

# NVOX

MAGAZINE VOOR HET ONDERWIJS IN NATUURWETENSCHAPPEN

#3

maart  
2026  
jaargang 51

**Kun je een foton zien?**

**Een gat in de dijk, komt dat wel goed?**

**Leren vanuit vier neuroprincipes**

# Belangrijke vakinformatie voor professionals met hart voor het onderwijs

Neem nu een intro-abonnement scan hiervoor de QR-code



## VAN12 TOT18



## Van12tot18, informatie, inspiratie en praktijkgericht

Gun jezelf, of een ander een abonnement op **Van12tot18**, scan de QR-code voor het introductie abonnement.



# Implementatie nieuwe curriculum



**N**u de kerndoelen voor het leergebied Mens en Natuur zijn vastgesteld, begint de invoering ervan. Naast andere vakverenigingen gaat ook de NVON helpen om deze implementatie vorm te geven. Het ministerie van OCW stelt daarvoor budget beschikbaar dat de komende zes jaar ingezet kan worden. We gebruiken dit ook om te helpen bij het invoeren van de eindexamenprogramma's. Nog even terugkomend op bètaburgerschap, waar ik in mijn voorwoord van het februari-nummer over schreef: ook daar zullen we bij de implementatie van de kerndoelen en eindexamenprogramma's onze rol pakken. Allereerst door binnen de NVON de kennis op dit terrein te verzamelen en bundelen door een werkgroep Bètaburgerschap in het leven te roepen. Het gaat dan niet alleen over de bèta-kant in maatschappelijke vraagstukken, maar ook over duurzame ontwikkeling, (natuur)wetenschappelijk onderzoek, hoe betrouwbare kennis tot stand komt, wat waar is en hoe wetenschap werkt, vragen die eerder in ANW en Wetenschapsoriëntatie aan bod kwamen.

Een belangrijke verandering ten opzichte van de huidige situatie is de beweging naar beheersingsdoelen. Niet het aanbod dat de

school doet, maar wat leerlingen kennen en kunnen wordt bepalend. Dat vraagt méér van de scholen, die tegelijk in samenhang gaan werken aan nieuwe leergebieden digitale geletterdheid en burgerschap, naast taal en rekenen en andere vertrouwde vakken. We hebben er met elkaar belang bij dat de leerlijn van basisschool naar onderbouw voortgezet onderwijs doorloopt en samenhangt. We spannen ons daarom als NVON ook in om de collega's Mens en Natuur uit po en vo te inspireren en met elkaar in contact te brengen. Voor taal bij bètavakken, rekenen en digitale geletterdheid en oriëntatie op loopbaan en beroep gaan we met collega-vakverenigingen samenwerken.

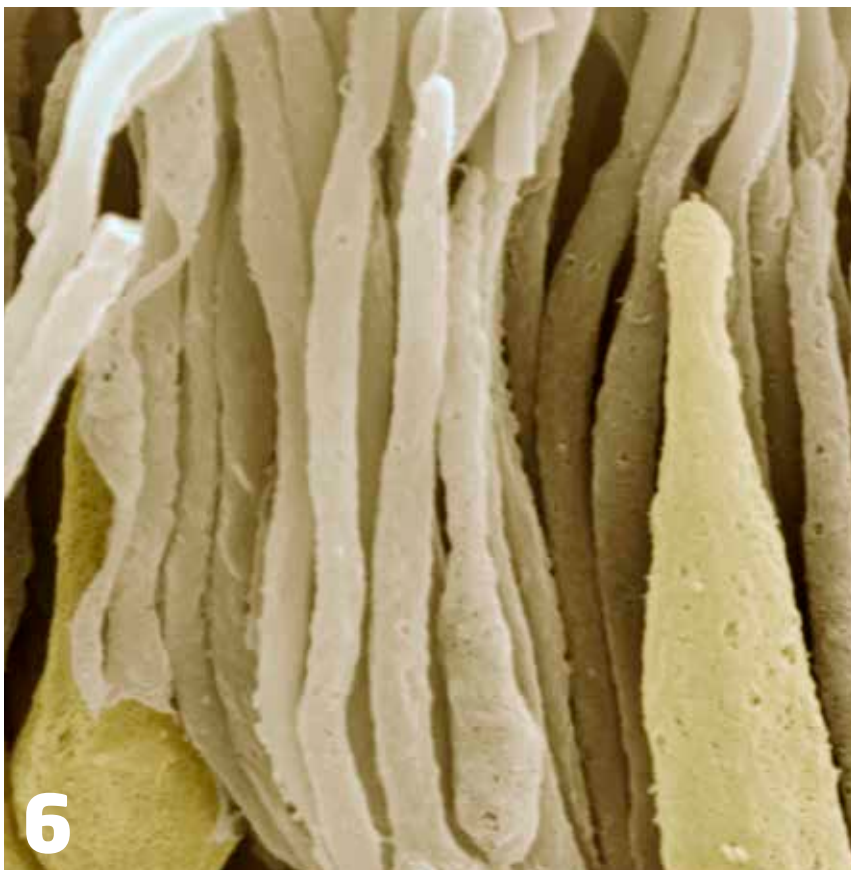
Het implementatietraject gaat ook over de vernieuwde examenprogramma's voor de bovenbouw vo. Voor het havo en vwo wordt voor de zomer 2026 de studielast voor de vakken opnieuw vastgesteld. Het inkrimpen van de studielast voor biologie en natuurkunde, ten gunste van tijd voor basisvaardigheden in het gemeenschappelijke deel, is ons nog steeds een doorn in het oog.

De collega's wiskunde hebben nieuwe programma's ontwikkeld, verschillend voor

ieder van de vier profielen (CM, EM, NG, NT) die aansluiten bij verschillen in voorkennis en vaardigheden. Waarom doen we dat bij burgerschap, taal en digitale geletterdheid niet?

Ik pleit ervoor om binnen het profieldeel studielast te reserveren voor basisvaardigheden (digitale geletterdheid, burgerschap, taal- en rekenen), om zo te kunnen differentiëren en deze vaardigheden in context aan te bieden. Dit geeft scholen en leraren de mogelijkheid goed te kunnen aansluiten bij de voorkennis en belangstelling van leerlingen én het garandeert dat iedere leerling er iets aan heeft. Studielast die uit de profielen geknipt is, kan op deze manier inhoudelijk weer aan de profielen ten goede komen, zónder dat er extra tijd nodig is. Ik zie dit als uitweg uit de impasse over het snoeien van studielast in de bètavakken ten behoeve van basisvaardigheden. Het zal ons in elk geval motiveren om de implementatie van de nieuwe examenprogramma's tot een succes te maken.

**Jan Jaap Wietsma**  
**Voorzitter NVON**  
**Reacties naar: [j.j.wietsma@nvon.nl](mailto:j.j.wietsma@nvon.nl)**



## Kun je een foton zien?

Het bestaan van fotonen experimenteel aantonen is complex. In een experiment kunnen we alleen controleren of de staat van de detector is veranderd. Maar hoe weet je zeker dat de toestand veranderde door de interactie met één foton en niet door toeval? Was het exact één foton of kwamen er twee of drie fotonen tegelijkertijd aan? Een goede detector moet dat onderscheid kunnen maken. En is je oog gevoelig genoeg om losse fotonen te kunnen zien? In dit artikel zetten Rutger Ockhorst en Lodewijk Koopman de aanwijzingen daarvoor op een rij.

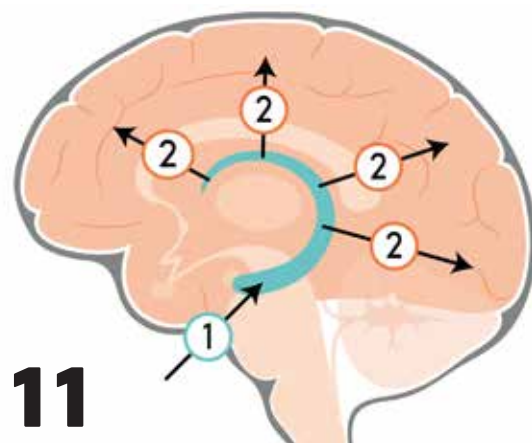


OP HET OMSLAG:  
**Kegeltjes en staafjes onder een elektronenmicroscop met een vergroting van 3000x. (Credit: Eye Of Science-science Photo Library)**



## Een gat in de dijk, komt dat wel goed?

De Afsluitdijk beschermt een groot deel van ons land tegen de zee. Helaas was het afsluiten slecht nieuws voor veel vissoorten. Om die ecologische ramp te herstellen, wordt een vismigratierivier aangelegd. Hoe wordt voorkomen dat zo'n gat in de dijk het achterland in gevaar brengt? Mart Mojet schreef er deze interessante bijdrage over.



## Leren vanuit vier neuroprincipes

Iedere seconde komt een stortvloed aan informatie onze bovenkamer binnen. Nieuwe informatie wordt tijdelijk opgeslagen in de hippocampus en pas bewaard als ze wordt geïntegreerd in de kennisnetwerken van de neocortex. In het (bèta)onderwijs kunnen we gebruik maken van vier neuroprincipes om deze transitie te laten plaatsvinden. Jan van Riswick en Ingrid Nieuwenhuis leggen uit hoe dat zou kunnen.

- 14 Didactiek** Quantumdots - Loek Torfs, Nathan Kennis, Lander Wuyts, Lars Cruypelinck, Wouter Egberghs, Xandrine Vandromme en Tom Mortier
- 18 In de klas** Hoe gebruik je je Binastabellenboekje op vmbo? - Adrie Niënkemper
- 19 Achtergrond** Wandelend vergaderen - Anneke Thurlings
- 20 Interview** Informatica bevrijden van de informatici - Marianne Offereins
- 23 Een ervaring rijker** De bel en de klepel - Coen van der Kamp
- 24 In de klas** 4TU.Schools: gratis lesmateriaal - Heleen Bot
- 26 Didactiek** Zelfregulerend leren bij innovaties - Sam Immel, Anita Driessen-Mol en Jan van der Veen
- 29 Artis nu** Een kus vol leven - Freek Waagenaar
- 32 In de klas** Zwaartekrachtgolven in het klaslokaal - Janine Nauw-van der Vegt
- 34 In de klas** Energiebewustzijn aanzwengelen met de ElsGenerator - Dave Hanzen en Martine de Vaan
- 40 In de klas** Scheikunde voor de toekomst - Leonie Krab-Hüsken
- 46 Achtergrond** De vrouw achter de ElsGenerator - Martine de Vaan
- 47 Didactiek** Tekenopdrachten in de scheikundeles - Hanna Stammes en Lesley de Putter
- 50 Achtergrond** Wedloop tussen microben en de mens - Marianne Offereins

## RUBRIEKEN

- 17 Column** De 'wet' van Titius-Bode - Ruben van Moppes
- 28 Collegiale tips** - Rolf Soer
- 30 Jong NVON** Duurzaam bewegen - Tosca Tamis
- 36 Het kabinet**
- 42 Recensies**
- 53 Column** Troep - Machteld de Kok
- 54 Vakbondstafel** - Corine Hijmissen
- 55 Next level** Jaarlijks gamedidactiek-feestje - Nienke Lurvink
- 56 Achterop** Mondeling examen - Marianne Offereins



**Periodiek van de NVON**

Nederlandse Vereniging voor het  
Onderwijs in de Natuurwetenschappen

## Ogen


Ik werkte op een school in Huizen waar de vakken natuurkunde, scheikunde en biologie in de onderbouw waren samengevoegd tot één vak dat Oriëntatie op de Natuur heette. De leerlingen hadden zo minder docenten en de docenten minder klassen. In de bovenbouw werden de vakken weer uitgesplitst. Daar gaf ik natuurkunde.

Op een dag werd mij gevraagd of ik in wilde invallen in een brugklas. De les zou gaan over de werking van het oog en daar moest ik, als natuurkundige, toch mee uit de voeten kunnen. De toa begroette mij enthousiast en liet mij weten dat er een practicum bij deze les klaar stond. Ik vermoedde iets met lenzen. Ook dat moest lukken, dacht ik.

De les begon. Ik vroeg wat de leerlingen al wisten en al snel kwam er een tekening op het bord. Toen werd er geklopt: de toa vroeg of hij het practicum naar binnen kon rijden. Het leek mij een goed moment en daar kwam een kar het lokaal binnen met 15 koeienogen op petri-schaaltjes met daarnaast scherpe mesjes en een doos handschoenen. Ik trok bleek weg. In de klas zag ik ook een aantal leerlingen hun hoofd wegdraaien en de rest juist opveren. Het leek mij een goed moment om de toa te vragen het practicum over te nemen en zelf met de leerlingen die dat wilden naar de bibliotheek te vluchten. Daar zochten we naar foto's van ogen van insecten, vissen en van mensen.

Op de voorkant van deze NVOX ziet u een foto van de staafjes en kegeltjes in het menselijk oog. De afbeelding hoort bij het artikel van Rutger Ockhorst en Lodewijk Koopman. Ik zie graag nog een artikel komen over de werking van een insectenoog. Dat vonden alle leerlingen die met mij mee waren echt het allermooiste oog.

Reacties naar: [redactie@nvon.nl](mailto:redactie@nvon.nl)

Anneke  
Thurlings 

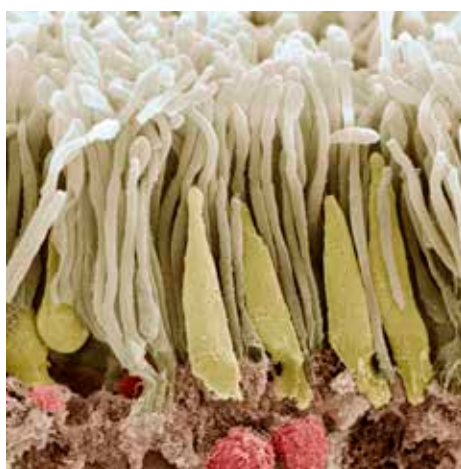
Hoofdredacteur NVOX  
[redactie@nvon.nl](mailto:redactie@nvon.nl)

# Quantumlesje 13: Kun je een foton zien?

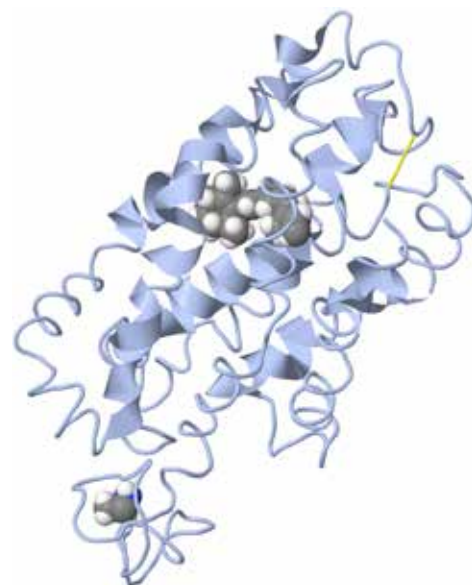
## Het oog als quantumsensor

Is je oog gevoelig genoeg om losse fotonen te kunnen zien? In dit artikel zetten we de aanwijzingen daarvoor op een rij. Wat kunnen we leren van het oog over de werking van een quantumsensor?

Voor het waarnemen van licht is een interactie nodig tussen licht en materie. Waarnemen is een uitwisseling van energie tussen die twee. Max Planck opperde in 1900 dat die uitwisseling alleen kan plaatsvinden in discrete stappen die hij *quanta* noemde. Einstein scherpte dit aan met de hypothese dat licht zelf bestaat uit discrete eenheden, die we nu fotonen noemen. Het bestaan van fotonen experimenteel aantonen is complex. In een experiment kunnen we alleen controleren of de toestand van de detector is veranderd. Maar hoe weet je zeker dat de toestand veranderde door de interactie met één foton en niet door toeval? Was het exact één foton of kwamen er twee of drie



Figuur 1. Kegeltjes en staafjes onder een elektronenmicroscop met een vergroting van 3000x. Credit: Eye of Science / Science Photo Library



Figuur 2. Rhodopsine met in het midden retinal (grijs-wit). Bron: Proteopedia

fotonen tegelijkertijd aan? Een goede detector moet dat onderscheid kunnen maken. Naast een detector heb je voor een fotonexperiment een bron nodig die betrouwbaar onderscheidbare fotonen uitzendt. Een gloeilamp voldoet niet. Ook een laser, hoe zwak ook, is geen bron van losse fotonen. Nobelprijswinnaar John Clauser lukte het in 1974 voor het eerst om een bron van losse fotonen te maken. Hij had een dergelijke bron nodig om twee verstrengelde fotonen te produceren voor het uitvoeren van een zogenoemde Bell-test waarmee het bestaan van verstrengeling kan worden aangetoond.

### Lichtdetectie door het oog

Ons oog bevat twee soorten lichtgevoelige cellen die zorgen voor het zicht. Een snelle schatting levert op dat er overdag per seconde tussen de  $10^{14}$  en  $10^{16}$  fotonen het oog binnenkomen. Om een enkel foton te kunnen onderscheiden met het oog moeten we dus in het donker werken. In dat geval zijn het de staafjes in het oog die het werk

doen. In een menselijk oog bevinden zich zo'n 120 miljoen staafjes, vooral gevoelig voor groen licht met een piek bij 498 nm. In een staafje bevinden zich meerdere rodopsine-eiwitten. Rodopsine bestaat uit twee stoffen: een opsine en retinal (zie figuur 2).

De absorptie van een foton door retinal kan de dubbele binding tussen het 11e en 12e koolstofatoom verbreken, waardoor een enkele binding ontstaat. Het molecuul kan dan draaien waarna de dubbele binding wordt hersteld. De structuur verandert zo van de isomeer 11-cis-retinal in de isomeer trans-retinal, zie figuur 3.

Het rechte, rigide trans-retinal past niet goed in opsine en wordt eruit geduwd. Dit zet een keten van botsingen tussen moleculen in werking (signaaltransductie), wat leidt tot het sluiten van natriumpoorten aan de zijkant van het staafje.  $\text{Na}^+$ -ionen verlaten het staafje aan het andere uiteinde, maar er kunnen geen nieuwe ionen meer in. De absorptie van



**RUTGER OCKHORST** studeerde Technische Natuurkunde aan de TU Delft en werkte daarna ruim 13 jaar in het voortgezet onderwijs. Op dit moment is hij docent en onderzoeker bij de afdeling Science & Engineer Education van de TU Delft. Contact: r.ockhorst@tudelft.nl



**LODEWIJK KOOPMAN** promoveerde op de didactiek van quantummechanica. Hij werkt nu als docent natuurkunde op het Scala College in Alphen a/d Rijn en bij de afdeling Science & Engineer Education van de TU Delft. Contact: l.koopman@tudelft.nl



# Een gat in de dijk, komt dat wel goed?

## De aanleg van de Vismigratierivier in de Afsluitdijk

De Afsluitdijk beschermt een groot deel van ons land tegen de zee. Helaas was het afsluiten slecht nieuws voor veel vissoorten. Om die ecologische ramp te herstellen, wordt een vismigratierivier aangelegd. Hoe wordt voorkomen dat zo'n gat in de dijk het achterland in gevaar brengt?

Het vroegst bekende plan om de Zuyderzee af te sluiten en in te polderen is van Hendrik Stevin (zoon van Simon Stevin), in 1667. In de 19e eeuw werd afsluiten ook technisch mogelijk, maar pas na de watersnoodramp in 1916 en de voedseltekorten in 1918 ging het parlement akkoord. Helaas was dit besluit slecht nieuws voor de eeuwenoude visserijtraditie, en voor de natuur was het mogelijk de grootste ecologische ramp die ons land ooit trof. De natuurlijke, brakke overgang van zout naar zoet water verdween abrupt, en naar later bleek, vele soorten vissen waren afgesneden van hun paaigronden.

### Vismigratie

Van trekvogels is veel bekend over de route die ze volgen. De migratie van vissen is veel minder zichtbaar omdat die zich afspeelt onder water. De zalm wordt geboren in de bovenlopen van onder meer de Rijn, trekt als jong volwassene naar zee, om na een aantal jaren terug te keren naar precies dezelfde kreek en te paaien in zoet water. Menigeen kent de beelden van zalmen die tegen watervallen omhoog springen. De paling moet juist paaien in zout water. De trek van de

paling naar de Sargassozee om zich voort te planten spreekt tot de verbeelding. De nieuwe paling begint als bladachtige larve aan zijn tocht naar Europa, en komt na 6000 km zwemmen als klein glasaaltje van circa 8 cm opeens de Afsluitdijk tegen als schier onneembare hindernis. En de paling is niet alleen: tellingen bij voorstudies voor de ontwikkeling van de Vismigratierivier lieten zien dat honderden miljoenen vissen zoals spiering, bot, fint, houting en de driedoornige stekelbaars vanuit zee een doorgang zochten. Dat zijn heel wat meer passanten dan bij een ecoduct.

Tijdens het vooronderzoek werd ook duidelijk wat de beste plek voor de Vismigratierivier is. QR-code A leidt naar een ArcGIS kaart van de belangrijkste geulen in de Waddenzee. De geulen nabij Breezanddijk en Kornwerderzand zijn duidelijk veel dieper dan nodig om het ebwater af te voeren. Dit is nog een restant van de tijd vóór de aanleg van de Afsluitdijk. Het zoete spuiwater uit de spuisluizen bij Kornwerderzand vormt een lokstroom, die tot ver in het Waddengebied door de vissen is 'te proeven'. Bij de tellingen bleken de meeste vissen zich in het westelijke

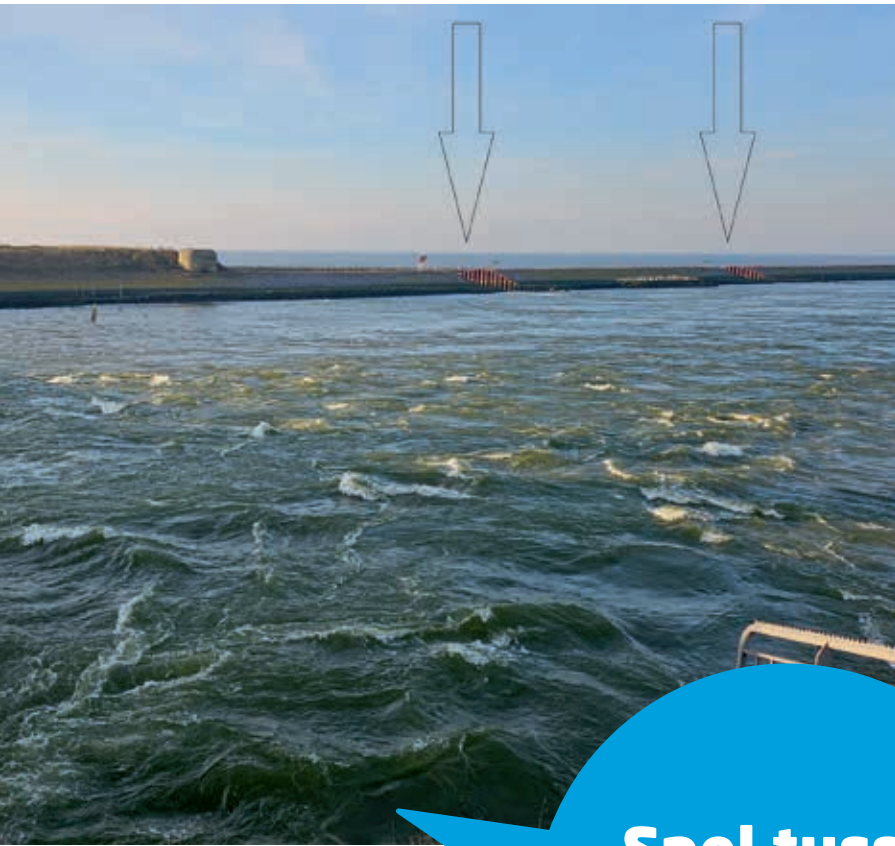


Figuur 1. Grote stroomsterkte aan Waddenzeezijde van spuisluizen. Pijlen wijzen naar ingangen van de Vismigratierivier.

deel van de buitenkom voor de spuisluizen te bevinden (zie foto in figuur 1). Onder meer daarom zijn de ingangen van de Vismigratierivier aan deze zijde gemaakt. Er zijn twee problemen voor de trekvis. Ten eerste is het haast onmogelijk om de spuisluizen met zijn enorme stroomsnelheden te passeren (zie figuur 1). Door de schutsluizen zwemmen is riskant vanwege de scheepvaart, en ook maar gedurende korte tijden mogelijk. Ten tweede, vissen hebben tijd nodig om zich fysiologisch aan te passen aan de verandering in zoutconcentratie. Die tijd varieert van een paar dagen tot een paar maanden, en die tijd krijgen ze nu totaal niet.

### Ontwerpfase

Het idee voor een vismigratierivier bestond al langer, maar de eerste grote donatie, van de Nationale Postcode Loterij in 2013, diende



Figuur 2. Ontwerp van de Vismigratierivier. Het geel omlijnde gebied is de laatste fase, die nu in aanbouw is. Cijfers tonen locatie en kijkrichting bij foto's in figuren 1 en 3. (Bronvermelding : Artist impression: LOF Landschapsarchitecten; Luchtfoto's december 2025: Topview Nederland - Provincie Fryslân)

## Spel tussen ecologie en techniek

als aanjager van het plan. In opdracht van de Provincie Fryslân volgde een gedegen traject van onderzoek, subsidieaanvraag, vergunningverlening en aanbesteding. Vele organisaties zoals de Waddenvereniging en It Fryske Gea nemen deel (zie QR-code B of [vismigratierivier.nl/over-ons](http://vismigratierivier.nl/over-ons)). Het project gaat nu de laatste fase in, en moet voltooid zijn in 2027.

De belangrijkste eisen waren dat de Vismigratierivier geen problemen mocht geven bij hoge waterstanden. Daarnaast was een harde voorwaarde dat geen druppel zout water in het IJsselmeer zou belanden. Het meer moet een zoetwaterreservoir blijven voor de drinkwatervoorziening, en voor waterinname in de boezems voor de waterstand in de gebieden rondom het IJsselmeer. Ten derde moest de stroomsnelheid afgestemd worden

op de zwemcapaciteiten van de trekvissen. Het doel was een natuurlijke getijdenrivier met wisselende stroomsnelheden op de grens van zoet en zout.

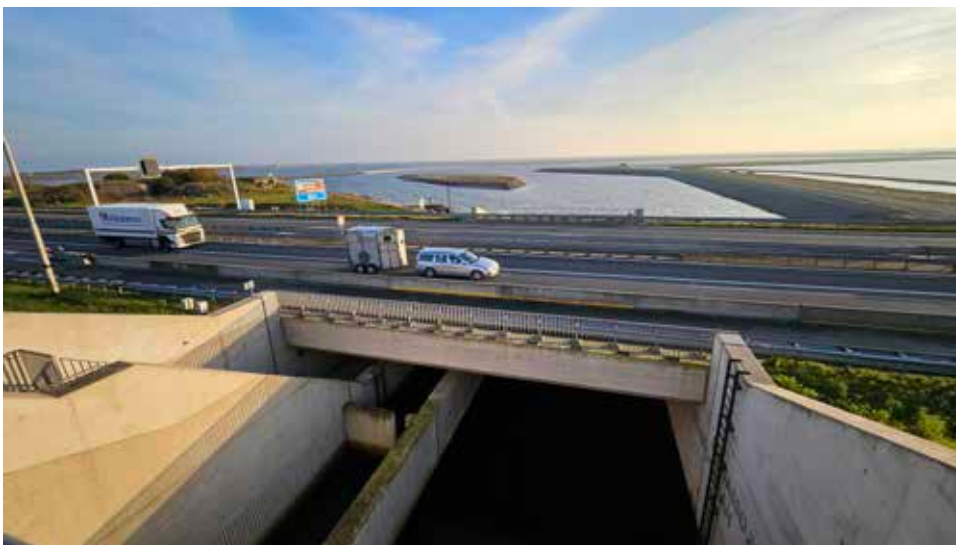
De oplossing werd gevonden in een 4 km lange rivier (zie figuur 2). De rivier wordt gekronkeld. Niet alleen is dit een mooi ontwerp

dat ook het beeldmerk is geworden, belangrijker is dat de Vismigratierivier een technisch innovatief project is, in een bestaand natuurgebied. Het IJsselmeer is een vogelrichtlijngebied, en de Waddenzee valt onder de habitatrictlijn, omdat de zeebodem beschermde natuurwaarde heeft. Het nieuwe natuurherstelproject moest natuurlijk zo min mogelijk oppervlakte van de al aanwezige natuur vervangen. Om die reden wordt de rivier hoofdzakelijk aan de IJsselmeerszijde van de Afsluitdijk aangelegd. Daar kan de bedijking ook lichter uitgevoerd worden, omdat de rivier kan profiteren van de bescherming van de Afsluitdijk.

### De stroomsnelheid

De Vismigratierivier volgt de getijden van de Waddenzee en heeft verschillende stroomsnelheden. Volwassen vissen als de zalm zijn sterk en kunnen aardig tegen de stroom inkomen. De jonge bot is maar zo groot als een pinknagel en moet zich op een andere manier verplaatsen. De dieren wachten onder het zand tot er een getijdegolf landinwaarts komt, maken zich los van de bodem en surfen als het ware met de golf mee. Als er een tegenstroom ontstaat, schuilen ze weer onder het zand tot de volgende





Figuur 3. De plaats waar de Vismigratierivier de A7 kruist. Bijna op de horizon de bedijking van het kronkelige deel, dat dit jaar wordt aangelegd.

>> mogelijkheid. Daarom is de bodem zanderig met grote stenen waarachter vissen kunnen schuilen. Bij de doorgang in de Afsluitdijk is de Vismigratierivier op zijn smalst. Hier zijn twee baanvakken gemaakt. In figuur 3 is geheel links het pad voor de bezoekers, de smalle doorgang daarnaast is voor 'langzaam verkeer', en de rechter geul is voor de grote vissen.

De lengte van de relatief smalle rivier zorgt voor stroomweerstand. De zanderige bodem, en te zijner tijd ook de vegetatie, vertragen de stroom verder. Aan het begin en het einde van de rivier zitten afsluitmiddelen. Met regelschuiven kan de stroomsnelheid gestuurd worden. Dat is niet alleen voor de vissen belangrijk, maar ook moet voorkomen worden dat de zandbodem uitgeschuurd wordt. Verder dienen deze afsluiters voor bescherming in noodgevallen zoals een superstorm of extreem hoogwater.

### Het zout

Door de getijdebeweging is er constant stroming in twee richtingen in de Vismigratierivier, gedurende de vloed 5,5 uur naar het IJsselmeer toe, en 5,5 uur bij eb terug naar de Waddenzee. Daartussen, tijdens hoog en laag water, is er nauwelijks stroming. Gedurende vloed zal dus zout water de Vismigratierivier instromen. Om te voorkomen dat het zout het IJsselmeer bereikt, worden verschillende maatregelen genomen. Door de menging in de Waddenzee is de zoutconcentratie al van ca. 33 ppm in de

beschikbaar gesteld worden) laat zien dat het zoute water nooit tot het einde van de Vismigratierivier komt.

Aan het uiteinde van de Vismigratierivier, voorbij het kronkelende deel, zit weer een vernauwing, die de uitwisseling binnen het systeem houdt. Tot slot is er, zoals al genoemd, een regelbaar afsluitmiddel voor uitzonderlijke gevallen.

Een interessant detail is dat de getijdewerking verder komt dan het zout. Dat komt doordat de getijdewerking een gevolg is van druk, terwijl het zout afhankelijk is van stroming en diffusie. Daarom is de Biesbosch een zoetwater gebied dat wel getijden kent.



Met dank aan (v.l.n.r) Ilya Abel (communicatie adviseur Provincie Fryslân), Wiepkje Elsinga (project manager realisatie Vismigratierivier, Provincie Fryslân), en Wouter van der Heij (marien bioloog bij de Waddenvereniging), voor de uitgebreide informatie en de rondleiding.

Noordzee afgenomen naar 20 à 25 ppm nabij de Afsluitdijk. De waarden hangen af van het jaargetijde, met bijvoorbeeld in de lente smeltwater uit het binnenland. En bij de ingang van de Vismigratierivier is de zoutconcentratie nog lager, doordat deze gelegen is in de buitenkom van de spuisluizen. Na de ingang is een drempel aangebracht. Zout water heeft een hogere dichtheid dan zoet water, en zal dus bij een ontmoeting onder het zoete water doorgaan. Een drempel in de ondergrond houdt het zoute water tegen. Daarnaast, door een wisselwerking van smalle en bredere delen in de rivier treedt menging op, en wordt de opmars van het zoute water verder vertraagd. Een diepgaand rekenmodel met elegante grafische representatie (het zal later voor de onderwijswereld

De situatie bij de Vismigratierivier is verder niet vergelijkbaar, omdat de afstand waarover de zoutconcentratie moet veranderen vele malen kleiner is.

### Tot slot

Is het gat in de dijk dus een risico? Nee. En mocht het denk- en rekenwerk toch niet in alle scenario's blijken te voorzien, dan zijn er altijd nog de afsluiters aan het begin en het einde van de Vismigratierivier. Nederlanders weten dat je de zee nooit moet onderschatten. ●



# Leren vanuit vier neuroprincipes

## Samenhang is van essentieel belang!

Iedere seconde komt een overvloed aan informatie onze bovenkamer binnen. Gelukkig verdwijnt het meeste ook weer: we hoeven niet alles te onthouden. Nieuwe informatie wordt tijdelijk opgeslagen in de hippocampus en pas duurzaam bewaard wanneer ze wordt geïntegreerd in de kennisnetwerken van de neocortex. In het (bèta)onderwijs kunnen we gebruik maken van vier neuroprincipes om deze transitie te laten plaatsvinden.

Rij 1: 610894121158

Rij 2: 106614921815

Rij 3: 198520162019

Een krant is beter dan een weekblad. Het strand is een betere plek dan de straat. Eerst kan men beter rennen dan lopen. Je moet het wellicht een aantal keren proberen. Het vraagt wat handigheid maar is makkelijk te leren. Wanneer je eenmaal succes hebt, treden er nauwelijks nog complicaties op. Vogels komen zelden te dichtbij. Als dingen echter losbreken, krijg je geen tweede kans.

Eerst zelf ervaren. Bestudeer de getallenrijen in het kader een minuut lang zonder hulpmiddelen. Dek ze daarna af en noteer ze uit je hoofd voordat je verder leest. Welke rijen zijn makkelijker te onthouden? De eerste rij



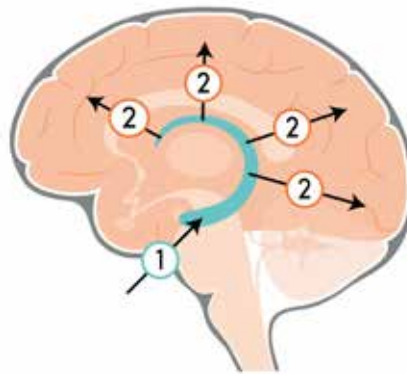
**JAN VAN RISWICK** is vakdidacticus natuurkunde aan de Radboud Universiteit en natuurkundedocent op het Raayland College in Venray.



**INGRID NIEUWENHUIS** is neurowetenschapper en onderwijsontwikkelaar bij The Associator

### 1: HIPPOCAMPUS

- Hier komt nieuwe informatie binnen.
- Is een tijdelijke opslagruimte.
- Heeft een beperkte capaciteit.



### 2: NEOCORTEX

- Dient als permanente opslagruimte.
- Bestaat uit brede associatieve netwerken.

Figuur 1. Hippocampus, Neocortex

is lastig omdat de cijfers willekeurig lijken. De tweede wordt makkelijker als je de jaartallen herkent (slag bij Hastings, 'ontdekking' Amerika, Waterloo). De derde is het eenvoudigste omdat de jaartallen dicht bij onze eigen tijd liggen. Doe vervolgens hetzelfde met de tekst daaronder. Lees hem aandachtig, dek hem af en probeer zoveel mogelijk terug te halen. Waarschijnlijk blijkt dit lastig, totdat je de titel krijgt: 'Het oplaten van een vlieger'. Met die context wordt het ineens veel eenvoudiger om de tekst te begrijpen en te onthouden. Dit illustreert het eerste neuroprincipe: verbanden. Zodra je nieuwe informatie kunt koppelen aan betekenisvolle context wordt begrijpen en onthouden veel makkelijker. In de klas zien we hetzelfde: leerlingen haken vaak af als de essentie of samenhang ontbreekt, omdat ze dan geen verbanden kunnen leggen.

### Verbanden

Dat verbanden zo krachtig zijn werd al in de jaren 40 overtuigend aangetoond door de psycholoog Adriaan de Groot in zijn proefschrift (Het denken van den schaker, 1946). In een experiment liet hij beginners en experts (grootmeester) de posities van schaakstukken in een tussenstand van een partij bestuderen. Nadat de stukken waren verwijderd moesten ze de opstelling uit het hoofd terugzetten. Grootmeesters, die patronen en verbanden in het spel herkenden, scoorden veel beter dan beginners. De experts scoorden echter aanmerkelijk slechter als de stukken willekeurig op het bord waren neergezet. Als de logica van aanval en verdedigingslijnen ontbreekt, wordt het veel moeilijker om alles te verankeren in het geheugen. De kracht van verbanden vindt zijn oorsprong





**Figuur 2. Spinnenweb (tekening Ger Hermsen)**

in de manier waarop onze hersenen zijn georganiseerd. De neocortex is associatief opgebouwd: concepten die inhoudelijk bij elkaar horen zijn ook letterlijk via neurale netwerken met elkaar verbonden. Je kunt dit vergelijken met een spinnenweb: hoe meer en dikkere draden, hoe steviger het geheel en hoe makkelijker je er iets in vangt. Dat geldt ook voor ons geheugen: hoe meer verbindingen met informatie, hoe makkelijker we die later terughalen. Wanneer meerdere neuronen tegelijk actief zijn bij het leren, versterken de verbindingen zich. De Canadese psycholoog Donald Hebb formuleerde dit in 1949 als de basisregel van de neurowetenschappen: “neurons that fire together, wire together”. Wat betekent dit voor de lespraktijk? We kunnen leerlingen helpen om actief verbanden te zoeken: tussen onderdelen van de stof, met wat ze al weten, en zelfs tussen vakgebieden. Dat kan met voorbeelden, metaforen, meerdere (leefwereld)contexten en door leerlingen mindmaps of conceptmaps te laten maken. Bij mindmaps brengen zij begrippen rondom een thema bijeen; in conceptmaps maken ze ook de relaties ertussen zichtbaar. Halloun (1998) liet zien dat begrippen pas betekenis krijgen wanneer ze systematisch worden ingebed in modellen, langs vijf dimensies: domein, organisatie (verbanden), kwantificatie, expressie en toepassing. De conceptmap op pagina 13 (figuur 4), laat zien hoe kernbegrippen uit de klassieke mechanica zo’n samenhang krijgen.

**Interactie**

Het tweede neuroprincipe dat leren versterkt, is interactie. Leren wordt krachtiger wanneer leerlingen niet alleen luisteren of lezen, maar zelf iets doen, manipuleren of ervaren. Actief bezig zijn zet het brein letterlijk in de actiestand: meerdere hersengebieden worden tegelijkertijd geactiveerd, van de somato-

sensorische cortex tot de prefrontale cortex. Onderzoek laat zelfs zien dat bewegend leren (embodied learning) leidt tot herconfiguratie van hersennetwerken en hersenactiviteit (Freeman et al., 2014; Kontra et al., 2015; Smith et al., 2025). Juist in de bètavakken liggen veel kansen om rijk te leren via meerdere zintuigen: zien, horen, ruiken, voelen, bewegen en discussiëren. Door fysieke en sociale interactie met modellen, simulaties of experimenten worden abstracte concepten concreet en beter verankerd in het geheugen. Dit principe zien we ook terug in didactische aanpakken, zoals Building Thinking Classrooms (Liljedahl, 2021), Uitbeelddidactiek in de biologieles (Geraedts et al., 2021), Heen-en-weer-denken (Spaan et al., 2025) en Modeldidactiek (Slooten, Bouma & Van den Berg, 2024) waarbij leerlingen samen conceptuele modellen ontwikkelen en bespreken aan de hand van eigen experimenten. Interactie maakt leren tastbaar en levendig en vergroot de kans dat kennis duurzaam wordt geïntegreerd in de neocortex.

**Emotie**

Het derde neuroprincipe is emotie. Het brein leert beter wanneer informatie emotioneel betekenisvol is: verwondering, nieuwsgierigheid, herkenning of uitdaging markeren kennis als ‘relevant om te bewaren’ (Immordino-Yang & Damasio, 2007; Tyng et al., 2017). Emoties werken als katalysator voor het leren. Het limbisch systeem (waar ook de hippocampus onderdeel van is) zorgt ervoor dat emotionele ervaringen sneller en dieper worden verwerkt en voorrang krijgen bij de inbouw in de neocortex. In de klas betekent dit dat het loont om leerlingen emotioneel te betrekken. Dat kan door te starten met een verwonderend experiment of door humor te gebruiken. Denk aan indrukwekkende demonstraties zoals in *ShowdeChemie* en *ShowdeFysica* maar ook met gamification of embodied learning, wanneer leerlingen bijvoorbeeld bewegen als watermoleculen bij toenemende temperatuur van 0-400 K of

begrippen uitbeelden in spelvorm. Zelfs spannende of heroïsche verhalen en interessante problemen kunnen extra emotionele betrokkenheid creëren.

**Herhaling**

Het vierde neuroprincipe is herhaling. Eén ervaring is zelden genoeg: herhaald ophalen reactiveert neurale netwerken, waardoor de verbindingen zich versterken (Dunlosky et al., 2013). Dit effect wordt nog groter wanneer herhaling gespreid in verschillende contexten gebeurt: *retrieval practice and spacing*. Variatie is cruciaal: hoe vaker een begrip verbonden wordt aan andere kennis en situaties, hoe robuuster het in het geheugen verankerd raakt. In de klas betekent dit dat we leerlingen kennis actief laten terughalen met (uitdagende) vragen in plaats van snel zelf even benoemen wat we de vorige les hebben behandeld. Vakoverstijgend herhalen werkt extra goed: hetzelfde concept telkens in een andere context plaatsen. Neem energie: bij scheikunde kan de verbrandingsreactie van een pinda worden onderzocht: vetdruppels, vlamkleur, warmte, roet en verbrandingsgassen. Bij natuurkunde kan diezelfde pinda worden gebruikt om de verbrandingsenergie te meten door water op te warmen. Bij biologie kan worden gekeken welke voedingsstoffen een pinda bevat en hoe verbranding energie oplevert in de cel. En zelfs bij wiskunde kan hetzelfde experiment aanleiding zijn om te oefenen met verhoudingstabellen. Zulke vakoverstijgende herhaling vraagt wat afstemming over terminologie en (reken-)methode, maar levert een enorme synergie op (ook voor docenten). Samen met verbanden, interactie en emotie vormt herhaling zo de brug van hippocampus naar neocortex: kennis krijgt steeds meer haakjes en betekenis waardoor leerlingen beter onthouden en dieper begrijpen.

De bronnen bij dit artikel staan op de NVON-website. ●



**Figuur 3. Neuroprincipes**

# Klassieke mechanica

## Wetten van Newton (geldig in een inertiaalstelsel <sup>1</sup>)

1<sup>e</sup> wet:

Een voorwerp blijft in rust of beweegt eeuwig met **constante (rechtlijnige) snelheid** als er **géén netto kracht** op werkt

2<sup>e</sup> wet:  $\rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}_{netto}}{m}$

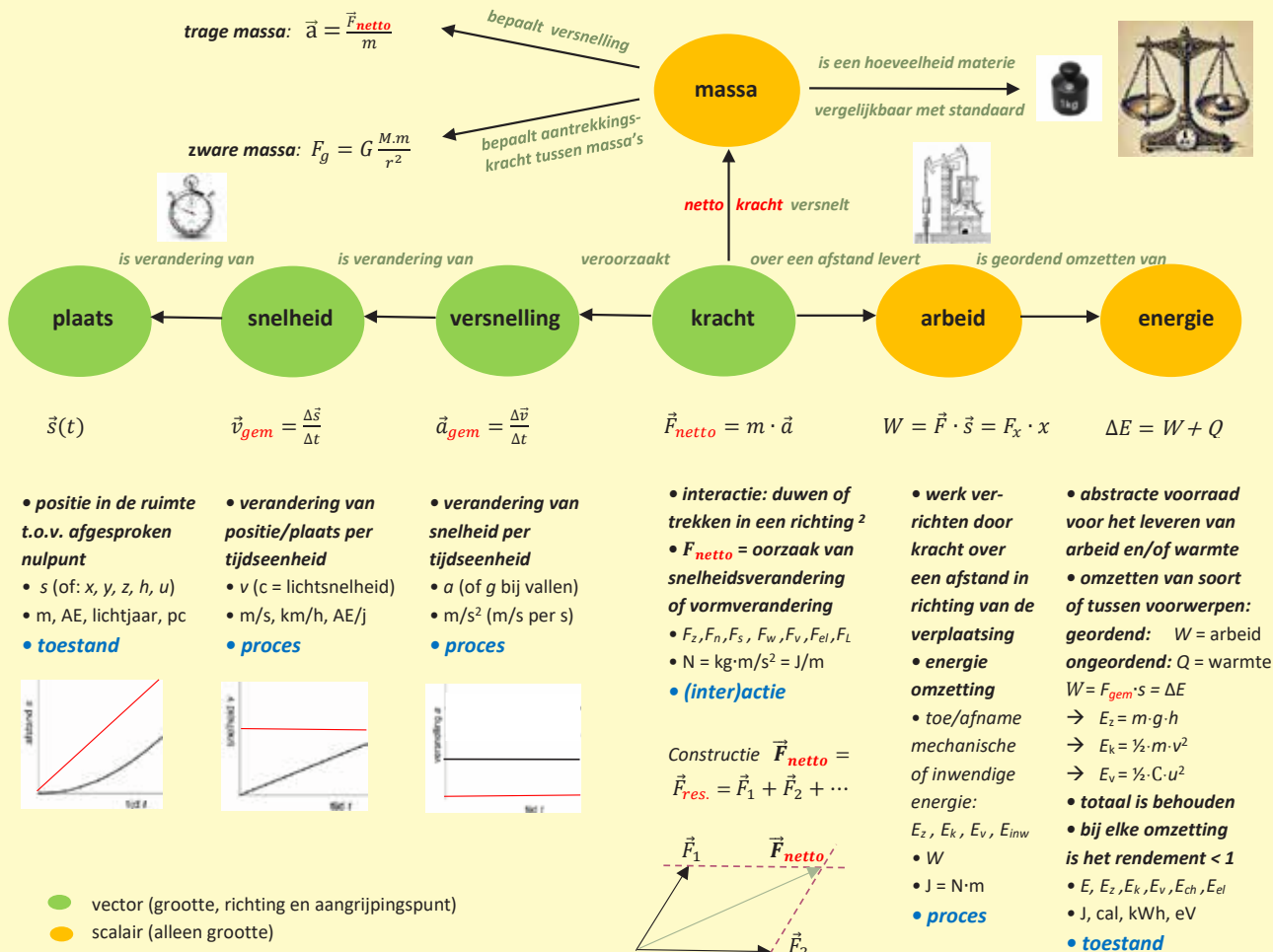
**Snelheidsverandering wordt veroorzaakt door netto kracht op een voorwerp en is omgekeerd evenredig met de massa**

3<sup>e</sup> wet:  $\rightarrow \vec{F}_{A op B} = -\vec{F}_{B op A}$

**Als voorwerp A kracht uitoefent op voorwerp B dan oefent voorwerp B tegelijkertijd een even grote tegengesteld gerichte kracht uit op voorwerp A (onafhankelijk van de massa's, vorm en initiatief)<sup>2</sup>**



Domein, samenhang, uitdrukking en kwantificatie van de kernconcepten:



<sup>1</sup> Stelsel waarin de beweging van massa's zonder schijnkrachten beschreven kan worden

<sup>2</sup> Krachten werken alleen tijdens de (inter)actie: er bestaat geen 'kracht-voorraad' die kan worden overgedragen. Krachten worden uitgeoefend bij contact tussen twee voorwerpen of op afstand (evt. in vacuüm en/of zonder spieren): b.v. zwaartekracht van de aarde op de maan en omgekeerd

Figuur 4. De conceptmap laat zien hoe kernbegrippen uit de klassieke mechanica samenhang krijgen

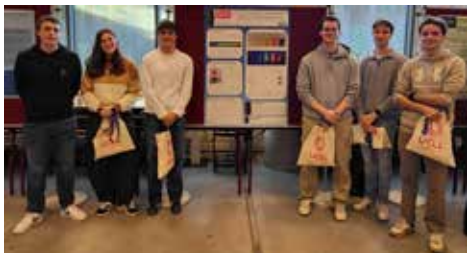
# Quantumdots

## Synthese en kleurcontrole in perovskiet-quantumdots

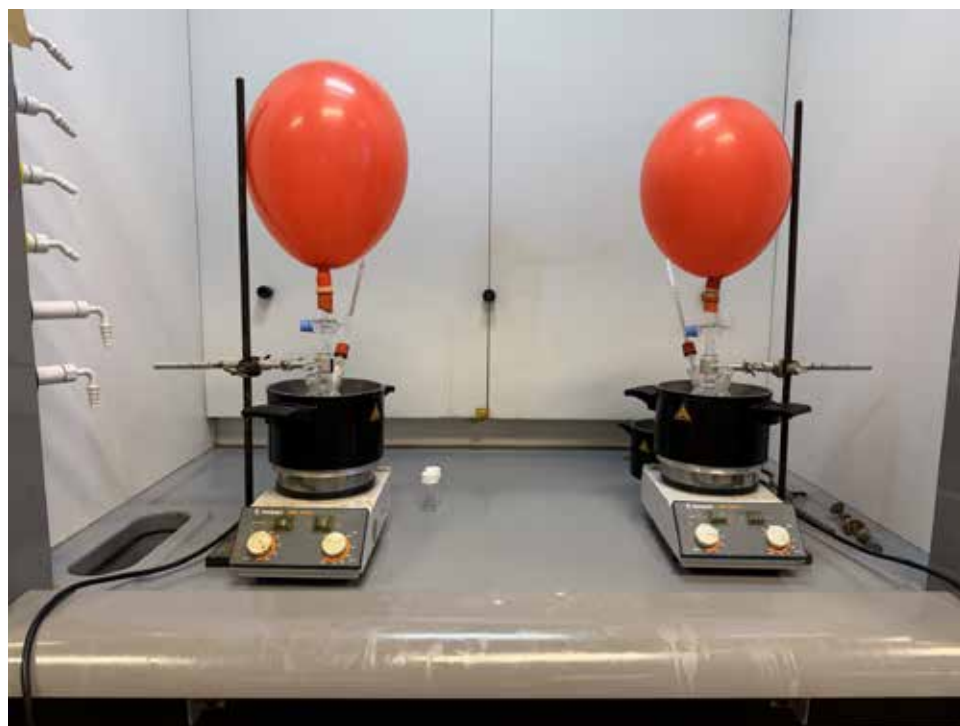
Om studenten kennis te laten maken met synthese op nanoschaal, optische karakterisering en de koppeling tussen structuur en emissie, werd een project opgezet. Binnen dit studentenproject rond nanomaterialen werd onderzocht hoe de kleur van cesium-loodhalogenide-perovskiet-quantumdots kan veranderen met de halogenidesamenstelling.

Dat quantumdots in 2023 de Nobelprijs voor Scheikunde opleverden aan Mounqi G. Bawendi, Louis E. Brus en Aleksey I. Ekimov toont hoe relevant deze materialen zijn. De experimenten vormen een actuele en tastbare introductie tot quantumchemische effecten in het chemie-onderwijs.

Perovskiet-quantumdots zijn uitgegroeid tot opvallende materialen binnen de nanochemie. Deze kleine kristallen van cesium-, lood- en halogenide-ionen combineren een eenvoudige synthese met sterke, zuiver gekleurde emissie die rechtstreeks afhankelijk is van hun samenstelling. Daardoor zijn ze ideaal om de relatie tussen structuur, samenstelling en quantumchemische effecten zichtbaar te maken.



**LOEK TORFS, NATHAN KENNIS, LANDER WUYTS, LARS CRUYPELINCK, WOUTER EGBERGHS, XANDRINE VANDROMME** zijn derdejaarsstudenten chemie aan de UC Leuven-Limburg.  
**TOM MORTIER** is lector chemie aan de UC Leuven-Limburg.



**Figuur 1.** Experimentele opstelling voor de synthese van  $\text{CsPbX}_3$ -quantumdots onder stikstofatmosfeer. Links bevindt zich de kolf met het groeimedium en rechts de kolf met de cesium-oleaatprecursor. De stikstofballonnen zorgen voor een inert gas boven het reactiemengsel en voorkomen zo oxidatie en hydrolyse van de reagentia.

De synthese vormt voor studenten een toegankelijke manier om nucleatie, kristalgroei en ion-uitwisseling in de praktijk te verkennen, terwijl de onmiddellijk waarneembare kleurveranderingen hun interesse en begrip vergroten.

De in dit artikel beschreven werkwijze is gebaseerd op een didactisch uitgewerkte procedure uit de *Journal of Chemical Education* en toont hoe hedendaagse materiaalchemie op een toegankelijke manier in het practicum kan worden geïntegreerd.

## Theoretische achtergrond

Quantumdots zijn halfgeleidende nanokristallen waarvan de elektronische eigenschappen wijzigen wanneer hun afmetingen dalen tot enkele nanometers. Door deze kleine schaal ervaren elektronen en gaten een ruimtelijke beperking (*quantumconfinement*) waardoor de bandgap toeneemt. Een grotere bandgap leidt tot emissie van licht met een kortere golflengte (meer naar blauw), terwijl een kleinere bandgap tot rood verschoven emissie leidt.

Bij cesium-loodhalogenide-perovskiet-quantumdots wordt de bandgap niet alleen bepaald door de kristalmaat, maar ook door de gebruikte halogeniden. Chloride, bromide en jodide hebben elk een karakteristieke invloed op de bandgap waardoor de emissie respectievelijk naar blauw, groen of rood verschuift. Door deze samenstelling te variëren, kan de kleur van de quantumdots nauwkeurig worden afgestemd over bijna het volledige zichtbare spectrum.

Samen illustreren *quantumconfinement* en halogenide-tuning hoe kleine veranderingen op nanoschaal leiden tot duidelijke optische verschillen. Dit maakt perovskiet-quantumdots bijzonder geschikt om fundamentele concepten uit de quantumchemie aanschouwelijk te maken.

## Synthese

De synthese van cesium loodhalogenide perovskiet quantumdots,  $\text{CsPbX}_3$ -quantumdots, gebeurt door een warme cesium-oleaat-oplossing snel te injecteren in een heet groei-medium dat loodhalogeniden bevat. Beide



Figuur 3. Fluorescentie van  $\text{CsPbX}_3$ -perovskiet-quantumdots onder UV-licht. De oplossingen vertonen uitgesproken emissiekleuren die overeenkomen met hun halogenidesamenstelling: van links naar rechts  $X = \text{Cl}, \text{Cl/Br}, \text{Br}, \text{Br/I}$  en  $\text{I}$ .

oplossingen worden onder een stikstof-atmosfeer bereid om te vermijden dat vocht of zuurstof de reactie verstoren. Figuur 1 toont de opstelling zoals die in het practicum werd gebruikt, met afzonderlijke kolven voor het groei-medium en de cesiumprecursor.

Voor de cesiumprecursor wordt 0,203 g cesiumcarbonaat verhit met 1,0 mL oleïnezuur en 10 mL 1-octadeceen tot ongeveer 150 °C. Zodra het zout volledig is opgelost, blijft de oplossing boven 100 °C zodat er tijdens de verdere synthese geen neerslag ontstaat.

Het groei-medium bestaat uit 1-octadeceen, oleylamine, oleïnezuur en 0,54 mmol van het gekozen loodhalogenide. Afhankelijk van het gebruikte halogenide komt dit overeen met 0,1502 g  $\text{PbCl}_2$ , 0,1982 g  $\text{PbBr}_2$  of 0,2489 g  $\text{PbI}_2$ . Omdat  $\text{PbCl}_2$  minder goed oplosbaar is, wordt een kleine hoeveelheid trioctylfosfine toegevoegd om de oplosbaarheid te

verbeteren. Na ontgassing wordt het mengsel verwarmd totdat een homogene oplossing ontstaat, waarna het tot ongeveer 170 °C wordt opgewarmd.

Wanneer het groei-medium een stabiele temperatuur van 170 °C bereikt, wordt ongeveer 0,55 mL van de warme cesium-oleaatoplossing snel geïnjecteerd. Deze injectie veroorzaakt de onmiddellijke nucleatie van  $\text{CsPbX}_3$ -clusters die vervolgens uitgroeien tot nanokristallen. Om ongecontroleerde groei te voorkomen wordt de kolf direct na injectie uit het oliebad gehaald.

## Materiaalchemie op een toegankelijke manier in het practicum



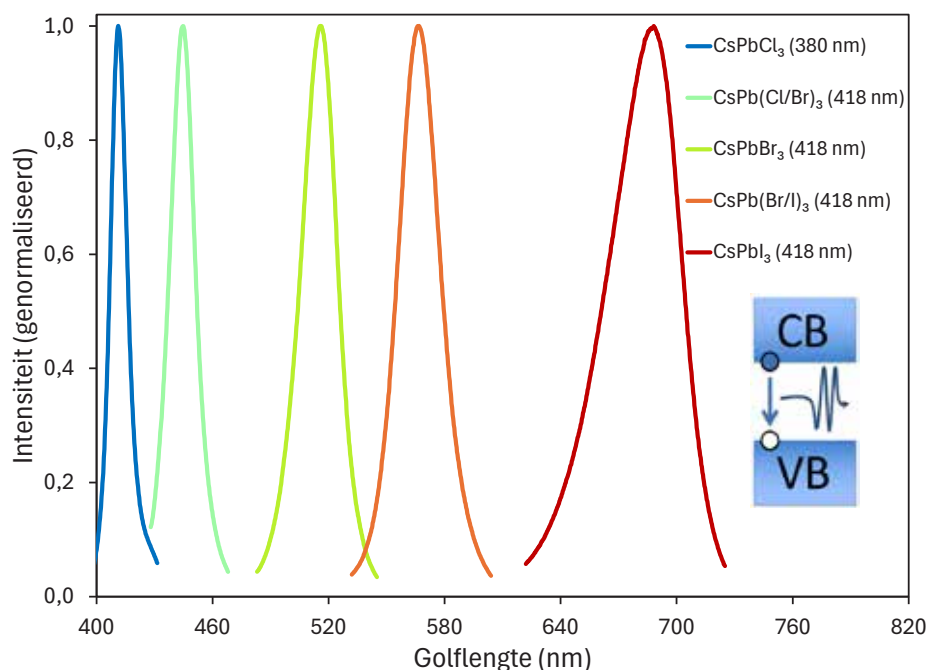
Figuur 2. Zichtbare kleur van  $\text{CsPbX}_3$ -perovskiet-quantumdots bij daglicht. De stalen zijn gerangschikt volgens halogenidesamenstelling van links naar rechts:  $X = \text{Cl}, \text{Cl/Br}, \text{Br}, \text{Br/I}$  en  $\text{I}$ . De variatie in oplossingskleur weerspiegelt de invloed van de halogenidesamenstelling op hun optische eigenschappen.

## Resultaten en karakterisatie

De gevormde  $\text{CsPbX}_3$ -quantumdots vertonen duidelijke kleurverschillen die rechtstreeks afhangen van de gebruikte halogeniden. Bij daglicht zijn deze verschillen zichtbaar in figuur 2.

De oplossingen variëren van vrijwel kleurloos voor  $\text{CsPbCl}_3$  tot diep oranje-rood voor  $\text{CsPbI}_3$  met tussenliggende tinten voor de gemengde halogenidesamenstellingen ( $\text{Cl/Br}$  en  $\text{Br/I}$ ). Deze oplossingskleuren vormen een eerste, kwalitatieve aanwijzing





Figuur 4. Genormaliseerde emissiespectra van CsPbX<sub>3</sub>-perovskiet-quantumdots met verschillende halogenidesamenstellingen. De emissiemaxima verschuiven systematisch naar langere golflengten van CsPbCl<sub>3</sub> naar CsPbI<sub>3</sub> en bevestigen kwantitatief de kleurvariëaties die zichtbaar zijn in figuur 2 en figuur 3.

een meer kwantitatieve bevestiging bieden van dezelfde trends. Op die manier vormt dit practicum een helder voorbeeld van hoe kleine chemische variaties leiden tot duidelijke en meetbare verschillen in materiaaleigenschappen.

### Besluit

De synthese van cesium-loodhalogenide-perovskiet-quantumdots biedt studenten een toegankelijke manier om de relatie tussen chemische samenstelling en optische eigenschappen te onderzoeken. Door halogeniden te variëren wordt de invloed van de samenstelling op de emissiekleur rechtstreeks zichtbaar, waardoor abstracte concepten zoals bandgap en quantumconfinement concreet worden. De combinatie van een eenvoudige synthese, duidelijke visuele observaties en een basisvorm van spectroscopische analyse maakt dit practicum tot een relevante en didactisch waardevolle toevoeging aan het onderwijs in hedendaagse materiaalchemie. ●

» voor de variatie in bandgap die optreedt wanneer het halogenide-ion in het kristalrooster verandert.

De emissiekleuren worden nog uitgesproken wanneer de stalen worden bestraald met UV-licht zoals weergegeven in figuur 3.

## Onderzoek naar de relatie tussen samenstelling en optische eigenschappen

De quantumdots vertonen hierbij karakteristieke emissiekleuren die overeenkomen met hun halogenidesamenstelling: blauw voor chloride, groen voor bromide en rood voor jodide, met tussenliggende emissies voor de mengsels. Deze fluorescentie vormt een directe visuele illustratie van hoe de samenstelling van de quantumdots de energie van het uitgezonden licht bepaalt.

De visuele observaties in figuur 2 en figuur 3 worden kwantitatief bevestigd door de emissiespectra opgenomen met een Shimadzu RF-5301PC-spectrofluorometer in figuur 4.

De spectra tonen een systematische verschuiving van het emissiemaximum naar langere golflengten naarmate de halogenidesamenstelling evolueert van Cl naar I. CsPbCl<sub>3</sub> vertoont een emissiepiek in het blauw gebied van het spectrum, terwijl CsPbI<sub>3</sub> een piek in het rood heeft. De spectra van Cl/Br- en Br/I-mengsels liggen tussen de respectievelijke eindpunten hetgeen de geleidelijke bandgapverschuiving aantoont. De in figuur 4 vermelde golflengten verwijzen naar de gebruikte excitatielichtbron tijdens de meting en bepalen uitsluitend de efficiëntie van de emissie-opwekking en bijgevolg niet de positie van het emissiemaximum.

Door de stalen zowel visueel als spectroscopisch te vergelijken, krijgen studenten een volledig beeld van de relatie tussen samenstelling, bandgap en optische eigenschappen. Zonder gespecialiseerde apparatuur kunnen zij al veel leren uit de oplossingskleur en fluorescentie, terwijl de emissiespectra

### BRONNEN

- Shekhirev, M., Goza, J., Teeter, J. D., Lipatov, A. & Sinitskii, A. (2017). *Synthesis of Cesium Lead Halide Perovskite Quantum Dots*. Journal of Chemical Education, 94(8), 1150-1156. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00144>
- Committee for the Nobel Prize in Chemistry. (2023). *Scientific Background to the Nobel Prize in Chemistry 2023*. The Royal Swedish Academy of Sciences. Beschikbaar op: <https://www.nobelprize.org/uploads/2023/10/advanced-chemistry-prize2023.pdf>
- Nedelcu, G., Protesescu, L., Yakunin, S., Bodnarchuk, M. I., Grotevent, M. J. & Kovalenko, M. V. (2015). *Fast Anion-Exchange in Highly Luminescent Nanocrystals of Cesium Lead Halide Perovskites (CsPbX<sub>3</sub>, X = Cl, Br, I)*. Nano Letters, 15(8), 5635-5640. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5b02404>



Ruben van Moppes studeerde Technische Natuurkunde, is geluidsadviseur bij een adviesbureau en tevens auteur bij het tijdschrift Zenit

# De 'wet' van Titius-Bode

Toen cabaretier Herman Finkers in zijn show deed alsof hij in gesprek was met prins Bernhard ontstond de volgende conversatie: Bernhard "Toeval bestaat niet." Ik "Toeval bestaat wel degelijk." Bernhard "Toeval bestaat niet." Ik "Toeval bestaat wel degelijk." (...) Nou, om van deze zinloze discussie af te zijn, zette ik mijn transistorradio aan. Op dat moment hoorde ik iemand zeggen: "Toeval bestaat niet." Nou, als dat geen toeval is weet ik het ook niet meer. (Uit: Dat heeft zo'n jongen toch niet nodig, 1992)

Orde en Regelmaat! Daar houden we van in de natuurwetenschap. We doen metingen, tekenen grafieken en leiden er wiskundig geformuleerde formules uit af. Ook in wat zich boven de aarde afspeelt zoeken we naar orde en regelmaat. Neem nu de afstanden van de planeten tot de zon. Toen Kepler in 1596 de op dat moment bekende planeetbanen in beeld had (Mercurius, Venus, aarde, Mars, Jupiter, Saturnus), viel hem al op dat er een planeet leek te ontbreken tussen Mars en Jupiter. Waar de afstanden tussen de vier binnenplaneten vrij klein zijn, is er namelijk ineens een groot 'gat' naar Jupiter. Ruim anderhalve eeuw later, in 1766, formuleerden de Duitsers Johann Titius en Johann Bode een formule waarmee je de afstand van elke planeet tot de zon kunt benaderen (waarbij de afstand van de aarde tot de zon is geschaald naar 1, de astronomische eenheid (AE)), zie de tabel:  $a_n = 0,4 + 0,3 \times 2^n$ .

En ook met die formule leek er een planeet tussen Mars en Jupiter te moeten zijn. Nu is het interessantste van natuurkundige wetten dat je er voorspellingen

mee kunt doen. Zeker toen in 1781 een nieuwe planeet werd ontdekt ( $n=6$ ): Uranus. De afstand tot de zon op deze schaal: 19,22 AE, een afwijking van minder dan 2%! Dan moest die ontbrekende planeet tussen Mars en Jupiter ( $n=3$ ) ook gevonden kunnen worden.

Voor wie nog steeds niet geloofde dat we hier met een wetmatigheid te maken hadden, werd op 1 januari 1801 inderdaad de vermiste planeet ( $n=3$ ) ontdekt tussen Mars en Jupiter. Het was Ceres, op een afstand van 2,77 AE, slechts 1% van de door de formule voorspelde afstand. Wel was er met Ceres iets raars aan de hand. De planeet bleek wel heel erg klein, de diameter was nog geen 1000 km, slechts een derde van onze maan. En in de jaren daarna bleken er nog veel meer kleine planeetjes te zijn tussen Mars en Jupiter (waardoor ze al snel de aanduiding 'planetoïde' kregen). Het zonnestelsel was minder ordelijk dan gedacht!

Aangekomen in het midden van de 19e eeuw awist de wetenschap de 'wet' van Titius-Bode te falsifiëren. Zoals je weet dat de stelling 'alle zwanen zijn wit' niet klopt zodra je een zwarte zwaan vindt, zo werd de 'wet' van Titius-Bode tot 'regel' gedegradeerd toen in 1846 Neptunus ontdekt werd. Titius-Bode voorspelt een afstand van 39 AE, maar het zijn 'maar' 30 AE. Ook werden er in de 20e eeuw steeds meer kleine planeetjes op afwijkende locaties ontdekt, zoals Pluto, Chiron (tussen Saturnus en Uranus in), en allerlei objecten buiten de baan van Neptunus.

Los van het feit dat de formule steeds minder goede voorspellingen gaf, had (en heeft) ook niemand een natuurkundige verklaring voor die formule, of waarom er überhaupt een dergelijke formule zou zijn. Dus ja, leuk zo'n elegante wiskundige formule, maar Herman Finkers had gewoon gelijk: toeval bestaat.

Planeet	n	Afstand tot zon (AE) werkelijk	Afstand tot zon (AE) Titius-Bode = $0,4+0,3 \times 2^n$
Mercurius	$-\infty$	0,39	0,4
Venus	0	0,72	0,7
Aarde	1	1,00	1,0
Mars	2	1,52	1,6
Ceres	3	2,77	2,8
Jupiter	4	5,20	5,2
Saturnus	5	9,58	10,0
Uranus	6	19,22	19,6
Neptunus	7	30,07	38,8

De (geschaalde) afstanden van de planeten tot de zon en de voorspelde waarde volgens de 'wet' van Titius-Bode uit 1766. Ceres (1801), Uranus (1781) en Neptunus (1846) zijn ontdekt nadat de formule is bedacht.

# Hoe gebruik je je Binas-tabellenboekje op vmbo?

Al bij de start van het Binas-tabellenboekje voor het vmbo hebben de samenstellers vanuit hun ervaring een document gemaakt waarin leerlingen wegwijs werden gemaakt, met daarachter examenvraagstukken (examentraining) waar het Binas-tabellenboekje bij nodig was. Dat was een hele tijd beschikbaar op de site van Noordhoff onder het kopje 'Oefenen met Binas'.

Na enkele jaren werd dit document door Noordhoff verplaatst naar een andere gedeelte van de website. En nu, alweer een hele tijd geleden, sinds de komst van de tweede editie, blijkt dat het onvindbaar is. Omdat ik zelf graag ook de controle houd over wat mijn leerlingen doen, en hebben gepresteerd, heb ik een handleiding geschreven gebaseerd op wat al bekend was.

Doordat ik nu al veertien jaar als zzp-er les geef aan voornamelijk examenklassen kom ik in nogal wat verschillende scholen. Daar is mij gebleken dat de onwetendheid over Binas groot is. Regelmatig kreeg en krijg ik te horen: "O, staat dat ook in Binas?" Leerlingen die alleen natuurkunde hebben, kijken niet verder dan het blauwe gedeelte, terwijl bij scheikunde tabel 37 'samenstelling van legeringen' staat die zij ook veel moeten gebruiken. Andersom, leerlingen die alleen scheikunde hebben, kijken alleen naar het rode gedeelte, terwijl veiligheidspictogrammen ook in het blauwe natuurkunde gedeelte staan. Dat er ook iets over wiskunde, zoals het metriek stelsel, in het algemene gedeelte (paars) staat, weet men dan vaak ook niet.

Een voorbeeld dat ik het laatst meemaakte. Leerlingen moesten tabel 15 gebruiken, dat stond in de opdracht. De leerlingen moesten aan de hand van deze tabel bepalen of koper vloeibaar of vast was bij een temperatuur van 1100 °C. Ik zag dat er na een kleine vijf minuten nog steeds leerlingen waren die niets hadden opgeschreven. Ik ging naar een van hen toe. "Waarom kun jij niet verder?"

**1 Veel gebruikte waarden**

naam	symbool	afgeronde waarde
valversnelling	$g$	10 m/s <sup>2</sup> op aarde
	$g_{maan}$	1,6 m/s <sup>2</sup> op de maan
dichtheid	$\rho$	1,0 g/cm <sup>3</sup> (water bij 277 K)
lichtsnelheid	$c$	3,0 · 10 <sup>8</sup> m/s
geluidssnelheid	$v_{geluid}$	343 m/s in lucht bij 293 K
standaarddruk	$p_0$	1,0 · 10 <sup>5</sup> Pa
absolute temperatuur	$T$	0 K = -273 °C
kamertemperatuur	$T$	293 K = 20 °C
pi	$\pi$	3,14

**37 Samenstelling van legeringen**

legering	samenstellende metalen	enkele toepassingen
amalgam	kwik met ander metaal	zilveramalgam om tanden en kiezen te vullen
brons	koper en tin	munten, beelden, kerkklokken
duraluminium	aluminium, koper en magnesium	kookpannen, in de vliegtuigindustrie
messing	koper en zink	waterkranen
nieuw zilver	koper, nikkel, zink en ijzer	tafelbestek
nordic gold	koper, aluminium, zink en tin	eurocenten (10, 20 en 50)
roestvast staal	ijzer en chroom (of nikkel) en koolstof (= niet-metaal)	tafelbestek, machineonderdelen
soldeer	tin en lood	metalen solderen
staal	ijzer, mangaan en koolstof (= niet-metaal)	fietsframes, staalbalken, in de autoindustrie

Het antwoord was dat de tabel het smeltpunt in kelvin weergaf, terwijl in de opdracht °C stond. Omdat ik om me heen nog een paar hoofden zag knikken, verwees ik hen naar tabel 1: 'Veel gebruikte waarden'. Het zien van een paar dankbare blikken deed me goed. De les daarop heb ik mijn handleiding geko-

pieerd en daaraan een hele les besteed. Nu maar hopen dat ze deze blijven gebruiken, want ik zie ze niet meer. Mijn invalperiode is weer voorbij. De handleiding staat op de NVON-website bij dit artikel. Mijn wens is dat deze handleiding zijn weg vindt in het onderwijs. ●

# Wandelend vergaderen

Ik weet niet wie zich tijdens een vergadering op school wel eens heeft zitten vervelen? Ik wel! Wandelend vergaderen is dan een optie waarover ik meer wilde weten. Een gesprek met Martine de Vaan, bedenker van 'weeting', een concept en werkvormen voor wandelmeetings.



Studenten tijdens een walking seminar

*Wanneer is wandelend vergaderen, aan te bevelen?*

Als je iets uit een statische groep wilt halen, blijven het altijd dezelfde mensen die aan het woord zijn. Tijdens het wandelen is het veel gemakkelijker om mensen die anders zich op de achtergrond houden aan het woord te laten komen.

Het is altijd goed om eenvoudig te beginnen, bijvoorbeeld met een collega met wie je geregeld overleg hebt. Daarvoor kun je het best een vast moment afspreken. Wat ook heel goed kan, is wandelen tijdens een congres of andere grotere bijeenkomst. Het risico van teveel 'zenden' is daar groot en je ziet voor je ogen deelnemers afhaken. De '1-2-all'-werkvorm is dan perfect. Je begint plenair, verdeelt de deelnemers in duo's of kleinere groepen en geeft ze een opdracht mee. Laat ze eerst kort alleen nadenken. Vervolgens kunnen ze naar buiten en, al lopend, praten. Je sluit plenair af, buiten in een kring (de 'all'), en zult merken dat veel meer mensen 'aan' staan en iets willen inbrengen.

*Je doet het met minimaal twee personen. Wat is de maximale groeps grootte?*

Je moet naast elkaar kunnen lopen en elkaar verstaan. Meestal is drie het maximum. In de praktijk hoeft groeps grootte geen probleem te zijn, want een grotere groep kun je in kleinere groepen opdelen.

*Kun je het toepassen tijdens een college of les? Jazeker! Dat hoeft niet ingewikkeld te zijn:*

laat leerlingen bijvoorbeeld na jouw toelichting in een kort rondje aan elkaar vertellen wat ze geleerd hebben of nog niet snappen. En als je dan weer plenair verzamelt kun je ophalen wat er in de groepjes is besproken. Dan beklijft de kennis ook beter. Uit onderzoek is gebleken dat bewegen en leren tegelijkertijd echt beter resultaat geeft. In Zweden is onderzoek gedaan naar walking seminars en de waardering van de studenten was enorm: 78% vond de discussies beter, 82% voelde zich beter na het seminar, en 72% vond dat de gelegenheid om te spreken was verbeterd. Een docent gaf terug dat hij zelf minder gelegenheid had om te spreken, maar vond dat een verbetering, haha.

*Hoe doe je dat met aantekeningen?*

Je reserveert tijd aan het eind om – staand of zittend – de belangrijkste conclusies en acties op te schrijven of in te spreken. Je kunt ook het hele overleg opnemen op je telefoon en gebruik maken van AI, maar dat werkt wel geestelijke luiheid in de hand.

*Zijn er specifieke situaties waar wandelend vergaderen aan te bevelen is?*

Daarbij denk ik aan de 'President's walk' zoals Obama vaak deed. Dat is perfect geschikt voor korte en ad hoc overleggen waarvan je niet weet hoe lang ze duren. Hij liep bij gesprekken met zijn adviseurs een rondje om de vijver en herhaalde dat tot ze er uit waren. Ook als het gaat om gevoelige onderwerpen,

of manager-medewerkeroverleg, is praten tijdens een wandeling, ik noem het liever *weeting*, vaak makkelijker: je hoeft elkaar niet aan te kijken en je loopt letterlijk dezelfde kant op. Daardoor ontstaat een totaal andere dynamiek.

*Wanneer doe je het niet?*

Wanneer je met een grote groep bent waarin veel stukken moeten worden besproken. Of wanneer je met een grote groep bent waarbij iedereen de hele vergadering plenair moet meemaken. Het kan ook lastig zijn als het gaat over machtsverhoudingen: dan wil je niet dat je gesprekspartner 35 cm boven je uit toort. En blijf lekker binnen als het echt hondenweer is. ●

.....  
 Doe donderdag 2 april mee met de Wandel Tijdens Je Werkdag! Een jaarlijks terugkerend landelijk event, waaraan steeds meer organisaties mee doen. Meer informatie en campagnemateriaal vind je hier: [www.wandelnet.nl/wandel-tijdens-je-werkdag](http://www.wandelnet.nl/wandel-tijdens-je-werkdag)  
 .....

## Meer informatie:

De Vaan, M. (2021). *Walk Your Meeting. Productiever overleg, meer bewegen en vaker naar buiten met weeting*. Boom [www.wandelnet.nl/weeting](http://www.wandelnet.nl/weeting)

# Informatica bevrijden van de informatici

## Een interview met Felienne Hermans

Op de nlt-conferentie van 12 februari in Ede was prof. Felienne Hermans keynote speaker. Ze is hoogleraar didactiek van de informatica aan de Vrije Universiteit Amsterdam, en docent informatica op de Open Schoolgemeenschap Bijlmer.

Felienne is toonaangevend onderzoeker op het gebied van programmeeronderwijs. Om de leden van de NVON kennis met haar te laten maken is een interview hier op zijn plaats.

**N**a haar studie Computer Science and Engineering aan de TU Eindhoven promoveerde Felienne in 2013 aan de TU Delft op een onderzoek naar de rol van spreadsheets in het bedrijfsleven. Ze werkte vervolgens aan de TU Delft en later aan de Universiteit Leiden, waar ze het Programming Education Research Lab (PERL) oprichtte. Haar onderzoek richt zich op hoe mensen – van kinderen tot professionals – beter kunnen leren programmeren, met speciale aandacht voor misconcepten en toegankelijkheid. Ze zet zich bovendien in voor open en inclusief leren. Ze schrijft regelmatig voor diverse Nederlandse kranten en tijdschriften, en sinds de zomer van 2025 maandelijks voor de Volkskrant. Sinds begin 2025 publiceert ze iedere week een nieuwsbrief met AI-nieuws dat haar die week opviel, en ook oudere stukken en boeken- en filmtips.

Felienne ontving diverse prijzen, waaronder de SURF Education Award (2017). In 2021 kreeg ze de Nederlandse Prijs voor ICT-onderzoek (2021) wegens “haar onderzoek naar het toegankelijk maken van informatica en programmeren voor een breed publiek, alsmede voor haar pionierende

rol in het vestigen van een nieuwe richting binnen het Nederlandse ICT-onderzoek en onderwijs”.

*Hoe vind je de tijd voor al je activiteiten?*

Vaak hebben mensen het idee dat ik veel verschillende dingen doe, maar ik doe eigenlijk maar één ding: nadenken over goed onderwijs en in het verlengde daarvan een goede wereld. Dat komt terug in mijn eigen praktijk op school en op de VU, en in de stukken die ik schrijf voor de krant en in wetenschappelijke tijdschriften. Ik stop daar gewoon de tijd in die ik heb, en dat is het. Er is geen magisch trucje, ik geef er gewoon echt om. En ik sport bijna iedere dag, dan bedenk ik meestal mijn beste stukken, de rest van de dag is meer uitwerken wat ik al bedacht heb in de morgen.

*In hoeverre speelt gender een rol in je werk, zowel op de universiteit als op school?*

Op de school waar ik werk speelt het nauwelijks. Maar toen ik informatica studeerde, was het wel iets dat opviel: we waren met maar twee meisjes. En als je dan een keer een college had gemist, werd meteen gevraagd: “Waar was je?” Dat gebeurde bij de jongens nooit, maar die waren ook met veel meer,

dus als van hen eentje miste, viel het niet op. Het was vaak wel onderdeel van de manier waarop naar me gekeken werd. We werden aangesproken met ‘meneer’ en ‘mevrouw’ of zelfs met ‘mejuffrouw’ door sommige oudere docenten, en dus was mijn geslacht altijd aanwezig in de collegezaal. Pas veel later ging ik me afvragen wat dat eigenlijk met mij of met andere studenten deed.

*Heb jij ook last (gehad) van een glazen plafond?*

Niet echt, ik was al heel vroeg hoogleraar (ik was 37). In het pad erheen wel. Meestal gebeurde dat onderhuids: Ben je wel technisch genoeg? Kun je het wel aan? Vroeger kon je duidelijk wijzen waar het onrecht zat. Het is nu veel minder zichtbaar, zoals je kunt zien aan de ervaringen van Daphne Stam die werd gepasseerd door een minder gekwalificeerde man (zie ook NVOX 10, 2024).





## Een programmeertaal gemaakt voor kinderen

Mannen krijgen nog steeds vaak een hoger salaris, omdat zij kostwinner zijn en een vrouw 'heeft het geld niet echt nodig'. Dat was zo in de jaren zeventig, maar dat horen vrouwen ook vandaag de dag nog!

### Het onderwijs

*Hoe kwam je op het idee om zowel in het vo als in het wo te werken?*

Ik bleef na mijn promotie werken op de TU Delft, maar het werk vond ik niet altijd bevredigend. Alleen zuivere wetenschap was me te abstract en te koud, dus zocht ik naar iets erbij waar ik meer direct het nut van in zou zien. Ik werkte als vrijwilliger al met kinderen en daar beleefde ik plezier aan, dus ging ik op een school werken. Het was ontsnappen aan de dwang van de wetenschap. Ik ben in beide rollen blijven plakken – en de combinatie bevalt me uitstekend.

*Wat is het belangrijkste verschil tussen je werk als hoogleraar en als docent in het vo?*

Er zijn heel veel verschillen. Een van de grootste is het leeftijdsverschil tussen leerlingen en studenten: studenten zijn meestal jongvolwassenen die op een specifiek doel gericht zijn, op school komen de kinderen in de brugklas vanaf een jaar of twaalf, die zijn nog volop in de groei en in hun ontwikkeling. Een ander verschil is dat je op een school als team naar een en hetzelfde doel toewerkt: het eindexamen. Je hebt er een gedeelde

verantwoordelijkheid. Op de universiteit zijn mensen veel meer gericht op hun eigen, individuele specialisatie, het onderwijs is voor velen bijzaak. Dat verbaasde me echt.

*Is er ook sprake van een wederzijdse beïnvloeding?*

Jazeker! Ik heb een programmeertaal gemaakt voor kinderen. De bestaande zijn niet goed afgestemd op de doelgroep: kinderen van tien tot veertien jaar. De door mij ontwikkelde taal (Hedy.org) is daar juist voor gemaakt.

*Zouden meer hooggeleerden jouw voorbeeld moeten volgen?*

Jazeker! Het boek van Jacquelin Bulterman, *Het lerarentekort. Pleidooi voor vakmanschap*, geeft een heel goed beeld van de noodzaak om meer vakmensen voor de klas te krijgen.

Het zou heel goed zijn als wetenschappers zich meer in het secundair onderwijs zouden laten zien. Dat kan kinderen stimuleren om later een functie in de wetenschap te vinden en het zou ook het aanzien van het leraarschap kunnen verbeteren en dat heeft dan weer invloed op de aantrekkelijkheid van een baan voor de klas.

Er zijn meer wetenschappers dan ooit, waarschijnlijk zouden sommigen zich nuttiger kunnen maken en meer werkplezier hebben in andere vormen van onderwijs.

*Hoe groot acht jij de rol van informatica in de bètavakken? Wordt die groter of kleiner? En wat moeten we als onderwijsgeevenden doen?*

Die associatie met uitsluitend bèta moet nu juist weg! Informatica is voor alle vakken noodzaak en moet breed inzetbaar zijn: dus voor ALLE vakken en profielen.

### Leren programmeren of niet?

*Is het in deze tijd van AI nog wel nodig om te leren programmeren?*

Ja juist! Als ze kunnen programmeren, kunnen leerlingen hun eigen apps maken. Zo zijn ze onafhankelijk van Big Tech en van ongewenste invloeden. Bovendien doen ze



>>> zo nuttiger dingen en kunnen ze constructief bijdragen aan een betere maatschappij. Ik vind dat in de samenleving veel te veel blindelings geconsumeerd wordt, denk aan weggooi-kleding en andere rommel waarmee de markt wordt overspoeld. Je kunt zoveel duurzamer leven door goede en verantwoorde zaken te gebruiken en er zou veel meer gerepareerd moeten worden in plaats van weggegooid, ook in de digitale wereld. Toen ik laatst een lezing gaf voor docenten informatica was er maar eentje die een eigen app op zijn telefoon had!

*Wat kan een docent zonder technische of ICT-achtergrond doen om toch goed programmeeronderwijs te geven?*

Waarom moet die dat doen? Laat hem zijn eigen vak goed geven. En huur iemand in voor de computervaardigheden, zoals programmeren.

*Wat zou je een jongere collega als belangrijkste advies geven?*

Doe wat je leuk vindt, en blijf er plezier in houden. Als jij het leuk vindt als docent, gaan je leerlingen met je mee.

## Het gebruik van AI

*Ik las dat jij redelijk huiverig bent voor het gebruik van AI. Dat begrijp ik, maar in bepaalde gevallen vind ik het toch wel gemakkelijk. Wat is jouw mening?*

Jij gebruikt AI als een hulpmiddel, je bezit er de noodzakelijke kennis over. En je kent je vak, je weet wat je aan het doen bent. Jij hoeft er niet van te leren. Leerlingen wel. Gemak is niet altijd de beste raadgever. Bovendien kost AI veel water en veel stroom, bronnen die eindig zijn. Je moet dus wel zeer selectief blijven.

*Hoe kunnen we onze leerlingen het beste leren omgaan met AI?*

Door het niet te gebruiken. De kinderen zitten op school om zich te ontwikkelen, niet om op een aantal knoppen te drukken. We moeten de leerlingen minimaal voldoende leesvaardigheid bijbrengen en feitenkennis bieden. Juist ten tijde van AI! Je hebt taalvaardigheid nodig om te kunnen begrijpen wat je leest, en feitenkennis om te kunnen controleren wat je wordt voorgeschoteld.

*En met de gevaren van internet?*

Met een combinatie van voorlichten en reguleren.

*Zelf vraag jij je af: Waarom bouwt nu nog niet iedereen mee aan de digitale wereld (bijvoorbeeld meisjes en vrouwen)?*

Dat gebeurt door uitsluiting. De curricula moeten minder technisch worden. 'Bouwen, bouwen, bouwen', trekt meisjes niet aan, die geven veel vaker om bredere impact. Vroeger zeiden ze: 'Een slimme meid is op de toekomst voorbereid', maar de toekomst is helemaal niet op slimme meiden voorbereid, want die toekomst zit duidelijk niet te wachten op meiden die kritisch zijn op technologie.

## Informatica is voor ALLE vakken en profielen noodzaak

### Over boeken en lezen

*Ik begreep uit je blogs dat je een lezer bent.*

*Waarom geef je de voorkeur: papier of digitaal?*

Digitaal, maar dan wel in een handzame e-reader, die ik altijd bij me kan hebben.

*Welke boeken moet iedereen gelezen hebben?*

Dat ligt aan wie je bent, wat je weet en waarom je leest. Het idee dat er een paar echte klassiekers zijn vind ik niet zo zinnig, er zijn zoveel smaken!

*Welke boeken vind jij echt tijdverspilling?*

Ik begin aan een boek en als ik het fantastisch vind lees ik door, maar als ik het niets vind, stop ik. Maar als ik iets neerleg, wil dat nog niet zeggen dat het voor iedereen tijdverspilling is. Als je er van geniet, heerlijk toch? Ook als het zogenaamd 'pulp' is!

*Wat lees je zelf in je vrije tijd? (Als je die hebt)*

Non-fictie en dingen over mijn vakgebied, en ter ontspanning een goede roman. Ik vond *Narcis* van Judith Fanto een van de mooiste boeken van 2025.

### Tot slot

*Wat is je grootste wens voor de toekomst als het gaat om je werk?*

Dat we informatica bevrijden van de informatici. In de *New York Times* schreef een hoogleraar informatica: "Door programmeren komen onze studenten erachter dat er een absolute waarheid bestaat." Dat is echt een probleem. De wereld is zo niet simpel. Er zijn zoveel waarheden en er is niet overal een simpele oplossing voor, en juist door de inzet van informatica en door zelf te programmeren is de impact op de maatschappij te onderzoeken.

*Wat verwacht je van de toekomst?*

Niet veel goeds, nee. De vraag is waardoor we aan ons eind komen. Fascisme overal? Het klimaat? Ik weet het niet.

*Laatste vraag: Wat zou jij jezelf gevraagd hebben als je mij was?*

Wat is het belangrijkste dat je over je vakgebied had willen weten voor je begon aan je studie. En mijn antwoord zou zijn dat ik niet had gedacht dat ik er minder soorten weten van zou leren. Aan het einde van je studie kun je alleen nog maar meten, maar niet meer dingen van verschillende kanten belichten, dat trainen ze er echt uit. En juist dat is nodig in een complexe wereld. ●

### BRONNEN

- Bulterman, J. (2023). *Het lerarentekort. Pleidooi voor vakmanschap*. Amsterdam University Press.
- Offereins, M. (2024). *Huygens over exoplaneten. Een interview met Daphne Stam*. In *NVOX* 49(10), 48-50.
- Yadegari, S. en van Heur, R. (2024). *Keuzevrijheid voor alle leerlingen*. In *NVOX* 49(10), 68-70.

# De bel en de klepel

## Herinnering van Harry van Heerwaarden, docent natuurkunde

Je ouders hebben een stoffenzaak en staan elke dag op de markt om de mooiste stoffen aan de man of vrouw brengen: warme, zachte, ruwe, vaak met vrolijke, kleurrijke prints. En dan krijg je je eerste scheikundeles. Je docent zegt: "Ik ga nu twee stoffen bij elkaar doen; kijk eens hoe die reageren." Wat er in die reageerbuisjes zit, herken je niet als stoffen. Stoffen horen helemaal niet in een buisje. Je bent danig in verwarring gebracht. Heb je je ouders altijd verkeerd begrepen of begrijp je je leraar niet?

We gebruiken homoniemen waarvan de leerlingen de betekenis nog niet kennen

### Homoniemen

Zonder ons ervan bewust te zijn komen we dagelijks homoniemen tegen: woorden die verschillende betekenissen kunnen hebben. Die betekenissen kennen we en naargelang de context kiezen we onbewust de juiste uit. Bovenstaande leerling kent maar één betekenis (misschien nog een tweede) maar niet de scheikundige, want met die context heeft hij/zij nog nooit te maken gehad. Van stoffen maak je kleding en op de vensterbank ligt ook wel eens stof. Waarom staat je nieuwe docent in die eerste scheikundeles er niet even bij stil dat hij een homoniem gebruikt? Ook in de wiskundeles wordt onvermijdelijk



Harry van Heerwaarden

vakjargon gebruikt:  $f$  is een functie van  $x$ . Een leerling die dat voor het eerst hoort, zal dan gauw denken aan de functie die zijn vader of moeder bekleedt of aan de functies op zijn telefoon. Dat  $x$  ook een functie kan hebben en dat die functie  $f$  is, komt hem heel vreemd voor. "Heeft 'functie' soms nog een andere betekenis? Waarom zegt die docent dat niet? Of begrijp ik het niet?"

Met enige regelmaat gebruiken we homoniemen waarvan de leerlingen de betekenis die wij er in ons vak aan geven, nog niet kennen. Welk beeld wordt er bij een leerling opgeroepen als we het hebben over een 'lichaam' dat geheel of gedeeltelijk wordt ondergedompeld in een vloeistof? Als docent hoef je echt niet elke keer als je het woord 'lichaam' gebruikt erbij te vermelden wat je ermee bedoelt. Toch

helpt het als je je realiseert dat de leerling die dit voor het eerst hoort, er een andere voorstelling bij zal hebben. En wat te denken van 'een star lichaam' of 'een zwart lichaam'?

### De bel

Natuurlijk zijn het niet alleen vaktermen die homoniem kunnen zijn. Ze komen overal voor. Harry van Heerwaarden legde in één van zijn eerste lessen uitvoerig uit hoe een gasbel in eerste instantie wordt opgespoord en vervolgens wordt aangeboord. "Aan het eind van mijn verhaal vroeg ik of er nog vragen waren. Een leerling stak zijn vinger op en zei: "Ja, meneer. Als die bel aangeboord wordt, gaat hij dan ook klingelen?" Harry wist te voorkomen dat de hele klas in een hilarisch gelach zou uitbarsten. "Gelukkig voelde de leerling zich ook in latere lessen vrij om vragen te stellen, meestal heel slimme." ●

### OPROEP

Ook een leuk voorval meegemaakt dat je graag met je collega's wilt delen? Dat kan over een specifieke leerling gaan, een les, een practicum, een nieuw inzicht, maar natuurlijk nog veel meer. Als het maar inspirerend en positief is. Laat het even weten door een mail te sturen naar [redactie@nvo.nl](mailto:redactie@nvo.nl). De redactie zal vervolgens telefonisch contact met je opnemen en van jouw herinnering een verhaal maken voor een volgende NVOX.

# 4TU.Schools: gratis lesmateriaal

## Universitaire contexten voor scheikunde

In het januarinumnummer van NVOX heb je kennis kunnen maken met de lessen van 4TU.Schools. Dat artikel behandelde met name de natuurkundige lessen. Dit artikel gaat over de lessen die bruikbaar zijn bij scheikunde.

Op de website [www.4tuschools.nl](http://www.4tuschools.nl) enthousiasmeren de vier technische universiteiten van Nederland (TU Delft, TU Eindhoven, UTwente en Wageningen Universiteit en Research) docenten en hun leerlingen met inspirerende online lessen voor bètavakken – en misschien zelfs voor een studie aan een TU. Er staan ruim zeventig kant-en-klare lessen online, boordevol inspiratie en met passende filmpjes, vragen en opdrachten. De lessen zijn door hun actuele, vaak universitaire, contexten een inspiratie voor jouw leerlingen. Dit is wat ze met de kennis uit jouw lessen later kunnen gaan doen. Voor het vak scheikunde staan er inmiddels tien lessen klaar. We lichten er hier een paar uit.

### Badeendje en onderwaterlijm

Waarom blijft een zeepok of een mossel onder water plakken, en laat een pleister na handenwassen gelijk los? Via datamining en machine learning hebben wetenschappers een krachtige hydrogel ontwikkeld die als onderwaterlijm kan dienen. Daar komt ook scheikunde bij kijken. Wat dat badeendje met onderwaterlijm te maken heeft, blijkt aan het eind van de les. Deze les is geschikt voor klas 4 of 5 van havo en vwo.

Leerlingen denken eerst na over het nut van een onderwaterlijm, om vervolgens te ontdekken dat de natuur (mossels bijvoorbeeld) de oplossing al heeft. Wetenschappers hebben natuurlijke onderwaterlijmen als basis gebruikt voor hun zoektocht naar een synthetische onderwaterlijm. Ze werken met synthetische 'aminozuren', waarvan de



Figuur 1. Het beginscherm van de les 'Badeendje: Hoe blij je natuurlijk plakken?'

structuur in de les aan bod komt. Via machine learning – dat proces wordt ook helemaal toegelicht – selecteren wetenschappers de meest kansrijke hydrogel, die ze vervolgens gaan testen. En hoe doen ze dat? Door een badeendje vast te lijmen in de branding en te kijken hoe lang het blijft plakken!

Daarna gaat de les dieper in op scheikundige eigenschappen (hydrofobe/aromatische/positief geladen groepen) waarbij de leerlingen zelf op onderzoek gaan. Tenslotte komen praktische toepassingen van zo'n lijm aan bod zoals het dichten van operatiewonden of het uitvoeren van noodreparaties bij windmolens op zee.

Elke les eindigt met verwijzingen naar opleidingen die aansluiten bij het onderwerp van de les.

### PFAS: Nobelprijs?

PFAS, de 'forever chemicals' zijn vrijwel niet te verwijderen uit het milieu. Ze hebben geweldige eigenschappen, maar die eigenschappen maken ze ook zeer slecht afbreekbaar. Deze les gaat over de scheikunde achter deze stoffen en laat leerlingen nadenken over het verwijderen van PFAS uit onze omgeving. De les is geschikt voor de bovenbouw van havo en vwo.

Leerlingen weten vaak niet wat PFAS zijn en waarom deze stoffen zo'n slecht imago hebben. Leerlingen kunnen somber worden door alles wat er niet goed gaat in deze wereld. Daarom focust deze les op oplossingen: hoe krijgen we PFAS weg?

Eerst leren ze wat PFAS zijn, en waarom ze



Figuur 2. Het beginscherm van de les over PFAS geeft een hint van het probleem



Figuur 3. Zoals elke les van 4TU.schools begint ook de les over stikstof met een vraag

'forever chemicals' worden genoemd. Via een sleepvraag ontdekken ze waar PFAS allemaal wel of juist (nog) niet in zit. Zelf schrok ik van het feit dat magnetronpopcorn PFAS bevat; mijn kinderen hebben dat best veel gegeten...

De les vervolgt met een tijdslijn over PFAS; het leek in de jaren 50 van de vorige eeuw zo'n superhandige verbinding (eigenlijk een verzameling van stoffen, maar voor het gemak noemen we ze allemaal PFAS). In de jaren 60 bleek al dat PFAS niet onschuldig was, maar tot op heden wordt er weinig ondernomen om deze stoffen te weren uit het milieu. Hoe PFAS overall in onze omgeving terecht komt, blijkt uit een infographic met PFAS-stromen.

Dan bekijken de leerlingen via molview.org de structuurformules van PFOA en PFOS, en beantwoorden ze enkele vragen. Nu ze een beter beeld hebben van de stof, gaan ze na-

Denise Brand, docent scheikunde (KSE Etten-Leur): "Voor mijn PFAS-project voor klas 4 zocht ik nog een goede inleidende les. De 4TU.Schools-les 'PFAS: Nobelprijs voor chemie of nie?' was kant-en-klaar met video's en duidelijke uitleg. Om de les op mijn project aan te laten sluiten hoefde ik maar 1 of 2 slides een beetje aan te passen. In deze les komen scheikunde en burgerschap samen. Zo ben ik ook aan het kijken naar de les 'Kun je met een plant je mobieltje opladen?'. Met deze les kan ik heel mooi aan 5-vwo de toepassingen laten zien van redoxreacties. Voor de leerlingen van 5-vwo is het zien van een toepassing van wat zij leren bij scheikunde natuurlijk erg belangrijk voor het maken van een studiekeuze."

denken over oplossingen. Het is 2040. De les bevat een opdracht met verschillende keuzemogelijkheden: een positief en een negatief scenario, en een uitwerkvorm als poster of krantenartikel. De les sluit positief af met een filmpje over het maken van bakstenen uit met PFAS vervuilde grond; door de hitte die nodig is om bakstenen te maken lukt het om van het PFAS af te komen.

### Stikstof: Wat is het probleem?

Dit is een voorbeeld van een pittige onderbouwles. Het is een les over stikstof in de lucht en op het land. Leerlingen leren reactieschema's opstellen en omzetten in kloppende reactievergelijkingen. Ze verdiepen zich in reactieve stikstofverbindingen zoals  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  en kunstmest, en hun vorming/reacties. De les koppelt chemie aan een maatschappelijk relevant onderwerp: het stikstofprobleem. Leerlingen onderzoeken de impact van chemische stoffen op milieu en gezondheid.

De leerlingen krijgen krantenartikelen met 'stikstof' in de kop te zien, maar weten ze wel om welke (vorm van) stikstof het gaat? Wat zegt de wetenschap hierover? Via een opdracht in expertgroepen verdiepen de leerlingen zich in stikstofoxiden, ammoniak uit de lucht of in kunstmest uit ammoniak. Ze maken reactieschema's en kloppende reactievergelijkingen en worden uitgenodigd een infographic te maken. Tijdens de volgende les (dit is één van de weinige lessen die twee lessen beslaat) verwerken ze deze informatie – nu als expert op één van de drie gebieden – in een stikstofkringloop op een werkblad. Dit werkblad is als downloadbaar bestand bijgevoegd. Daarna krijgen de leerlingen nog reflectievragen voorgeschoteld.

Netty van Marle, docent scheikunde (Het Streek, Ede): "Vaak wordt de vraag gesteld 'wat kan ik met het vak scheikunde?' Met de kennis van scheikunde kun je maatschappelijke vraagstukken beter begrijpen. De 4TU-les over stikstof behandelt het stikstofprobleem en sluit goed aan bij het niveau van de leerlingen in 3HV."

### Gratis, aanpasbaar, voor iedereen

Deze lessen zijn gratis en er is geen LessonUp-account nodig (heb je dat wel, dan zijn er wel meer mogelijkheden zoals het aanpassen van de les). De vier TU's financieren het platform omdat ze het enthousiasmeren van jongeren belangrijk vinden. Natuurlijk hopen ze dat dit meer studenten oplevert, maar eerder nog dat meer leerlingen – ook meisjes – gegrepen worden door bètatechnologie. Leerlingen zien in deze lessen dat berekeningen ook daadwerkelijk ergens toe leiden; dat onderzoek niet altijd 'af' is en dat zij zelf nodig zijn voor nieuwe oplossingen; dat bètavakken superleuk zijn; dat vakken niet in hokjes te plaatsen zijn, dus dat je scheikunde soms nodig hebt bij biologie of natuurkunde en dat presenteren van wat je onderzocht hebt een nuttige vaardigheid is. Neem vooral eens een kijkje bij de lessen op [www.4tuschools.nl](http://www.4tuschools.nl) en overtuig jezelf. Wil je een les testen in de klas (graag!) of wil je feedback op een les leveren, meld je dan aan voor onze community via [www.4tuschools.nl/over-ons/community](http://www.4tuschools.nl/over-ons/community).

### Zie ook:

Gimbrère, M. (2026). Bewegingen met technologie. De rol van exoskeletten bij een dwarslaesie? *NVOX 51*(1), 6-7. ●

# Zelfregulerend leren bij innovaties

## Peer-tutoring en SPA in de les

De nieuwe scheikunde- en natuurkundelessen laten leerlingen van De Nieuwste School zelf hun eigen tempo en volgorde bepalen. Het gevolg: de docent krijgt uiteenlopende vragen die niet te beantwoorden zijn in de beschikbare tijd. Het afstudeeronderzoek van Sam Immel richtte zich op mogelijkheden om de regulering van het leerling-leerproces te verbeteren.

Het onderzoek vond plaats in de natuur- en scheikundelessen van 4-vwo op De Nieuwste School (DNS) in Tilburg. DNS hanteert een onderwijsconcept, gekenmerkt door vakoverstijgend werken en leergemeenschapsvorming. Gebaseerd hierop wordt in de bètavakken in de bovenbouw een nieuw onderwijsconcept ontwikkeld. Het streven is dat leerlingen geleidelijk meer regie krijgen over hun leerproces en daarmee keuze krijgen in onder meer tempo, volgorde en verhouding van de leerstof die zij tot zich nemen. Een gevolg van de nieuwe werkwijze is dat de vragen tijdens de lessen gevarieerder en frequenter zijn dan in een aanpak waar alle leerlingen dezelfde planning hebben. De docent heeft hierdoor minder mogelijkheid om de leerprocessen van alle leerlingen voldoende te ondersteunen. De docentafhankelijkheid bij het beantwoorden van inhoudelijke vragen in de les kan verminderd worden door een beroep te doen op de zelfregulering van leerlingen en op de onderlinge samenwerking. De docent heeft dan meer ruimte voor leerproces-begeleidende taken.

**SAM IMMEL** heeft zijn Master Science Education behaald aan de TU Eindhoven en geeft NaSk op het Stedelijk College Eindhoven.

**ANITA DRIESSEN-MOL** is leraar natuurkunde en docentonderzoeker op De Nieuwste School in Tilburg

**JAN VAN DER VEEN** is Professor in Science Education aan de TU Eindhoven - ESoE.

### Theorie

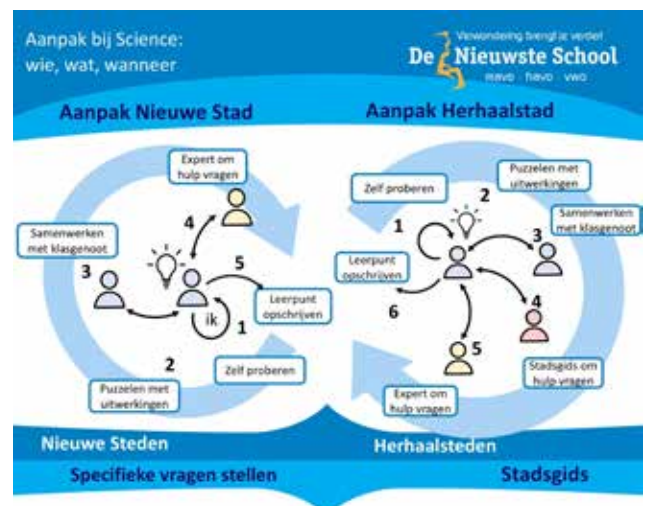
Hulpzoekgedrag van leerlingen kan bevorderd worden door hen een gevoel van vakgerichte en sociale competentie te geven en door autonomie binnen het werkproces en de relatie met klasgenoten en docent te stimuleren (Ryan & Pintrich, 1997). Bena-drukken dat het opdoen van meer begrip over de onderliggende kennis en vaardigheden het doel van opgaven in bètavakken is helpt hierbij. Standaardvraagstukken kennen vaak maar één oplossingsstap om naar het antwoord te komen. Problemen vereisen dat de probleemoplosser zelf een oplossingsstrategie synthetiseert die uit meerdere stappen bestaat (Venneker, 2017). De probleemoplosser moet hiervoor voldoende begripsontwikkeling en probleemoplossend vermogen hebben. Er moet een brug geslagen worden tussen kennis uit eerdere, en de huidige context, rekening houdend met variabelen die de probleemoplosser nog niet eerder in op deze manier is tegengekomen (Huitt, 1992).

Een Systematische Probleem Aanpak (SPA) kan worden ingezet ter verbetering van het probleemoplossend vermogen van leerlingen. SPA kent ruwweg vier fasen:

Analyse, Planning, Uitwerking en Controle (Venneker, 2017). Het leerproces van leerlingen kan versterkt worden door inzet van peer-tutoring (Topping, 1996).

We operationaliseerden peer-tutoring in dit onderzoek als:

- De interactie tussen een tutor en één tot drie leerlingen (tutees) uit hetzelfde leerjaar met als hoofddoel het probleemoplossend vermogen van de tutees te vergroten;
- De interactie vindt plaats binnen de lessen, tijdens het werken aan problemen;
- De tutor heeft zowel meer begripsontwikkeling over het op te lossen probleem als meer probleemoplossend vermogen dan de tutee.



Figuur 1. Deel van de hulpvraagposter waarop het proces wat de leerling kan volgen is uitgelegd

De docent geeft de tutor regelmatig feedback op taak- en metacognitief niveau.

### Interventie

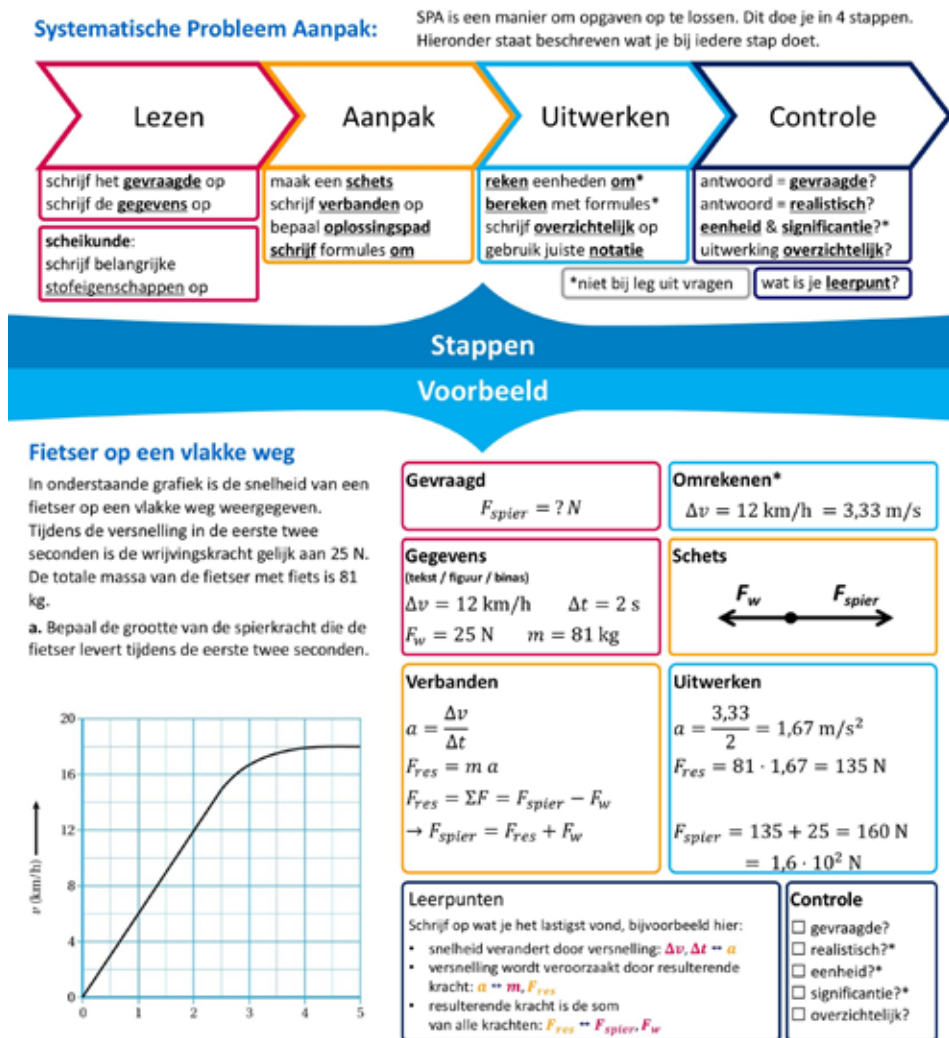
De interventie trachtte de begeleiding van het leerproces van de leerling te verbeteren door structureren van het hulpvraagproces, tutor ondersteuning en SPA. De hulpvraag poster voor leerlingen (gedeeltelijk afgebeeld in figuur 1) gebruikt termen die aansluiten bij het brede modulaire systeem voor alle bètavakken in de bovenbouw. De stad staat symbool voor een (deel)domein, bijvoorbeeld Arbeid & Energie. De Expert is de docent en de Stadsgids is de tutor. De diagrammen op de poster zijn gericht op leerlingen die zich niet in de tutorrol bevinden. Een leerling kan hier zien welke stappen er doorlopen kunnen worden om het probleem op te lossen.

De rol van de tutor is beperkt tot het helpen van een medeleerling, wanneer deze al naar de uitwerkingen heeft gekeken en over voldoende basiskennis beschikt.

De SPA-poster (figuur 2) is getest in een natuurkunde- en een scheikunde klas met een werkblad dat overeenkwam met de SPA-poster. Bij natuurkunde is een instructie gegeven over het doel en de werking van SPA en het werkblad, waarna leerlingen met een zelfgekozen rekenopgave aan de slag gingen met het blad. Daarna is het SPA-werkblad ingezet tijdens een scheikundeles. Bij scheikunde is klassikaal door een rekenopgave heengegaan met het werkblad, omdat het gebruik van het werkblad gehinderd bleek te worden door het zelf kiezen van een geschikte opgave. Zo konden leerlingen SPA-stap voor SPA-stap door de uitwerking heengaan en het werkblad invullen.

### Resultaten

De ingeleverde SPA-werkbladen zijn vergeleken met een andere ingeleverde opgave en geanalyseerd om de methode te verbeteren. Het gevraagde en de gegevens worden in alle gevallen opgeschreven op het werkblad, wat een verbetering is ten opzichte van het impliciet opschrijven bij de andere opgave: de juiste waarden op de juiste plek in de gebruikte formules. Een schets werd in 50% van de gevallen op het werkblad getekend; bij de andere opgave slechts door een enkeling. De scheiding van formules en de uitwerking



Figuur 2. SPA-poster waarop de stappen voor probleemoplossen staan uitgewerkt

op het werkblad lijkt ervoor te zorgen dat leerlingen eerst alle benodigde formules zoeken (oplossingspad identificeren) en dan pas gaan invullen. Ongeveer twee derde van de leerlingen noteert een eigen leerpunt. De controle checklist wordt weinig gebruikt op de SPA werkbladen.

Leerlingen gaven aan dat werkblad en SPA-diagram nuttig zijn, omdat ze overzicht bieden, helpen bij het opschrijven van leerpunten en het uitvoeren van controle. Bovendien biedt SPA een alternatief voor direct raadplegen van de uitwerkingen. Hierbij wordt opgemerkt dat als een leerling direct naar de uitwerkingen gaat voor hulp, de eerste twee stappen van SPA worden overgeslagen, juist degene waar leerlingen vaak de meeste moeite mee hebben. Leerlingen vonden het werkblad veel tijd kosten om in te vullen. Sommige leerlingen hadden al een eigen aanpak en vonden werkblad en diagram overbodig. Het begin

van het schooljaar zou daarom een beter moment zijn voor de inzet van SPA. De uitleg kan volgens leerlingen korter en bij voorkeur aan de hand van voorbeelden. Verder zijn de opgaven voor een aantal leerlingen te uitdagend waardoor zij gelijktijdig twee leerdoelen dienen te bereiken: begrijpen van de opgave én begrijpen van SPA met betrekking tot de opgave.

Een duidelijke koppeling naar het gebruik van leerdoelen is wenselijk zodat SPA een integraal geheel vormt met het leerproces: het zij met werkblad, diagram of door impliciet gebruik. Ten slotte is het goed om ook zonder werkblad te oefenen om zo de transfer van SPA met werkblad naar SPA zonder werkblad te kunnen bewerkstelligen. Door op de toets antwoorden volgens het SPA model te vragen, worden leerlingen nog verder bevestigd in het nut van het gebruik. ●

De bronnen bij dit artikel staan op de NVON-website

# Collegiale tips



## Klimaathelpdesk: tegen nepnieuws en complottheorieën

De klimaathelpdesk staat op de website van het ministerie van OCW. De helpdesk komt voort uit een subsidie ingesteld door toenmalig minister Dijkgraaf. Vragen worden in eenvoudige taal beantwoord door wetenschappers om nepnieuws en complottheorieën tegen te gaan. Experts behandelen zeer uiteenlopende vragen: 'Hoe kan de zeespiegel stijgen als het warmer wordt, er verdampt toch meer bij hogere temperatuur?', 'Wat zijn de gevolgen voor Nederland van de opwarming van de aarde?', 'Kunnen we vlees duurzaam produceren?' en zelfs 'Hoe kleed ik me sexy maar toch milieubewust?'

Zie [www.klimaathelpdesk.org](http://www.klimaathelpdesk.org), QRC A.

## Lessnack: Mussen en klimaatverandering

Leerlingen biologie van 5-havo, 5- en 6-vwo onderzoeken de invloed van klimaatverandering op het populatie-aantal van de huismus. Daarbij komen begrippen zoals habitat, abiotische en biotische factoren aan de orde. Ze onderzoeken welk effect duurzaamheidsmaatregelen hebben. Het is belangrijk dat ecologische begrippen bekend zijn. Te gebruiken als extra oefening of verdiepende les.

[www.klimaathelpdesk.org/klimaatlessnacks](http://www.klimaathelpdesk.org/klimaatlessnacks) QRC B.

## Ook 'lessnacks' voor natuurkunde en scheikunde

Ook voor natuurkunde en scheikunde heeft de klimaathelpdesk 'lessnacks' ontwikkeld. Voor natuurkunde zijn er zeven waaronder ook lessen voor de 3e klas. De stralingsbalans van de aarde en het energiegebruik van ChatGPT komen aan bod. Voor scheikunde zijn er tot nu toe drie lessen ontwikkeld waarbij eentje op basis van een

eindexamenopgave. Daarbij wordt uitgerekend hoeveel biomassa nodig is voor een vlucht naar Majorca. Zie QRC B of [www.klimaathelpdesk.org/klimaatlessnacks](http://www.klimaathelpdesk.org/klimaatlessnacks).

## Eenvoudige natuurkundige experimenten

De Ogden Trust is een Britse stichting die het natuurkundeonderwijs voor leerlingen in een achterstandssituatie wil bevorderen. Op de website [www.ogdentrust.com](http://www.ogdentrust.com) staan veel leuke experimenten die je met eenvoudig materiaal kunt (laten) uitvoeren. Er is een filter op leeftijdsgroep. De link hieronder stuurt je naar een schaalmodel van ons planeten stelsel. Voor het dramatische effect scheur je Pluto op het laatst eraf. Ook leuk is het experiment op de website waarbij je lege dozen of frisdrankblikjes laat vullen met rijst of zand zodat je weet hoe 200 gram op aarde voelt en op Mars, of Saturnus. Wel eerst even goed laten uitrekenen met de juiste valversnelling op de betreffende planeet. Scan QRC C en D.

## Rapport toekomst landbouw

November 2025 verscheen het rapport The Hidden Bill om het debat over de toekomst van de landbouw te stimuleren, een debat dat ook in de klas past. De Robin Food Coalition en de Transitiecoalitie Voedsel gaven accountantskantoor Deloitte opdracht vier scenario's door te rekenen waaronder extensivering en eiwittransitie. Langetermijneffecten zoals toenemende ziektekosten, uitputting van de grond en vervuiling van water en lucht worden meegenomen onder de noemer 'maatschappelijke kosten'. De uitkomsten laten zien dat de huidige landbouw op termijn meer kost dan oplevert. Het genereert € 13,3 miljard, maar veroorzaakt € 18,6 miljard maatschappelijke kosten. Dit verandert in positieve zin bij vier andere scenario's. In het meest

gunstige scenario met eiwittransitie wordt het saldo positief met € 5,3 miljard terwijl de energiebehoefte van de Nederlanders met de factor 2,2 - nu 2,5 - gedekt blijft.

De bovengenoemde coalities bestaan uit ruim tweehonderd ondernemingen, boeren en kenniscentra.

Zie <https://grondbeginsel.nl>, QRC E.

## Goed lesgeven voelt soms verkeerd (en andersom)

Naar aanleiding van zijn nieuwste boek, *Onderwijsillusies*, dat Paul Kirschner schreef in samenwerking met Carl Hendrick en Jim Heal, ging René Kneyber in gesprek met emeritus hoogleraar Kirschner. In het gesprek geeft Kirschner een toelichting op het boek en prikt hij een aantal onderwijs-illusies door. Voor de YouTube-video scan QRC F. (Zie ook de boekrecensie op pagina 45.)

## Verzoek collegiale tips

Ga eens na of je ook een tip hebt voor je collega's. Graag ontvangen wij je tip op [redactie@nvox.nl](mailto:redactie@nvox.nl), onder vermelding van je naam en school.



# Een kus vol leven



Freek Waagenaar / Laborant bij ARTIS-Micropia

FOMO omdat je ziek op bed moet blijven, een onvergetelijke eerste zoen, of een klaslokaal vol zwetende lichamen op een vrijdagmiddag. Het zijn ervaringen waar scholieren veel mee te maken hebben, maar ze weten niet dat microben hier een hoofdrol spelen. Zonder dat pubers het door hebben, worden hun zintuigen, hun lichaam en zelfs hun gedrag continu beïnvloed door een universum van microscopisch leven.

In ARTIS-Micropia, het enige microbenmuseum ter wereld, worden die onzichtbare interacties plotseling tastbaar. Neem de Kiss-o-Meter: een opstelling waar ik geregeld giechelende scholieren zie staan die elkaar aanmoedigen om hun crush een zoen te geven. Wie het aandurft, kan laten meten hoeveel microben er tijdens die korte, vaak wat onwennige kus worden uitgewisseld. Niet om zoenen vies te maken, juist het tegenovergestelde.

Bij een zoen van ongeveer tien seconden wisselen twee mensen zo'n tachtig miljoen microben uit. Dat zijn er ongeveer net zoveel als het aantal inwoners van Duitsland. Terwijl die kus plaatsvindt, is ons immuunsysteem druk bezig met ruiken en proeven: het analyseert de mond- en huidbacteriën van de ander. Onbewust selecteert ons lichaam zo een partner met een andere microbiële samenstelling dan die van onszelf. Met andere woorden: is jouw partner een fijne zoener, dan zijn jullie huid- en mondmicroben in ieder geval een goede match.

En zoenen is niet het enige moment waarop een puber in contact staat met deze fascinerende wereld. Een gezond darmmicrobioom draagt bijvoorbeeld bij aan een goed eetpatroon, hun mentale gezondheid en zelfs een consistent dag-nachtritme. Toch wringt hier nog iets. Als microben zo'n grote rol spelen in ons leven, waarom weten de meeste mensen er dan nauwelijks iets over? We leren tijdens biologie van alles over het leven, maar nauwelijks over het grootste en toch onzichtbare leven op aarde.

Micro-organismen hebben nu eenmaal een bijzonder slechte reputatie. In het dagelijks leven staan ze vooral bekend als ziektemakers, terwijl de overgrote meerderheid juist onmisbaar is. Vrijwel niemand beseft dat een



groot deel van onze zuurstof wordt geproduceerd door microscopisch kleine algen, of dat bacteriën dode resten afbreken tot nieuwe, bruikbare voedingsstoffen. Zonder microben zou er geen vruchtbare bodem zijn, geen kringloop van leven, en zeker geen mensen. Toch blijft het beeld hardnekkig: microben zijn vies, gevaarlijk en iets wat je vooral moet bestrijden met desinfecterende gel.

Een scholier die ARTIS-Micropia verlaat, weet in ieder geval beter. Drie keer per dag is er een 'Laborant Vertelt', waarin bezoekers worden meegenomen in de nieuwste wetenschappelijke ontdekkingen, een fascinerende eigenschap of een verrassende toepassing van micro-organismen in het dagelijks leven. Afgezien van een lichte huivering wanneer slijmzwammen (*Physarum polycephalum*) ter sprake komen, zie ik vooral glunderende gezichten. Bezoekers luisteren aandachtig naar verhalen over het leven dat normaal gesproken volledig aan het oog onttrokken blijft. Hier wordt namelijk geen angstig verhaal verteld, maar een nieuwsgierig en positief perspectief, over iets waarvan veel mensen niet eens wisten dat het bestond.

Zelfs als je deze wereld elke dag onder je eigen microscoop bekijkt, valt het soms moeilijk te geloven hoe verbazingwekkend dit universum vol leven is. Het bestaat uit talloze wezens die voorkomen in allerlei soorten, maten en kleuren. Precies daarom ben ik amateur-microfotograaf: met mijn microscoop, een 'vies' aquarium en een camera zie ik het leven in de gekste vormen. Simpel, en toch wonderschoon.

Misschien is dat waarom pubers zo op Micropia aangaan: weg van de schooldruk, het ouderlijk gezeur, het grote wereldnieuws, en ineens oog voor het kleinste leven. Of is het misschien toch de Kiss-o-Meter? Want als een zoen van tien seconden al tachtig miljoen redenen heeft om anders te kijken, verdienen microben niet ons wantrouwen, maar juist onze waardering.



is te gek! De leerlingen moeten onderzoeken welke botten, spieren en gewrichten belangrijk zijn bij het maken van deze beweging. Daarbij moeten de leerlingen beredeneren waarom stevigheid zo belangrijk is bij deze beweging. Een antwoord als 'anders zak je als een pudding in elkaar' is natuurlijk te summier.

## Ruimte voor creativiteit met opdrachten

Als tweede gaan de leerlingen op zoek naar een bestaand product dat te maken heeft met de beweging. Dit kan een fiets, sportprothese, orthopedische schoen of bij-

voorbeeld een barbell met gewichten eraan zijn. De leerlingen moeten bedenken of het product duurzaam is of niet, en uitleggen waarom dit wel of niet het geval is. Leerlingen moeten niet alleen nadenken over welke materialen er gebruikt worden, maar ook wat de grondstoffen van bepaalde materialen zijn, waar de materialen vandaan komen, hoe de materialen vervoerd worden, hoe ze verwerkt worden, hoe lang het product gebruikt kan worden en of het materiaal herbruikbaar/recyclebaar is. Daarnaast moeten de leerlingen bedenken wat er beter of duurzamer zou kunnen aan hun product.

Als derde is daar de creatieve uitdaging voor de leerlingen. Hier moeten de leerlingen zélf een hulpmiddel bedenken dat de gekozen beweging ondersteunt (afgeleid van hun bestaande product), duurzaam is en vriendelijk geproduceerd wordt. De leerlingen maken een schets van hun product of hulpmiddel en werken dit uit tot een goede producttekening (of een echt prototype).

Alle informatie die de leerlingen hebben verzameld wordt gebundeld op een poster. De poster is minimaal A3-formaat, en alle bovengenoemde onderdelen moeten zichtbaar zijn op de poster. Daarbij moeten de leerlingen minimaal tien begrippen uit het boek op de poster verwerken, en moet de poster er aantrekkelijk uitzien.

Het is een leuk project, waar je zo twee tot drie weken mee kunt vullen over dit onderwerp. In ons geval krijgen de leerlingen een gewogen beoordeling (O/V/G), maar je kunt hier ook een cijfer aan koppelen, of de opdracht niet mee laten tellen.

De opdracht en de werkbladen van het skelet kun je vinden bij dit artikel op de website!

**TOSCA TAMIS**, DOCENT OP LYCEUM AAN ZEE TE DEN HELDER



Op 16 januari hebben wij afscheid genomen van ons gewaardeerde lid Salina. Vanaf 2022 was zij lid van ons team, maar doordat ze nu niet meer in het onderwijs werkt, heeft ze besloten om haar taken voor Jong NVON neer te leggen. We hebben heerlijk, en vooral gezellig, gegeten bij Blue Dragon in Amsterdam.

Een afscheid is natuurlijk niet compleet zonder cadeau. Onze voorzitter Gaelle verraste Salina met heerlijke theetjes en een mooie theepot om de koude dagen door te komen terwijl ze aan ons denkt.

Met het afscheid van Salina is er ruimte voor nieuwe leden in ons team. Lijkt het jou leuk om een actieve rol te spelen

binnen onze vakvereniging? We eten (en vergaderen) een paar keer per jaar met elkaar, organiseren de leukste conferentie van Nederland en hebben standaard twee pagina's in ons vakblad.

Ben jij jonger dan 35 en een enthousiaste binasdocent of toa? Schroom dan niet om je op te geven via [jong@nvon.nl](mailto:jong@nvon.nl).

Het is altijd leuk om te schrijven voor Jong NVON. Ik doe het met veel plezier! Wil je een bijdrage leveren of heb je leuke ideeën om over te schrijven? Graag ontvangen we dan jouw bijdrage via [jong@nvon.nl](mailto:jong@nvon.nl) met een cc naar [redactie@nvon.nl](mailto:redactie@nvon.nl).

**TOSCA TAMIS**, DOCENT BIOLOGIE OP LYCEUM AAN ZEE EN MAVO AAN ZEE TE DEN HELDER



# Zwaartekrachtgolven in het klaslokaal

## MaGIC maakt het mogelijk

In augustus 2025 vond in Maastricht de eerste MaGIC (Maastricht Gravitational Inspiration Curriculum) Summer School plaats. Een internationale groep natuurkundedocenten verdiepte zich in zwaartekrachtgolven, interferometrie en de algemene relativiteitstheorie. Centraal stond hoe deze moderne natuurkundige concepten op een inspirerende en didactisch verantwoorde manier kunnen worden uitgelegd met behulp van bestaande examenstof.

Einstein voorspelde het bestaan van zwaartekrachtgolven in 1916 op basis van de algemene relativiteitstheorie. Hierbij stelde hij dat de zwaartekracht geen kracht is, maar een kromming van ruimtetijd door massa en energie. Wanneer massa's zoals zwarte gaten of neutronensterren ten opzichte van elkaar het juiste type versnelling hebben, veroorzaken ze rimpelingen in deze ruimtetijd. Einstein twijfelde of ze ooit meetbaar zouden zijn, maar zijn theorie legde de basis.

In de jaren 50 en 60 toonden Felix Pirani en Joe Weber aan dat zwaartekrachtgolven in principe detecteerbaar zijn en zij bouwden de eerste experimentele detectoren. De echte doorbraak kwam in 2015, toen LIGO en Virgo voor het eerst een zwaartekrachtgolf registreerden: GW150914, afkomstig van een fusie van twee zwarte gaten. Deze ontdekking opende een nieuw venster op het heelal en markeerde het begin van de zwaartekrachtgolf astronomie.

Voor het voortgezet onderwijs biedt het thema zwaartekrachtgolven veel meer dan alleen natuurkunde. Het laat leerlingen zien hoe wetenschap werkt: van theoretische voorspelling tot experimentele bevestiging, en hoe internationale samenwerking tot doorbraken leidt. Het onderwerp sluit bovendien naadloos aan bij examenstof over golven, licht en mechanica, en vormt een inspirerende context om leerlingen te laten onderzoeken, vragen te stellen en verbanden te leggen.

Tijdens de MaGIC Summer School kwamen in lezingen en werkgroepen uiteenlopende onderwerpen aan bod die direct toepasbaar zijn in de klas.

### Relativiteit in het klaslokaal

Het is mogelijk om met klassieke concepten zoals Newtons wetten, fictieve krachten en het equivalentieprincipe een intuïtief begrip op te bouwen van zwaartekracht als kromming van de ruimtetijd. Hierover schreef Gideon Koeke een drieluik in NVOX 6, 7 en 8 van 2025.

• Fictieve krachten als opstap naar zwaartekracht: Laat leerlingen ervaren hoe versnellende referentiestelsels werken. Bijvoorbeeld met een draaiende stoel of in de lift (eventueel als gedachtenexperiment): ze voelen een kracht die niet echt bestaat, maar voortkomt uit de versnelling van het systeem.

• Het equivalentieprincipe: Gebruik een valproef met verschillende objecten om te laten zien dat alle massa's met dezelfde versnelling vallen. Bespreek waarom dit impliceert dat zwaartekracht niet afhangt van de massa zelf.

### Demonstratie van algemene relativiteit

In deze workshop werden concrete handvatten geboden om deze abstracte theorieën te demonstreren in de les:

1. Fictieve krachten en versnellende stelsels.

Met een flexibele stok en kleibollen aan de uiteinden konden deelnemers drie situaties demonstreren:

- Wanneer de stok stil en verticaal wordt gehouden, buigt hij niet en is er geen kracht zichtbaar.
- Bij rondraaien buigen de uiteinden naar buiten, wat de middelpuntzoekende kracht zichtbaar maakt.
- Wanneer de stok horizontaal wordt gehouden, zakken de kleibollen naar beneden. Dit lijkt op een kracht omhoog en vormt een voorbeeld van een fictieve kracht in een versnellend stelsel.

2. Een doek van T-shirtstof met rechte lijnen van schilderstape diende als model van de gekromde ruimtetijd. Door een object onder het doek te plaatsen vervormden de lijnen, het laat zien hoe massa lichtbanen afbuigt:

**JANINE NAUW-VAN DER VEGT** is in 2003 gepromoveerd aan de Universiteit van Utrecht op laagfrequente variabiliteit van door de wind aangedreven oceaanstroming. Momenteel is ze werkzaam als eerstegraads docent wiskunde en natuurkunde aan het Ichthus College in Kampen.  
Contact: jnauw@ichthuskampen.nl



Doek van T-shirtstof met iets eronder en lijnen van schildersplakband

zwaartekrachtlenwerking. Cruciaal in deze workshop was het doorbreken van een veelvoorkomende cirkelredenering: vaak wordt zwaartekracht als gekromde ruimtetijd voorgesteld als een doek dat door een massa naar beneden wordt gedrukt, maar daar moet je dus eigenlijk al zwaartekracht voor aannemen. Gedemonstreerd werd dat licht ook afbuigt bij *omhoog* gekromde oppervlakken. Daarmee werd benadrukt dat de kromming van ruimtetijd niet het gevolg is van een reeds aanwezige zwaartekracht, maar een fundamenteel aspect van de theorie zelf.

## Interferometers

Zwaartekrachtgolven zijn minuscule rimpelingen in de ruimtetijd. Detectoren van zulke golven gebruiken interferometrie: een laserstraal wordt gesplitst, langs twee haaks op elkaar staande armen gestuurd en weer samengevoegd. Een passerende zwaartekrachtgolf verandert de lengte van één arm heel licht, waardoor het interferentiepatroon verschuift. In de klas kun je dit demonstreren met een eenvoudige laser, spiegels en een doorschijnend scherm. Leerlingen zien hoe kleine veranderingen in afstand het interferentiepatroon beïnvloeden.

In Europa wordt gewerkt aan de Einstein Telescope, een ondergrondse detector die nog gevoeliger zal zijn dan LIGO en Virgo. In Maas-tricht heeft men de ETPATHfinder ontwikkeld, waar de benodigde technologie kan worden getest.

## Rijker beeld van het heelal

In de multimessenger astronomie wordt informatie van verschillende 'boodschappers' gecombineerd: licht, kosmische straling, neutrino's en zwaartekrachtgolven. De fusie van twee neutronensterren in GW170817 is een bekend voorbeeld: eerst werd de zwaartekrachtgolf gemeten, daarna volgde elektromagnetische straling. Deze gebeurtenis laat zien hoe kernfysica, relativiteit, astrofysica en experimentele technieken samenkomen en biedt een rijke context om leerlingen te laten ontdekken hoe verschillende domeinen uit de natuurkunde elkaar versterken.

## Ruis en gevoeligheid

Zwaartekrachtgolven veroorzaken extreem kleine vervormingen in de ruimtetijd: verplaatsingen van  $< 1/1000^{\text{ste}}$  van een protondiameter. Detectoren zoals LIGO en Virgo hebben daardoor te maken met diverse ruisbronnen. Seismische ruis ontstaat door bewegingen van de aarde, bijvoorbeeld door verkeer of golven. Thermische ruis wordt veroorzaakt door warmtebewegingen in materialen. Laserintensiteit- en frequentieruis zijn variaties in de lichtbron, terwijl stralingsdruk en fotonruis voortkomen uit quantumfluctuaties van het licht zelf. Ook lokale massabewegingen veroorzaken Newtoniaanse ruis. Om deze ruis te onderdrukken worden geavanceerde technieken ingezet, zoals viervoudige pendules en cryogene ophanging voor trillingsdemping. Squeezing van licht vermindert quantumtechniek en thermische compensatie met CO<sub>2</sub>-lasers en ringverwarmers voorkomt vervorming van spiegels. En vacuüm-technologie helpt om verstoring door luchtmoleculen te minimaliseren. Voor het onderwijs biedt dit een directe koppeling met examenstof: golven en interferentie, trillingen, thermodynamica, materiaaleigenschappen en quantummechanica. Leerlingen zien hoe bekende natuurkundige principes worden toegepast in state-of-the-arttechnologie.

## Einstein Telescope Education Centre

Een bijzonder onderdeel van het programma was het bezoek aan het Einstein Telescope Education Centre (ETEC) in het Discovery Museum in Kerkrade. Dit centrum laat bovenbouwleerlingen op een toegankelijke

manier kennismaken met de wetenschap achter zwaartekrachtgolven en de toekomstige Einstein Telescope.

Ze krijgen een demonstratiecollege over zwaartekrachtgolven, bekijken de indrukwekkende film *Spacetime* (door het awardwinning Dutch Black Hole Consortium), en verwerken hun ervaringen in creatieve vormen zoals een vlog, podcast of knutselwerk.

Er worden verschillende workshops gegeven: zo bouwen de leerlingen een eenvoudige interferometer, onderzoeken ze hoe lokale geologie ruis beïnvloedt door geluidssnelheden in materialen te meten, en experimenteren ze met gekoppelde massaveersystemen om trillings-isolatie te begrijpen. Met een app analyseren ze echte detectorgegevens om de locatie van een kosmisch event te bepalen: een oefening in dataanalyse en internationale samenwerking.

MaGIC sloot af met het simulatiespel *Space-Time Quest*, waarin leerlingen binnen een beperkt budget hun eigen zwaartekrachtsgolfdetector ontwerpen. Zo ervaren ze hoe wetenschappelijke en technologische keuzes samenkomen in het ontwerp van een instrument als LIGO of de Einstein Telescope. Het spel is gratis beschikbaar, zie de QR-code.

## Conclusie

De MaGIC Summer School laat zien dat zwaartekrachtgolven en de Einstein Telescope krachtige thema's zijn om leerlingen te enthousiasmeren voor natuurkunde. Ze bieden rijke mogelijkheden voor keuzemodules, profielwerkstukken, verrijkingslessen en verdieping binnen bestaande examenstof. De combinatie van actuele wetenschap, praktische demonstraties en toegankelijke didactiek maakt het onderwerp direct inzetbaar in het voortgezet onderwijs.

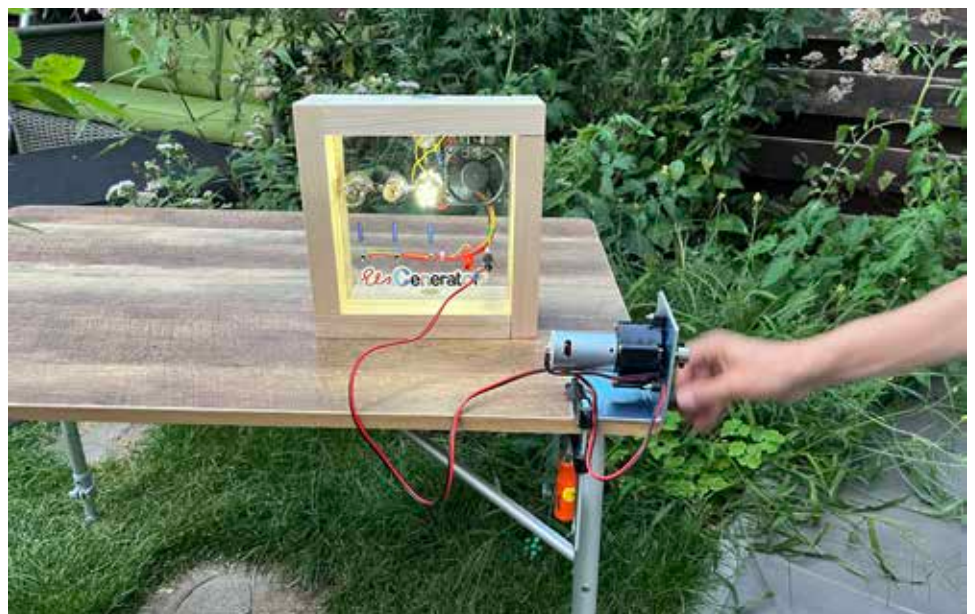
De lezingen en werkgroepen van de MaGIC Summer School werden gegeven door Gideon Koekoek, Jo Brand, Dave Fish, Dion Skitsko, Stefan Hild, Brecht Sloopmaekers, Janus Wöhler, Annabel Wolf en Emma Prins. ●



# Energiebewustzijn aanzwengelen met de ElsGenerator

Als je een lamp wilt laten branden, een motor laten draaien of een bel laten rinkelen, dan heb je een spanningsbron nodig. De spanning kun je halen uit een stopcontact, dynamo, accu of batterij. Maar hoeveel moeite kost het eigenlijk?

Stel je voor dat je voor leerlingen elektrische spanning voelbaar kunt maken in spierspanning. Zou je energie dan meetbaar kunnen maken met je handen in plaats van met je hoofd? En hoe lang duurt het dan eigenlijk om je mobieltje met 2% op te laden? Vanuit dit soort vragen is de ElsGenerator ontwikkeld. Een handbediend apparaat voor het opwekken van licht en stroom, genoemd naar de bedenker, Els de Vaan. Met de ElsGenerator voel je letterlijk aan den lijve het verschil in inspanning tussen een ledlamp, een gloeilamp en een ventilator. Daarnaast is het ook mogelijk om een usb-lader aan te sluiten, om bijvoorbeeld speelgoed of een telefoon op te laden.



Een ledlamp aanzwengelen kost weinig moeite

## Bewustzijn

Iedereen weet dat energiebesparing nodig is, maar veel mensen weten niet goed hoeveel energie alledaagse handelingen kosten. Bewustzijn is de eerste stap naar besparing. Met dit experiment leren leerlingen niet alleen over de energie die nodig is om licht te maken, maar ook over de impact van hun keuzes op energieverbruik.

Els de Vaan was pabo-docent natuuronderwijs en werkte vanuit de overtuiging dat onderwijs je moet raken – anders blijft het niet hangen. Met de ElsGenerator wilde zij energieverbruik voelbaar maken en laten zien dat innovaties, zoals de ledlamp, een bijdrage kunnen leveren. Een eerdere versie van het apparaat (toen met een dynamo die 220 Volt genereerde én vele kilo's zwaarder

was) is decennialang gebruikt op de Pabo Groenewoud en later de HAN, om studenten en collega's te leren over energiebesparing. Vanuit de gedachte dat deze generator ook naar de leerlingen zelf moest, bedacht Els uiteindelijk een lichtgewicht prototype dat meegenomen kan worden naar school. Haar broer maakte de eerste versie. Dit prototype werd getest door een oud-student op een basisschool in Boxmeer bij lessen over energie opwekken. Op basis van deze ervaringen zijn verbeteringen doorgevoerd, die Els nog zelf met haar broer heeft kunnen bespreken. Haar man, broers, zwager en kinderen werkten aan de opschaling naar de vijftig stuks die er nu zijn. Op de website [www.elsgenerator.nl](http://www.elsgenerator.nl) is meer informatie te vinden over het maakproces.

**DAVE HANZEN** is docent-onderzoeker bij NHLStenden Hogeschool Groningen en oud collega van Els de Vaan.

LikedIn: [www.linkedin.com/in/dave-hanzen-220bb289](https://www.linkedin.com/in/dave-hanzen-220bb289)

**MARTINE DE VAAN** is de jongste dochter van Els de Vaan

LinkedIn: [www.linkedin.com/in/martine-de-vaan-3a531b13](https://www.linkedin.com/in/martine-de-vaan-3a531b13)



De ElsGenerator

De ElsGenerator bestaat uit een dynamo en een houten frame van 23,5 bij 23,5 cm, met plexiglas, waarin drie lampjes van verschillend vermogen zijn gemonteerd. Er is een ventilator opgenomen en een usb-aansluiting. Ook is een printplaatje toegevoegd om de gegenereerde spanning te reguleren. Bij een van de tests draaide de kleinzoon van Els' broer zo fanatiek dat de lampen stuk gingen. De ventilator dient twee doelen, educatief en functioneel: je voelt hoe weinig energie het aanzwengelen kost, in vergelijking met de lampjes, en het koelt meteen het printplaatje.

### Inzet van de ElsGenerator

Een goede les natuuronderwijs en techniek begint in principe altijd met nieuwsgierigheid. Een pakkende introductie of een goed gekozen probleemstelling maakt een groot verschil in betrokkenheid, motivatie en onderzoekende houding bij een les over elektriciteit of een ander thema.

De ElsGenerator is een mooie start voor een les over energie en stroomkringen. Dat kan als demonstratie, als start van de les, of als onderdeel in een (roulerend) practicum. Leerlingen mogen om de beurt naar voren komen om het maken van licht zelf te ervaren en de spierkracht te voelen. Eerst laat je voorspellen wat er gaat gebeuren als ze een van de schakelaars omzetten, vervolgens voelen ze de verschillen in vermogensvraag en bijbehorende inspanning, en daarna kun je met vergelijkings- en verklaringsvragen leerlingen op systematische wijze laten nadenken over de relatie tussen stroom, spanning en energie.



Jan de Vaan en oud-collega Dave Hanzen geven les over de ElsGenerator

Als je de ElsGenerator als pakkende introductie gebruikt voor je les, kun je daarna leerlingen ook nog zelf de verschillende principes achter stroomkringen laten onderzoeken met wat batterijen, losse kabels met krokodillenbek en wat lampjes of andere stroomverbruikers. En het mooie van stroomkringen is dat het eigenlijk systemdenken is, maar dan analoog in tegenstelling tot *computational thinking*. Met een goed opgebouwd onderzoekswerkblad laat je leerlingen experimenteren en leren hoe een batterij werkt, een gloeilamp, stroomkring, serie- en parallelschakeling en eventueel nadenken over de relatie tussen spanning, stroomsterkte en weerstand. Zodra de leerlingen door hebben hoe stroomcircuits werken, kun je deze kennis weer verbreden naar bijvoorbeeld elektrische apparaten, energiebesparing, duurzaamheid en naar andere vormen van energie of ze deze kennis laten toepassen in een technisch 'probleem'. Bijvoorbeeld bouw je eigen bibberspiraal, dokter bibberspel, interactieve deurmat of bouw een werkend circuit met schakelaars voor je eigen poppenhuis. Onderwijs, zoals Els het bedoeld heeft, met hoofd, hart en handen voor alle leerlingen uit basis- en voortgezet onderwijs.

De ElsGenerator is ook toegepast in workshops over duurzaamheid. Bijvoorbeeld bij Technolab in Leiden als onderdeel van een carrousel met vier 'stations' over thuis verduurzamen.

Het apparaat is zeker niet alleen voor kinderen bedoeld, volwassenen hebben nog genoeg te leren over energie, en de praktijk wijst uit: bijna iedereen vindt het leuk om het verschil in inspanning te voelen. Zo is het apparaat ook

ingezet bij gemeenteraadsliden als opwarmer voor een gesprek over energiebesparing.

### De verspreiding van de ElsGenerator

Bij de 16e Landelijke Natuur, Wetenschap en Techniekconferentie in Zeist (2025) is de ElsGenerator onder de aandacht gebracht bij docenten natuur en techniek. De vijftig stuks die de familie heeft gemaakt worden door het hele land verspreid via oudcollega's, voornamelijk naar pabo's. De eerste twee exemplaren zijn aangeboden aan de HAN, en in ontvangst genomen door vakdocent Ellie van Dinther. De nummers 3 tot en met 7 zijn in gebruik genomen bij NHLStenden.

De ElsGenerator is op dit moment niet te koop, maar wellicht is lenen mogelijk op een van de pabo's in de buurt. Stuur voor meer informatie een mail naar Dave Hanzen: [dave.hanzen@nhlstenden.com](mailto:dave.hanzen@nhlstenden.com)

Hopelijk komen er op termijn meer ElsGeneratoren beschikbaar. Op de website zullen ontwikkelingen rondom opschaling worden gemeld. Er zijn al ideeën geopperd om een grotere oplage te maken in samenwerking met een ROC. Zie je mogelijkheden om daar aan bij te dragen? Neem contact op via [www.elsgenerator.nl](http://www.elsgenerator.nl).

Meer informatie over de lesmogelijkheden is te vinden in de lesbrieven, met dank aan de waardevolle feedback én rode pen van oud collega's Ellie van Dinter en Jos Marell. Zie [www.elsgenerator.nl](http://www.elsgenerator.nl) of scan de QR-code.

Meer over de vrouw achter de ElsGenerator is te lezen op pagina 46 van dit nummer van NVOX. ●

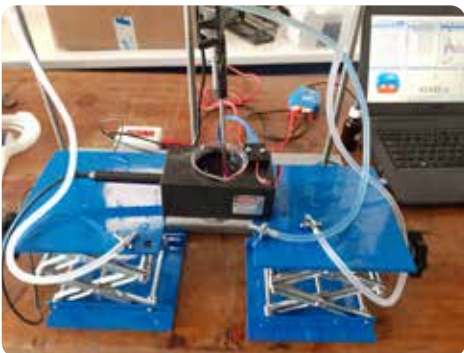


## TOT regio Rotterdam

De afgelopen periode hebben wij in onze TOT-groep onder andere gewerkt aan twee uitgebreide experimenten. Eén voor biologie, rond het onderwerp homeostase, en een experiment voor scheikunde over het bepalen van het iso-elektrisch punt van aminozuren.

### Homeostase

Homeostase is het constant houden van het inwendig milieu in het menselijk lichaam door regelmechanismen. Het menselijk lichaam is gevoelig voor veranderingen. Om goed te functioneren wordt het inwendig milieu van een mens (en ook andere organismen) constant gehouden. Denk bijvoorbeeld aan de lichaamstemperatuur, de hoeveelheid vocht, de bloeddruk, de hoeveelheid koolstofdioxide en de hoeveelheid glucose. De regelmechanismen verzorgen een dynamisch evenwicht. Veel regelmechanismen bij homeostase zijn negatieve terugkoppelingen. Bij dit onderwerp hebben wij zowel een leerlingenpracticum beschreven als een demo-experiment.



### Demo-experiment

De volgende opstelling werd gemaakt: drie PET-flessen werden bevestigd aan een statief. Aan de PET-flessen werd via de dop een slangetje met een kraantje bevestigd. De linker-PET fles was gevuld met heet water (60 °C), de middelste met een door methyleenblauw gekleurde vloeistof van kamertemperatuur en de rechter was gevuld met ijskoud water.

In het midden van de drie flessen is in een houder een plastic doorzichtig bekertje geplaatst met een klein gaatje in de bodem. In het bekertje werd een temperatuursensor geplaatst en via de houder tegen het bekertje werd een lichtsensor geplaatst. Tegenover de lichtsensor werd een lichtbron geplaatst (bijvoorbeeld een laserpen). Via het programma Coach werden de lichtsterkte en de temperatuur gemeten. Via een beamer werden de meetresultaten geprojecteerd op een scherm, zodat iedereen mee kon kijken.

### Twee leerlingen verzorgen negatieve terugkoppelingen

Er werd een beginoplossing gemaakt waarvan de lichtsterkte en temperatuur op het scherm verscheen. Doordat het bekertje een gaatje heeft loopt het bekertje vanzelf langzaam leeg. Door aan de kraantjes van de drie PET-flessen te draaien kan het bekertje weer aangevuld worden met vloeistof. Twee leerlingen proberen de samenstelling van het mengsel in het bekertje zoveel mogelijk constant te houden. Eén leerling is de leider (vergelijkbaar met bijvoorbeeld de hypothalamus in het menselijk lichaam), de andere leerling de uitvoerder (vergelijkbaar met bijvoorbeeld de spieren).

Met deze demo krijgen de leerlingen een mooi inzicht in de regelkring via een negatieve terugkoppeling. Wanneer er namelijk een te hoge temperatuur is of een te donkere oplossing, moet er verdund worden. Ook merken de leerlingen hoe complex het is om meerdere dingen tegelijk te moeten besturen.

### Leerlingenexperiment

Dit bestond uit een reeks opdrachten om voor, direct na, en 10 minuten na de inspanning metingen te doen aan het eigen lichaam. Na een flinke lichamelijke inspanning werden de volgende metingen gedaan, de bepaling van:

- bloeddruk
- zuurstofgehalte in het bloed
- koolzuurgehalte in de adem
- longvolume
- ademfrequentie
- hartslagfrequentie
- huidtemperatuur

De bloeddruk en de hartslagfrequentie werden met een bloeddrukmeter bepaald. Het zuurstofgehalte met een zuurstof-oximeter aan de vinger. De huidtemperatuur met een huid infraroodthermometer. Het longvolume met een zelfgemaakte spirometer. Door via een slang te blazen in een zelfgemaakte spirometeropstelling werd via een draaihoeksensor bepaald wat het longvolume was.



De hartslag- en ademfrequentie werden via een thermokoppel met coach bepaald. Voor het koolzuurgehalte werd gebruik gemaakt van een medische urine opvangzak, waarin de lucht werd geblazen. En vervolgens werd via een plastic injectiespuit getitreerd met door fenolftaleïne gekleurd natronloog.





### Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag bij deze opdrachten was: In welke volgorde treden de regelmechanismen op om het inwendige milieu binnen het lichaam constant te houden? Omdat er veel metingen in korte tijd verricht moesten worden, moet de klas worden verdeeld in groepen van twee personen. Daarvan is één persoon de proefpersoon voor de metingen en de andere zorgt voor de juiste uitvoeringen van de metingen. Van de temperatuur, ademhaling, hartslag en bloeddruk moet een regulatieschema worden gemaakt. Hierna moet van alle veranderingen bekeken worden welke de snelste en welke de sterkste zijn. Hieronder een voorbeeld van een regulatieschema.



### Bepaling iso-elektrisch punt van aminozuren

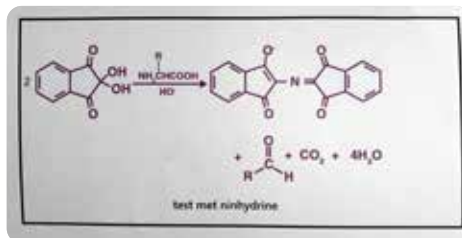
Dit experiment is mede tot stand gekomen in samenwerking met onze collega Martin van Wijk, toa scheikunde, locatie Guido de Bres. Elektroforese is een techniek waarbij deeltjes op basis van lading onder invloed van een elektrisch veld van elkaar gescheiden worden. Bij papierelektroforese bewegen de geladen deeltjes door een elektrolytoplossing die op een strook papier is aange-

bracht. Voorwaarde voor elektroforese is dat de te onderzoeken stoffen een verschil in lading hebben (positief of negatief). Meestal wordt dit bereikt door de elektrolytoplossing een specifieke pH te geven.

Papierelektroforese kan toegepast worden voor onderzoek van aminozuren. De lading van aminozuren in het algemeen berust op de aminogroep en de carboxylgroep. Bepaalde aminozuren hebben een karakteristieke groep als zijketen die positief of negatief geladen kan zijn. De totale lading van een bepaald aminozuur is een optelsom van de ladingen van alle karakteristieke groepen.

### Aminozuren in een elektrisch veld

In een elektrisch veld bewegen de aminozuren die negatief geladen zijn naar de pluspool en de moleculen die positief geladen zijn naar de minpool. De snelheid van de moleculen bij elektroforese is afhankelijk van de grootte van de lading en de vorm en grootte van de deeltjes. De locatie van de aminozuren na afloop van de elektroforese kan zichtbaar gemaakt worden met een ninhydrine-oplossing. Twee ninhydrine-moleculen vormen na reactie met een primaire of secundaire aminogroep van een aminozuur een paars gekleurd complex.



Bij een mengsel kan de identiteit van de aminozuren bepaald worden door de plaats op het papier te vergelijken met de zuivere aminozuren. Op deze wijze kan door elektroforese de lading van aminozuurdeeltjes aangetoond worden, kunnen mengsels van aminozuren gescheiden worden en is eventueel het iso-elektrisch punt van een aminozuur te bepalen.

### Benodigheden

Nodig voor dit experiment is een gelijkspanningsbron van 300 V met daaraan gekoppeld vier elektroforesebakken. Voor elke elektroforesebak is een aparte oplossing gemaakt met achtereenvolgens een pH 3, 6, 9 en 12. De oplossingen moeten buffers zijn met een optimale EC-waarde (niet te laag en niet te hoog) voor een goede geleidbaarheid.

## Reageren met een glimlach

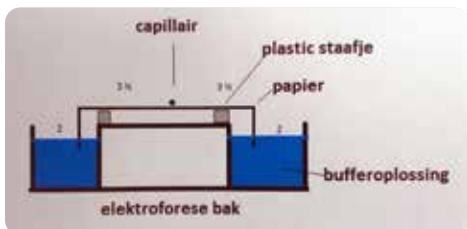
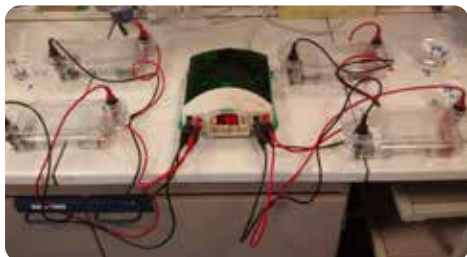


### Saaience

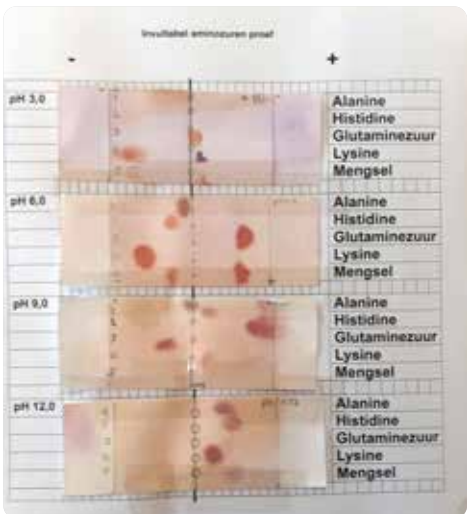
“Bedankt meneer voor de leuke les!” Ik heb het meegemaakt dat leerlingen dat zeiden aan het einde van het lesuur. Leuk om te horen! Bij een practicum moeten leerlingen iets leren en als ze het ook nog leuk vinden, gaat het leren beter. De vlamkleuring en de testreacties die we deden vielen blijkbaar in de smaak. Maar regelmatig krijg ik ook te horen: “Meneer, dit is saaaaaai!!!” “Bijna goed,” zeg ik dan, “Het is science!” Ja, het kan niet altijd spectaculair zijn en de basis is niet altijd het meest enerverend. Ooit, heel lang geleden heb ik lesgegeven in een eerste klas. Het enthousiasme van de klas was snel bekoeld toen hoofdstuk 1 van het boek alleen maar ging over het juiste gebruik van eenheden en significantie. En, onervaren als ik was, volgde ik het boek. Nu zou ik er toch ook een paar leuke lessen tussendoor gedaan hebben. Ja, science kan soms saai zijn. Als ik dan doorvraag vinden ze het vaak saai omdat ze allang weten wat er gebeurt. Dus, op naar het onverwachte: laat ze maar eens ervaren dat proefjes niet altijd zo gaan als je zou verwachten. Dat de indicator een keertje niet van kleur verandert. Of eerst een proef en dan de theorie. En, het hoeft niet boem te zeggen, maar soms helpt dat wel om het interessant te maken.

REINDER HORINGA, TOA SCHEIKUNDE OP HET JFC BARNEVELD

Gekozen is voor de volgende aminozuren: alanine, histidine, glutaminezuur en lysine en een mengsel van twee aminozuren. De opstelling is te zien op de foto en in het schema.



Op het chromatografiepapier worden in het midden met een satéprikker kleine hoeveelheden aminozuuroplossingen aangebracht. Het chromatografie-papier wordt op twee plastic staafjes in het midden van de elektroforesebak gelegd. Na het langzaam opzuigen (het gehele papier moet doordrenkt zijn) van de bufferoplossing uit de beide reservoirs door het papier, wordt gedurende 14 minuten een spanning gezet van 300 V. Na drogen met een föhn worden de chromatografiepapieren bevochtigd met een ninhydrineoplossing. Bij uitvoering in de klas moet de klas worden ingedeeld in vier groepen waarvan elke groep de elektroforese inzet bij een andere pH-waarde. Alle groepen verzamelen de gegevens op



het bord voor de hele groep. De resultaten worden vergeleken met een internetwebsite: [www.stolaf.edu/depts/chemistry/courses/toolkits/373/js/pi/](http://www.stolaf.edu/depts/chemistry/courses/toolkits/373/js/pi/), waarbij met dezelfde aminozuren via een simulatie van verschillende pH's het theoretisch iso-elektrisch punt wordt bepaald.

## Resultaten

De resultaten zijn te zien op de foto. Het experiment werkt heel verhelderd om inzage te krijgen in karakteristieke groepen van de verschillende aminozuren. Het is erg nuttig om te zien hoe het iso-elektrisch punt van aminozuren bepaald kan worden. Ook kan het effect van hoge- en lage pH-waarden op de lading van het amino-zuur mooi gezien worden. Hierdoor wordt het begrip van verschuiving van evenwichten concreet voor de leerling. Beide experimenten worden binnenkort op de toa-website [www.toa.tips.nl](http://www.toa.tips.nl) van de NVON geplaatst met daarbij een docenten-/toa-handleiding.

GERWIN BREUGEM, TOA BIOLOGIE EN SCHEIKUNDE, DRIESTAR-WARTBURG SCHOLENGROEP LOCATIE REVIJS EN MARTIN VAN WIJK, TOA SCHEIKUNDE, DRIESTAR-WARTBURG SCHOLENGROEP LOCATIE GUIDO DE BRES.

## Bij Technisch Ontwerpen

### Muizenvalauto maken

Bij het Cygnus Gymnasium in Amsterdam wordt door de leerlingen in het kader van het leerdoel 'technisch ontwerpen' bij natuurkunde als een PO een muizenvalauto gemaakt. De ontwerpeisen zijn vrij strak afgebakend. Een deel van de beoordeling wordt tijdens de afsluitende wedstrijd bepaald, de gang op de  $\beta$ -verdieping wordt hiervoor vrijgemaakt. De auto die het verst rijdt wint. De leerlingen kunnen al hun creativiteit, handigheid, technisch inzicht, planningsvaardigheden kwijt tijdens het ontwerpen en realiseren van de auto.



Net als in Formule 1 worden ook hier eisen gesteld aan het ontwerp.

### Ontwerpeisen

1. De achterwielen moeten gemaakt worden van door school geleverde cd's. De cd's moeten intact blijven. Bijvoorbeeld geen plakband voor meer grip of om de diameter te vergroten.
2. De carrosserie moet gemaakt zijn van een PET-fles, een kartonnen melkpak (beide van 500 mL), een metalen blikje (Karvan Cevitam) of een Pringlesbus.
3. De aandrijving komt van een door school geleverde muizenval en mag alleen gebruik maken van de veerenergie opgeslagen in de muizenval. Omdat het houtgedeelte van de muizenval van relatief lage kwaliteit is, mag je wel het gehele veermechanisme van het plankje afhalen en monteren op een ander plankje.
4. De wagen moet een achterspoiler bevatten met een minimum oppervlakte van 25 cm bij 15 cm en een minimale dikte van 2 mm.
5. De wagen moet een los ongekookt ei als passagier kunnen vervoeren zonder dat het breekt.
6. De wagen moet exclusief ei een minimum gewicht hebben van 150 gram.
7. Alle soorten lijm, touw en plakband zijn toegestaan.
8. Voor verdere onderdelen mag alleen gebruik gemaakt worden van spullen die aantoonbaar verkrijgbaar zijn in een gemiddelde Amsterdamse supermarkt. Bijvoorbeeld satéstokjes, rietjes en pasta zijn wel toegestaan. Maar Lego, Knex, fidget spinners et cetera zijn verboden.

### Twee verschillende parcoursen

De auto moet worden ontworpen op een maximaal af te leggen afstand, dus niet op snelheid!

Op de dag van de race zijn er twee verschillende race parcoursen.

1. Een volledig vlak race-parcours.



2. Een vlak race-parcours, dat na 1,5 meter opeens overgaat op een vlak dat 10 cm lager ligt.

Indien tijdens de race het ei kapot gaat wordt 50% van de afgelegde afstand in mindering gebracht. Indien niet aan ontwerpeisen 1 en/of 2 en/of 3 wordt voldaan volgt diskwalificatie. Voor elk andere ontwerpeis die niet wordt voldaan wordt 25% van de afgelegde afstand extra in mindering gebracht.

### Ranglijst per parcours

De positie op deze ranglijst bepaalt je cijfer voor dit onderdeel, waarvoor je niet lager dan een 6 kunt halen:

- $N$  = aantal deelnemende groepen.
- $n$  = positie in de ranglijst. Let op: Vanwege de onderstaande formule is de beste positie 0.
- $x$  = cijfer.

$$x = \left( \frac{N-n}{N} \right) \cdot 4 + 6$$

### Ontwerpverslag & Video analyse in Tracker

Naast de race moet er een videoanalyse gemaakt worden met behulp van Tracker. Op het internet zijn verschillende tutorials beschikbaar.

Voor tweetallen bevat het verslag minimaal drie  $(v,t)$ -diagrammen behorende bij drie verschillende invalshoeken van de spoiler. De diagrammen worden gemaakt in Excel of een soortgelijk programma. Voor een drietal bevat het verslag minimaal vijf  $(v,t)$ -diagrammen behorende bij vijf verschillende invalshoeken van de spoiler.

Van de te meten invalshoeken liggen er twee vast, namelijk die van  $0^\circ$  en  $90^\circ$ . De resterende waarden mag zelf worden uitgekozen. De invalshoek wordt dus als onafhankelijke variabele gebruikt. Uit deze  $(v,t)$ -diagrammen moet het volgende bepaald worden:

1. De maximumsnelheid
2. De afstand waarbij betreffende maximumsnelheid vanuit stilstand bereikt

wordt. Gebruik hiervoor de oppervlakte-methode. Maak het voor de docent makkelijk controleerbaar door het diagram van ruitjes te voorzien.

3. De maximale versnelling. Maak het voor de docent makkelijk controleerbaar door de gebruikte raaklijn in het diagram te verwerken.

### Het verslag

De meetresultaten moeten overzichtelijk worden verwerkt in het verslag. De bijbehorende filmpjes moeten worden geüpload op YouTube en de links moeten in het verslag worden gegeven.

Op basis van de meetresultaten maakt men in het conclusie/discussie-gedeelte van het verslag een verantwoorde keuze voor de invalshoek die men uiteindelijk gaat gebruiken in de race!



Voor het ontwerpverslag moet het volgende format worden aangehouden. Inhoud:

1. Probleemstelling
2. Werkplan met een lijst met de gebruikte spullen, een korte beschrijving van wat je hebt gedaan.
3. Onderzoeksresultaten zoals grafieken en tabellen.
4. Conclusie en Discussie: vergelijkend onderzoek aan de hand van grafieken en tabellen.
5. Literatuurlijst
6. Appendix met verdere plaatjes, grafieken, tabellen en berekeningen.

### Inleverdatum

Het ontwerpverslag moet zowel digitaal als op papier vóór de race worden ingeleverd zoals aangegeven in de planner! Dat is ongeveer een week voor de race. Bij overschrijding van de deadline wordt het bepaalde PTA-cijfer vermenigvuldigd met een factor 0,9. Wordt het verslag na de race ingeleverd dan wordt een extra factor 0,9 verrekend.

ANDRE GROOTE SCHAARSBERG, TOA, FENDY DE NIJS EN  
NIELS RAN, DOCENT NATUURKUNDE

## Een kabinet-flitsje, klein maar...

### Resonantie bij een gloeiende draad in een glazen buis

De opstelling bestaat uit een glazen buis, doorsnede ongeveer 3 centimeter, met daarin een nikkel-chroomdraad met een lengte van ongeveer 36 centimeter, in het midden van de buis.

De draad wordt strak gehouden door een massa blokje van 20 gram onderaan de draad. Van boven is de draad bevestigd aan een smalle ring van metaal rond de buis. Over de draad staat een spanning van 20 V en door de draad gaat een stroom van 2 A. Boven de open glazen buis staat een luidspreker met een frequentie van 24000 herz.

De draad zal gaan gloeien en er ontstaan door resonantie buiken en knopen in de luchtkolom. Bij de buiken zal de draad minder of niet meer gloeien.

De geluidsgolven die in de buis ontstaan laten zich het best waarnemen door een goede luidspreker op ongeveer 2 tot 5 centimeter boven de opening van de glazen buis.



JAN BEEMSTER, TOA NATUUR- EN SCHEIKUNDE, ATLAS  
COLLEGE IN HOORN

# Scheikunde voor de toekomst

Iedere scheikundeleraar ziet het nut van scheikunde: we kunnen moleculen en materialen maken en scheiden voor allerlei toepassingen, van farmacie en voeding tot verf en batterijen. Onze industrie biedt veel werkgelegenheid voor chemici en chemisch technologen. Toch neemt het aantal Nederlandse scholieren dat kiest voor een opleiding in de scheikunde of scheikundige technologie al jaren af.

In gesprekken met leerlingen en docenten van middelbare scholen krijgen we signalen over hoe veel leerlingen naar scheikunde kijken: 'vervuilend', en 'niet duurzaam'. Het is duidelijk waar die percepties vandaan komen. Tegelijkertijd weten wij ook dat het onderwijs op zowel middelbare scholen als in het hbo en wo de afgelopen jaren flink is geïnnoveerd. Dat verhaal moeten we beter vertellen, want we hebben de jongere generaties hard nodig voor de uitdagingen van onze tijd. En mij inspireerde als leerling toch vooral... mijn scheikundeleraar.

In de scheikundeboeken voor havo en vwo anno 2026 zie ik hoofdstukken over duurzaamheid en groene chemie in de industrie. Daar word ik blij van. Toen ik op het vwo zat, was er in het onderwijs nauwelijks aandacht voor groene chemie, circulariteit, of de mogelijk nadelige gevolgen van scheikundige processen. Je leerde over zuren en basen, redoxreacties, reactievergelijkingen en katalysatoren zonder enige reflectie op het grotere plaatje. Over de effecten van het oppompen van olie, de productie van plastics, het vrijkomen van (bij)producten die in het



Het aantal leerlingen met een vwo-diploma dat kiest voor scheikunde of scheikundige technologie. Meegenomen opleidingen: scheikunde/chemistry, scheikundige technologie/chemical engineering, MST, LST, moleculaire levenswetenschappen/ molecular life sciences, levensmiddelen-technologie. Een deel van deze opleidingen is internationaal, waardoor de instroomaantallen nog redelijk stabiel zijn gebleven.

milieu terecht kunnen komen. En bij biologie leerde ik toen nog dat er 300 ppm CO<sub>2</sub> in de lucht zat, en dat dat een constante was...

Leerlingen leren nu veel meer over verantwoord gebruik van scheikunde. Tijdens open dagen van de opleiding Scheikundige Technologie (Chemical Science & Engineering, CSE) aan de Universiteit Twente blijkt dat steeds meer leerlingen al eens gehoord hebben van de Duurzame Ontwikkelingsdoelstellingen (Sustainable Development Goals, SDG's), van de Verenigde Naties. Hulde aan jou, als docent, dat je hier in je lessen aandacht aan besteedt!

Tegelijkertijd baart de lage instroom van Nederlands talent in onze scheikundige technologie- en scheikundeopleidingen mij zorgen.

Om in te kunnen stromen in een opleiding scheikunde, scheikundige technologie of een vergelijkbare studie aan een Nederlandse universiteit, moet je een NT-diploma hebben

(of NG met natuurkunde en wiskunde B). Het aantal leerlingen dat daarin eindexamen doet is vrij stabiel, maar het aantal dat met dat diploma kiest voor scheikunde of scheikundige technologie neemt al jaren af.

## Beeldvorming.

Scheikunde is overal, en iedereen gebruikt het: voor voedsel, zeep, medicijnen, schoon drinkwater, persoonlijke verzorgingsproducten, chips, coatings, brandstof, verpakkingen, batterijen; de lijst is eindeloos. We kunnen niet zonder. Het moet alleen wel veel duurzamer, en dát is precies waarvoor studenten in de huidige scheikundeopleidingen, zoals CSE, worden opgeleid. Achter vrijwel elke duurzame technologie schuilt chemie: van elektrolyzers en batterijen tot CO<sub>2</sub>-afvang, bio-based plastics en waterzuivering. In plaats van over 'vervuilend' en 'niet duurzaam' gaan deze opleidingen tegenwoordig over 'groen', 'innovatie', en 'circulair'. Onze docenten doen – allemaal – wetenschappelijk onderzoek naar innovatieve moleculen, ma-



**LEONIE KRAB-HÜSKEN** is universitair hoofddocent en opleidingsdirecteur Chemical Science & Engineering aan de Universiteit Twente. Met haar team won ze de Nederlandse Onderwijspremie 2025 met het voorstel 'Chemistry Learning for Environmental Action & Responsibility.' (zie QR code)  
Contact: <https://personen.utwente.nl/leonie.krab>  
[www.linkedin.com/in/leonie-krab-husken-8382a8b](http://www.linkedin.com/in/leonie-krab-husken-8382a8b)





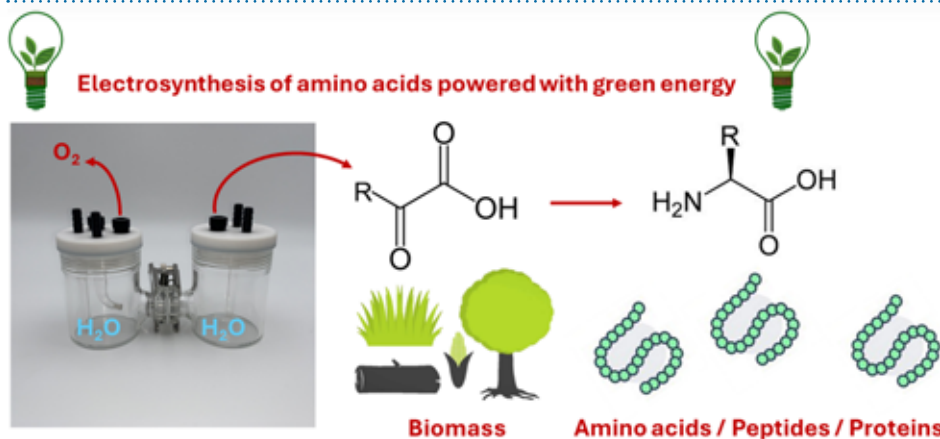
Alexandru Vladescu, de student op de foto, zei: "Ik heb altijd al een positieve impact willen hebben, en de opleiding scheikundige technologie aan de Universiteit Twente gaf me de middelen en de mogelijkheid om concrete duurzaamheidsproblemen aan te pakken."

materialen en processen, en zij leiden studenten op die deze kunnen ontwerpen voor de transitie waar we als samenleving voor staan.

Wat ik van veel leerlingen, maar ook van docenten, hoor is dat scheikunde bij leerlingen vaak een negatieve connotatie heeft door erfenissen uit het verleden die grote

maatschappelijke problemen veroorzaken, zoals problematiek rond PFAS, microplastics, luchtvervuiling, broeikasgassen en fossiele energie. Blijkbaar lukt het ons onvoldoende om duidelijk te maken dat onze opleidingen studenten juist klaarstomen om aan oplossingen te werken, aan de SDG's en aan de grote uitdagingen van deze tijd, zoals de energie- en materialentransitie en circulaire processen. We verwelkomen jullie graag aan de UT, ook met je klas, om leerlingen dat te laten ervaren, bijvoorbeeld door ze zelf een membraan te laten maken. Neem gerust contact op!

Al een aantal jaren bezoek ik de Woudschoten Chemie Conferentie, waar ik veel docenten spreek die precies dezelfde zorgen delen over de beeldvorming rond scheikunde bij hun leerlingen. Gelukkig is er ook een goede samenwerking tussen de NVON en het UT/Pre-University programma. Zo is Jan Jaap Wietsma (voorzitter NVON) al jaren betrokken als expert-docent en ontwikkelaar van Pre-U-onderwijsmodules aan de UT, met mede als doel leerlingen te enthousiasmeren voor onze disciplines.



Tijdens het eerste jaar van de BSc-CSE-opleiding krijgen studenten de kans om fundamentele elektrochemische technieken te leren door experimenten uit te voeren, zoals de elektrosynthese van aminozuren. Ze passen de theorie die in de colleges wordt geïntroduceerd toe, om het reactiesysteem te analyseren en te karakteriseren, met als uiteindelijk doel de onderliggende fysische verschijnselen te begrijpen. De elektrosynthese van aminozuren is een veelbelovende ontwikkeling voor het bereiken van duurzaamheidsdoelen, omdat het de potentie heeft om de huidige niet-hernieuwbare en niet-duurzame bronnen voor aminozuurproductie te vervangen. Dit kan door alfa-ketozuren uit biomassa te gebruiken voor de productie van aminozuren, die een breed scala aan toepassingen hebben, van de farmaceutische industrie tot de landbouw.

### Ambassadeurs voor scheikunde

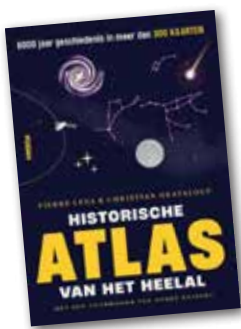
De vraag blijft: hoe brengen we het belang en de relevantie van deze opleidingen beter onder de aandacht van leerlingen? Hoe motiveren we hen om een opleiding in scheikundige technologie te overwegen? Ik denk dat middelbare schoolleraren het beste startpunt zijn.

Misschien speelt een deel van dit verhaal zich af op social media, maar ik denk dat vooral jij, in de klas, het verschil kunt maken. De ontwikkelingen in ons vakgebied gaan razendsnel en zijn zeer bepalend voor onze toekomst. Systeemdenken, uitzoomen en reflecteren worden steeds belangrijker in het scheikundeonderwijs.

Als docent ben je een ambassadeur voor de scheikunde. Door je passie te delen met je leerlingen kun je hen enthousiasmeren voor dit soort opleidingen en bijbehorende carrières. Waarom ging jij zelf scheikunde studeren – wie was jouw grote voorbeeld? Marie Curie, Niels Bohr, Rosalind Franklin, Albert Einstein of Erwin Schrödinger? Voor veel leerlingen zijn het niet de grote namen, maar de mensen voor de klas die bepalen of een vak gaat leven. Mij inspireerden op die leeftijd vooral mijn docenten scheikunde, natuurkunde, biologie en wiskunde B: Wender, Klaassen, Olde Loohuis, Alink en Van Geerestein. Sta jij ook al in zo'n rijtje?

Samen kunnen we het scheikundeonderwijs de waardering geven die het verdient. Als één leerling hierdoor anders gaat kijken naar scheikunde, dan hebben we al winst geboekt. En als een leerling zegt: "Ik wil iets doen voor een betere wereld. Ik wil werken aan groene chemie, circulaire processen, en de 'Grand challenges' van onze tijd," wijs ze dan eens op een open dag (21 maart), of bijvoorbeeld een meeloopdag bij CSE aan de Universiteit Twente. Wellicht raken ze geïnspireerd door onze campus, onze internationale gemeenschap, en wie weet, door de bijzonder relevante inhoud van Scheikundige technologie.

\* DUO-data (grafieken) verkregen via PTvT (Platform Talent voor Technologie). Met dank aan DUO en Alie Blume-Bos (UT/Pre-U) voor de data en dataverwerking. Dank aan Arturo Susarrey Arce en Alexandru Vladescu voor het electrosyntheseschema en de labfoto. ●



Pierre Léna en Christian Grataloupe. **Historische atlas van het heelal. 6000 jaar geschiedenis in meer dan 300 kaarten.** Vertaling Henriëtte Gorthuis, Jan Bos, Tonio van Vugt en Eric Strijbos. Amsterdam: Nieuw Amsterdam (2025). 238., ill. ISBN 9789046834008. € 29,99.



Gabri van Tussenbroek, tekeningen: Joris Snaet. **Muizentanden en steunberen. Bouwen in de middeleeuwen.** Gorredijk: Sterck & De Vreese (2025). 136 p., ill. ISBN 9789464714227. € 24,90.

Katharina Smeyers, tekeningen: Joris Snaet. **Ezelsoren en wolfstanden. De geschiedenis van het boek (800-1500).** Gorredijk: Sterck & De Vreese (2023). 136 p., ill. ISBN 9789464711127. € 24,90.



Hans van Bommel. **Bij de les, kijk in de keuken van een natuurkundedocent.** Leiderdorp (2025). 191p., ISBN 9789090414126. € 15,00.

## Atlas van het heelal

In deze rijk geïllustreerde, uitvoerige atlas wordt 6000 jaar studie van de astronomie beschreven. Tot aan de uitvinding van de telescoop, aan het begin van de zeventiende eeuw, keek men naar de hemel met het blote oog. Bewonderenswaardig is de precisie waarmee de beschrijving van de sterren en vijf planeten plaats vond. Ook zons- en maansverduisteringen werden al vroeg goed voorspeld.

In deze atlas wordt aandacht besteed aan een groot aantal sterrenkundigen, onder wie Thales, Ptolemaeus, Al-Khwarizmi, Kepler, Galilei, Newton, Shoujing, Einstein, Herschel en Hubble. Jammer is dat Hans Lipperhey, uitvinder van de telescoop, niet wordt genoemd.

Het boek geeft veel inzicht in de astronomie, zoals die op veel plaatsen op de wereld werd beoefend. Na 1600 nam het vak enorm toe door de komst van steeds betere en grotere telescopen. De aarde staat niet meer in het middelpunt, en Uranus en Neptunus worden ontdekt. Pas in de 20e eeuw wordt duidelijk dat ook de Melkweg een van de vele sterrenstelsels is, en dus niet uniek.

Een zeer leesbaar boek, met heel fraaie afbeeldingen, dat een goede inleiding is in de astronomie in het verleden, maar zeker ook in het nu en de toekomst.

ANNEKE THURLINGS

## Bouwen en Boeken in de middeleeuwen

Twee boeken die een plaats verdienen in elke schoolbibliotheek. Niet alleen omdat ze over bijzonder interessante onderwerpen gaan, maar ook omdat ze toegankelijk zijn geschreven, rijk verlucht (om maar in de sfeer te blijven), en vooral om de informatie die ze geven, waarbij, waar mogelijk, een lijn wordt doorgetrokken naar onze tijd.

*Muizentanden en steunberen* behandelt vooral de bouwgeschiedenis in de middeleeuwen. En dan blijkt dat veel wat in die tijd is ontwikkeld, nog steeds in de bouw wordt gebruikt. Het gaat van de gebruikte materialen, via de bouwers en hun manier van werken naar middeleeuwse gebouwen (of de overblijfsels)

die er nu nog steeds zijn. Het boek eindigt met een hoofdstuk waarmee de lezers zelf op onderzoek uit kunnen gaan. *Ezelsoren en wolfstanden* gaat over boeken uit de middeleeuwen, hoe die werden gemaakt en wie er allemaal aan te pas kwam. De eerste helft is gewijd aan de middeleeuwse handschriften en het bijzondere daarvan. De tweede gaat in op de boekdrukkunst en de ontwikkelingen daarin. En als je eenmaal een middeleeuws boek in handen hebt gehad (wat ik ooit mocht), dan ondervind je een wel heel bijzondere sensatie. Ik vergeet die van mij nooit weer.

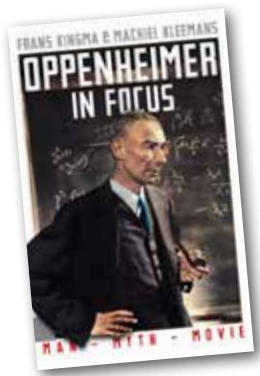
MARIANNE OFFEREINS

## Bij de les

In de bundel *Bij de les* brengt Hans van Bommel zijn scherpe en vaak geestige columns samen die hij tot en met 2022 schreef voor het Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde. Voor wie zijn bijdragen daar al volgde, is dit een feest van herkenning; voor anderen is het een prachtige eerste kennismaking met zijn blik op het vak. Van Bommel fileert de dagelijkse praktijk van het natuurkundeonderwijs met een gezonde dosis humor en diepe betrokkenheid. Of het nu gaat om de onnavolgbare logica van leerlingen, de rol van de docent of de soms verstikkende toetscultuur: alles wordt beschreven vanuit de weerbarstigste werkelijkheid van

het klaslokaal. De 88 columns laten zien hoe kleine momenten in de klas vaak een grote betekenis hebben. De teksten worden treffend ondersteund door de originele illustraties van Rutger Wijnhoven. Een absolute aanrader voor iedere bètadocent die even wil lachen, reflecteren en zich gesterkt wil voelen in de dagelijkse onderwijspraktijk. Het boek is op verschillende conferenties te verkrijgen voor € 15, maar voor € 20 inclusief verzending ook te bestellen via [vanbommelbijdeles@outlook.com](mailto:vanbommelbijdeles@outlook.com).

ERIK VAN DE LEUR



Frans Kingma, Machiel Kleemans. **Oppenheimer in focus**. Amsterdam: Amsterdam University Press (2025). 272 p. ISBN 97890485749333. € 24,99.

## Oppenheimer

Briljant natuurkundige, Robert Oppenheimer, is natuurlijk het bekendst als wetenschappelijk directeur van het Manhattan-project dat de eerste atoombommen heeft gemaakt. Hij wordt ook wel de ‘vader van de atoombom’ genoemd. Voorafgaand aan die periode leverde hij echter belangrijke bijdragen aan de ontwikkeling van de quantumfysica. Hij begon als experimenteel fysicus, maar kwam er gauw achter dat de theorievorming hem beter lag. Hij deed onder andere onderzoek naar het tunnelffect, waarbij deeltjes een potentiaalbarrière doorbreken.

Over zijn politieke achtergrond is minder bekend. Hij had linkse ideeën, en werd na de oorlog verdacht van communistische sympathie. Hij had steeds meer moeite met de komst van de atoombom en gaf daar steeds op niet mis te verstane wijze uiting aan. Dit boek, dat nu in het Engels verscheen, is eerder in het Nederlands verschenen als *Splinters van de zon*. Deze uitgave is uitstekend vertaald door de auteurs zelf als begeleiding van de film ‘Oppenheimer’ van Christopher Nolan. Zeer de moeite waard.

**ANNEKE THURLINGS**



Jean-Pierre Geelen, Saskia van Loenen. **De ijsvogel**. Amsterdam: Atlas Contact (2025). 336 p. ill. kleur. ISBN 9789045052502. € 26,99.

## De ijsvogel

Volgens de auteurs van dit boek is de ijsvogel de mooiste vogel van Nederland. Daar kun je natuurlijk over twisten, maar qua design is de ijsvogel wel heel erg mooi, en dat wordt uitermate goed in het boek beschreven. Veel mensen die de ‘blauwe flits’ ooit hebben gezien, kunnen nog precies vertellen onder welke omstandigheden dat was. Ik behoor ook tot deze lieden. In het boek staan zeven ‘ontmoetingen’ van de auteurs met de ijsvogel (de naam heeft overigens niets met ijs te maken; als er ijs ligt wordt hun ‘levensonderhoud’: een snelle duik naar vooral visjes bemoelijk). Dit boek is een zeer uitgebreide beschrijving van alles wat met ijsvogels (er zijn veel soorten) en vooral met ‘onze’ ijsvogel te maken heeft. Er zijn zelfs ijsvogel-

liefhebbers die hun leven aan de ijsvogels hebben gewijd of er een gezonde verslaving aan ijsvogels op na houden. Ijsvogels hebben het heel moeilijk in strenge winters, maar herrijzen vaak weer als de omstandigheden goed zijn. In ons land komen tegenwoordig overal ijsvogels voor, behalve op de Waddeneilanden, waarschijnlijk door gemis aan gunstige omstandigheden.

Ze maken van alles mee in gesprekken met ‘Ijsvogelsmensen’: bijvoorbeeld het ringen van ijsvogelkuikens: “Zes blauwe juwelen, fonkelend onder de aarde”. En beschrijven het geval van de ‘Ijs-ijsvogel (ingevroren in het ijs tijdens een duik). Van harte aanbevolen.

**MARIJKE DOMIS**



Bas Haring. **Hoe leg ik dit uit? Wetenschap uitleggen met beelden en verhalen**. Amsterdam: Amsterdam University Press (2025). 240p. ISBN 9789048560530. € 34,99.

## Hoe leg ik dit uit?

Een originele en doordachte gids over wetenschapscommunicatie, relevant voor iedereen die in onderwijs en onderwijscommunicatie werkt. In dit zijn boek verbindt Haring overtuigend de vraag hoe je iets uitlegt met welke vorm je kiest: van verhalen en beelden tot video’s en interactieve media. Hij laat zien dat het niet alleen gaat om de inhoud, maar juist om hoe die inhoud tot z’n recht komt in de gekozen presentatievorm – en waarom sommige aanpakken effectiever zijn dan andere.

Voor docenten biedt dit werk een frisse, praktisch-filosofische blik op iets wat in het onderwijs dagelijks speelt: hoe maken we complexe ideeën begrijpelijk, boeiend en betekenisvol? Haring balanceert heldere voorbeelden met een luchtige, vaak humorvolle stijl, waardoor het boek toegankelijk blijft zonder oppervlakkig te worden.

**ERIK VAN DE LEUR**



Robert van Dongen. **Pijn. Een alledaags ongemak.** Den Haag: Stichting Biowetenschappen en Maatschappij (2025). 160 p. ill. kl. ISBN: 9789088031441. € 15.



Peter Koolmees, Paul Knijff, Arie Plaisier, Jaap Klinkers, Koos Verhoeff. **Van veeartsenij naar diergeneeskunde. De Nederlandse dierenarts in een veranderende samenleving, 1950-1985.** Zutphen: Walburg Pers (2025). 396 p., ill. ISBN 9789464565799. € 44,99



Anne J. Kox, Henriëtte F. Schatz. **Pieter Zeeman. Van dorpsjongen tot gelauwerd fysicus.** Amsterdam: Prometheus (2025). 435 blz. ISBN 9789044660647. € 39,99.

## Pijn

Dit is, zoals gebruikelijk bij deze uitgeverij, een veelomvattend boek over het onderwerp pijn, want er zijn vele soorten pijn; sommige gaan vanzelf weer over of zijn goed te behandelen. Maar één op de vijf Nederlanders heeft last van chronische pijn. Na het voorwoord 'Pijn regeert' en de inleiding 'Pijn, een noodzakelijk kwaad' volgen er vijf hoofdstukken: Pijn, het alarmsysteem van het lichaam; Ziekte en pijn – wat gebeurt er in het lichaam?; Wanneer pijn je leven gaat beheersen; Hoe is pijn te behandelen? en Verder leven met pijn (behandeling). Er wordt heel veel theorie aangedragen en uitgelegd met behulp van duidelijke tekeningen en schema's. Elk hoofdstuk bevat een aantal

kaders over een specifiek (pijn)probleem en onder het kopje 'Uitgelicht' soms persoonlijke verhalen. Natuurlijk wordt de kans op verslaving bij gebruik van sommige pijnstillende middelen behandeld, maar ook het effect van luisteren naar muziek of mindfulness en moderne middelen zoals een VR-bril. Soms verdwijnt de pijn gewoon niet en wat kun je dan doen? In het hoofdstuk 'Grip door begrip' wordt onder andere gepleit voor beter onderwijs over pijn. Het boek moet zeker op school aanwezig zijn. Want iedereen heeft op de een of ander manier te maken met pijn.

MARIJKE DOMIS

## Van veearts naar dierenarts

In dit kloekke boek wordt uitgebreid ingegaan op de ontwikkeling van 'veearts' naar 'dierenarts'. Het boek is opgebouwd uit zes delen: 1 Maatschappelijke ontwikkelingen 1950-1985; 2 Diergeneeskundig onderwijs; 3 Onderzoekinstellingen; 4 Beroepsuitoefening; 5 De veterinaire praktijk; 6 Dierenartsen en overige werkvelden. Voor het boek zijn meer dan honderd interviews afgenomen met (oud-)vee- en dierenartsen. Deze interviews zijn "geplaatst in het kader van de belangrijkste ontwikkelingen en gebeurtenissen zoals beschreven in de veterinaire historiografie."

"Het computertijdperk diende zich aan, ontwikkelingen in de medische technologie

boden nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek en therapie. (...) Zowel de geneeskunde van de gezelschapsdieren als de intensieve veehouderij groeiden enorm, het aantal groepspraktijken nam sterk toe." Het aantal vrouwelijke dierenartsen steeg buitengewoon de keuringsdienst werd centraal georganiseerd en consumenten werden steeds kritischer. Resultaat is een magistraal werk over 35 jaar diergeneeskunde en de aanpassingen die daarin nodig waren door de veranderende samenleving. Zeer de moeite waard voor iedereen met belangstelling voor (de medische zorg van) dieren.

MARIANNE OFFEREINS

## Pieter Zeeman

Bij het overlijden van de zoon van Pieter Zeeman in 1989 bleek het grote herenhuis in Amsterdam, waar hij opgroeide, nog in originele staat te zijn. Het huis was ernstig vervallen maar de slaapkamers van zijn moeder en zus en het archief van zijn vader waren stil blijven staan in de tijd. Gelukkig herkende kandidaat-notaris Penders dat hij hier iets bijzonders had aangetroffen. Hij belde Anne Kox en die wist niet wat hij zag: het complete en zeer uitgebreide archief van Pieter Zeeman (1865 - 1943) was nog volledig intact. Dit archief is de basis voor deze zeer uitgebreide biografie over het leven van Zeeman. Zijn hele levensloop

komt in dit boek terug. Zijn Zeeuwse jeugd, zijn hbs-tijd waar hij met een slechte lijst toch slaagde en uiteraard zijn vroege, briljante werk dat leidde tot de Nobelprijs voor zijn ontdekking dat een magnetisch veld invloed heeft op de plaats van de spectraallijnen in een spectrum, het Zeeman-effect. De auteur heeft ervoor gekozen om niet al te diep op de natuurkunde in te gaan wat het boek ook voor niet natuurkundigen aantrekkelijk maakt. Je moet wel van dikke boeken houden, maar dan is dit werk zeker een aanrader.

ANNEKE THURLINGS



Rob van Aerschot. **De kloof. Of hoe landschappen culturen dragen.** Gorredijk: Noordboek (2025). 264 p. ISBN 9789464714067. € 49,90.



Paul A. Kirschner, Carl Hendrick en Jim Heal. **Onderwijsillusions.** Culemborg: Telos (2026). 178 p. ISBN 9789083555874. € 25,95.



Rinke van den Brink. **De sluipende pandemie.** Amsterdam: De Geus (2025). 616 p. ISBN 9789044551112. € 34,99.

## De Kloof

De titel van dit boek trok me aan, maar de inhoud van dit boek was anders dan ik had verwacht, dat heeft natuurlijk ook te maken met mijn biologische achtergrond. Bij cultuur heb ik de neiging om te denken aan cultuurlandschap, maar de auteur trekt het in een veel breder kader. Hij stelt dat er een groeiende kloof ontstaat tussen mensen en hun omgeving door digitalisering, versledelijking en een steeds technocratische manier van ontwerpen. Die kloof is volgens hem niet alleen ruimtelijk, maar vooral existentieel. “Een landschap dat je raakt, een gebouw dat ontroert, een tuin waarin je tot rust komt – het zijn uitingen van een verlan-

gen naar harmonie tussen mens en wereld.” In het tweede deel gebruikt hij de theoretische basis voor een analyse van de beleving van het landschap in tribale culturen en in de Chinese, Japanse, islamitische en westerse wereld. Van Aerschot pleit voor een herwaardering van de relatie tussen mens en landschap. Zijn boodschap is helder: we hebben een omgeving nodig waarin we ons thuis voelen. En dat vraagt om ontwerpers, beleidsmakers en burgers die zich bewust zijn van de diepere lagen van betekenis in onze leefwereld.

MARIJKE DOMIS

## Onderwijsillusions

Veel mensen in het onderwijs denken dat ze het goed doen. Ze doen in ieder geval goed hun best, en met de beste bedoelingen, laten we het daarop houden. En toch, en toch... Ik weet zelf dat ik, ook na jaren, nog steeds twijfel of ik alles wel goed heb gedaan. Gelukkig is er nu het boek van Paul Kirschner c.s., dat anderen kan behoeden voor de fouten die ik heb gemaakt. De auteurs prikken een tiental onderwijsillusions door: De illusie van cognitieve betrokkenheid, De expertise illusie, De leerlin-gestuurde illusie, De transferillusie, De illusie van moeiteloos succes, De motivatie-illusie, De illusie van ontdekkend leren, De uniciteitsillu-

sie, De prestatie-illusie en de innovatie-illusie. Het gaat dus niet over onderwijsmythen zoals de leerstijlen en de leerpiramide. In ieder hoofdstuk wordt een illusie beschreven en doorgeprikt, vervolgens wordt aangegeven hoe deze illusie vermeden kan worden. Het boek is voorzien van een uitgebreid notenapparaat en een royale literatuurlijst. Dit is weer eens een boek dat verplicht zou moeten worden op iedere lerarenopleiding en voor docenten die al jarenlang werken. Zie ook de collegiale tips op pagina 28.

MARIANNE OFFEREINS

## De sluipende pandemie

Antibiotica werden vlak na de tweede wereldoorlog als het wondermiddel tegen alle infectieziekten gezien – en er zijn veel levens mee gered. Maar men kwam er toch al vrij snel achter dat het ‘wondermiddel’ ook nadelen had/heeft. En nu is het zelfs zo dat in een steeds groter wordend aantal gevallen het middel zelfs contraproductief werkt. In twaalf hoofdstukken bespreekt Van den Brink een groot scala aan aspecten van antibiotica, de voor- en nadelen, wanneer ze wel en niet gebruikt moeten worden. De gevolgen van ondeskundig en verkeerd gebruik (ze helpen dus echt niet bij een virusinfectie. Vaccinatie helpt wel, daarmee voorkom je de infectie.) Het grote probleem is het steeds

meer voorkomen van AMR, antimicrobiële resistentie, en daarbij gaat het niet alleen over bacteriën, maar ook om andere micro-organismen, zoals schimmels en gisten. Van den Brink beschrijft zijn eigen ervaringen en voert gesprekken met een groot aantal deskundigen. Hier in Nederland en in België hebben we de zaken redelijk goed op orde, maar de bezuinigingen in de gezondheidszorg – en wat er in de rest van de wereld gebeurt – vormen wel een behoorlijk gevaar. Een interessant boek voor iedereen die zich bezighoudt met de gezondheid van zichzelf en anderen.

MARIANNE OFFEREINS

# De vrouw achter de ElsGenerator

Els de Vaan-Bruinsma was pabo-docente natuur- onderwijs en werkte vanuit de overtuiging dat onderwijs je moet raken – anders blijft het niet hangen. Voor haar was een onderzoekende houding het allerbelangrijkste voor de ontwikkeling van kinderen. Duurzaamheid ging haar aan het hart.

Els groeide op in Eindhoven als de oudste in een gezin van vier. Vader Anne Bruinsma werkte bij Philips en klom op tot hoofd van de tentoonstellingsdienst. Moeder Jos Bruinsma-Laureijssen was de avonturier in huis. Els had overduidelijk eigenschappen van beide ouders. Ze had een 10 voor natuurkunde op haar eindlijst en had een vader die een ingenieur in haar zag. Haar professionele leven lang bedacht ze proefjes en lesmethoden om haar liefde voor de natuurwetenschappen over te dragen. Haar jongere zus Annette mocht al vroeg proefkonijn zijn van haar onderwijsmethoden. In 1959 ging Els scheikunde studeren aan de THE, de huidige TU Eindhoven. Er waren vijf meisjes op driehonderd studenten en Els richtte met de andere vrouwelijke pioniers het eerste meisjesdispuut op. Vaak kregen de dames de vraag of ze kwamen voor de studie of voor een student – voor een man dus. In het begin reageerden ze geërgerd, later antwoordden ze gevat: “Als het even kan, beide!” Toen Els afstudeerde was de TU nog niet voorbereid op vrouwelijke studenten, op haar diploma stond ‘de heer Bruinsma.’ Bij het gecorrigeerde diploma kreeg ze een

excuusbrief: “U bent baanbreker voor de komende vrouwelijke ingenieurs. In het magazine kunnen wij nu beschikken over diploma’s voor de mannelijke én vrouwelijke seksen.” De TU was ook de plek waar zij natuurkundestudent Jan de Vaan ontmoette en het stel trouwde. Zo had ze zowel het diploma als de man. Samen kregen ze drie kinderen.

## Docent aan de pabo

Els werd lerares scheikunde en natuurkunde en later docent natuurkunde aan de KPA Nijmegen, voorloper van Pabo Groenewoud. Ze wilde kinderen nieuwsgierig maken naar natuur en techniek en naar duurzaam leven. Gelijke kansen voor alle kinderen vond ze belangrijk. Met fiets en trein snelde Els vanuit Beugen naar de pabo. Vaak met tassen vol zelfgemaakt of verzameld materiaal voor haar les. In de loop der jaren kwam er meer samenwerking tussen biologie en natuurkunde, op weg naar het vak natuuronderwijs. Hiervan zag Els de meerwaarde: jonge kinderen ervaren de wereld rondom hen als één geheel en niet opgedeeld in levende en levenloze natuur. Els verplaatste zich in het kind, in hun nieuwsgierigheid, in hun denk- en doewereld en richtte haar onderwijs hierop in. Met het grootste plezier bedacht ze practica voor de basisschool, gemaakt van huis-, tuin- en keukenspullen: chocoladezoenen laten ontploffen in een vacuüm; het witte poeder practicum en, vele jaren later, zelf zonnepaneeltjes bouwen van een boterkuipje.

## Praktische didactiek

Kinderen laten voorspellen, uitvoeren en verifiëren. De natuur begrijpen en er beter voor zorgen, vond Els belangrijk, maar dat stond nergens beschreven. Het losse lesmateriaal moest worden samengebracht in een boek



Els de Vaan sleutelde als jong meisje een radio in elkaar

dat ze schreef met collega Jos Marell, *Het boek, Praktische didactiek voor natuuronderwijs* (1994), groeide uit tot het standaardwerk voor natuuronderwijs. Sinds dat moment is driekwart van de onderwijzers opgeleid met het boek.

In 2020 werd een nieuwe editie uitgebracht. Els was toen 78 jaar. Deze versie wordt nog steeds op vele pabo's gebruikt. Toen het milieuvraagstuk nog niet zo actueel was kwam Els al met een zelfgemaakt apparaat waaraan je hard moest zwingelen om een gloeilamp te laten branden. De studenten en mededocenten waren verbaasd over de energie die het kostte om licht te maken. Haar collega Ernie, later directeur van de pabo, vertelde bij haar begrafenis in 2023 dat ze er nog vaak aan dacht als ze een lamp aan deed, of beter nog, uitdeed.

Lees meer over de door Els bedachte generator op pagina 34-35. ●

## BRONNEN

- De Vaan, E. & Marell, J. (1994). *Praktische didactiek voor natuuronderwijs*. Coutinho.
- Marell, J. De Vaan, E. (2020). *Praktische didactiek voor Natuur & Techniek*. Coutinho.

# Tekenopdrachten in de scheikundeles

## Een kijkje in het denken van je leerlingen

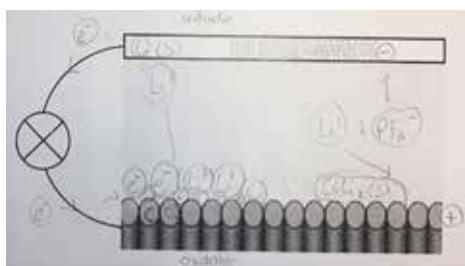
Labjournaals van scheikundigen staan vol met tekeningen. Opstellingen, vermoedens over het uiterlijk van deeltjes, alles werd en wordt nog steeds vastgelegd. Bedenk hoeveel jij als docent op het bord tekent bij je uitleg. Maar, hoeveel tekenen jouw leerlingen? Hun tekeningen kunnen een schat aan informatie bevatten over hun denken op micro-, meso- en macroniveau.

Scheikundig denken is redeneren met belangrijke scheikunde concepten. Scheikundigen denken zelf na over hun vak en sparren over hun ideeën met anderen. Om het denken over vaak onzichtbare deeltjes te kunnen bespreken met anderen gebruiken scheikundigen tekeningen (Kozma, 2000). Via formatieve toetsing en tekeningen kun je er als docent achter komen hoe je leerlingen denken over belangrijke concepten. Bijvoorbeeld via leerling-tekeningen over het verloop van een redoxreactie of de structuur van verschillende soorten stof. Maar, waar kijk je als docent dan precies naar in een tekening? Of de tekening juist is of niet? Of...?

### Een praktijkonderzoek

We hebben onderzocht wat betekenisvolle aspecten van leerling-tekeningen zijn met drie ervaren scheikundedocenten en verschillende tekenopdrachten. Voorbeelden van tekenopdrachten waren 'Tekenen de reactie tussen magnesium en zuurstof op microniveau' en 'Tekenen op microniveau de werking van een papieren lithiumbatterij' (zie hiervan een voorbeeld in figuur 1). We volgden via een actiecamera de docenten op

de voet tijdens de tekenles en hun gesprekken met leerlingen over de tekeningen. We namen na afloop van de les de gemaakte tekeningen met de docenten ook nog een keer rustig door (Stammes & De Putter-Smits, 2025). We wilden weten wat de docenten waardevolle informatie gaf over het denken van hun leerlingen.



Figuur 1. De getekende werking van een lithiumbatterij. Leerlingen moesten aan de hand van een beschrijving en eerder opgestelde halfreacties onder andere de deeltjes rond de plus- en minpool (waaronder de binding van Li-ionen aan koolstofnanobuisjes als  $C_6Li_x$  (s)) en het elektrolyt tekenen. Wat valt jou allemaal op in de tekening?

### Interpreteren van tekeningen

Docenten interpreteerden de tekeningen op twee manieren. De ene manier was 'evaluatief', namelijk of de leerling een tekenaspect of een scheikundig idee juist had weergegeven of niet, of compleet of incompleet. Een docent leerde bijvoorbeeld door een tekening van de ionen in een elektrolyt (zoals in figuur 1) dat een leerling wel begreep dat ionen uit elkaar vallen in oplossing, maar niet dat een elektrolyt uit heel veel ionen bestaat. De tweede

manier van interpreteren was 'betekenisgevend', waarbij docenten de tekening gebruikten om zich te verplaatsen in de leerling, en het denken van de leerling probeerden te begrijpen. Op basis van de tekening van figuur 2, bijvoorbeeld, speculeerde een docent dat dubbele bindingen en de octetregel wellicht toch onduidelijk kunnen zijn voor leerlingen en ze daarom zelf elektronen erbij verzinnen om tot acht te komen.

De eerste manier van interpreteren is vaak belangrijk als je leerlingen uiteindelijk wilt voorbereiden op een toets, terwijl de tweede manier van interpreteren vormen van feedback kan opleveren die leerlingen verder kunnen helpen in een leerproces (Dini et al., 2020). Het evalueren van goede en foute tekenaspecten kan ook een opstap zijn naar een betekenisgevende interpretatie.

### Vier categorieën tekenaspecten

Tekeningen van leerlingen verschilden vaak van elkaar. We zagen dat er vier onderscheidende categorieën tekenaspecten waren die docenten vooral informatie gaven over leerling-denken in scheikunde. De eerste categorie is 'Visuele vormen' (tabel 1) waar iconen en scheikundige symbolen onder vallen maar ook geschreven tekst, zoals labels. Als leerlingen alleen iconen gebruikten, zoals cirkels die een atoom voorstellen, maar zonder scheikundige symbolen dan was het vaak toch onduidelijk wat leerlingen

HANNA STAMMES is Universitair Docent BètaDidactiek bij het Institute for Science Education aan de Radboud Universiteit Nijmegen.

LESLEY DE PUTTER is Universitair Docent Modern STEM-onderwijs aan de TU Eindhoven - ESoE.





1. Visuele vormen			
iconen	scheikundige symbolen	wiskundige symbolen	tekst
	$\rightarrow$ $MgO$ $Li^+ (s)$	$4H_2O$ $\rho = \frac{m}{V}$	neerslag warmte

Tabel 1. Visuele vormen

2. Kwantiteiten	
(relatieve) hoeveelheden/aantallen	(relatieve) afstanden en groottes

Tabel 2. Kwantiteiten

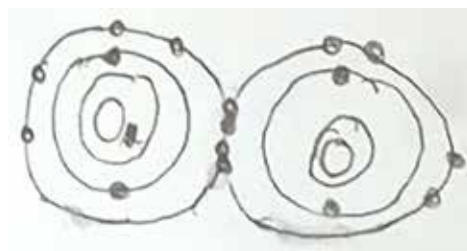
3. Lengteschalen				
macro	meso	micro		
		deeltjes	moleculair-atomair	elektronisch
$H_2O(l)$  gas			 $Na^+$	 $Na^+$ $e^-$

Tabel 3. Lengteschalen

precies bedoelden (zie figuur 3). In figuur 1 daarentegen gebruikt de leerling wel zowel iconen als symbolen en kun je begrijpen wat de verschillende cirkels betekenen.

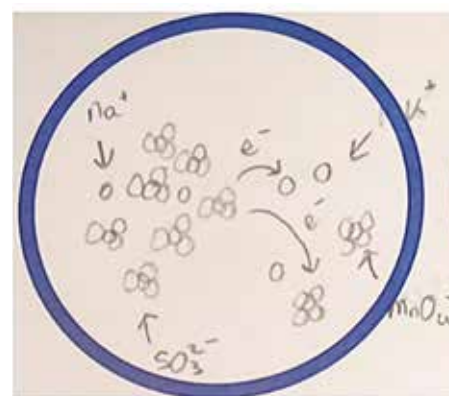
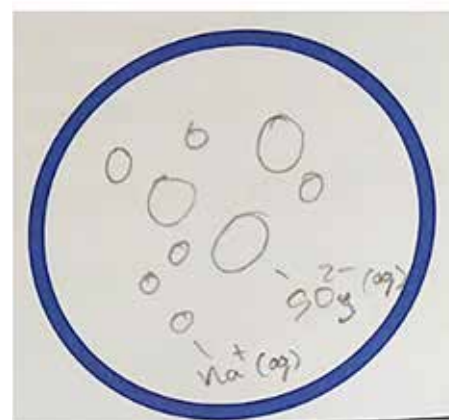
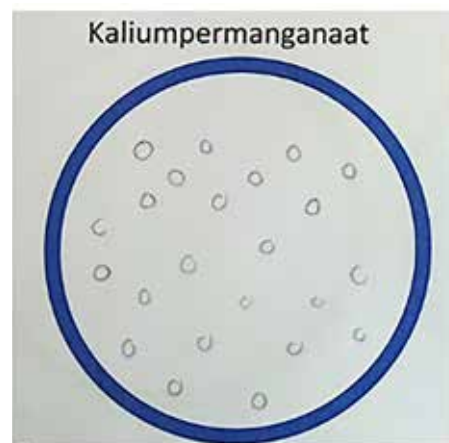
De tweede categorie tekenaspecten is 'Kwantiteiten'. Hierbij tekenen leerlingen hoeveel, hoe groot of hoe lang iets is (tabel 2). Dit vertelt docenten bijvoorbeeld hoe een leerling denkt over de samenstelling van een molecuul. Kijk zelf maar eens: hoeveel elektronen tel jij in figuur 2?

De derde categorie is 'Lengteschalen' (tabel 3). Hierbij zagen we dat docenten letten op meer dan alleen de macro-, meso- en



Figuur 2. Een tekening van een zuurstofmolecuul met elektronenschillen met een bijzonder aantal elektronen...

microniveaus. Het bleek informatiever om het microniveau verder te specificeren in tekenopdrachten. Bijvoorbeeld, wil je dat een leerling nadenkt op het niveau van algemene deeltjes, moleculen, atomen en/of elektro-



Figuur 3. Tekeningen van zoutoplossingen op verschillende soorten 'microniveau'

nen? Bekijk de tekeningen van zoutoplossingen in figuur 3 maar eens, waarbij een docent had gevraagd om een tekening op (algemeen) microniveau wat leidde tot verschillende interpretaties van leerlingen. Niet elke tekening was daarbij even informatief, want de docent had eigenlijk het elektronenniveau willen zien.



## Duurzaamheidsolympiade

Hoe daag je leerlingen uit om hun natuurwetenschappelijke kennis toe te passen op échte maatschappelijke vraagstukken? De Duurzaamheidsolympiade INESPO (International Environment & Sustainability Project Olympiad) biedt al zeventien jaar een inspirerend podium voor duurzame leerlingprojecten uit binnen- en buitenland.

Begeleid je (teams van) bovenbouwleerlingen die werken aan oplossingen voor mondiale duurzaamheids- en milieuproblemen, bijvoorbeeld in hun profielwerkstuk of in een talentprogramma? Dan is deelname aan de duurzaamheidsolympiade mogelijk een interessante kers op de taart.

Docenten/begeleiders kunnen één of meerdere leerlingenteams aanmelden voor deelname. De leerlingen zenden voor de sluitingsdatum van 1 mei hun projectverslag in en een deskundige jury nomineert minimaal twintig inzenders om hun projecten te presenteren in de finale op zaterdag 27 juni 2026 aan de Vrije Universiteit Amsterdam.

In 2025 ging de eerste prijs naar een leerling uit de Verenigde Staten met het project: 'Een verticale windturbine geïnspireerd op de hamerhaai voor hogere energieopbrengst.' De tweede en derde plaats werden behaald door leerlingen van Nederlandse scholen, die eveneens met sterke, praktijkgerichte duurzaamheidsprojecten indruk maakten op de jury.

Meer informatie en aanmelden:  
[www.inespo.org](http://www.inespo.org)

4. Eigenschappen en gedrag		
samenstelling	structuur	beweging
<p>NaCl</p>		
fase	elektrische aspecten	proces door de tijd
<p>(s) gas</p>	<p><math>\text{NH}_4^+</math></p>	

Tabel 4. Eigenschappen en gedrag

De laatste categorie is die van 'Eigenschappen en gedrag', zoals scheikundige structuur, beweging of lading (tabel 4). Hierbij komen de andere tekencategorieën vaak samen, waardoor je bijvoorbeeld kan zien hoe een leerling denkt over de structuur van een molecuul (zie bijvoorbeeld het koolstof-lithiumcomplex in figuur 1) of de transfer van elektronen tijdens een redoxreactie (figuur 3).

### Tijdens en na een tekenles

Docenten die tijdens de tekenopdracht al actief meekeken naar de tekeningen en leerlingen vragen stelden (bijvoorbeeld: "Wat bedoel je hier precies mee?" of "Hoe denk jij dat dit werkt?") leerden het meest over het scheikundig denken van hun leerlingen. Zij konden ook het teken- en leerproces tijdens de les gaandeweg bijsturen. Alle docenten in ons onderzoek zagen daarnaast nieuwe dingen als ze tekeningen na de les nog even rustig doorkeken. Leerling-tekeningen zijn dus zowel tijdens als na een les interessant om te bekijken!

### Tekenopdrachten inzetten

Tijdens workshops op onder andere de Woudschoten Chemie Conferentie en het NVON-congres hebben docenten zelf tekenopdrachten bedacht, gebruikmakend van de vier categorieën. Andere docenten maakten de opdrachten alsof ze leerlingen waren. Er kwamen allerlei ideeën voor tekenopdrachten voorbij, van het tekenen van een titratie tot omslagpunt en scheidingsprocessen tot het tekenen van een biochemische reactie in molecuulformules en tetraëdrische

structuren. Opdrachten uit je eigen lesmethode of examens lenen zich soms ook eenvoudig voor een vertaling naar een tekenopdracht. De docenten uit ons onderzoek lieten dat ook mooi zien. Door een opdracht om te zetten in een tekenopdracht zijn je leerlingen op een andere manier actief en krijg jij nieuwe kansen voor een kijkje in hun denken. Let daarbij vooral op de vier categorieën van betekenisvolle tekenaspecten, zowel in je opdrachtomschrijving als in de resulterende tekeningen. Misschien ontdek je ook nog wel meer belangrijke tekenaspecten, zoals getekende intramoleculaire krachten of kleurgebruik door leerlingen. Veel tekenplezier! ●

### BRONNEN

- Dini V., Seviaan H., Caushi K. & Orduña Picón R., (2020), Characterizing the formative assessment enactment of experienced science teachers, *Science Education*, 104(2), 290-325.
- Kozma R., Chin E., Russell J. & Marx N., (2000), The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning, *Journal of the Learning Sciences*, 9(2), 105-143.
- Stammes, H., & de Putter-Smits, L. (2025). Drawing meaning from student-generated drawings: Exploring chemistry teachers' noticing. *Chemistry Education Research and Practice*, 26(2), 494-507.

# Wedloop tussen microben en de mens

## In gesprek met Jaap Wagenaar, hoogleraar infectieziekten bij de faculteit Diergeneeskunde

Prof. dr. Jaap Wagenaar is hoogleraar Klinische Infectiologie aan de faculteit Diergeneeskunde van de Universiteit Utrecht. Hij is internationaal erkend expert op het gebied van antimicrobiële resistentie en *Campylobacter* (een bacterie die onder andere voorkomt in de darmen van dieren, waardoor mensen en dieren, al dan niet via voedsel, besmet kunnen raken). Hij is expert voor de WHO, FAO en WOA. H.



Jaap Wagenaar studeerde diergeneeskunde aan de Universiteit Utrecht. Hij deed zijn promotieonderzoek in Utrecht en het USDA-National Animal Diseases Center in Ames, Iowa, VS. Wagenaar is lid van een groot aantal (inter)nationale netwerken. Als lid van het wetenschappelijk panel van de Autoriteit Diergeneesmiddelen (SDa) hielp hij beleid te ontwikkelen dat leidde tot een drastische daling van het gebruik van antibiotica bij dieren: een belangrijke stap voor zowel diergezondheid als volksgezondheid.

In 2006 werd hij benoemd tot hoogleraar Klinische Infectiologie aan de faculteit Diergeneeskunde van de Universiteit Utrecht. De belangrijkste onderwerpen van zijn onderzoek zijn antimicrobiële resistentie (AMR) en *Campylobacter*.

In maart 2023 ontving Wagenaar een eredoctoraat van de Universiteit van Gent voor zijn baanbrekende bijdragen aan de veterinaire microbiologie en de One Health-benadering, waarin mens, dier en milieu onlosmakelijk verbonden zijn.

Wagenaar is Diplomate en Founding Member van het European College of Veterinary Microbiology.

*Wanneer, hoe en waarom kwam je terecht in op de plaats waar je nu bent?*

Ik heb in binnen- en buitenland in diverse veterinaire en volksgezondheid instituten gewerkt. Op een zeker moment kon ik in Utrecht hoogleraar worden en in dat werk komen alle lijnen samen.

*Wat was voor jou de aanleiding om je te specialiseren in de infectieziekten en antibioticaresistentie?*

Dat kwam tijdens mijn diergeneeskundestudie: professor Marian Horzinek (1936-2016, één van de grondleggers van de veterinaire virologie in Nederland) maakte me enthousiast voor het vak infectieziekten. Vervolgens bracht dr. Ep Hartman mij de liefde voor de klinische microbiologie bij. Via die weg kwam de antimicrobiële resistentie op mijn onderzoeksplan. Het is wereldwijd een van de grootste problemen in de infectieziekten waar we dagelijks mee te maken hebben. Dat is niet alleen in de klinische (dier)geneeskunde een probleem, maar zeker ook maatschappelijk.

*Wat was het belangrijkste moment in je loopbaan?*

Wat mij betreft zijn er vier hoogtepunten. Mijn promotie, op het gebied van leptospirose. Als tweede mijn benoeming als hoogleraar, als derde, mijn eredoctoraat. En heel recent: dat ik ben voorgedragen als promotor van het jaar binnen de Graduate School of Life Sciences van de Universiteit Utrecht, en dat gaat over de kwaliteit van de begeleiding van de promovendi.

## Mondiale gezondheid is een ieders verantwoordelijkheid

*Wat waren de grootste problemen die je op je weg bent tegengekomen?*

Ja, dat is wel een goeie vraag. Waarschijnlijk heb ik niet veel tegenslagen gehad want ze zijn me niet bijgebleven. Wel blijft er altijd de zorg om onderzoeksfinanciering te verwerven.

*Hoe heb je jouw werkveld gedurende je loopbaan zien veranderen?*

Ik heb tijdens mijn carrière de ontwikkeling meegemaakt waarbij we overgingen van de kweek van bacteriën en fenotypische typering naar het gebruik van DNA-sequensen van hele bacteriële genomen. De stappen van sequensen, bioinformatica en het gebruik van big data zijn echt heel grote veranderingen die tot enorme vooruitgang geleid hebben. Overigens ben ik blij dat ik die kweek nog steeds in de vingers (en het hoofd!) heb, want vaak blijft dat toch stap één.

*Wat zou je iemand die diergeneeskunde wil gaan studeren aanraden?*

Doen! En sta open voor andere dingen dan de praktijk ingaan. Het is een mooie, brede studie en maak daar gebruik van. Kijk over grenzen! Ik kom veel en graag in ontwikkelingslanden en leer daar van collega's nog steeds veel, zowel op professioneel als cultureel

gebied. Ik realiseer me daarbij steeds dat wij in een land leven waarin heel veel heel goed geregeld is: in veel minder goed georganiseerde landen zijn er veel grotere risico's voor humane gezondheid en diergezondheid. Het gaat mij in ontwikkelingslanden om samenwerking waarbij we elkaar kunnen versterken op het gebied van onderzoek, onderwijs en beleid. Zeker aan de diergeneeskundekant. We hebben daarbij een rol te spelen in de wereld, maar we moeten daarbij wel oppassen voor het westerse superioriteitsgevoel.

### One health

*Wat kunnen of moeten we doen om bij de medici de - nog steeds bestaande - vooroordelen ten opzichte van diergeneeskunde te verminderen?*

Het kan altijd beter, maar in de afgelopen tien, twintig jaar is wel een grote verbeterslag gemaakt, ook door bijvoorbeeld de bestrijding van covid en Q-koorts. In Nederland is de samenwerking tussen humane geneeskunde en diergeneeskunde misschien wel het beste van de hele wereld.

*Kun je een voorbeeld geven van een situatie waarin samenwerking tussen artsen, dierenartsen en milieuwetenschappers direct heeft geleid tot betere gezondheidsuitkomsten?*

Dat is beslist op het gebied van antimicrobiële resistentie. Die bal ging rond 2005 rollen door een publicatie over hoog antibiotica-gebruik in de Nederlandse veehouderij. Dat leidde tot Kamervragen, de minister greep in met wetten, dierenartsen en veehouders pakten hun rol en daardoor konden we een enorme vooruitgang boeken. Dat is gebeurd door druk vanuit de humane kant met een enorme actie aan de dierkant. Die samenwerking heeft duidelijk geloofd.

*Wat zijn volgens jou de grootste uitdagingen bij het implementeren van One Health?*

Je moet elkaar goed kennen, respect hebben voor de kennis die de ander heeft van de eigen sector. Dat wederzijdse respect is er nu absoluut.

### Zoönosen

*Welke zoönosen zie je op dit moment als de grootste bedreiging voor de volksgezondheid in Europa?*



Er liggen er meer op de loer: vogelgriep, antibiotica resistentie en door het veranderende klimaat breiden de infecties met het westnijlvirus zich uit naar het noorden. Dit zijn de dreigingen die we aan zien komen, maar je zult zien dat er iets opduikt waar we niet aan hebben gedacht. Als je je surveillance systeem dan op orde hebt, kun je snel opschalen en het probleem effectief aanpakken. In Nederland is hier heel goed over nagedacht, ook weer met samenwerkende disciplines.

*Hoe belangrijk zijn vaccinaties?*

De vaccins die we gebruiken zijn heel goed getest, dus veilig – en ze voorkomen enorm veel problemen. Dus wel of niet vaccineren is voor mij een non-discussie. Vaccineren? Altijd!

*Wat kunnen we voor de toekomst leren van recente uitbraken van zoönosen, zoals vogelgriep of covid-19?*

Dat we de signaleringssystemen ook in vredestand heel goed in stand moeten houden. Voor de politiek is dat weinig aantrekkelijk, maar die systemen zijn wel essentieel. Ze zorgen voor onze veiligheid en die moeten we echt koesteren. Covid heeft laten zien hoe belangrijk het is om voorbereid te zijn. Het probleem is dat politici bij uitblijven van uitbraken denken: dat kan wel een tandje minder. Een heel foute gedachte! Pandemische paraatheid is enorm belangrijk!

*Campylobacter is een van je onderzoeksgebieden. Wat maakt deze bacterie zo'n hardnekkige zoönose en waarom is bestrijding zo lastig?* Er is in de bestrijding altijd een wedloop tussen microben en mens. *Campylobacter* voelt zich heel happy in kippen en is daardoor moeilijk te bestrijden. Pluimvee wordt er niet ziek van en dus weten veehouders niet of de dieren besmet zijn. De veehouders kunnen *Campylobacter* moeilijk buiten de stallen houden en uiteindelijk komt de bacterie via besmet vlees bij de mens en zorgt daar voor diarree. In het algemeen is mijn stelling: wij zijn slimmer dan micro-organismen, maar zij kunnen zich veel sneller aanpassen aan een nieuwe situatie doordat ze soms wel drie keer per uur delen. Als mens kunnen we deze wedloop zomaar verliezen als we te laat zijn met een vaccin of geen nieuwe antibiotica meer hebben. Deze wedloop fascineert me!

*Welke rol spelen huisdieren en hobbydieren in de transmissie van zoönosen, en in hoeverre wordt dit onderschat?*

Ze spelen een rol, maar het zijn vaak individuele gevallen. Er is wel degelijk aandacht voor, maar tot dusver heeft het niet tot grote uitbraken geleid. Eén van de voorbeelden waar we altijd alert op moeten blijven is papegaaizenziekte.

**AMR**

*In Nederland is inmiddels het gebruik van antibiotica in de veehouderij sterk teruggebracht. Welke effecten zie je daarvan op de gezondheid van mens en dier?*

We zien een enorme resistentieafname in commensale (niet ziekteverwekkende) *Escherichia coli* bij dieren. Het effect van de ziekteverwekkers bij de mens is echter heel beperkt. Minder antibiotica heeft niet geleid tot minder MRSA in varkens, en hierdoor zien we hiervan geen afname bij de mens (vooral veehouders). Bij *Campylobacter* en humane urineweginfecties veroorzaakt door *Escherichia coli* zien we ook geen afname van resistentie. Er is een effect zichtbaar bij *Salmonella* maar die analyses worden bemoeilijkt door import en reizen. We moeten ons ook realiseren dat het resistentieprobleem bij de mens relatief klein was toen er nog veel antibioticumgebruik in dieren was. Er is zeker overdracht vanuit dieren naar de mens maar die moeten we in Nederland niet overschatten. Dat zou overigens in andere landen waarbij veel mensen zelf in nauw contact met dieren leven anders kunnen zijn. De taak van dierenartsen blijft om zo min mogelijk antibiotica voor te schrijven. Dat is goed voor de diergezondheid en reduceert overdracht naar de mens.

*Welke samenwerking tussen humane en veterinaire geneeskunde vind je cruciaal om resistentieproblemen aan te pakken?*

Zorg voor continu overleg zodat je bij de eerste signalen gezamenlijk kunt optrekken. Respect en vertrouwen zijn cruciaal en dat hebben we zeker in Nederland en daarom hebben we ook een functioneel signaleringsoverleg op het gebied van zoönosen.

*Wat kunnen we zelf doen om bij te dragen aan het verminderen van antibioticaresistentie?*

We kunnen als consument hier zelf niet

zoveel doen, het is al goed geregeld omdat alle antibiotica op recept zijn. En omdat je er vanuit mag gaan dat de professionals de juiste beslissingen nemen. Bij reizen moet je terughoudend zijn in het gebruik. Het is een fundamenteel probleem in ontwikkelingslanden. Daar worden ze zonder recept verkocht.

*Hoe kan het onderwijs hierin een rol spelen?*

De professionals zijn heel belangrijk – overal. Begin in het onderwijs met informatie geven in het basisonderwijs en ga daar op alle niveaus mee door. Uiteindelijk moeten de kinderen als ze volwassen zijn de beslissingen nemen.

*Als je vooruitkijkt: wat zijn volgens jou in Nederland de grootste uitdagingen en kansen in de strijd tegen antibioticaresistentie in de komende tien jaar?*

In Nederland neemt resistentie langzaam toe. Door intercontinentale reizen en handel kunnen ook multiresistente bacteriën binnenkomen. Geopolitieke veranderingen, zoals de oorlogen in Gaza en Oekraïne leveren daarbij een niet te onderschatten dreiging, als het gaat om calamiteiten en patiënten die hierheen komen. En we moeten zorgen dat de resistente micro-organismen niet in de voedselketen terechtkomen.

**Tot slot**

*Wat is je grootste wens voor de toekomst als het gaat om je werk?*

Een grote wens is dat er steeds nieuwe generaties studenten zijn die gefascineerd zijn door infectieziekten en daar nationaal maar zeker ook internationaal aan willen werken.

*Wat verwacht je van de toekomst?*

We komen nu in een situatie waarin we een nieuw evenwicht moeten vinden nu allerlei zekerheden wegvallen. De afbreuk van gerenommeerde instituten zoals het CDC in de VS, dat toonaangevend was in de wereld en een essentiële rol had in de mondiale bestrijding van infectieziekten is een grote zorg. De WHO, en andere (VN-)organisaties leveren enorm in op hun slagkracht. De gevolgen kunnen niet uitblijven. Mondiale gezondheid is een ieders verantwoordelijkheid en het zou goed zijn dat mensen met invloed dat inzien. ●



Machteld de Kok is na een aantal vervangingsbanen sinds 2015 verbonden aan het Stedelijk Gymnasium Leiden. Ze schrijft over haar herinneringen en recentere gebeurtenissen op school.

# Troep

## 'VAN WIE IS DIE BANAAN?'

Met een hopelijk strenge blik kijk ik de klas rond. Negen-entwintig paar ogen kijken van mij naar de boosdoener: de banaan. Een smerig hoopje blubber in de deuropening. 'Die is van een andere klas,' opperde Twan tenslotte. 'Onzin Twan, hij lag er net écht nog niet. Dat weet ik zeker.' Ik wist het natuurlijk niet honderd procent zeker, maar de vorige klas kennende én deze klas kennende wist ik het zeker genoeg om te zeggen dat ik het zeker wist. 'Kom op, het is maar een banaantje hoor, geen poep. Ruim het gewoon even op.'

'Het is echt niet van ons, mevrouw.'

Ook niet van mij, wil ik dan altijd roepen. Waarom hoort bij het docent-zijn altijd dat je troep moet opruimen die niet van jezelf is? Waarom voelen leerlingen niet de verantwoordelijkheid voor het lokaal? Terwijl ik bedacht hoe ik me uit deze situatie kon redden, keek ik de klas rond. Tot mijn grote vreugde zag ik dat het in lange tijd niet zo stil was geweest en dat ik nog nooit zoveel onverdeelde aandacht had gehad. Een meesterplan vormde zich in mijn hoofd. Onder dreiging van De Banaan.

'Ik weet het goed gemaakt,' zei ik. 'Van wie ik last heb, die laat ik de banaan opruimen. Heb ik van niemand last, dan ruim ik hem zelf op.'

Het was de stilste en braafste les die ik in tijden had gehad. Ik hoefde maar iemand aan te kijken of de dreiging van De Banaan verscheen weer in hun ogen en ze hielden zich koest en deden goed mee. Toch vloog er, helemaal aan het eind, weer een vliegtuigje. Van Twan. Hij kon het echt niet laten. Dus hij had bananendienst.

Dit was natuurlijk niet ideaal, en onderdeel van een groter probleem: troep. Als ik de leerlingen na een

veel te drukke les het lokaal uit laat, opgelucht dat we het met ons allen hebben overleefd, zie ik soms pas wat ze allemaal hebben achtergelaten. Laatst had klas 3 een

## De dreiging van 'De Banaan' verscheen weer in hun ogen

slagveld van modder, papiertjes, pennen en verschoven tafels achtergelaten in hun deodorantstofwolk. Een paar zorgvuldig gemaakte stencils waar ik de avond ervoor zoveel aandacht aan had besteed lagen op de grond met voetstappen erop. Er zat maar één ding op. Een foto. Die middag werkte ik aan de PowerPoint. De foto had ik een mooi plekje gegeven aan het begin van de presentatie. Boos worden kon later. Ik ging net doen alsof het gewoon echt niet duidelijk was dat je geen troep mocht maken en

dat ik het ze gewoon nog even moest uitleggen. Kijken of ze het überhaupt zagen. Het lesonderdeel had ik 'lokaal-shamen' gedoopt, maar een collega kwam met een veel betere suggestie en zo kwam het dat de klas de volgende dag het lesonderdeel 'metacognitief lesgeven' zag. Paniek en vraagtekens. Na een angstaanjagende uitleg van wat metacognitie was en dat we daar nu zelf een oefening mee zouden doen verscheen de lokaalfoto met als bijschrift: 'Wat kan hier beter?' Voorzichtig ging een vinger omhoog. 'Ehhhh, er kunnen minder papiertjes op tafel liggen?'

'Super goed gezien, Sarah! Inderdaad! Wat nog meer?'

Bloedserieus ging ik op hun antwoorden in en ik ben blij te vertellen dat het de hele volgende week een stuk netter was in het lokaal.



## VAN DE VAKBONDSTAFEL

Op deze plaats vindt u een greep uit de activiteiten die uitgevoerd worden of die het bestuur van de NVON heeft besproken, en die voor u als NVON-lid interessant kunnen zijn.

### Werkdruk

In januari en februari werden regionale bijeenkomsten georganiseerd met als onderwerp 'Het gesprek over taakbeleid en werkdrukverlichting'. Tijdens de in totaal negen georganiseerde gesprekken, verspreid over het land, werd de toelichting op art. 8.2 CAO VO Herbeoordeling taakbeleid vóór schooljaar 2028-2029 besproken, waarin verwezen wordt naar het raamwerk 'Het professionele gesprek en taakbeleid op hoofdlijnen'. Tijdens de middagen stond vervolgens centraal wat dit betekent voor scholen en hoe zij dit aan kunnen pakken. Vanuit de NVON volgen we dit traject nauwkeurig. Ben je P(G)MR-lid en wil je je ook alvast inlezen op deze materie: scan dan QRCA.

### Curriculumimplementatie

De NVON krijgt, net als vele andere vak- en beroepsverenigingen, subsidie van het ministerie van OCW om mee te helpen bij de curriculumimplementatie van de kerndoelen en examenprogramma's. In de periode tot en met 2031 krijgen deze verenigingen tijd om structuren in te richten binnen hun verenigingen om zo een bijdrage te leveren aan deze implementatie. De komende tijd gebruiken we om deze structuren vorm te geven en zo teams en werkgroepen neer te zetten die hierin een bijdrage kunnen leveren.

### Vernieuwd pensioen ABP

In NVOX 2 van dit jaar stond een artikel over het vernieuwde pensioen van het ABP. Alle informatievoorziening over de aanloop naar dit vernieuwde pensioen

vanaf 1 januari 2027 verloopt vanuit het ABP. De communicatie hierover is inmiddels gestart. Ons advies is om je goed in te lezen in de informatie die het ABP stuurt over je vernieuwde pensioen. Stel jezelf goed op de hoogte van wat dit voor jouw situatie betekent. Meer info over het vernieuwde pensioen via de site van het ABP. Scan hiervoor QRC B.

### Norm zwangerschap en borstvoeding

De gezondheid van een werknemer tijdens zwangerschap of in de periode dat ze borstvoeding geeft is extra kwetsbaar en vraagt om zorgvuldige aandacht, zo meldt Voion in haar nieuwsbericht over de geactualiseerde norm over zwangerschap en borstvoeding. Werkgevers moeten daarom voor deze bijzondere groep werknemers controleren of aanpassing van het werk en de werkomstandigheden nodig zijn en of de faciliteiten (nog) op orde zijn. De geactualiseerde norm 'Zorg voor werknemers die zwanger zijn of borstvoeding geven' in de Arbocatalogus-VO beschrijft wat de Arbeidsinspectie (NLA) van werkgevers verwacht of eist. Enkele aandachtspunten uit de norm:

(1) Inventariseer risico's met een aanvullende Risico-Inventarisatie & -Evaluatie (RI&E), (2) Pas het werk aan, (3) Voorlichting door de werkgever binnen twee weken na melding van de werknemer, (4) Faciliteer geschikte ruimtes en (5) Maak borstvoeding mogelijk tijdens werktijd. Scan QRC C voor info over en de inhoud van deze geactualiseerde norm.

### Arbojaarkalender

Onze partner in Arbozaken is 'VO in ontwikkeling' (Voion). Zij hebben recent een Arbojaarkalender voor preventiemedewerkers, schoolleiding en P(G)MR gepubliceerd. Wellicht dat jij op school betrokken bent bij Arbobeleid of dat je in nauw contact staat met degenen die verantwoordelijk zijn voor Arbobeleid op jullie school?

De Arbojaarkalender is een praktisch overzicht en een voorbeeldplanning van alle activiteiten binnen de jaarlijkse arbobeleidscyclus. Door gebruik van de Arbojaarkalender is de kans groter dat er niets vergeten wordt aan Arbowetverplichtingen en geeft de school invulling aan deze verplichtingen. De kalender helpt preventiemedewerkers om de schoolleiding te ondersteunen bij naleving van Arbowet-verplichtingen, samen te werken met P(G)MR, HR, facilitair en arbodienst en een gestructureerde jaarplanning te maken voor RI&E, ziekteverzuim, BHV en meer. Download de Arbojaarkalender via QRC D.

Corine Hijmissen *Stafmedewerker Vakbondszaken en Projecten*



**DISCOVERY MUSEUM: Einstein Telescope Education Centre**



Woensdag 1 april in Kerkrade  
13.30-17.00u

Voor meer info zie  
[www.nvon.nl/nvon-op-locatie](http://www.nvon.nl/nvon-op-locatie)

# Jaarlijks gamedidactiek-feestje

**Het was weer tijd voor het jaarlijkse feestje voor iedereen die iets met gamedidactiek doet. In Utrecht organiseerden de Hogeschool Utrecht en Saganet op 28 januari, voor de tiende keer, de conferentie voor gamedidactiek. Een jubileumeditie dus, al werd dat nergens opzichtig gevierd.**

Ik ga er ieder jaar graag naartoe, al levert het ook altijd wat spanning op. Voor een hogeschool die duurzaamheid hoog in het vaandel heeft, blijft het laden van een elektrische auto namelijk een spannend spel op zichzelf. Het is bijna een metafoor voor gamedidactiek: beperkte resources, tijdsdruk en een onvoorspelbare uitkomst. Het was voor mij de zesde keer dat ik deelnam aan deze conferentie, die meestal in januari plaatsvindt. Dat ook deze bijeenkomst niet ontkomt aan de bezuinigingen op het hoger onderwijs, bleek uit het feit dat we dit jaar voor het eerst voor de lunch moesten betalen. Laat ik het zo zeggen: voor mij persoonlijk was deze lunch niet voor herhaling vatbaar. Gelukkig was dat het enige minpuntje. Daarentegen hadden ze wél een barista die een heerlijk kopje cappuccino maakte, een enorme verbetering ten opzichte van de kannen koffie van eerdere jaren. Het zijn de kleine dingen die een lange dag toch net wat aangamer maken.

De conferentie heeft al jaren een vaste opbouw. De dag begint met een keynote, ditmaal over AI, want dat is natuurlijk helemaal hot. Daarna volgt het traditionele conferentiespel dat deelnemers gedurende de dag kunnen spelen en waarmee leuke prijzen te winnen zijn. Het blijft mooi om te zien hoe zelfs doorgewinterde docenten en onderzoekers zich vol overgave storten op een spelelement; gamedidactiek werkt blijkbaar ook prima voor de doelgroep zelf. Tijdens de lunch is er een markt met aanbieders van educatieve spellen,



materialen en tools. In de middag volgen twee of meer workshoprondes met een breed aanbod: van praktische spelvormen tot theoretische beschouwingen, van digitale tools tot analoge klassiekers. De dag wordt afgesloten met een borrel en de prijsuitreiking van het conferentiespel.

In de zes keer dat ik de conferentie bezocht heb, heb ik zelf twee jaar workshops verzorgd. Mijn workshops over escaperooms zaten telkens vol en waren ontzettend leuk om te doen. Toch heb ik er de afgelopen twee jaar bewust voor gekozen om weer als deelnemer naar Utrecht te gaan. Ik wil er ook graag iets halen, nieuwe ideeën opdoen, me laten verrassen. Wat ik ophaal verschilt per jaar, maar de rit van Groningen naar Utrecht is het altijd waard.

Zo bezocht ik jaren geleden een workshop van de gebruikers van Insulae. Hoewel wij op school slechts beperkt met devices werken, raakte de kern van hun workshop me. Mijn collega's en ik passen die nog steeds toe. Natuurkunde bouwt voort op eerdere kennis; als dat fundament wankel is, haken leerlingen af. Daarom moeten leerlingen die een onvoldoende halen voor

een toets in klas 2 deze toets opnieuw maken. We willen immers een stevig fundament.

Een interessante workshop van dit jaar ging over de effecten van samenwerking tegenover competitie. Wat doet competitie met het leerproces, en waarom kun je beter inzetten op samenwerking? Competitie zorgt voor oogkleppen: het doel wordt niet meer leren, maar winnen. De begeleiders lieten ons dit zelf ervaren door een aantal korte opdrachten waarin de dynamiek tussen samenwerken en strijden pijnlijk zichtbaar werd. Het was een waardevolle reminder dat spelmechanieken nooit neutraal zijn; ze sturen gedrag, aandacht en motivatie.

De conferentie zal ook volgend jaar weer plaatsvinden in Utrecht. Met het nieuwe regeerakkoord is er hopelijk weer budget voor een goede lunch, al dan niet gratis. De barista mag in ieder geval blijven. Ik ben er weer bij.



## Mondeling examen

In het mbo zijn vrijwel het hele jaar door examens, al dan niet mondeling. Het valt mij op dat mensen, zeker bij mondelinge examens hun eigen manier van vragen hebben. Op zich is dat natuurlijk niet erg, als je maar hetzelfde doel voor ogen hebt. Bij een paar examens heb ik me achteraf kwaad gemaakt op mijzelf, omdat ik niet ingreep toen een mede-examinator bleef doorvragen op een onderwerp dat de kandidaat niet wist. Afgezien van het feit dat het gesprek oncomfortabel is voor de leerling – en het zelfvertrouwen ondermijnt – kom je er ook niet verder mee. Volgens mij is het doel van een examen sonderen wat een kandidaat wel, en niet wat deze niet weet. Wat doe je wel en wat niet bij een mondeling examen? Reacties graag naar [redactie@nvon.nl](mailto:redactie@nvon.nl)

*Marianne Offereins*

## COLOFON

**NVOX is een uitgave van de Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen (NVON)**

### Redactie:

**Hoofdredacteur:** A. Thurlings ([hfrd-nvox@nvon.nl](mailto:hfrd-nvox@nvon.nl))

**Adjunct-hoofdredacteur:** M. Domis-Hoos ([marijkehoos3@gmail.com](mailto:marijkehoos3@gmail.com)).

**Eindredacteurs:** S. Bosmans, biologie ([s.bosmans@fontys.nl](mailto:s.bosmans@fontys.nl)); E. van de Leur, natuurkunde ([erik@vandeleur.com](mailto:erik@vandeleur.com)); R. Soer, scheikunde ([rw.soer@gmail.com](mailto:rw.soer@gmail.com)); C.Schouten, scheikunde ([c.schouten@maaslandcollege.nl](mailto:c.schouten@maaslandcollege.nl)); M. Mojet, nlt ([mart.mojet.nvox@gmail.com](mailto:mart.mojet.nvox@gmail.com)); T. Tamis, Jong NVON ([toscatamis@gmail.com](mailto:toscatamis@gmail.com)) vacature, toa; N. Lurvink, vmbo ([lurvi09@hotmail.com](mailto:lurvi09@hotmail.com)); E. Savelsbergh, duurzaamheid ([e.r.savelsbergh@uu.nl](mailto:e.r.savelsbergh@uu.nl)).

**Redacteurs:** H. van Bemmel (na), H. Bruijnesteijn (vmbo/toa), J. de Gruijter (sk), C. van der Kamp (na), A. Pollmann (wo), W. van Elsäcker (na).

**Bureau redactie:** S. Dankers.

**Redactieadres:** TBU - Redactie NVOX, Dokter van Deenweg 162 (1e verdieping), 8025 BM Zwolle, email: [redactie@nvon.nl](mailto:redactie@nvon.nl), [www.nvon.nl/nvox](http://www.nvon.nl/nvox)

**Kopij kunt u aanleveren bij [redactie@nvon.nl](mailto:redactie@nvon.nl) of bij de betreffende eindredacteur.**

Aan de inhoud van de artikelen in dit blad is veel aandacht besteed. De redactie aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele onvolledigheden of onjuistheden. De redactie doet haar uiterste best alle aangeleverde foto's met de juiste bronvermelding te plaatsen. Wanneer desondanks beeld-

materiaal is gebruikt waarvan u rechthebbende bent en voor het gebruik waarvan u niet als bron of rechthebbende wordt genoemd, kunt u zich in verbinding stellen met de redactie: [redactie@nvon.nl](mailto:redactie@nvon.nl).

Overname van artikelen (op welke manier en met welk doel dan ook) is uitsluitend toegestaan met bronvermelding en na schriftelijke toestemming van de hoofdredacteur.

Tekst- en dataming zijn niet toegestaan.

Eventuele gevolgen van verkeerd, onoordeelkundig of onzorgvuldig uitgevoerde proeven zijn de verantwoordelijkheid van degene die ze uitvoert, ze kunnen nooit tot verantwoordelijkheid worden gemaakt van de auteurs of de redactie.

De redactie behoudt zich het recht voor artikelen te weigeren, dan wel te redigeren, in te korten of stilistische wijzigingen door te voeren.

**Dagelijks bestuur NVON:** J.J. Wietsma, voorzitter

([voorzitter@nvon.nl](mailto:voorzitter@nvon.nl)), A. Embrechts, secretaris

([secretaris@nvon.nl](mailto:secretaris@nvon.nl)), T. Tamis, penningmeester

([penningmeester@nvon.nl](mailto:penningmeester@nvon.nl)).

**Algemeen Bestuur:** het DB aangevuld met de sectie-

voorzitters: biologie: Jeroen Coenemans ([cnm@rml.nl](mailto:cnm@rml.nl)); natuurkunde: Gerben van Garderen ([g.vangarderen@castorcollege.nl](mailto:g.vangarderen@castorcollege.nl));

scheikunde: roulerend; nlt: André Linnenbank ([a.c.linnenbank@bytehouwer.nl](mailto:a.c.linnenbank@bytehouwer.nl)); toa: Myra Albers ([myra61.albers@hetnet.nl](mailto:myra61.albers@hetnet.nl));

technologie: Egon Giero ([egon@giero.nl](mailto:egon@giero.nl)); vmbo: Hein Bruijnesteijn ([h.bruijnesteijn@gmail.com](mailto:h.bruijnesteijn@gmail.com))

Het lidmaatschap kan maandelijks ingaan en wordt jaarlijks automatisch verlengd. Opzeggen is mogelijk tot uiterlijk

2 maanden vóór het einde van het lidmaatschap. Voor meer informatie, zie: [www.nvon.nl](http://www.nvon.nl).

### NVON-secretariaat / ledenadministratie:

TBU - NVON, Dokter van Deenweg 162 (1e verdieping), 8025 BM Zwolle, tel. 0522-243347 (maandag tot en met vrijdag)

[secretariaat@nvon.nl](mailto:secretariaat@nvon.nl) (algemene vragen)

[ledenadministratie@nvon.nl](mailto:ledenadministratie@nvon.nl) (aanmelding, opzegging, adreswijziging e.d.)

**NVON-bureau:** E. van Ballegoij ([hoofdbureau@nvon.nl](mailto:hoofdbureau@nvon.nl))

**NVON-ledenservice** (voor het bestellen van boeken en overige uitgaven): [www.nvonwebshop.nl](http://www.nvonwebshop.nl)

**NVON Vakbondsaken:** De NVON is aangesloten bij de FvOv, de Federatie van Onderwijsvakorganisaties.

Ook geeft de NVON rechtspositionele ondersteuning aan haar leden woonachtig in Nederland bij zaken die voortvloeien uit een dienstbetrekking. Informatie en indienen van aanvragen: [www.nvon.nl/ondersteuning](http://www.nvon.nl/ondersteuning).

**Stafmedewerker Vakbond en Projecten:** C. Hijmissen

**Website** [www.nvon.nl](http://www.nvon.nl).

### Vormgeving:

FIZZ | Digital Agency, [www.fizz.nl](http://www.fizz.nl).

**Productie:** FIZZ | Digital Agency, [www.fizz.nl](http://www.fizz.nl).

### Advertenties:

Voor inlichtingen: secretariaat NVON, Zwolle. Tel.: 0522-243347.