



Groene Scheikunde in het onderwijs

Door: Drs. J.A. Linthorst - CSG Noordik te Almelo
chemic_arjan1@hotmail.com

De maatschappij evolueert gedurende de jaren maar door, en zo doet het onderwijs ook. Tal van beleidsveranderingen hebben het onderwijs al getroffen. Ik denk hierbij vooral aan de Basisvorming en de Tweede fase. Zonder hier een waardeoordeel over te vellen, ligt er al weer een nieuwe beleidsverandering op de plank: in 2007 worden de examenprogramma's in de Tweede Fase vernieuwd. Hiervoor moeten natuurlijk ook weer nieuwe methoden worden geschreven. Het is dus zaak om nu voor je stokpaardjes op te komen, waarvan je denkt dat die ten behoeve van het onderwijs en dus van de maatschappij kunnen zijn! Een mooi voorbeeld hiervan is het artikel van Reijkerkerk in *NVOX* over de herinvoering van het begrip entropie.⁽¹⁾ In onderstaand artikel echter wordt ervoor gepleit om een vrij nieuwe tak van chemie, de *Groene Scheikunde*, te introduceren in de nieuwe examenprogramma's.

Waarom?

Groene Scheikunde bevat veel componenten die aan de verschillende eisen voldoen van de Commissie Vernieuwing Scheikunde Havo en VWO. In hun context-en-conceptbenadering streven zij onder andere naar een betere aansluiting op vervolgonderwijs en maatschappelijke, theoretische en experimentele relevantie van het aan te bieden scheikundeonderwijs. Hierbij wil ik de maatschappelijke relevantie van het aan te bieden onderwijs extra benadrukken. Voor een docent scheikunde is het namelijk ideaal om in zijn lessen te anticiperen op recente (technologische) maatschappelijke ontwikkelingen. De enige echte scheikunde die hier soelaas biedt is de *Groene Scheikunde*. Zij is steeds meer in opkomst en wint derhalve dus ook steeds meer wetenschappelijk terrein. Wil het scheikundeonderwijs dus parallel lopen aan maatschappelijke ontwikkelingen, dan zal zij de *Groene Scheikunde* dus moeten opnemen in het nieuwe examenprogramma.

Wat is?

Een definitie die veel wordt gebruikt voor *Groene Scheikunde* is⁽²⁾:

The use of chemistry techniques and methodologies that reduce or eliminate the use or generation of feedstock products, by-products, solvents, reagents, etc., that are hazardous to human health or the environment.

Uiteraard zijn er ook meer uitgebreide studies gedaan naar het karakter van de *Groene Scheikunde*. Op basis hiervan zijn de, binnen de *Groene Scheikunde*, bekende twaalf principes opgesteld, die thans ook algemeen worden geaccepteerd.^(3,4) Hieronder worden zij weergegeven:

1. *Preventie*

Werk netjes, in de letterlijke zin van het woord, want dan hoef je ook niet schoon te maken.

2. *Atoomeconomie*.

Het eindproduct bevat zoveel mogelijk atomen die in het hele proces worden gebruikt.

3. *Minder gevaarlijke chemische productiemethoden*

Ontwerp waar mogelijk productiemethoden die mens en milieu zo weinig mogelijk schaden.

4. *Ontwikkelen van veiliger chemische stoffen*

Let er bij de ontwikkeling van chemische stoffen op dat ze doen wat ze moeten doen, en met zo weinig mogelijk schade aan mens en milieu.

5. *Veiliger oplosmiddelen*

Vermijd tijdens de productie zo veel mogelijk het gebruik van oplosmiddelen of andere onnodige chemicaliën. Als deze eventueel wel nodig zijn, dan mogen ze niet op een of andere manier schadelijk zijn voor het milieu.

6. *Energie-efficiënt ontwerpen*

Minimaliseer de energie die nodig is om een reactie uit te voeren; dit met het oog op vermindering van kosten en van milieuschade. Zo mogelijk dienen processen te worden uitgevoerd bij relatief lage temperaturen en lage drukken.

7. *Gebruik van hernieuwbare grondstoffen*

Grondstoffen moeten zo veel mogelijk hernieuwbaar zijn.

8. *Reacties in weinig stappen*

Vermijd veel stappen in een reactie, want dit betekent ook dat er meer reagentia nodig zijn en dus ook dat er meer vervuiling ontstaat.

9. *Katalyse*

Gekatalyseerde reacties zijn efficiënter dan niet-gekatalyseerde reacties.

10. *Ontwerpen met het oog op afbraak*

Ontwerp chemische producten waaruit bij afbraak stoffen ontstaan die niet toxisch zijn en niet accumuleren in het milieu.

11. *Tussentijdse analyse met het oog op preventie van milieuverontreiniging*

Ontwerp analysemethoden die ervoor zorgen dat milieuverontreinigende (bij)producten worden gedetecteerd zodra ze beginnen te ontstaan.

12. *Veiliger chemie om ongelukken te voorkomen*

Kies de stoffen bij een chemisch proces zó, dat het risico van chemische ongelukken zo klein mogelijk is onder andere wat betreft brand en explosie.

In de lespraktijk

Hoe zou *Groene Scheikunde* nu in de lespraktijk moeten worden verwerkt?

Het is mogelijk er een apart hoofdstuk aan te wijden, maar het principe zou ook verwerkt kunnen worden in de bestaande hoofdstukken. Tevens is het te verwerken in projectvorm, bijvoorbeeld in samenhang met het onderwerp 'duurzame ontwikkeling'. Het zou dus ook kunnen zorgen voor verbreding binnen de natuurprofielen. De grote vraag van veel docenten zal nu zijn: is er al veel lesstof beschikbaar over *Groene Scheikunde*? Het antwoord is ja! Daarom is het extra aantrekkelijk om *Groene Scheikunde* in het nieuwe scheikundeprogramma op te nemen. Zowel op experimenteel^(4,5) als op theoretisch vlak is er veel te vinden over *Groene Scheikunde*.⁽⁴⁻¹¹⁾ Hierbij moet ook worden gedacht aan verschillende klassieke organische syntheses (Friedel-Crafts, Knoevenagel, Michaeladdities, etc.).^(9,12)

Met behulp van reactievergelijkingen kan de leerlingen vrij gemakkelijk het *Groene Scheikunde denken* worden bijgebracht. Een lesvoorbeeld zou onderstaand theoretische oefening kunnen zijn:

Maak 3 mol $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Deze stof wordt als kleurstof gebruikt voor textiel. Er zijn drie manieren mogelijk, die van student A, B en C. Welke is vanuit het *Groene-Scheikunde*-concept de beste?

- A. $\text{Cu} + 4 \text{HNO}_3 \text{ (geconcentreerd)} \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{NO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}$
 B. $3 \text{Cu} + 8 \text{HNO}_3 \text{ (verdund)} \rightarrow 3 \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{NO}(\text{g}) + 4 \text{H}_2\text{O}$
 C. $2\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CuO}$, gevolgd door:
 $\text{CuO} + 2 \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$

Antwoord:

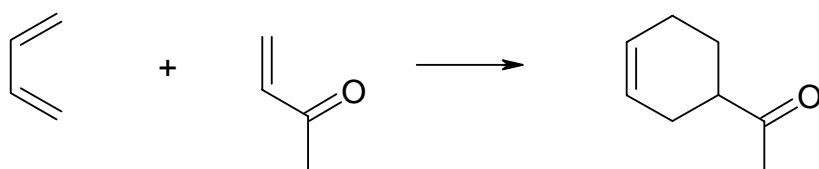
Student	Cu/ mol	HNO ₃ / Mol	Cu(NO ₃) ₂ / Mol	H ₂ O/ Mol	NO ₂ of NO/ Mol
A	3	12	3	6	6
B	3	8	3	4	2
C	3	6	3	3	0

De beste methode zou dus die van student C zijn. Hij heeft het minste HNO₃ nodig en levert relatief weinig bijproducten. De bijproducten die ontstaan zijn overigens milieuvriendelijk, dit in tegenstelling met die van student A en B.⁽⁶⁾ Uiteraard is de introductie van de 'atom utilization ratio' hier ook zeer goed mogelijk.⁽¹³⁾

Groene Scheikunde, wetenschap en... uitdagend onderwijs

In het onderwijs wordt er nog wel eens geklaagd over de motivatie van de leerlingen. Echter, elke zichzelf respecterende docent weet dat onderwijs uitdagend moet zijn om leerlingen gemotiveerd te houden. Hierbij in acht nemend de wensen van de Commissie Vernieuwing Scheikunde Havo en VWO, is het dus verstandig om wetenschappelijke ontdekkingen te introduceren binnen het onderwijs. Een goede handreiking hiervoor uit de *Groene Scheikunde* zijn de electrocyclische reacties, Diels-Alder- en 1,3-dipolaire cycloadditie. Deze reacties verlopen in waterig milieu sneller dan in een apolair oplosmiddel.⁽¹²⁾ Dat laatste is niet zelden milieuonvriendelijk. Prettige bijkomstigheid is ook dat veelvuldig de stereospecificiteit van de genoemde electrocyclische reacties toeneemt.⁽¹²⁾ Met andere woorden: de kwaliteit van het te maken product neemt toe en de productie is nog milieuvriendelijker ook.

Zie onderstaand voorbeeld:



1,3-butadien

butenon

1-cyclohex-3-enylethan-1-on

Deze [4 + 2] cycloadditie, die ook wel bekend staat als de Diels-Alder-reactie, verloopt in (het milieuvriendelijke) water sneller dan in apolaire oplosmiddelen. Voor de liefhebbers die zich afvragen: hoe kan dit nou? In een polair milieu, zoals water, wordt de IS (Gibbs Initial State) van het diene en het diënofiel hydrofobisch gedestabiliseerd en de meer polaire TS (Gibbs Transition State) als gevolg van H-brug vorming gestabiliseerd. Dit geeft een verkleining van de Gibbs activeringsenergie in vergelijking met apolaire milieus.^(12,14-16) Deze effecten compenseren dus het verlies aan mengentropie in deze reactie!

Het introduceren van de Diels-Alder reactie in de bovenbouw VWO biedt in mijn optiek verschillende voordelen. Bovenal is het uiteraard bijzonder uitdagend, daarnaast biedt het ook vakdidactische voordelen. Het begrip mengbaarheid kan namelijk nu goed worden gerationaliseerd, zonder de leerlingen te hoeven afschepen met de standaarddefinitie die veel docenten ongetwijfeld geven:

'Polair lost goed op in polair.'

'Apolair lost goed in apolair.'

'Polair lost niet goed op in apolair.'

Neen, het aanbieden van abstract denken is het credo, dus in polaire oplosmiddelen zal de IS van het dieen en het diënofiel stijgen; in apolaire oplosmiddelen is dit juist niet het geval. Experimentele gegevens hierover zijn in overvloed aanwezig en kunnen in redelijke mate op moleculair niveau (wel of niet dipolen) worden uitgelegd aan de leerlingen in de bovenbouw VWO. Een en ander gaat dus gepaard met een verschil in reactiesnelheid (kan prima op bord worden geïllustreerd met een energiediagram) wanneer er wordt gevarieerd in de oplosmiddelen en dat alles op basis van een verschil in mengbaarheid. Het gerip mengbaarheid kan nu dus op elementair (energie)niveau goed worden gerationaliseerd!⁽¹²⁾ Tevens is er ook ruimte voor een stuk verdieping door de lesstof uit te breiden met de begrippen enthalpie en entropie.⁽¹⁾ Om vervolgens af te sluiten met de effecten van de verschillende oplosmiddelen op het milieu, typisch *Groene Scheikunde!*

Slotwoord

Uiteraard kan ik in dit artikel niet alle opties noemen die voor in de lespraktijk geschikt zijn, daarom verwijs ik bij deze naar de literatuur. Hierbij hoop ik dat veel lezers, inclusief de beleidsbepalers van het nieuwe scheikundeprogramma, nu ook geënthousiasmeerd zijn door *Groene Scheikunde*.

Referenties

1. R. Reijkerk, *NVOX* **2004**, 6, 291
2. Singh, M.M.; Szafran, Z.; Pike, R.M. *J. Chem. Educ.* **1999**, 76, 1684.
3. Anastas, P.T.; Warner, J.C. *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: New York, **1998**, p.30.
4. www.chemsoc.org/networks/learnnet/green-chem.htm
5. Schilling, A.L.; Hess, K.R.; Leber, P.A.; Yoder, C.H.; *J. Chem. Educ.* **2004**, 81, 246.
6. Song, Y.; Wang, Y.; Geng, Z. *J. Chem. Educ.* **2004**, 81, 691.
7. McKenzie, L.C.; Huffman, L.M.; Parent, K.E.; Hutchison, J.E.; *J. Chem. Educ.* **2004**, 81, 545.
8. Santos, E.S.; Garcia, I.C.G.; Gomez, E.F.L.; *J. Chem. Educ.* **2004**, 81, 232.
9. Tundo, P. et al; *Green Chemistry in Africa* **2002**, INCA, Venice (Italy).
10. www.unive.it/inca
11. Manahan, S.E.; *Environmental Chemistry* **1994**, 6th edition, Lewis Publishers, London.
12. *Cursus Organische chemie in water* van Prof. Dr. J.B.F.N. Engberts aan de RUG, faculteit scheikunde, afdeling Fysische Organische Chemie.
13. Trost, B.M. *Science* **1981**, 254, **1471-1477**.
14. Blokzijl, W.; Blandamer, M.J.; Engberts, J.B.F.N. *J. Am. Chem. Soc.* **1991**, 113, 4241.
15. Otto, S.; Blokzijl, W.; Engberts, J.B.F.N. *J. Org. Chem.* **1994**, 59, 5372.
16. J.B.F.N. Engberts, *Pure Appl. Chem.* **1995**, 67, 823.