de temperatuur en kent een top tussen 30°C en 60°C. In de onderstaande grafiek is de enzymactiviteit weergegeven als functie van de temperatuur.



Figuur 8 – Temperatuursafhankelijke enzymactiviteit.

De temperatuurafhankelijkheid van de activiteit van enzymen kan in Powersim worden beschreven m.b.v. de functie GRAPH. Zie de handleiding voor achtergrondinformatie.



Figuur 9 – Temperatuursafhankelijke enzymactiviteit in Powersim.

35 Welke procescondities hebben volgens jou invloed op de snelheid van verwijderen van eiwitvlekken?

Bouw een model in Powersim van het *afbreken* van eiwithoudend vuil door enzymen waarin je alle relevante factoren opneemt (denk ook aan de enzymconcentratie).

De snelheid van de eiwitafbraak kan worden beschreven met de algemene formule uit Bijlage B. Vervang de snelheidsconstante door de temperatuursafhankelijke enzymactiviteit uit figuur 8.

36 De formule voor *afbreken* luidt:

37 Gebruik voor het invullen van de waarden in je model proeflapje C uit Bijlage A. Test en controleer je model aan de hand van gegevens in Bijlage E: resultaten van wasexperimenten bij 30°C, 60°C en 90°C.

38 Bepaal nu met behulp van je model bij welke temperatuur en waterhoeveelheid het wasresultaat voor eiwit voldoende is. Noteer je conclusies door antwoord te geven op de onderstaande vragen.

Wat vind jij voldoende wasresultaat?

Om dit resultaat te bereiken kies ik de volgende procescondities:

Dit resultaat wordt bereikt na:min

Bij een watertemperatuur van: °C

En een waterhoeveelheid van:..... liter

Welke overwegingen hebben een rol gespeeld bij de keuze van de procescondities?

LET OP: geef je model een naam en bewaar het op een diskette. Je hebt dit model later weer nodig.

Modellen koppelen

Je hebt nu drie modellen: de wateroplosbare vlekken, de vetvlekken en de eiwitvlekken. Je hebt de drie modellen gebouwd, getest aan de hand van resultaten van wasexperimenten en vervolgens bepaald onder welke condities het wasresultaat voor elk van de drie vlekken voldoende is. Normaal vuil wasgoed bevat een combinatie van deze drie categorieën vlekken. Uiteindelijk moet je dus een wasprogramma ontwikkelen dat voldoende resultaten geeft voor al die vlekken tegelijkertijd. Door de drie modellen te koppelen kun je een volledig wasprogramma ontwikkelen.

39 De drie processen vinden tegelijkertijd plaats in dezelfde wasmachine. Ga na welke procescondities in de drie modellen hetzelfde zullen zijn.

40 Open je Powersim modellen van de wateroplosbare vlekken, vetvlekken en eiwitvlekken in drie aparte vensters. Selecteer het model van wateroplosbaar vuil en kopieer deze vervolgens naar een nieuw venster. Kopieer achtereenvolgens ook het model met de vetvlekken en eiwitvlekken naar dit venster. Koppel vervolgens de drie modellen aan elkaar tot één groot model met wateroplosbaar vuil, vetvlekken en eiwitvlekken.

Nu kun je beginnen met het ontwikkelen van een wasprogramma. Daarbij spelen allerlei overwegingen een rol.

41 Wat zijn de voordelen van:

wassen op een lage temperatuur/hoge temperatuur?

wassen met weinig water/veel water?

een korte wastijd/lange wastijd?

veel beweging/weinig beweging?

Je kunt dus vele verschillende factoren variëren. Dit vraagt een planmatige aanpak. Dat wil zeggen dat je de meeste factoren constant houdt terwijl je van één factor een serie waarden uitprobeert. Maak voor je tests gebruik van proeflapje D (Bijlage A). Gebruik verder hetzelfde wasmiddel als in de eerdere modellen (dwz. 30 gram zeep en 3 gram enzym). Omdat we de slijtage van kleding door de beweging van de wasmachine moeilijk kunnen inschatten, onderzoek je deze factor niet verder. Neem voor deze factor het gemiddelde van de waarden die je eerder hebt bepaald.

42 Welke procescondities ga je achtereenvolgens variëren, tussen welke waarden en hoeveel tussenwaarden kies je? Geef ook aan welke factoren je eventueel constant houdt.

43 Bepaal m.b.v. je model de optimale procescondities.

	Water-hoeveelheid (liter)	Temperatuur (°C)	Wasduur (minuten)	Residu water-oplosbaar vuil (gram)	Residu vet (gram)	Residu eiwit (gram)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Conclusie:

LET OP: geef je model een naam en bewaar het op een diskette. Je hebt dit model later weer nodig.

- 44** Vergelijk je resultaten bij vraag 43 met die van je medeleerlingen. Komen deze overeen? Zo niet, probeer te achterhalen waar de verschillen zitten.

- 45** Kijk nog eens naar de resultaten het laatst gebouwde model.

- a** Vind je de uitkomsten van je model voldoende betrouwbaar?

- b** Over welke onderdelen van het wasproces moet je eventueel nog meer weten om een beter model te maken?

- c** Waarschijnlijk zal een wasmachinefabrikant het door jouw ontworpen wasprogramma niet voldoende vertrouwen om gelijk een wasmachine op de markt brengen met dit programma. Hoe zou je de fabrikant kunnen overtuigen?

Wat er nog meer een rol speelt bij wassen

Je hebt een groot gedeelte van het wasproces in model gebracht. Er zijn echter een aantal categorieën vlekken die je (nog) niet in model hebt gebracht: wateronoplosbaar vuil in kleine deeltjes (b.v. stof en zand) en kleurstofhoudend vuil. Tevens zitten er in wasmiddelen nog een aantal stoffen waar we hier verder niet op in zijn gegaan. Om je een idee te geven wat dat voor stoffen zijn en hoe deze werken volgt hieronder een korte beschrijving.

Waterontharders

De kalk in het leidingwater gaat de werking van wasmiddelen tegen. In de extra opdracht *hard water* kun je de invloed van kalk op het wasresultaat onderzoeken. Wasmiddelen bevatten waterontharders die afrekenen met kalk. Die waterontharders waren vroeger voornamelijk fosfaten, maar die zijn zeer belastend voor het milieu. Tegenwoordig gebruikt men hiervoor zeolieten die gemaakt zijn op basis van natuurlijk voorkomende materialen.

Zuurstofbleekmiddelen

Zuurstofbleekmiddelen rekenen af met kleurstofhoudende vlekken: wijn, koffie, thee of vruchtensap. Vroeger werden dergelijke vlekken behandeld met een agressief chloorbleekmiddel. De vlekken verdwenen dan wel, maar het textiel sleet en de kleuren verbleekten. Zuurstofbleekmiddelen lossen dat probleem op. Ze werken normaal gesproken alleen vanaf 60°C, maar met de hulp van een bleekactivator werken ze ook uitstekend vanaf 40°C.

Optische witmiddelen

Door veroudering vergeelt textiel. Optische witmiddelen zijn toevoegingen aan wasmiddelen die ervoor zorgen dat het ultraviolette licht uit het daglicht terugkaatst als blauw licht, waardoor wit textiel er frisser uitziet en kleuren helderder worden. Het losgemaakte vuil en de overmaat aan kleurstoffen moeten geen kans krijgen om opnieuw neer te slaan op textiel. Daar zorgen niet alleen de oppervlakteactieve stoffen voor, maar ook de zogenaamde anti-vergrauwingsmiddelen en kleurbeschermingsmiddelen.

Geurstoffen

Van nature ruikt wasmiddel niet prettig. Ieder wasmiddel is daarom meer of minder geparfumeerd.

Alle bovengenoemde stoffen moeten in precies de juiste verhouding in het wasmiddel voorkomen. Dan is het wasmiddel een krachtig wapen tegen vuil voor zowel de gekleurde was, de fijne was en de wolwas. Maar hoe goed het wasmiddel ook samengesteld is, helemaal 100% schoon wordt het wasgoed nooit.

Extra opdrachten

Met je kennis over het wasproces en je inmiddels opgedane vaardigheid in het ontwerpen, bouwen en testen van een model kun je nu aan de slag met een nieuwe uitbreiding. Volg een gestructureerde manier van werken, zoals je ook in de vorige delen van de opdracht hebt gedaan:

- Analyseer het probleem.
- Benoem de factor(en) die van belang zijn en beschrijf de invloed.
- Breid je model uit met de nieuwe factor(en).
- Vul waarden van factoren in en/of formules.
- Laat je model doorrekenen en controleer de werking van je model.
- Trek conclusie(s).

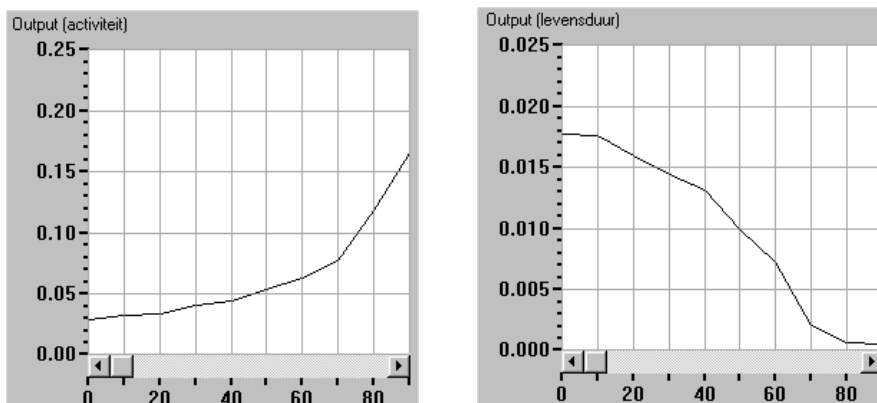
Kies één of meerdere van onderstaande opdrachten afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid tijd. Bij alle opdrachten ga je verder met je eigen model met de drie soorten vuil: wateroplosbaar vuil, vetvlekken en eiwitvlekken. Rapporteer over de uitvoering van de gekozen opdracht in een kort verslag (± 1 A4). In dat verslag staat het aangepaste model (model kopiëren naar Word, zie handleiding) met een toelichting. Geef in ieder geval antwoord op de vragen die bij het keuzeonderwerp staan.

Enzymen beter bekeken

In figuur 8 staat de enzymactiviteit als functie van de temperatuur. De enzymactiviteit is een resultante van twee ‘tegengestelde’ effecten:

- De activiteit van enzymen neemt toe met toenemende temperatuur
- De levensduur van de enzymen neemt af met toenemende temperatuur.

De activiteit en levensduur van enzymen als functie van de temperatuur zijn weergegeven in onderstaande figuren:



Figuur 10 – De activiteit en levensduur van enzymen als functie van de temperatuur

Breid je model uit met een variabele levensduur van enzymen, zodanig dat de resultante enzymactiviteit ongewijzigd blijft. Geef duidelijk aan waarom het beter is om de levensduur en activiteit van enzymen apart in model te brengen.

Hard water

Het water dat in Rotterdam uit de kraan komt, is anders dan het water dat op de Veluwe wordt gebruikt. Eén van de verschillen is de hardheid van water. Water dat veel Ca^{2+} ionen bevat, noemt men *hard* water. Water dat geen of zeer weinig van deze ionen bevat, heet *zacht* water. Men noemt het water hard omdat het een hard (stroef) gevoel aan je handen geeft, als je met zeep je handen wast. Als eenheid voor de hardheid van water wordt meestal de *Duitse Hardheidsgraad* gebruikt, symbool °D of DH. 1,0 °D betekent dat per liter water 7,1 mg Ca^{2+} is opgelost. In de volgende tabel staat een overzicht van soorten water met de hardheidsgraden.

Soort water	Minimale DH	Maximale DH
Zacht water	0	10
Middel-hard water	10	16
Hard water	16	Meer dan 16

Tabel 3 – Hardheid van water in Duitse Hardheidsgraden °D (DH).

De werking van zeep berust op de aanwezigheid van een polaire kop en een lange apolaire staart. Als een Ca^{2+} ion zich bindt aan de polaire kop dan gaat de waswerking verloren en het zeep slaat neer. Wat gebeurt er met de hoeveelheid zeep door deze neerslagreactie met Ca^{2+} ? Beschrijf de invloed op het verwijderen van de vetvlekken. Breid je model uit met de invloed van hard water. Gebruik onderstaande formule om de hoeveelheid neerslag per liter water te berekenen:

$$\text{neerslag} = 0,19 \times \text{waterhardheid (in DH)}.$$

Wat is het effect van hard water op het wasresultaat voor resp. wateroplosbaar vuil, vetvlekken en eiwitvlekken? Test dit aan de hand van de hardheid van het water in de regio waar jij woont. Welke stof(fen) voegt men tegenwoordig toe aan wasmiddelen om de Ca^{2+} ionen ‘weg te vangen’?

Opwarmen van het water

In de modellen kun je het water gelijk instellen op de juiste temperatuur. In werkelijkheid moet het waswater eerst worden opgewarmd tot de juiste temperatuur. Dit kost tijd en energie. Breid je model uit met het opwarmen van het waswater. Bedenk een manier om, uitgaande van de waterhoeveelheid en het vermogen van het verwarmingselement van de wasmachine, de opwarmtijd te berekenen en in het model te brengen. Bepaal wederom de procescondities (temperatuur, waterhoeveelheid en wasduur) voor een optimaal wasresultaat. Verklaar eventuele verschillen met de procescondities zoals je gevonden hebt in vraag 43. De formule die je kunt gebruiken (zie ook Binas tabellen 11 en 35):

$$Q = c \times m \times \Delta T$$

waarbij:

Q = warmte hoeveelheid (J)

c = soortelijke warmte van water ($= 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

m = massa (kg)

ΔT = temperatuurverschil (K)

Neem voor het vermogen van het verwarmingselement van de wasmachine: 2,8 kW.

Bijlage A: Gegevens over Wassen

Samenstelling van de proeflapjes

	Proeflapje A	Proeflapje B	Proeflapje C	Proeflapje D
Wateroplosbaar vuil	1 gram	-	-	1 gram
Vetvlekken	-	0,5 gram	-	0,5 gram
Eiwitvlekken	-	-	1,50 gram	1,50 gram

Procescondities

Waterverbruik per wasbeurt: 20–30 liter (incl. spoelgangen: 50–80 liter)

Watertemperatuur: 20°C–95°C

Beweging door wasmachine: ca. 40–60 omwentelingen per minuut

100 gram wasmiddel per wasbeurt, waarin:

- 30 gram zeep
- 3 gram enzym

Vermogen verwarmingselement: 2,8 kW

Bijlage B: Snelheid van vuilverwijderingsprocessen

Chemische reacties verlopen met een bepaalde snelheid. Deze snelheid is afhankelijk van een aantal factoren. Meer informatie hierover kun je vinden je scheikundeboek, bijv. CHEMIE 1 dl. 1, hoofdstuk 8 *Hoe snel en hoe ver?*

Snelheid van chemische reacties

Als je een reactie hebt waarin stof A met stof B reageert tot stof C (reactievergelijking: $A + B \rightarrow C$), dan wordt de snelheid van deze reactie beschreven door:

$$s = k \times [A] \times [B]$$

waarbij:

s = snelheid ($\text{mol l}^{-1} \text{s}^{-1}$)

k = reactiesnelheidsconstante, alleen afhankelijk van de temperatuur T (K)

[A] = concentratie stof A (mol/l)

[B] = concentratie stof B (mol/l)

Reactiesnelheidsconstante k is alleen afhankelijk van de temperatuur volgens:

$$k = A \times e^{-E_a/(R \times T)}$$

waarbij:

A = Arrheniuscoëfficiënt

E_a = activeringsenergie

R = gasconstante

T = temperatuur

Snelheid van verwijderen van vuil uit textiel

De snelheid van verwijderen van vuil uit textiel kan worden beschreven door een formule die lijkt op de formule voor berekenen van de snelheid van chemische reacties. Deze formule luidt:

$$s = \text{factor}_1 \times \text{factor}_2 \times k \times (A) \times [B]$$

waarbij:

factor₁, enz. = factoren die invloed hebben op de snelheid
(uitgezonderd temperatuur!)

k = snelheidsconstante

(A) = hoeveelheid vuil A (gram)

[B] = concentratie stof B uit wasmiddel (gram/l)

Als er geen stof uit wasmiddel nodig is voor het verwijderen van het vuil, zoals bijv. bij wateroplosbaar vuil, dan vervalt [B] uit de formule. Dit geldt ook voor de factoren.

Snelheidsconstante k is wederom alleen afhankelijk van de temperatuur. Voor eiwitvlekken, die worden verwijderd door enzymen, is de temperatuurs afhankelijke enzymactiviteit weergegeven in figuur 8. Voor wateroplosbaar vuil en vetvlekken is de snelheidsconstante k afhankelijk van de temperatuur volgens:

$$k = e^{-c/T}$$

waarbij:

c = constante

T = temperatuur in Kelvin ($273 + ^\circ\text{C}$).

Constante c is specifiek voor het soort vuil:

Wateroplosbaar vuil: $c = 3000$

Vetvlekken: $c = 2500$

Voorbeeld: formule voor snelheid van oplossen van wateroplosbaar vuil.

Bij oplossen van wateroplosbaar vuil hebben de volgende procescondities invloed op de snelheid:

- Beweging_wasmachine (factor_1)
- Waterhoeveelheid (factor_2)
- Watertemperatuur (van invloed op snelheidsconstante k)
- Hoeveelheid wateroplosbaar vuil (A)

De formule wordt dan:

$$\text{oplossen} = \text{beweging_wasmachine} \times \text{waterhoeveelheid} \times e^{-c/T} \times \text{wateroplosbaar_vuil}$$

waarbij:

c = constante voor oplossen (= 3000)

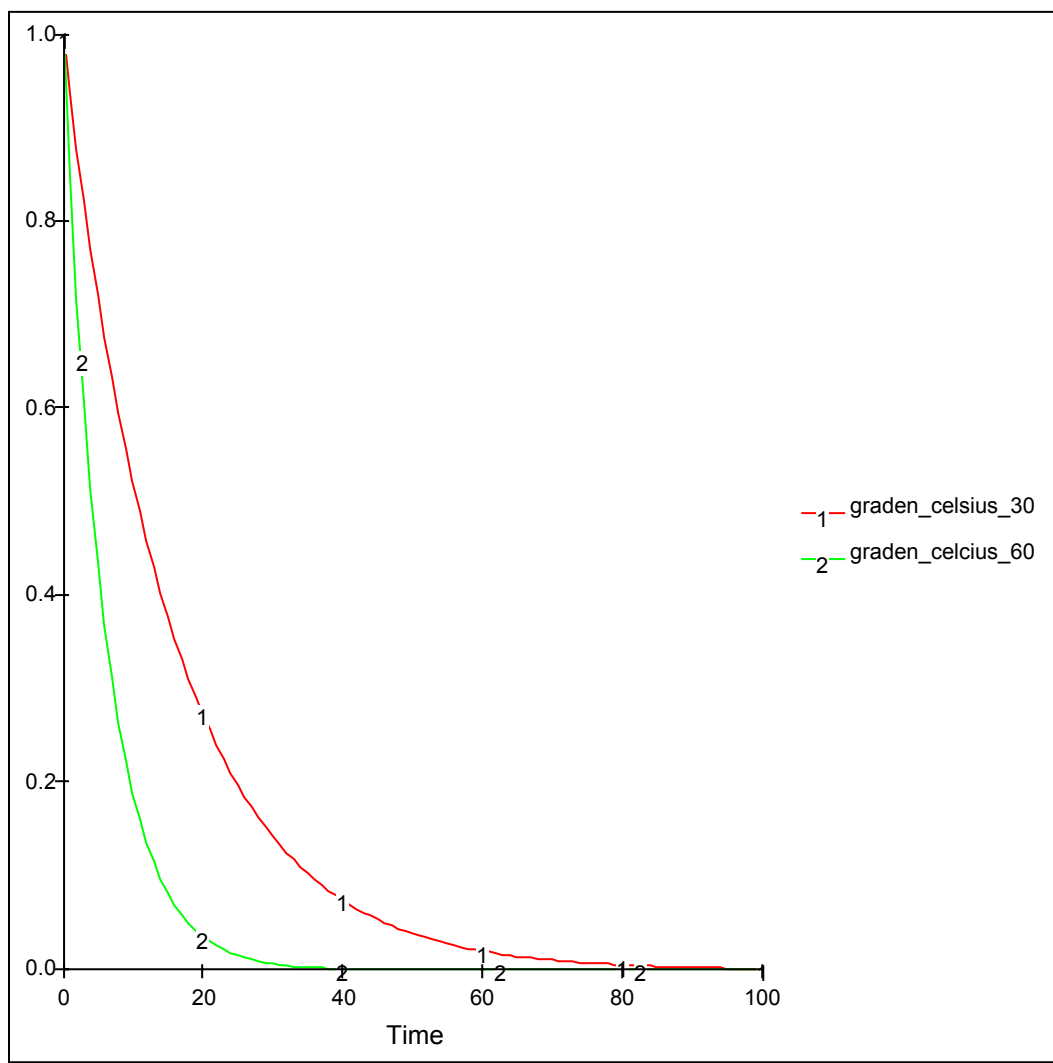
T = temperatuur in K ($273 + ^\circ\text{C}$).

Notatie in Powersim:

```
beweging_wasmachine * waterhoeveelheid *  
EXP(-3000/(273+watertemperatuur)) * wateroplosbaar_vuil
```

Bijlage C: Wasexperimenten met wateroplosbaar vuil

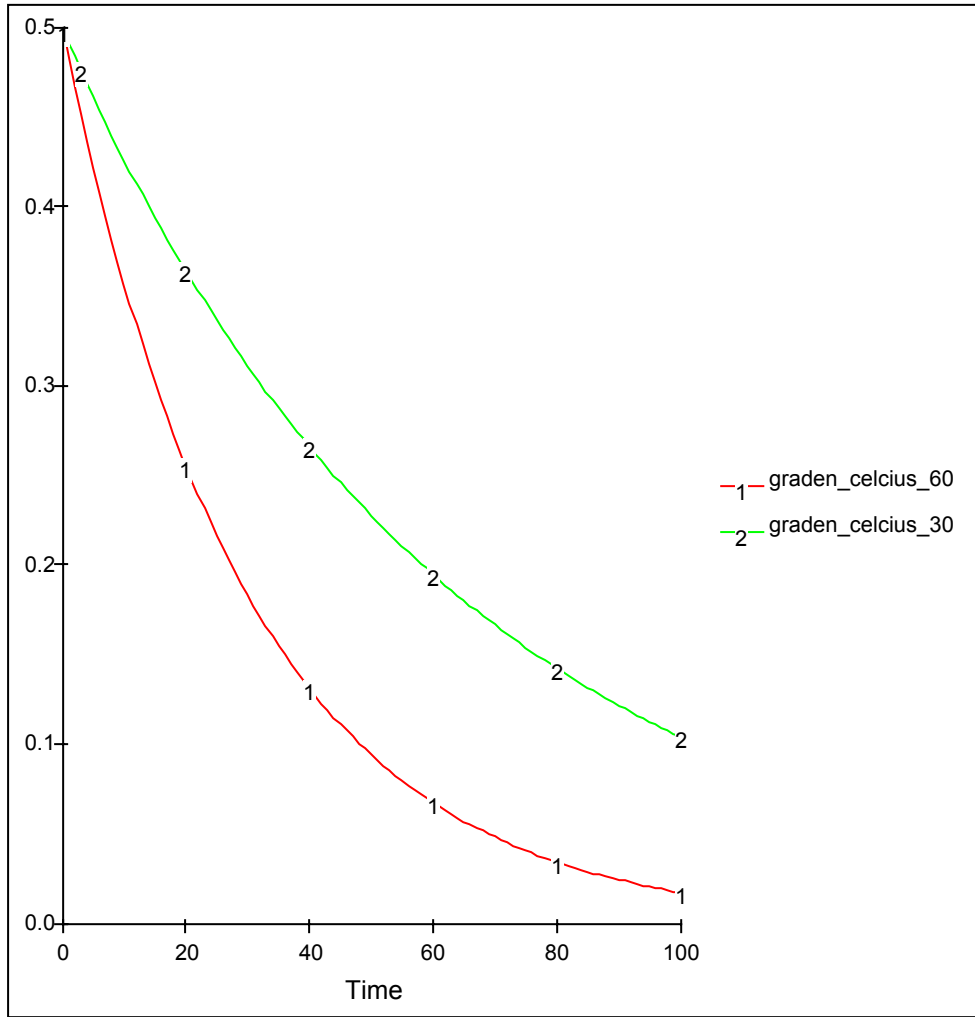
In de onderstaande grafiek staan de resultaten van een aantal wasexperimenten bij resp. 30°C en 60°C, waterhoeveelheid van 25 liter en beginhoeveelheid wateroplosbaar vuil van 1 gram.



Figuur 11 – Resultaten van een serie wasexperimenten met een proeflapje met wateroplosbaar vuil.

Bijlage D: Wasexperimenten met vetvlekken

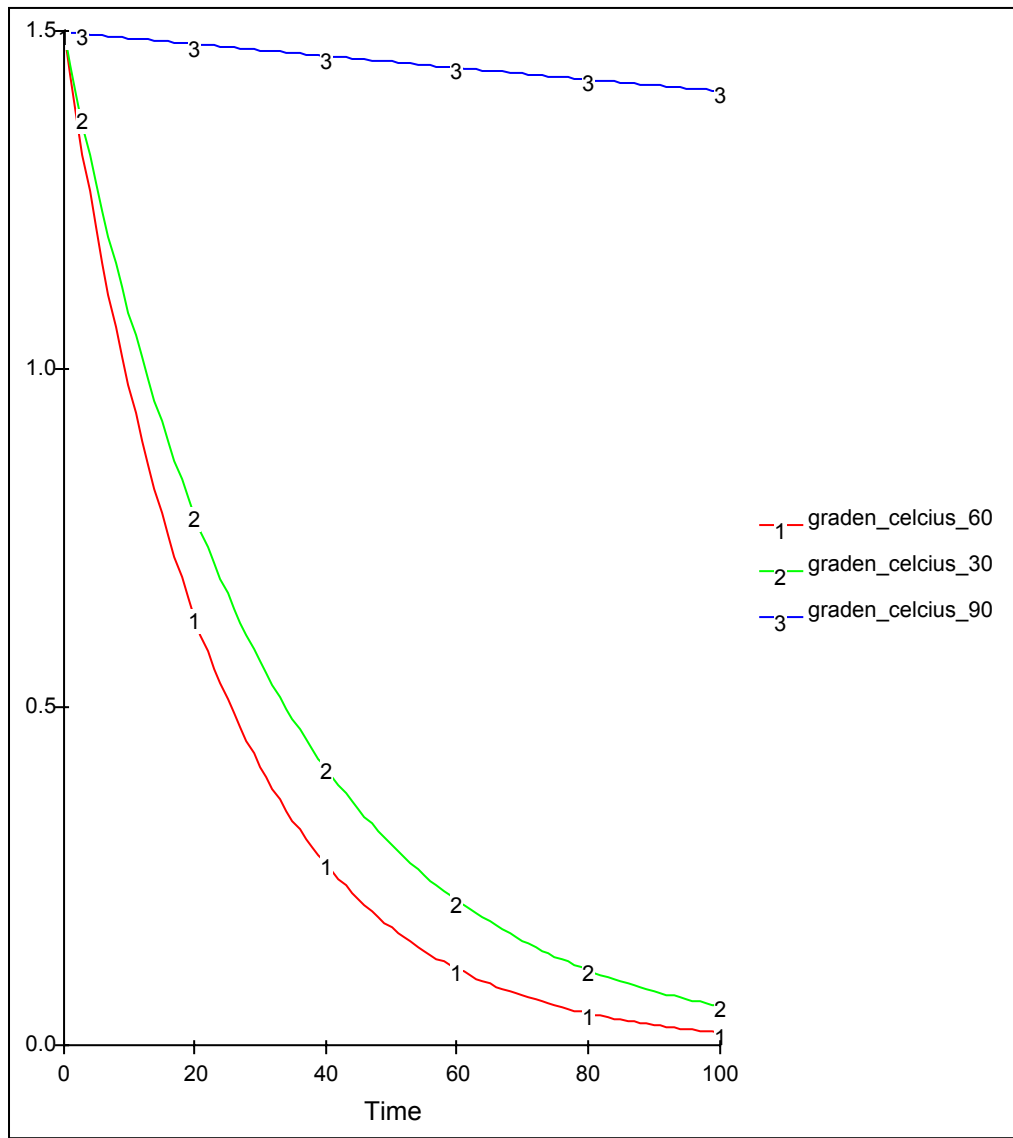
In de onderstaande grafiek staan de resultaten van een aantal wasexperimenten bij resp. 30°C en 60°C, een waterhoeveelheid van 25 liter en beginhoeveelheid vuil van 0,5 gram.



Figuur 12 – Resultaten van een serie wasexperimenten met een proeflapje met vet.

Bijlage E: Wasexperimenten met eiwitvlekken

In de onderstaande grafiek staan de resultaten van een aantal wasexperimenten bij resp. 30°C, 60°C en 90°C, een waterhoeveelheid van 25 liter en beginhoeveelheid vuil van 1,50 gram.



Figuur 13 – Resultaten van een serie wasexperimenten met een proeflapje met eiwitvlekken.