

# NVOX

MAGAZINE VOOR HET ONDERWIJS IN NATUURWETENSCHAPPEN

#1

januari  
2026  
jaargang 51

**Bewegen met technologie**

**Crash-course**

**Artis: het planetarium**



DOE HET

Ben jij docent in het voortgezet onderwijs en wil je jouw leerlingen inspireren met praktijkgerichte projecten, gastlessen of samenwerking met het hoger onderwijs?

Bij **HAS green academy** kun jij samen met ons de brug slaan tussen VO en HO. Denk bijvoorbeeld aan:

- Gastlessen en workshops
- Projecten en onderzoeksvragen
- Voorbereidingsprogramma's

We denken graag met je mee en staan open voor jouw ideeën.

Heb je vragen of wil je samenwerken?  
Neem dan contact met ons op via de QR-code.



### *Heb je ons gezien tijdens het congres 'Bèta in Beweging'?*

Geef wereldburgerschap een plek binnen jouw bètavak! Wij denken graag met je mee.

Rondom welke thema's zou jij willen samenwerken met leerlingen over de grens?

Leer over online samenwerken binnen Europa via eTwinning en fysiek via het Europese subsidieprogramma Erasmus+.

Kennisdelen en uitwisselen met andere scholen kan via ons Global Citizen Network.



Nieuwsgierig?  
Maak vrijblijvend een afspraak met jouw Nuffic regio-adviseur.  
Mail naar [po-vo@nuffic.nl](mailto:po-vo@nuffic.nl) of scan de QR-code.



# Van uitdaging naar actie



**E**en nieuw jaar met nieuwe kansen is begonnen. Voor de NVON het 51e. En het is dit jaar 100 jaar geleden dat de eerste voorloper van de NVON werd opgericht. Het jubileumjaar stond in het teken van mooie activiteiten, waaronder een goedbezocht en inspirerend jubileumcongres. We hebben in het jubileumjaar nagedacht over de uitdagingen waar we als NVON voor staan. Op de dag voor het jubileumcongres waren we bijeen met de organisaties uit Nederland en daarbuiten, waar we als NVON veel mee samenwerken. Samen hebben we het landschap van het onderwijs in bèta en technologie in kaart gebracht, verkend wat ieder daar brengt en waar samenwerken loont. Dat werd gewaardeerd door de deelnemers, met reacties als: zo'n gesprek moeten we vaker hebben. Ook werd ons allemaal meegegeven dat we samen laten zien dat we van onderaf willen bouwen aan de kwaliteit van ons onderwijs. Met die aanpak hebben we als vakvereniging in het onderwijs de wind mee. Tegelijk verwachten leden én andere organisaties nogal wat van ons, waar we lang niet altijd passend op kunnen reageren. Om resultaat te bereiken is binnen de NVON een effectieve organisatie nodig. Bijvoorbeeld voor het onderhouden van warme banden met onze internationale zusterver-

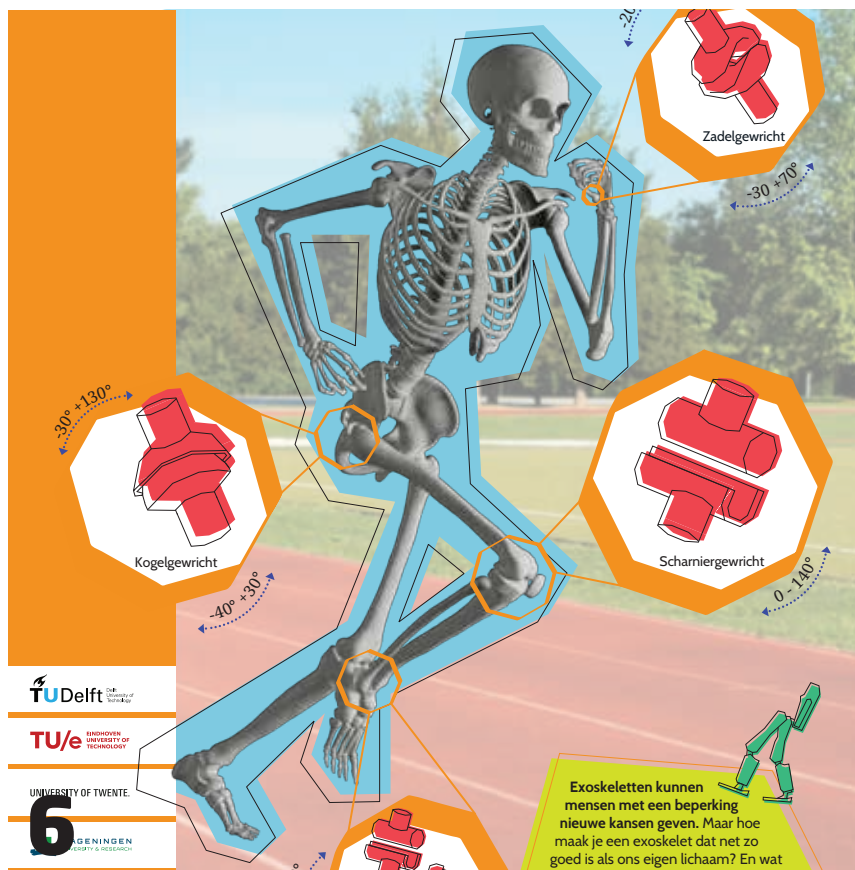
enigingen en het opzetten van intensievere samenwerking. Voor deze uitdaging richt ik graag binnen de NVON een kleine commissie in, die hierin onze activiteiten coördineert.

Waar de NVON zichtbaar actief is voor jonge leden, met Jong NVON, ontbreekt het aan actief beleid en een ontmoetingsplek voor zij-instromers in het onderwijs en onze oudere leden. Het viel me op dat meerdere recent gepensioneerde collega's mij in de laatste weken vertelden dat ze het lidmaatschap van de NVON hebben opgezegd. Wanneer 'vakvereniging' gelezen wordt als: de vereniging van werkende collega's in dat vak, is dat goed verklaarbaar. Ik zie graag dat we dit automatisme doorbreken, door oudere leden te binden én te laten ervaren dat hun ervaring en beschikbare tijd goud waard zijn. Dat zou kunnen door hen in te zetten om een klankbord te vormen voor zij-instromers. Misschien bekijken we ons op de groep die met het pensioen afscheid neemt van baan én vereniging omdat er binnen de NVON veel pensionado's volop actief zijn in allerlei commissies. Het vraagt actief beleid om senioren te binden én een zinvolle rol te bieden in activiteiten van de vereniging. Hier zijn leden voor nodig die zich daar structureel voor inzetten. Daar-

mee laten we ook zien dat we als NVON mede verantwoordelijkheid dragen voor het pensioen van onze gepensioneerde leden. Wie pakt deze uitdaging op?

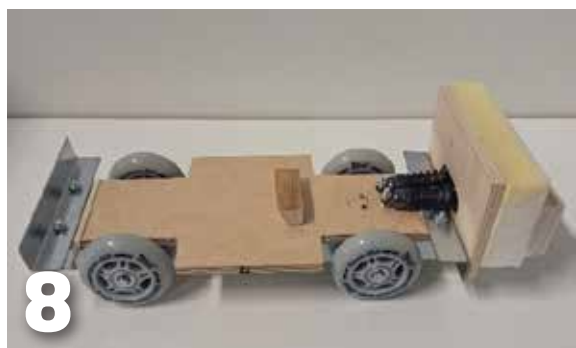
Met het verschralen van de ruimte die universiteiten en hogescholen hebben om zaken in de lucht te houden, is het extra belangrijk dat we als vakvereniging, met lange adem, het onderwijs blijven ondersteunen. Niet als vrijblijvende vrijwilligersclub, maar als robuuste vakvereniging van professionals en ervaringsdeskundigen. Kennisdeling, kennis beschikbaar hebben en houden, en mensen verenigen, met als doel de kwaliteit van het onderwijs in natuurwetenschappen en technologie op een hoog niveau te krijgen en te houden. Daarom zoeken we de samenwerking met verwante vakverenigingen in het natuurwetenschappelijk en technische domein, en gaan in het nieuwe jaar hiervoor als kartrekker optreden. Zo gaan we welbewust van onderaf aan de slag om die onderwijskwaliteit te borgen. Van uitdaging naar actie. Er ligt weer een nieuw jaar voor ons om daar voortvarend aan te werken.

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



## Bewegen met technologie

Hoe maak je onderwijs in wetenschap en technologie meteen uitvoerbaar, aansprekend én didactisch doordacht? Met het online lesaanbod van 4TU.Schools op LessonUp, mede ontwikkeld door studententeams en afgestemd met vo-docenten, brengen we universitair ontwikkeld lesmateriaal rechtstreeks de klas in, volgens Michelle Gimbrère. Docenten vinden hier gratis, kant-en-klare lessen die aansluiten bij kerndoelen en examenprogramma's.



## De Crash-Course

Innovatie is het creëren of verbeteren van oplossingen voor de meest relevante en prominente problemen. Dit is waar engineering om draait, volgens de auteur Stijn van Teylingen. Engineers zijn daarom essentieel voor de samenleving. Gelukkig is het nooit te vroeg om te beginnen met innoveren. Dit kan al beginnen op de middelbare school.



## Artis nu

Odin Helder, planeteer van het planetarium in Artis, beschrijft in deze column wat hij meemaakt als derdeklassers zijn planetarium bezoeken. Tijdens de les die door de docent geboekt is, wordt er een film gedraaid waarin duidelijke gemaakt wordt hoe al het leven op aarde met elkaar verbonden is.

OP HET OMSLAG:  
Foto: Artis


## Deurmat

Als we een deurmat of rode loper zouden hebben bij de redactie van NVOX zou daar in grote letters WELKOM opstaan. Dat geldt in het bijzonder voor de medewerkers van Artis die beurtelings een column gaan schrijven over hun belevenissen in de Amsterdamse dierentuin. Ik ben reuze benieuwd naar hun bijdrage en wil ze van harte welkom heten. Als stadskind was ik dol op de dierentuin, omdat je daar de leeuwen, de olifanten en de apen gewoon van dichtbij kon zien. Een heel andere ervaring dan plaatjes kijken. Ook nu nog loop ik graag een dierentuin in.

Ook nieuw dit jaar is dat natuurkundedocente en columnist Ekaterina Reijnen, die een wisselcolumn gaat schrijven met Machteld de Kok (van de column achterin NVOX en deze keer schrijft over haar andere studie). Ik bewonder Ekaterina's positieve kijk op ons Nederlands onderwijs en wil ook haar van harte welkom heten en kijk uit naar haar bijdrages. Mogelijk volgt u haar al op LinkedIn.

Verder gaat Nienke Lurvink met een nieuwe rubriek van start 'Next level' waarin zij haar ervaring met ons deelt met een nieuw spel of app. Deze keer gaat het over een app waarmee je inzicht zou kunnen krijgen in besmettelijke ziektes, voorzorgsmaatregelen en resistentie. Dat klinkt niet best, maar het schijnt toch leuk en verrassend uitdagend te zijn.

En verder? We gaan gewoon op de vertrouwde voet door waarbij we ook uw bijdrage van harte verwelkomen op [redactie@nvon.nl](mailto:redactie@nvon.nl).

Anneke  
Thurlings 

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

## RUBRIEKEN



**Periodiek van de NVON**  
Nederlandse Vereniging voor het  
Onderwijs in de Natuurwetenschappen

# Bewegen met Technologie

## De rol van exoskeletten bij een dwarslaesie?

Hoe maak je onderwijs in wetenschap en technologie meteen uitvoerbaar, aansprekend én didactisch doordacht? Met het online lesaanbod van 4TU.Schools op LessonUp, mede ontwikkeld door studententeams en afgestemd met vo-docenten, brengen we universitair ontwikkeld lesmateriaal rechtstreeks de klas in. Docenten vinden hier gratis, kant-en-klare lessen die aansluiten bij kerndoelen en examenprogramma's.

Op 4TU.Schools zijn lessen te vinden die aansluiten bij verschillende vakken. Bijvoorbeeld de les Deepfakes & AI die is te gebruiken voor het vak maatschappijleer en informatica. Duurzame energie & waterstof sluit qua inhoud goed

aan bij zowel aardrijkskunde als scheikunde en Smart city & mobiliteit leent zich uitstekend voor een les nlt.

Van enkele lessen zijn posters gemaakt als visuele kapstok (zie figuur 1). Voor alle lessen zijn duidelijke leerdoelen opgesteld en in veel gevallen ook werkbladen en interactieve vragen. Handig voor een complete les, als startpunt voor een profielwerkstuk of als thematische verdieping bij NaSk, biologie, informatica of nlt. Er is lesmateriaal voor verschillende niveaus, leerjaren en onderwerpen: kortom, voor elk wat wils!

### Een uitgewerkt voorbeeld

In de les Exoskelet worden anatomie en de gevolgen van een dwarslaesie verbonden aan een technologische oplossing: het exoskelet. Leerlingen krijgen een helder beeld van welke functies een exoskelet (gedeeltelijk) kan overnemen en wat dat betekent voor het dagelijks leven van de gebruiker. Ze vergelijken typen exoskeletten, onderzoeken toepassingsmogelijkheden en werken ten slotte met noodzakelijke bewegingsrichtingen: welke vrijheidsgraden zijn minimaal nodig om alledaagse bewegingen

te ondersteunen? Dit alles kan worden verduidelijkt, onder meer door gebruik van de poster.

### Kernactiviteiten

Tijdens de les maken de leerlingen de vertaalslag van theorie naar toepassing en komen onder meer de volgende activiteiten aan bod:

- Verkennen van scharnier-, zadel- en kogelgewrichten en bijbehorende (draai)hoeken;
- Analyseren van patiëntprofielen en dagelijkse handelingen;
- Kiezen en onderbouwen van ontwerpopties (vrijheidsgraden, balans tussen stabiliteit en bewegingsvrijheid);
- Afsluiten met een verwerkingsopdracht.

## Gratis kant-en-klare lessen

### Leerling aan het woord

Dat die vertaalslag ook echt wordt gemaakt, blijkt uit de reactie van een 3 vwo-leerling uit Amsterdam-Zuid: "Goh, dit was echt leuk. Het was wel moeilijk met dat rekenen, maar je zag tenminste waar die sommen goed voor waren. En een les van de universiteit, dat hebben we normaal niet."

Deze quote heeft betrekking op de les 'Kun je een mobieltje opladen met plantenstroom?', maar laat precies zien wat we ook met de exoskelet-les beogen: theorie en rekenen toepassen op een concreet ontwerp met duidelijk nut.



Figuur 1

### Zo werkt het in de klas

We beginnen bij het lichaam. Herkenbare bewegingen (opstaan, lopen, traplopen) vormen de kapstok om gewrichten en hoeken te benoemen. Vandaaruit verschuift de aandacht naar techniek: wat vraagt de heup aan beweging, hoeveel speling kan de knie hebben zonder stabiliteit te verliezen, en hoe weeg je comfort, kracht en massa? Door steeds te schakelen tussen anatomie

## Lesmateriaal voor verschillende niveaus, leerjaren en onderwerpen

en ontwerpen ontdekken leerlingen dat elk exoskelet vraagt om bewuste ontwerpkeuzes: meer bewegingsvrijheid gaat vaak samen met extra complexiteit, gewicht of energiegebruik. De poster biedt houvast: deze bundelt begrippen en hoeken en geeft ondersteuning bij het klassengesprek en begripvorming.

### Van casus naar ontwerpkeuze

Het hart van de les is een casus over leven met een dwarslaesie. Leerlingen bepalen samen de belangrijkste functies (bijvoorbeeld 'veilig kunnen opstaan' boven 'traplopen'), leiden daaruit minimale en wenselijke bewegingsmarges af en vertalen dit naar concrete ontwerpkeuzes. In een presentatie licht elk groepje toe:

- Welke gewrichten het systeem zeker moet ondersteunen;
- Welke bewegingsmarges realistisch én zinvol zijn;
- Welke ontwerpkeuze zij bewust maken (bijv. iets minder bewegingsbereik voor meer stabiliteit).

### Didactische meerwaarde

De les is direct inzetbaar bij wiskunde, biologie en natuurkunde. Denk bij wiskunde aan hoeken/goniometrie en grafieken lezen, bij biologie aan het bewegingsstelsel (en prikkelverwerking), en bij natuurkunde aan krachten/momenten en energie/vermogen. De les leent zich voor verdieping in vrijheidsgraden



Figuur 2



Figuur 3

en ontwerpkeuzes, en is een goede opstap naar een pws (bijvoorbeeld bewegingsleer, sensoren, gebruikservaring, ethiek).

### Praktisch:

- Tijd: 50 minuten (basis) inclusief het invullen van een werkblad.
- Leerjaren en -niveau: 4 en 5 havo en vwo.
- Benodigd: digibord en optioneel de exoskelet-poster (print of projectie) en/of werkbladen.
- Didactische tip: gebruik de poster als opener én als terugpakmoment bij de nabespreking; laat leerlingen belangrijke hoeken en begrippen kort herlabelen vóór de presentatie.

## Actief exoskelet

### Wat is het?

Een actief exoskelet is een robotisch pak dat aan de buitenkant van het lichaam wordt bevestigd en de spier-, zenuw- en botfunctie van het lichaam overneemt.

### Welke technologie gebruikt het?

Het exoskelet gebruikt sensoren en motoren om de bewegingen van de drager te versterken of over te nemen.

### Wanneer gebruik je het?

Mobiliseren & revalideren van mensen met spierzwakte of verlamming.

### Meer weten of aan de slag?

Ga naar [www.4tuschools.nl](http://www.4tuschools.nl) en zoek onder 'Lesaanbod' op Exoskelet. Via het filtersysteem aan de linkerkant vind je snel andere lessen die mogelijk aansluiten bij jouw behoefte.

Wil je een les testen of feedback geven of wil je mee ontwikkelen aan nieuwe lessen? Neem contact op met 4TU.Schools: [www.4tuschools.nl/over-ons/contactformulier](http://www.4tuschools.nl/over-ons/contactformulier)

\* Dit artikel kwam tot stand door 4TU.Schools, in samenwerking met TU/e, TU Delft, Universiteit Twente en Wageningen University & Research. ●

# De Crash-Course

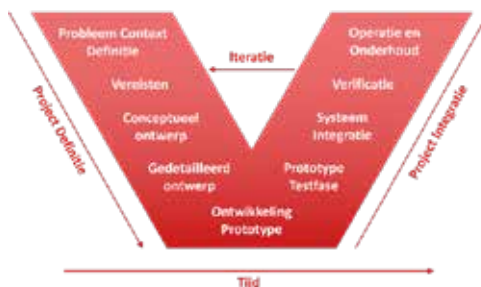
## Een introductie in Engineering

Innovatie is het creëren of verbeteren van oplossingen voor de meest relevante en prominente problemen. Dit is waar engineering om draait. Engineers zijn daarom essentieel voor de samenleving. Gelukkig is het nooit te vroeg om te beginnen met innoveren. Dit kan al beginnen op de middelbare school.

Een klas vol met leerlingen die actief bezig zijn met metingen, berekeningen maken en het ontwerpen van een nieuwe oplossing, is een klas vol met creatieve en innovatieve leerlingen. Ze worden gemotiveerd om hun kennis van natuur- en wiskunde toe te passen in de praktijk. De Crash-Course is ontworpen voor dat doel: het inspireren en motiveren van middelbare scholieren door ze te leren over het vakgebied 'engineering'. Als ontwikkelaar van de Crash-Course deel ik in dit artikel de inhoud en de impact die de lessenserie heeft gemaakt.

### System Engineering

Een belangrijke filosofie die ik heb meegereggen als masterstudent Automotive Technology aan de TU in Eindhoven, is de system engineering filosofie. In figuur 1 is de 'V-cyclus' te vinden. Dit is waar system engineering om draait. Het ontwerpproces is opgedeeld in verschillende fases, die opeenvolgend resulteren in de ontwikkeling en implementatie van een ontwerp. Deze methodologie wordt vaak toegepast voor grote en complexe problemen, waar meerdere subsystemen bij elkaar komen om een groot geheel te vormen, bijvoorbeeld wgvvoertuigen.

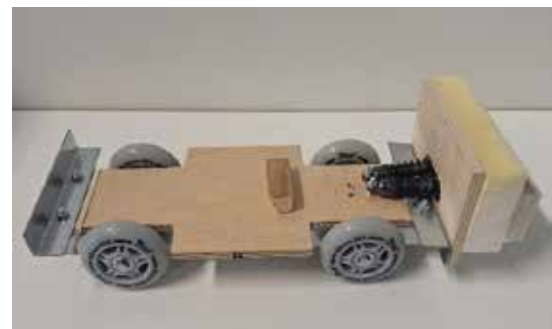


Figuur 1. V-cyclus system engineering

De lessenserie van de Crash-Course is zo in elkaar gezet, dat de leerlingen door acht lessen, meerdere fases van de V-cyclus ervaren. De lessenserie begint met een introductie van system engineering en een kennismaking met het probleem: het ontwerpen van een crashbestendige voorbumper van een passagiersvoertuig. Hier komt de naam 'Crash-Course' vandaan. Na deze introductie kunnen de leerlingen in teams aan de slag met het opstellen van een lijst van eisen. Deze lijst moet aan de SMART-criteria voldoen, een veelgebruikt concept in het engineering vakgebied. De lijst kunnen de leerlingen in de volgende les gebruiken om verschillende concepten te bedenken die een oplossing zouden kunnen zijn. Vervolgens wegen ze deze concepten tegen elkaar af door hun natuurkundige intuïtie te gebruiken. Het beste concept nemen ze mee naar de volgende les, waarin ze berekeningen maken om de benodigde materialen te bepalen. Ze zullen eigenschappen als dikte, materiaalkeuze en hoeveelheid moeten bepalen. Als de leerlingen eenmaal een gedetailleerd idee hebben over hoe hun ontwerp eruit gaat zien, gaan ze in les 4 aan de slag met het maken

van een bouwplan. Dit bouwplan kunnen ze in de volgende twee lessen gebruiken om een prototype te bouwen. In figuur 2 is het winnende prototype van de editie van de Crash-Course van dit jaar te vinden.

De prototypes worden in de voorlaatste les getest in de geïmproviseerde testopstelling, gebaseerd op officiële NCAP-crashtesten (European New Car Assessment Programme), te zien in figuur 3. De leerlingen kunnen de sensoren van hun telefoon gebruiken om de impact te meten. De testdata worden in de laatste les klassikaal besproken, waarna het winnende team van de Crash-Course bekend wordt. Ook wordt er gereflecteerd op de verschillende fases en wat de leerlingen zelf denken waar de meeste vooruitgang gemaakt kan worden. De Crash-Course biedt veel flexibiliteit binnen en buiten de lessen. Zo kunnen leerlingen eenvoudig buiten de lessen aan de slag om hun ontwerp te optimaliseren. De lessenserie kan ook worden uitgebreid om één of meerdere iteraties toe te voegen, zie de V-cyclus in Figuur 1. Dit is sterk aanbevolen,



Figuur 2. Winnend prototype Crash-Course



STIJN VAN TEYLINGEN is MSc (honors) Student Automotive Technology aan de TU/e.



Figuur 3. Voorbeeld van een Crashtest

aangezien dit leerlingen de kans geeft om echt te leren van hun fouten en zo een beter ontwerp te maken.

### Vakkundige thema's

Natuurlijk leren de leerlingen niet alleen wat engineering is, maar ook hoe ze hun natuur- en wiskunde kennis kunnen toepassen in de praktijk. Zoals al eerder vermeld, gaat de Crash-Course over het maken van de voorbumper van een passagiersvoertuig. Deze moet crashbestendig zijn om zo de inzittenden te beschermen van een frontale impact. Hierbij moet de kinetische energie die het voertuig heeft, worden omgezet in arbeid. Hiervoor is een energiebeschouwing nodig. De arbeid komt voor in de vorm van plastische en elastische vervorming van de voorbumper. Tijdens de conceptuele fase leren de leerlingen vertrouwen op hun kennis en ervaring over welke materialen hier goed voor zouden werken. Later leren ze hoe vervorming gelijk staat aan de opgenomen energie door middel van kracht-vervorming-diagrammen. Ze leren dat de oppervlakte onder de grafiek van een kracht-vervorming-diagram gelijk staat aan de arbeid en dus aan de geabsorbeerde energie. De Crash-Course valt voornamelijk onder natuurkunde domeinen A, C en I (+ D voor havo-leerlingen), waarin de leerlingen extra worden uitgedaagd binnen deze domeinen. De meeste stof wordt al vroeg in de bovenbouw behandeld, waardoor de Crash-Course gevolgd kan worden door alle klassen bovenbouw van zowel de havo als het vwo. Hierbij worden hogere klassen extra uitgedaagd, door ze kritischer te laten nadenken over hun

concept en berekeningen. Ook zou je hogere klassen extra uitdaging kunnen geven door extra eisen te stellen.

### Crash-Course in praktijk

De Crash-Course is ontwikkeld in samenwerking met het Haarlemmermeer Lyceum Dalton. Dit was een erg geschikte plek voor de testeditie van de Crash-Course, mede dankzij het bestaan van de daluren binnen het daltononderwijs. Dit zijn vrije uren die leerlingen kunnen inzetten voor een vak naar keuze. Extra gemotiveerde en geïnteresseerde leerlingen kunnen hierdoor extra-curriculaire activiteiten uitvoeren. Hierdoor was het

Het is nooit te vroeg om te beginnen met innoveren

mogelijk om de Crash-Course uit te voeren met een gevarieerde groep van gemotiveerde scholieren. De Crash-Course is uitermate geschikt voor leerlingen die hun vaardigheden willen verbeteren en hun interesses willen vergroten. Dit blijkt ook uit de feedback van de leerlingen zelf. Tijdens de lessen merkte ik dat de leerlingen het fijn vonden om vrijheid te hebben over hun ontwerpkeuzes. Dit resulteerde soms in niet werkende ontwerpen. In plaats van verslagen te zijn over het resultaat, waren de leerlingen enthousiast toen ze begrepen



Figuur 4: Leerlingen aan de Slag tijdens Crash-Course

waarom hun ontwerp niet werkte. Velen hadden achteraf nog de kans willen hebben om verbeteringen aan hun ontwerp te maken. Het werken in teamverband had grote voordelen. De leerlingen konden met elkaar overleggen en werkten samen om de andere teams te verslaan. Dit bracht een leuke dynamiek binnen de groep, waar leerlingen probeerden de overige teams af te troeven.

[Afbeelding figuur 08\_Crash course 04, met ondertekening:] FIGUUR 4: LEERLINGEN AAN DE SLAG TIJDENS CRASH-COURSE

De Crash-Course brengt een nieuwe invalshoek voor het aanleren van probleemoplossend denken. Door leerlingen in teamverband zelf aan de slag laten gaan, leren ze hoe ze hun kennis kunnen omzetten in de praktijk. Daarbij worden ze gemotiveerd om innovatief te denken en leren ze wat het inhoudt om als engineer aan de slag te gaan. De eerste editie van de Crash-Course krijgt een gemiddelde van 7,1/10 van de leerlingen, waarbij veruit het grootste gedeelte van de leerlingen aangeeft nog een keer voor de Crash-Course te kiezen. Uiteraard is er nog ruimte voor verbetering, maar ik kijk terug op een succesvolle en leerzame periode voor zowel de leerlingen, als voor mijzelf. De Crash-Course kan worden gezien als een innovatief leermiddel voor innovatief denkende leerlingen.

De werkbladen, presentaties en instructies voor de tests zijn verwerkt in een bundel die bij aanvraag beschikbaar zijn via [www.linke-din.com/in/stijnvanteylingen](http://www.linke-din.com/in/stijnvanteylingen). ●

# Correctievoorschrift natuurkunde 2026

## Een sneak preview

Het correctievoorschrift bij de examens dient als bindend voorschrift voor examinatoren bij de beoordeling van het werk van examenkandidaten. Het correctievoorschrift bestaat uit zes hoofdstukken, waarvan de eerste drie het kader voor de correctie vormen. De eerste twee hoofdstukken bevatten de algemene regels voor de beoordeling. In dit artikel focussen we op het derde hoofdstuk: de vakspecifieke regels.

De vakspecifieke regels zoals die tot nu toe gebruikt zijn, gaan voor natuurkunde al enkele decennia mee, met hier en daar een kleine aanpassing bij een wijziging in het examenprogramma. In de loop van de tijd bleken de vakspecifieke regels minder houvast te geven dan gewenst. De eenduidigheid was op een aantal punten niet optimaal. En met het vervallen van de oude vakspecifieke regel drie over significantie bleek dat in ieder geval een nieuwe vakspecifieke regel over significantie gewenst was. Daarom is enkele jaren geleden besloten om alle vakspecifieke regels voor de examens natuurkunde nog eens grondig onder de loep te nemen en te actualiseren.

De interpretatieruimte die de eerdere vakspecifieke regels boden, kon tot onwenselijke discussies leiden. We streven er immers naar dat elk examen door alle examinatoren gelijkwaardig wordt beoordeeld. Deels zijn deze discussies ondervangen door de regels toe te lichten in verschillende documenten, waaronder (bijlage vier van) de syllabus en de 'veelgestelde vragen' op examenblad.nl. Tijdens de correctie van het examen is het echter niet praktisch om informatie uit ver-

schillende CvTE-bronnen te moeten halen. Bij het actualiseren is het uitgangspunt om alles wat voor de correctie nodig is, weer in het correctievoorschrift op te nemen. Het doel hierbij is om tot gedegen vakspecifieke regels te komen die zoveel mogelijk eenduidigheid en overzicht bieden aan de examinatoren. De geactualiseerde vakspecifieke regels zijn tot stand gekomen na een aantal bijeenkomsten van de vaststellingscommissie

natuurkunde havo/vwo, in nauw contact met toetsdeskundigen en in samenspraak met leden van constructiegroepen en de clustermanager CvTE. Ook is advies ingewonnen vanuit het veld middels een consultatie onder een beperkt aantal docenten. Daarnaast heeft ook afstemming plaatsgevonden met de vaststellingscommissie natuurkunde vmbo.

De geactualiseerde vakspecifieke regels zoals ze vanaf 2026 opgenomen zullen worden in het correctievoorschrift zijn weergegeven in figuur 1. Hieronder lichten we de drie vakspecifieke regels kort toe, waarbij we de volgorde aanhouden zoals ze opgenomen worden in het correctievoorschrift.

### Gebruik van de formule

In de vakspecifieke regels tot afgelopen examenjaar was dit de derde en laatste regel in het correctievoorschrift. Omdat het gebruik van de formule vaak een van de

#### I Lancering

Om in de parkeerbaan te komen, moest de raket brandstof verbranden om voldoende kinetische energie en zwaarte-energie te krijgen. De benodigde zwaarte-energie is niet afhankelijk van de plek waar de raket vanaf aarde gelanceerd werd. De benodigde kinetische energie is wel afhankelijk van de plek van lancering. Omdat de aarde om de aardas draait, heeft het lanceerplatform zelf een snelheid  $v_L$ . Hierdoor had de raket al voor de lancering kinetische energie.

Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg met behulp van een formule uit het informatieboek uit dat de snelheid  $v_L$  bij de evenaar het grootst is.
- Leg met behulp van een formule uit het informatieboek uit dat er minder brandstof nodig is als de lanceerplek dicht bij de evenaar ligt.

### 3 Vakspecifieke regels

Voor dit examen zijn de volgende vakspecifieke regels vastgesteld:

- 1 Het scorepunt voor het 'gebruik van een formule' wordt toegekend als:
  - bij berekeningen en bepalingen de juiste formule is geselecteerd en voor minstens één grootte de overeenkomstige waarde is ingevuld of elders in de uitwerking de grootte met bijbehorende waarde is genoteerd.
    - Als in een formule eenzelfde grootte meermaals voorkomt moet de waarde van de grootte juist in de formule zijn ingevuld.
    - De formule hoeft niet genoteerd te zijn. Het gebruik ervan kan blijken uit de berekening/bepaling zelf.
  - bij afleidingen en redeneringen de juiste formule volledig is genoteerd en met deze formule een relevante bewerking of redeneerstap is uitgevoerd.
    - Bij een afleiding gaat het om een relevante wiskundige bewerking (omschrijving, substitutie) van de formule.
    - Bij een redenering gaat het om de beschrijving van het effect van de verandering van minstens één grootte in de formule.
- 2 Het scorepunt, aangeduid met 'completeren van de berekening/bepaling', wordt niet toegekend als:
  - door een onjuist antwoordelement (waarvoor bij een eerder scorepunt al aftrek heeft plaatsgevonden) de berekening of bepaling substantieel is vereenvoudigd ten opzichte van de correcte uitkomst, of
  - antwoordelementen foutief met elkaar zijn gecombineerd, of
  - één of meer rekenfouten zijn gemaakt, of
  - de eenheid van de uitkomst niet of niet passend bij de grootte is vermeld, tenzij uit het beoordelingsmodel blijkt dat vermelding van de eenheid niet is vereist, of
  - de uitkomst alleen als orde van grootte is genoteerd, tenzij naar de orde van grootte is gevraagd.
- 3 Significantie wordt alleen beoordeeld als: (a) gevraagd wordt naar een uitkomst in een gegeven aantal significante cijfers, of de vraag betrekking heeft op een gegeven waarde waarvan de juistheid aangetoond moet worden, of (b) gevraagd wordt naar een uitkomst in het juiste aantal significante cijfers. Significantie wordt als juist beoordeeld indien aan de volgende twee voorwaarden is voldaan:
  - Het aantal significante cijfers in de genoteerde uitkomst past bij de oplosroute die de kandidaat heeft gevolgd en de oplosroute past bij de gestelde vraag. Bij vraagsoort (b) kan het juiste aantal cijfers dus afwijken van het aantal in het beoordelingsmodel.
  - Bij tussentijds afronden is minimaal het aantal cijfers van de genoteerde uitkomst gebruikt.

Als een tussenantwoord is genoteerd in meer dan het juiste of het gegeven aantal significante cijfers hoeven de extra cijfers niet gecontroleerd te worden op rekenfouten.

Figuur 1. Geactualiseerde vakspecifieke regels

eerste scorepunten vormt in het correctievoorschrift, is het logischer om deze naar voren te plaatsen in de vakspecifieke regels. De geactualiseerde regel is uitgebreider dan de oude regel over het gebruik van een formule, omdat de laatstgenoemde alleen eenduidig toegepast kon worden bij berekeningen en bepalingen. De afgelopen

jaren werd steeds vaker naar afleidingen en redeneringen gevraagd en dus werd ook steeds meer de behoefte gevoeld om ook in deze gevallen de ruimte voor interpretatie bij het toekennen van het scorepunt in te perken. De nieuwe formulering van de regel over 'gebruik van een formule' komt aan deze behoefte tegemoet.

Ter illustratie van de toepassing van de uitgebreidere vakspecifieke regel bij afleidingen en redeneringen geven we een voorbeeld uit het havo-examen 2024 (zie voorbeeld 1).

Het gaat in deze vraag over het gebruik van

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

Voor het behalen van het scorepunt moet de kandidaat nu nagaan wat de invloed van de verandering van  $r$  op  $v$  is. Als bijvoorbeeld wordt opmerkt dat de snelheid toeneemt met de straal, dan wordt het scorepunt toegekend.

#### Completeren

Dit was de tweede vakspecifieke regel en dat blijft zo. Met completeren bedoelen we het correct noteren van een uitkomst. Dat volgt altijd na een bepaling of een berekening. De geactualiseerde regel wijkt in twee opzichten af van de oude completeerregel.

Het completeerpunt is minder vaak het laatste scorepunt dat te behalen is. Als er bijvoorbeeld een conclusie nodig is, dan is dat als laatste scorepunt in het correctievoorschrift opgenomen. Daarom is het woord 'laatste' komen te vervallen. Ook is er een vijfde specificatie toegevoegd. De reden hiervoor is dat bij vragen waar géén significantie beoordeeld wordt, voorkomen moet worden dat een kandidaat, die alleen een orde van grootte noteert, het completeerpunt krijgt. In dat geval is er sprake van een schatting in plaats van een berekening, tenzij één van de gegevens een orde van grootte is. De nieuwe specificatie geeft de kern weer van wat in de toelichting in bijlage vier van de syllabus was opgenomen. De toelichting impliceert dat het completeerpunt niet verloren gaat wanneer de significantie niet klopt, zolang minimaal één cijfer is gebruikt. Het impliceert ook dat eventuele rekenfouten (waaronder afkappingen bij afronden) in de extra cijfers in een antwoord met meer dan het juiste aantal significante cijfers, de kandidaat niet het completeerpunt kosten. Het is goed te vermelden dat foutief rekenkundig afronden als 'rekenfout' wel het completeerpunt kost.





Geregeld komt de vraag op wanneer een berekening of bepaling ‘substantieel vereenvoudigd’ is. Het blijkt lastig om discussie hierover helemaal te ondervangen, en dat wordt dus ook overgelaten aan de professionaliteit van de correctoren. Als richtlijn zou bijvoorbeeld gehanteerd kunnen worden dat het dan gaat om een uitwerking waarvoor minder uitwerk- of denkstappen nodig zijn.

### Significantie

Deze regel is volledig herschreven. Sinds een aantal jaren wordt significantie alleen beoordeeld als daar nadrukkelijk naar wordt gevraagd. Vanaf dat moment is de oude vakspecifieke regel drie verdwenen en gaf bijlage vier van de syllabus een toelichting op de beoordeling van significantie. Deze toelichting is nu verwerkt in de geactualiseerde formulering van deze regel.

De vakspecifieke regel met betrekking tot significantie is op de derde plaats opgenomen, omdat deze altijd volgt op of samenvalt met het completeren. Het scorepunt voor significantie kan zijn opgenomen bij het completeren of als een apart punt opgenomen zijn, afhankelijk van wat gevraagd wordt.

In de geactualiseerde vakspecifieke regel zijn twee vraagsoorten beschreven waarin significantie wordt beoordeeld:

- Bij vraagsoort (a) valt significantie onder dezelfde deelscore als completeren. Dit betreft ook vragen waarin een gegeven waarde moet worden aangetoond, aangezien in dat geval het juiste aantal significante cijfers al gegeven is en dus ook zo moet worden genoteerd.
- Bij vraagsoort (b) is er voor significantie een aparte deelscore. Die wordt dus alleen behaald als de kandidaat het antwoord in het juiste aantal significante cijfers noteert.

De regel bevat twee specificaties, waarvan de eerste de strekking van de toelichting in (bijlage vier van) de syllabus weergeeft. Wanneer een kandidaat bijvoorbeeld kiest voor een (alternatieve) oplosroute die leidt tot een ander aantal significante cijfers, dan moeten die significante cijfers worden opgeschreven.

Tijdens de Olympische Spelen in 2018 won Suzanne Schulting (zie figuur 1) een gouden medaille op de kilometer shorttrack in een tijd van 1 min 29,80 s.

Volgens de reglementen van de Internationale Schaatsunie heeft een shorttrackbaan een lengte van 111,11 m. Bij de kilometer shorttrack schaatst een schaatser negen ronden.

figuur 1



- 1 Bereken de gemiddelde snelheid van Schulting tijdens de race. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

Voorbeeld 2. VWO 2025-1, vraag 1

Anders verliest de kandidaat het punt. De tweede specificatie komt in de plaats van de oude regel over het ‘acceptabel tussentijds afronden’, die overigens ook al een toelichting in de syllabus nodig had. Afkappen of andere rekenfouten bij tussentijds afronden kosten de kandidaat het completeerpunt, maar niet de deelscore voor significantie zolang aan deze tweede specificatie is voldaan. Uiteraard dienen bij dit type vragen de tussenantwoorden wel gecontroleerd te worden op (tenminste) het juiste aantal significantie cijfers.

In de vraag bij voorbeeld 2 wordt naar het juiste aantal significantie cijfers gevraagd voor de gemiddelde snelheid van Schulting op een afstand van  $9 \times 111,11$  m in een tijd van 1 min en 29,80 s. De totale afstand bedraagt dan 999,99 (5 significante cijfers), en de tijd in seconden  $60 + 29,80 = 89,80$  s (4 significante cijfers; 1 min wordt gezien als telwaarde). Hieronder geven we een aantal mogelijke antwoorden:

$$(A) \quad v_{\text{gem}} = \frac{999,99}{89,80} = 11,14 \text{ ms}^{-1}$$

$$(B) \quad v_{\text{gem}} = \frac{1000}{89,80} = 11,14 \text{ ms}^{-1}$$

$$(C) \quad v_{\text{gem}} = \frac{999,99}{89,8} = 11,14 \text{ ms}^{-1}$$

$$(D) \quad v_{\text{gem}} = \frac{999,99}{89,8} = 11,1 \text{ ms}^{-1}$$

$$(E) \quad v_{\text{gem}} = \frac{1000}{89,8} = 11,1 \text{ ms}^{-1}$$

In alle gevallen kan het completeerpunt worden toegekend. In situaties D en E wordt het significantiepunt niet toegekend, omdat het aantal significante cijfers niet juist is. Situatie C is contextafhankelijk, maar in

principe wordt het significantiepunt niet toegekend omdat de oplosroute niet overeenkomt. Alleen in situaties A en B worden zowel het completeerpunt als ook het significantiepunt toegekend.

### Tot slot

Deze geactualiseerde regels gelden vanaf het examenjaar 2026. In de septembermededeling zijn ze al opgenomen in de vakspecifieke informatie (Zie QRC A). Ook de veelgestelde vragen zijn herzien (zie QRC B). Na de examenperiode in 2026 zullen de geactualiseerde regels worden geëvalueerd. Een langere versie van dit artikel met meer voorbeelden en iets uitgebreidere toelichting is te vinden op [examenblad.nl](http://examenblad.nl) (zie QRC C).

Het zal duidelijk zijn dat het onmogelijk is alles zo te formuleren dat er geen interpretatieverschillen meer mogelijk zijn. In voorkomende gevallen rekenen we op de professionaliteit van de docenten in hun functie van eerste en tweede corrector. Binnen de gestelde regels bepalen zij hoeveel punten een kandidaat krijgt. Daarbij is alleen het correctievoorschrift bindend, samen met eventuele aanvullingen, uitgegeven door het CvTE en gepubliceerd op [examenblad.nl](http://examenblad.nl). ●



# Planetarium in de dierentuin?

Bij binnenkomst wordt de vraag vaak direct gesteld: "Ik snap nou echt niet wat een planetarium te maken heeft met een dierentuin". Of eigenlijk wordt het, zoals tieners dat zo goed kunnen, de lege ruimte in geslingerd op een hoorbaar volume.

Het lijkt een nogal afwijzende houding, maar deze derdeklasser heeft al nagedacht over het educatieve doel van de dierentuin en haar bezoek. Ze staat dus waarschijnlijk al redelijk open voor de komende les. Gelukkig heeft de docent precies de goede les geboekt voor deze vraag: een film over hoe al het leven op aarde met elkaar verbonden is. Het gaat dus al over verbinding, daar kan ik vast wel begrip voor de plaats van een planetariumkoepel in een dierentuin mee kweken.

Om die verbinding te verduidelijken wordt de film ingeleid met een ruimtevluicht. Simpelweg stellen "al het leven op aarde is met elkaar verbonden" is zeker niet onwaar of oninteressant - maar het spreekt nog niet echt. Al het leven? Op de hele aarde? Het klinkt toch als een hyperbool.

## En daar begint de reis dan eigenlijk echt

En dat gevoel verandert niet direct bij het vertrek van onze ruimtevluicht. De aarde zie je als een gigantische bol boven je hoofd, en je ziet de invloed van de mens door al het kunstlicht dat oplicht in het donker. We gaan verder het zonnestelsel in, en passeren de laatste planeet Neptunus na een minuut of twee. Met een snelle ruimtesonde duurt die reis in het echt zo'n 15 tot 20 jaar! Ons zonnestelsel houdt pas zo'n 9.000.000.000.000 (9 biljoen) kilometer verder op. En daar begint de reis dan eigenlijk echt.

Alle sterren om ons heen blijken hun eigen zonnestelsels te hebben: er zijn al 6000 planeten ontdekt, en er komen er elke dag bij. Al die sterren zitten ook



Odin Helder / Planeteer (medewerker Planetarium) Artis

weer samen in een grote verzameling: de Melkweg. 100 miljard sterren bij elkaar, die allemaal draaien om één middelpunt. Wij zitten niet in dat midden - al voelt het voor sommige mensen wel alsof het heelal om hen draait - maar in een onopvallende buitenwijk tussen twee interessantere plekken in, onzichtbaar van buitenaf. De Melkweg is namelijk een doodgewoon sterrenstelsel, zoals er honderden miljarden ontdekt zijn, overal om ons heen.

Op deze schaal leer je oneindigheid kennen. Hoe groot is de kans dat een willekeurige planeet ergens op de aarde lijkt en bewoonbaar is? Miniem, maar met oneindig veel sterren die allemaal planeten hebben? Ja, dan zit die er waarschijnlijk wel ergens tussen. En dat geldt ook voor leven, als het hier kan ontstaan, dan moet het elders ook wel gebeurd zijn.

Dat is het weidse van het universum, maar die grootte maakt het juist ook heel erg klein voor ons. Want al dat verre is onbereikbaar. Miljoenen, zo niet miljarden jaren vliegen. Dat schiet niet op: we zitten vast aan ons thuis. Door van zo ver weg terug te kijken, en terug te reizen, ontstaat het besef dat de aarde eigenlijk maar een zandkorreltje zwevend in een lichtstraal is. En op die zandkorrel kan best alles met elkaar verbonden zijn toch? Dan is het niet gek dat de Sahara het Amazone-woud vruchtbaar houdt, dat niemand een lijntje kan trekken om 'zijn' stukje aarde en zeggen dat alles daarbuiten andermans probleem is. De aarde is één geheel, en we zijn er met zijn allen verantwoordelijk voor.

Na afloop blijft een leerling nog even hangen, ze heeft een vraag voor haar docent. Is het besef gekweekt? "Mevrouw, hebben we nog tijd voor poffertjes?" Tsja, je kunt ze niet allemaal winnen.

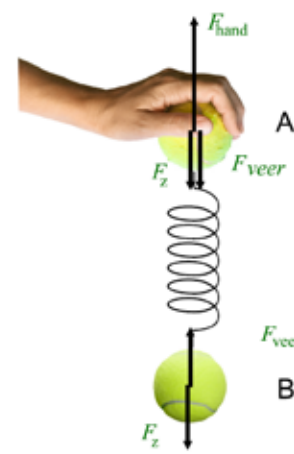
Er zijn planetariumshows voor po, vo, mbo, hbo en wo. Ook is een planetariumles op maat mogelijk. Scan de QR-code voor het onderwijsaanbod.

ARTIS



# Twee tennisballen gekoppeld

Een balletje laten vallen is niet spannend. Twee balletjes is ook niet spectaculair, die vallen beiden met de valversnelling. Twee ballen met een touw verbonden vallen ook even snel als één bal, dat wist Galilei al. Vallen twee ballen verbonden met een veer nog beiden even snel of ligt dat ingewikkelder? In de Natuurkundeolympiade van 2025 was hier een vraag over.

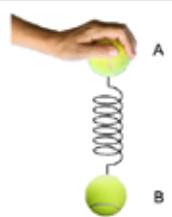


Figuur 2. Ballen met krachten

Dirk heeft twee identieke tennisballen met een veer aan elkaar vastgemaakt. Hij houdt de ballen boven de grond zoals in de figuur hiernaast te zien is. Daarna laat hij bal A los.

> Welke versnelling krijgt bal A en welke versnelling krijgt bal B op het moment van loslaten?

- |  |       |
|--|-------|
| A. Beide ballen (A en B) krijgen een versnelling $g$ .                   | (30%) |
| B. Bal A krijgt een versnelling $g$ en bal B $0 \text{ m/s}^2$ .         | (33%) |
| C. Beide ballen versnellen met $0,5 g$ .                                 | (03%) |
| D. Bal A krijgt een versnelling $2g$ en bal B $0 \text{ m/s}^2$ .        | (25%) |
| E. Bal A krijgt een versnelling van $0 \text{ m/s}^2$ en bal B $0,5 g$ . | (03%) |
| F. Geen antwoord   | (02%) |



Figuur 1. Olympiade-opgave

Tijdens de eerste ronde van de natuurkunde olympiade 2025 kregen de ongeveer 2000 leerlingen deze opgave. De percentages van de gegeven antwoorden op deze vraag ziet u achter de opties in figuur 1. De meeste leerlingen denken dat bal A tenminste een versnelling  $g$  krijgt (antwoord A, B en D). Een deel heeft misschien eerder

al meegekregen dat er dan iets met bal B aan de hand is en laat deze nog even stil hangen (antwoord B en D).

Vlak voor het loslaten hangt bal B stil. De zwaartekracht wijst op bal B omlaag en de veerkracht op bal B wijst omhoog. Deze heffen elkaar netjes op. Op het moment van loslaten is de veer nog uitgerekt en zal bal B dus niet gaan vallen.

Bal A wordt vastgehouden. Op bal A werken zowel de zwaartekracht als de veerkracht omlaag. De veerkracht is net zo groot als de zwaartekracht (op bal B). De kracht omlaag is dus gelijk aan twee keer de zwaartekracht. Net na het loslaten valt bal A deze dus met  $2g$  omlaag.

Zover wat betreft de start van de ballen. Wat gebeurt er nu tijdens het vallen van de ballen? Dat is niet zo gemakkelijk te zien of

te bedenken. We hebben het experiment uitgevoerd, gemeten met videometing en gemodelleerd. Het blijkt bij elkaar een leuke proef te zijn om de leerlingen te verbazen en aan het denken te zetten of te gebruiken voor een praktische opdracht.

### Metten via video

Met videometen kan de val prima opgemeten worden. Een val is opgenomen met 240 fps. In figuur 3 staat het plaats-tijddiagram van



**AD MOOLDIJK** was vakdidacticus natuurkunde aan de UU en nu werkzaam als vakdidactisch medewerker bij CMA



**NORBERT VAN VEEN** is vakdidactisch medewerker bij CMA.



# Recessiviteit, zeldzaam of niet?

## Misconcepten

Op de lerarenopleiding kom je erachter hoe hardnekkig sommige misconcepten kunnen zijn. Ook tijdens mijn lessen (populatie)genetica kom ik regelmatig het hardnekkige misconcept tegen dat recessieve allelen altijd zeldzaam zijn. In dit artikel wil ik er een bespreken aan de hand van voorbeelden die bruikbaar in de klas kunnen zijn.

En allel heet volledig recessief als die alleen maar tot uiting komt in een homozygoot. Dit betekent dat 25% van de nakomelingen van een kruising tussen heterozygoten het fenotype heeft dat wordt veroorzaakt door het recessieve allel. In deze kruising lijkt het alsof recessieve allelen zeldzaam zijn. Studenten lijken te denken dat dit ook geldt in de populatie en dat het recessieve allel zeldzaam is en dat dit ook geldt voor het homozygoot recessieve genotype. Gelukkig zijn er een aantal voorbeelden beschikbaar waarmee je dit misconcept kunt ontcrachten.

### Recessieve allelfrequentie

Vaak is één genproduct ruim voldoende om te compenseren voor het verlies van de functie van een ander allel. Dit andere, minder functionerende, allel wordt dan recessief genoemd.

Niet alleen een verlies van functie kan leiden tot recessiviteit. Er zijn ook mutaties die zorgen voor een nieuw allel dat dominant is over het recessieve allel. Voorbeelden hiervan zijn de brozebottenziekte, de ziekte van Huntington en lactase-persistentie (Bosmans, 2023).

De allelfrequentie van een recessief allel wordt door veel factoren bepaald. Als een recessief allel een nadelig effect heeft op de fitness, zal natuurlijke selectie leiden tot een lage allelfrequentie. Wanneer een recessief

allel echter een positiever effect heeft dan het dominante allel, zal natuurlijke selectie juist leiden tot een toename van de allelfrequentie. Daarnaast kan genetic drift ook leiden tot een toename van de allelfrequentie; zeker in kleine populatie en wanneer de nadelige effecten van het recessieve allel heel klein zijn. De volgende voorbeelden geven een aantal concrete illustraties van deze fenomenen.

### Bloedgroepen

Kennis van bloedgroepen is cruciaal omdat het toedienen van een verkeerde bloedgroep in een bloedtransfusie kan leiden tot een afweerreactie die levensbedreigend kan zijn. Bloedbanken weten dan ook de bloedgroep van iedere donor.

Het ABO bloedgroepensysteem wordt bepaald door een gen waarvan drie verschillende allelen in de populatie voorkomen:  $I^A$ ,  $I^B$  en  $i$ . Allel  $I^A$  en  $I^B$  coderen voor een enzym dat bepaalde suikergroepen koppelt aan specifieke moleculen in het celmembraan van rode bloedcellen. Het genproduct van allel  $I^A$  koppelt een andere suikergroep dan het genproduct van allel  $I^B$ . Het allel dat zorgt voor bloedgroep 0 bevat een frameshift-mutatie waardoor het enzym niet functioneel is en er geen suikergroep wordt gebonden. Dit is het recessieve allel.

In het eindexamen van 2001 was de tabel te vinden op basis van gegevens van de Sanquin

bloedbank. In deze tabel is te zien dat bloedgroep 0 het meeste voorkomt. Je kan echter ook laten zien dat de allelfrequentie van het recessieve allel gelijk is aan 0,661 als je uitgaat van een Hardy-Weinberg evenwicht.

### Osteogenese imperfecta

Brozebottenziekte of osteogenese imperfecta is een aandoening die zich kenmerkt door broze botten. Kenmerkende gevolgen hiervan zijn een grotere kans op botbreuken maar ook doofheid; onder andere door afwijkingen aan de gehoorbeentjes (Pillion et al 2011).

De meest voorkomende oorzaak is een tekort aan collageen type I dat onder andere van belang is in de vorming van botten. In veel gevallen wordt dit veroorzaakt door een mutatie in het gen COL1A1 of COL1A2. Deze mutaties zorgen ervoor dat er geen functioneel collageeneiwit wordt gevormd.

Tabel. Verdeling van de bloedgroepen in Nederland

Bloedgroep	%	genotype
A	37,8%	$I^A I^A$ , $I^A i$
B	14,0%	$I^B I^B$ , $I^B i$
AB	4,5%	$I^A I^B$
0	43,7%	$ii$

De cellen van een heterozygoot produceren dan ongeveer de helft minder functioneel collageen. Deze verminderde productie is genoeg om de symptomen te laten optreden; het mutante allel is dus dominant. Deze dominante aandoening is zeer zeldzaam; ongeveer 1 op de 30.000 mensen heeft deze aandoening. Dat betekent dus dat het dominante allel heel zeldzaam en het recessieve allel heel algemeen moet zijn.

### Huntington

De ziekte van Huntington kenmerkt zich door onwillekeurige bewegingen, cognitieve achteruitgang en veel andere psychische klachten. De ziekte openbaart zich vaak pas wat later in het leven, maar is altijd dodelijk. Op orgaaniveau valt op dat de er sprake is van verlies van hersenmassa. Blijkbaar



De allelfrequentie van het recessieve allel is te berekenen met behulp van Hardy-Weinberg en de ABC formule. Hoewel er zeer waarschijnlijk sprake is van natuurlijke selectie en er, strikt genomen, geen Hardy-Weinberg evenwicht mag worden verondersteld is dit leuk uitzoekwerk voor leerlingen die meer uitdaging willen. De genotypefrequentie van ii (bloedgroep 0) is 0,437. Uitgaande van Hardy-Weinberg levert dit de volgende allelfrequentie op  $q^2 = 0,437$

$$q = \sqrt{0,437} = 0,661$$

De allelfrequentie van allel IA is te berekenen door uit te gaan van de fractie individuen met bloedgroep A.  $\text{fractie bloedgroep A} = p_A^2 + 2 \cdot p_A \cdot q =$  De bekende waarden invullen  $0,378 = p^2 + 2 \cdot p \cdot 0,661 = p^2 + 1,322 \cdot p$  Herschrijven  $0 = p^2 + 1,322 \cdot p - 0,378$  Invullen in de abc-formule leidt tot de volgende waarde die zich tussen de 0 en 1 bevindt; de andere uitkomst is biologisch niet relevant.

$$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-1,322 \pm \sqrt{(1,322)^2 - (4 \cdot 1 \cdot -0,378)}}{2 \cdot 1}$$

$$= 0,24171375$$

De allelfrequentie van allel IB is op een vergelijkbare manier te berekenen.

sterven neuronen in de hersenen als gevolg van de genetische oorzaak. Deze oorzaak is inmiddels gevonden in een gemuteerd allel van het Huntington-gen. Het is opvallend dat het Huntington-gen een variabel aantal herhalingen van CAG

### Bloedgroep 0 komt het meeste voor

kan bevatten. Dit triplet codeert voor glutamine. Wanneer er sprake is van meer dan 37 herhalingen, ontstaat er een eiwit met veel glutamine wat uiteindelijk zorgt voor de negatieve effecten. Het wildtype eiwit speelt een belangrijke regulerende rol in tal van processen. Het mutante eiwit verstoort deze processen. Één allel is voldoende om deze processen te verstoren waardoor het mutante allel dominant is en het wildtype dus recessief. Deze dominante genetische aandoening is gelukkig heel zeldzaam; slechts 4 tot 7 op 100.000 heeft deze aandoening. Dat betekent dus ook dat het recessieve allel algemeen moet zijn.

### Tot slot

Bovenstaande voorbeelden zijn alle drie geschikt om te laten zien dat recessieve allelen zeer algemeen kunnen zijn. Ze bieden ook

de mogelijkheid om ziektes op verschillende organisatieniveaus te benaderen en gebruik te maken van de jojo-strategie. Dit zijn zeker niet de enige voorbeelden.

Voor dit soort eigenschappen is de OMIM website een handige bron. In deze databank staat informatie over veel genetische aandoeningen in mensen, OMIM staat voor 'Online Mendelian Inheritance of Man'. De informatie is vaak ook uitgesplitst op verschillende organisatieniveaus. Dit maakt het een dankbare bron voor casussen in de klas of als bron voor profielwerkstukken. De QR-codes linken naar de gebruikte OMIM-sites: scan QRC A voor de bloedgroepen, QRC B voor osteogenese imperfecta en QRC C voor Huntington. ●



### BRONNEN

- Bosmans, S. (2023) De evolutie van lactose-tolerantie. De wereld achter een examenopgave *NVOX* 48(6): 8-9.
- Pillion J.P., Vernick D., Shapiro J. (2011) Hearing loss in osteogenesis imperfecta: characteristics and treatment considerations. *Genet Res Int*. 2011:983942. doi: 10.4061/2011/983942

Kadertekst kan niet oranje omdat er formules instaan



# Collegiale tips

## Lessnack: Mussen en klimaatverandering

De Klimaat Helpdesk heeft leuke Lessnacks voor de Binas-vakken. Een Lessnack voor biologie leerlingen 5-havo en 5- en 6-vwo gaat over de invloed van klimaatverandering op het populatie-aantal van de huismus. Daarbij komen allerlei begrippen zoals habitat, abiotische en biotische factoren aan de orde. Ze onderzoeken bijvoorbeeld welk effect duurzaamheidsmaatregelen hebben. Het is wel belangrijk dat ecologische begrippen bekend zijn. Te gebruiken als extra oefening of verdiepende les. Tip van Marijke Domis, redactie.  
[www.klimaathelpdesk.org/klimaatlessnacks/biologie](http://www.klimaathelpdesk.org/klimaatlessnacks/biologie), QRC A.

## Website Worldometers

Met de website Worldometers.info kun je tientallen statistieken inzien. Deze gegevens worden in real time bijgewerkt. De leerlingen zien de getallen veranderen en dat zet ze aan het denken. Voor biologie laat ik bijvoorbeeld zien in welk tempo de wereldbevolking toeneemt of hoeveel energie we verbruiken, gesplitst in hernieuwbare en niet hernieuwbare energie. Andere interessante statistieken zijn CO<sub>2</sub>-emissies, gebruikte en resterende hoeveelheden olie en gas, aantallen doden door roken en door verkeersongelukken. De bronnen die de website gebruikt zijn te zien als je op het plusje (+) klikt naast de gegevens. Tip van Hugo Fokkenrood, docent biologie Deltion Sprint Lyceum Zwolle. QRC B.

## De 'Waterstof Experience'

Frank Mietes en Erwin Geurts noemen zich waterstofpioniers. Ze geven al zeven jaar workshops over waterstof voor scholen, gemeenten en bedrijven. Doel is inzicht geven in de rol van waterstof bij de energietransitie. Het gaat om waterstof beleven, begrijpen en toepassen in een miniatuur-auto, step, drone en zelf ontwik-

keld kooktoestel op waterstof. Er hebben al 50 scholen meegedaan van po groep 7 en 8, vo-onderbouw, vo-bovenbouw, roc en hbo. Het programma wordt afgestemd op de doelgroep en sluit aan bij scheikundelessen. Ook is een bezoek mogelijk aan de thuisbasis: het Cleantech Park Arnhem <https://cleantechparkarnhem.nl/>. En zie <https://allesoverwaterstof.nl>, QRC C.

## Chemistryviews.org met history & education

Deze site biedt artikelen over uiteenlopende scheikundige onderwerpen zoals het leven van Fermi; de ontdekker van Tellurium en chemica Margaret Thatcher. Tip van Caroline Schouten, redactie. QRC D.

## 'Interviews' met Marie Curie en Albert Einstein

Arnout Hauben hield fictieve interviews met zes historische figuren op de plek waar ze in België of Nederland verblijf hielden. Onder andere met Marie Curie en Albert Einstein. De fictie is gebaseerd op onderzoek naar historische feiten. Marie Curie en haar 17-jarige dochter Irène - die later evenals haar moeder de Nobelprijs kreeg - komen in 1914 vanuit Parijs naar het front van de Eerste Wereldoorlog in Veurne om gewonde soldaten met de eerste röntgenapparatuur ter wereld te onderzoeken op achtergebleven kogels en granaatscherven. Einstein verblijft in 1933 in De Haan aan de Belgische kust terwijl hij op de vlucht is vanuit Duitsland naar de VS. Er is vooral aandacht voor de menselijke kant. Zie 'Interview met de geschiedenis' op NPO-start van 3 september tot 8 oktober 2025.

## Energiecijfers in kleurrijke infographics

Op de site van EBN - Energie Beheer Nederland - staat de pdf 'EBN-infographic-2025'. Zestien kleurrijke infographics informeren onder meer over: het energiesysteem van

Nederland, van bron tot verbruik, de import-kloof, netcongestie en waterstofprojecten. EBN is een miljarden bedrijf dat 100% eigendom is van de staat. Aanvankelijk hield EBN zich vooral bezig met de winning van olie en gas en nu richt het zich op de energietransitie. De pdf is te downloaden via [www.ebn.nl/infographics](http://www.ebn.nl/infographics). QRC E.

## ASTRON: gefluister uit het duister

De Westerbork-telescopen van ASTRON zijn iconen in het Drentse landschap. Maar waarom zijn ze er gekomen? Wat kunnen ze? En wat leveren de projecten van onderzoekers die ermee werken op? In de driedelige serie 'Gefluister uit het Duister' van RTV Drenthe wordt antwoord gegeven op die vragen. De afleveringen duren ongeveer 16 minuten. Directe aanleiding voor het maken van de serie is het 75-jarig bestaan van ASTRON. Te bekijken via de website van RTV Drenthe, maar ook via hun YouTube-pagina, scan QRC F. Tip van Saskia Dankers, redactie.

## Bètapartnersconferentie in Lelystad

De jaarlijkse Bètapartnersconferentie is in 2026 op 19 maart bij Porteum in Lelystad en is nu beter bereikbaar vanuit Oost Nederland. Bètapartners is een regionaal netwerk rond Amsterdam van vo-scholen, hogescholen en universiteiten. Zie [www.betapartners.nl](http://www.betapartners.nl)



# De big bang, koolstof en leven



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

In den beginne schiep de big bang helium en waterstof. En 10 miljard jaar later ontstond er leven, organisch leven op een planeetje in een uithoek van het Melkwegstelsel. Vanaf dat planeetje zoekt een intelligente levensvorm naar leven elders in het heelal. Naar water. Maar ook naar koolstof, wat voor leven een onontbeerlijk atoom lijkt te zijn. Maar waar komt die koolstof eigenlijk vandaan?

## Katalysator van Hans Bethe

In het net voorbijge jaar van de quantummechanica vielen de namen van de quantumgoden Werner Heisenberg, (de kat van) Erwin Schrödinger en uiteraard oppergod Niels Bohr keer op keer. De hedendaagse sterrenkunde zou totaal ondenkbaar zijn zonder hun werk. Minder bekend zijn Hans Bethe (Duits/Joods-Amerikaans) en Fred Hoyle (Brits), maar ze zijn onmisbare schakels in onze quantummechanische zoektocht in de sterevolutie.

In de basis is de energieproductie in sterren vaak wel bekend: vier waterstofkernen (protonen) fuseren in de kern van de zon tot helium waarbij een hoop energie vrijkomt. Vooral Hans Bethe heeft dit proces tot in detail opgehelderd. Er zijn twee varianten van: de eenvoudigste, die in onze zon plaatsvindt bij 15 miljoen Kelvin, bestaat uit twee stappen, waarbij eerst twee protonen (1H) tot deuterium (2H) fuseren, en daarna twee deuteriumkernen tot helium (4He). Bij zwaardere sterren waar de kerntemperatuur minimaal 20 miljoen Kelvin is, is er een ingewikkelder proces, waarin koolstof, zuurstof en stikstof als katalysator optreden (de koolstof-stikstofcyclus). In 1967 werd de goedlachse en sympathieke Hans Bethe voor zijn werk beloond met de Nobelprijs.

## Koolstof wil niet

Maar voor die koolstof-stikstofcyclus moet er wel eerst koolstof gevormd worden. En dat kan doordat sterren, als de meeste waterstof op is, drie heliumkernen (4He) fuseren tot een koolstofkern (12C). Maar dat gaat niet zomaar! De eerste stap is namelijk om van twee 4He -kernen een berylliumkern (8Be) te maken. En laat dat geen energie opleveren, maar energie kosten! Dit kan dan ook alleen plaatsvinden als de ster zo hard is samengekrompen dat

de temperatuur in de kern zo'n 100 miljoen Kelvin is. Maar dan ontstaat het volgende probleem: 8Be valt namelijk in minder dan 10-16 seconden uit elkaar en wordt weer 4He. Tenzij er in die extreem korter periode nog een 4He-kern erop botst. En laat de druk daar zo immens groot zijn dat dit nog gebeurt ook, waarbij ook nog eens veel energie vrijkomt. De problemen zijn dan nog niet voorbij, want het gevormde 12C bevindt zich na vorming in een instabiele 'aangeslagen resonantietoestand' en vervalt alsnog bijna altijd terug naar drie 4He-kernen.

## Maar het komt goed

Bijna altijd dus. De natuur had het uiteindelijk goed met het leven in het heelal voor, want 0.04% van de aangeslagen koolstofkernen vervalt niet naar 4He, maar naar de bekende stabiele versie van 12C. Het brein achter dit hele proces is vooral Fred Hoyle. De Nobelprijs van 1983 werd vergeven vanwege 'kernreacties en de formatie van chemische elementen in het heelal', maar deze ging niet (ook) naar Fred Hoyle. Dit tot grote verontwaardiging van vrijwel de hele sterrenkundige gemeenschap.

## Big bang

Gelukkig heeft Hoyle genoeg andere prijzen verdiend, en schreef daarnaast meerdere sciencefictionverhalen en scripts voor tv-series. Maar hij is uiteindelijk bekender geworden als bedenker van de term big bang (oerknal). Op de BBC-radio noemde hij in 1949 zo'n 'big bang' belachelijk, het was alsof de sterrenkunde zocht naar een absoluut begin zoals in het Bijbelse Genesis, dat er volgens hem niet was. Waarna de term big bang de wereld veroverende. De rest van zijn leven bleef hij bij zijn mening. In 2001 overleed hij, waarna zijn grotendeels uit koolstofverbindingen bestaande lichaam tot stof wederkeerde.

[Afbeelding: 19-Sterrenkunde column - De big bang koolstof en leven - nieuwe afb, met onderschrift:] Diamant, een schitterend wonder der natuur dat ontstaat als koolstofatomen heel speciaal gerangschikt zijn. Het proces hoe koolstofatomen zelf ontstaan in sterren mag eveneens een klein wonder der natuur heten. (Wikipedia/Valorena - Eigen werk, CC BY-SA 4.0)



# Systemdenken bij het demonstratiepracticum

Practica brengen scheikunde tot leven en zijn vaak het hoogtepunt van de scheikundeles. Toch leiden ze niet altijd tot verbeterd theoretisch begrip. Dit onderzoek richtte zich, in het kader van het vak educatief ontwerpen, op het herhalend verbeteren van demonstratiepractica. Daarbij blijft de stap van het waarneembare macroniveau naar het verklarende microniveau vaak uit. Met een paar didactische aanpassingen kun je dat doorbreken.

Practica vormen in het scheikundeonderwijs de brug tussen theorie en werkelijkheid: ze maken abstracte concepten tastbaar en geven de leerstof betekenis. Desondanks tonen verschillende onderzoeken aan dat practica, ondanks hun populariteit bij leerlingen, niet altijd bijdragen aan verdiepend theoretisch begrip (Tsaparlis, 2009). Leerlingen voeren de stappen vaak nauwkeurig uit, maar blijven hangen bij wat ze zien. Het practicum wordt zo eerder een kijkopdracht dan een denkopdracht. Leerlingen kunnen vaak goed omschrijven wat ze hebben waargenomen, maar wanneer er wordt gevraagd naar verklaringen blijft het stil. Zeker bij demonstratiepractica – waarin leerlingen slechts toeschouwer zijn van een experiment – blijft die stap van waarnemen

naar begrijpen vaak achterwege. Deze observatie was de aanleiding om te onderzoeken hoe je leerlingen het beste kunt ondersteunen bij het maken van deze vertaalslag, om zo de leeropbrengst van demonstratiepractica te optimaliseren.

## Van macro naar micro

Er kunnen verschillende oorzaken worden aangewezen voor het achterblijven van begrip bij practica, zoals onduidelijke of ontbrekende leerdoelen en cognitieve overbelasting (Van den Berg & Buning, 1994; Sweller, 1988). Eén van de belangrijkste oorzaken is echter het systeemdenken – het schakelen tussen het macro- en het microniveau – dat voor veel leerlingen erg lastig is (Johnstone, 1991). Het deeltjesniveau is immers niet direct waarneembaar en vraagt daardoor veel van het denk- en voorstellingsvermogen van leerlingen. Door deze abstractie kunnen tevens misconcepten ontstaan (Meijer, 2011). Bovendien vormt het gebruik van correcte vaktaal ook een belemmering voor het systeemdenken (Somers & Van der Velden, 2023). Als leerlingen niet de juiste woorden kunnen gebruiken, blijven zij hangen op algemene of onjuiste verklaringen. Deze abstractie en taalbelasting maken systeemdenken tot een cognitieve uitdaging, die

expliciete ondersteuning vanuit de docent vraagt. Tijdens dit onderzoek zijn een aantal simpele didactische tools gecombineerd om deze ondersteuning in te bouwen in een practicumles.

## Drie ontwerpprincipes

In dit onderzoek werden drie lessen ontwikkeld voor een 3-vwo-klas waarin een demonstratiepractica werd gegeven. Leerlingen kregen daarbij steeds de opdracht om hun waarnemingen te verklaren op microniveau. Om hen daarbij te ondersteunen, werden er drie ontwerpprincipes toegepast: de predict-observe-explain methode (POE), self-explanation prompts en samenwerkend leren. Na elke les werden de principes geëvalueerd en waar nodig aangescherpt.

Door hardop te denken, konden leerlingen elkaar aanvullen of corrigeren

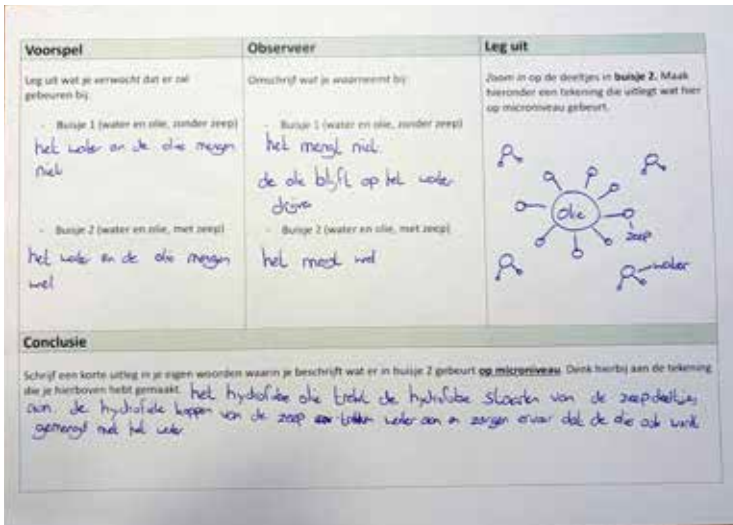
De POE-techniek werd onder andere gebruikt om structuur aan te bieden in het lesonderdeel. Leerlingen voorspelden eerst wat er zou gebeuren (*predict*), observeerden vervolgens het experiment (*observe*) en formuleerden na afloop een verklaring op microniveau (*explain*). Deze methode is bewezen effectief om practica leerzamer te maken, doordat het leerlingen actief bij het practicum betreft en tevens zorgt voor aansluiting bij de voorkennis (Crough et al., 2004). Er werd voor gekozen om deze drie stappen overzichtelijk vorm te geven op een werkblad, om te zorgen voor betrokkenheid, structuur en herkenbaarheid (figuur 1). Zo wisten leerlingen precies wat er van hen verwacht werd.



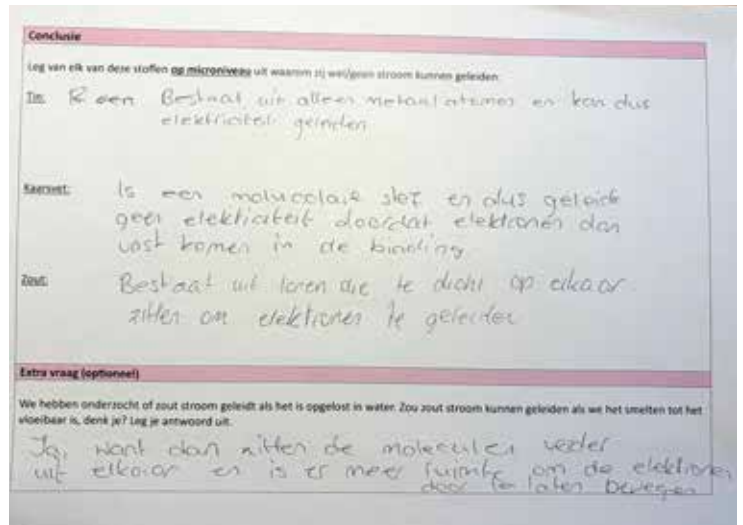
**FRANS MEINDERTSMA** is vakdidacticus scheikunde aan de Universiteit van Amsterdam en leraar scheikunde aan het Bornego College in Heerenveen. Contact: f.m.meindersma@uva.nl



**KIKI DEKKER** is lerares Scheikunde en aan SG De Dijk te Medemblik en daarnaast rondt ze haar masteronderzoek aan de Universiteit van Amsterdam af.



Figuur 1



Figuur 2

De tweede ontwerpkeuze betrof het gebruik van self-explanation prompts: korte, gerichte vragen die leerlingen helpen om verder te redeneren. Op hun werkblad stonden bijvoorbeeld prompts als ‘Zoom in op de deeltjes in buisje 2. Maak een tekening die uitlegt wat hier op microniveau gebeurt.’ Of ‘Schrijf een korte uitleg waarin je beschrijft wat er in buisje 2 gebeurt op microniveau. Denk hierbij aan de tekening die je hierboven hebt gemaakt.’ Deze prompts hadden als doel om leerlingen te helpen specifieker te redeneren, vaktaal toe te passen en abstracte processen concreet te maken.

Tot slot bespraken leerlingen in tweetallen hun voorspellingen, observaties en verklaringen. Leerlingen vulden gezamenlijk een werkblad in, en werden gestimuleerd om eerst samen te bespreken wat zij wilden opschrijven. Door het denken hardop te verwoorden, konden leerlingen elkaar aanvullen of corrigeren.

### Wat het opleverde

De drie lessen werden na afloop steeds geëvalueerd aan de hand van analyse van de ingevulde werkbladen, time-on-task observaties en korte reflectieformulieren in de vorm van aanvulvragen (learner reports) (Van Kesteren, 1993). Uit deze evaluaties bleek dat de betrokkenheid van leerlingen bij elk practicum hoog was en dat leerlingen de practica overwegend als een nuttige en positieve toevoeging aan de les ervaarden. Bovendien was een sterke toename te zien in het gebruik van microbegrippen in de

verklaringen van leerlingen: waar tijdens de eerste les door zo'n 30% van de leerlingen een correcte verklaring op microniveau werd gegeven, was dit tijdens de tweede les ruim 40% en in de laatste les zelfs rond de 70%. In het proces van herhalend verbeteren kwamen verschillende verbeterpunten naar voren. De prompts bleken in de eerste les te talrijk of te talig, waardoor leerlingen het als veel schrijfwerk en herhaling ervaarden. In de vervolgles zijn de vragen daarom beknopter en duidelijker geformuleerd. Ook bleek het aanbrenge van voldoende uitdaging van groot belang, waardoor in de laatste les een extra vraag ter differentiatie is toegevoegd (figuur 2).

Samengevat liet het onderzoek zien dat kleine didactische aanpassingen een groot effect kunnen hebben op de denkactiviteit van leerlingen tijdens demonstratiepractica.

### Van ontwerp naar lespraktijk

Hoewel dit onderzoek zich focuste op demonstratiepractica, is het ontwerp ook goed toepasbaar bij leerlingpractica. De drie ontwerpprincipes kunnen eenvoudig worden geïntegreerd in lessen waarbij leerlingen zelf de experimenten uitvoeren. Laat leerlingen in tweetallen een werkblad invullen waarbij zij zelfstandig de drie stappen – voorspellen, observeren en verklaren – uitvoeren. Dit biedt niet alleen voordelen voor de leerlingen, die gestructureerd en ondersteund het practicum doorlopen, maar is voor de docent ook prettig omdat het leerlingen zelfstandiger maakt en het inzicht biedt in de denkstappen

van leerlingen tijdens een practicum.

De practica waren in dit onderzoek vooral bedoeld om een bekend concept te herhalen en te toetsen of leerlingen de bijbehorende theorie hebben begrepen. Dit ontwerp kan echter ook worden toegepast op practica die nieuwe concepten introduceren. In dat geval wordt de stap ‘voorspellen’ uitdagender en moeten leerlingen dieper nadenken over de onderliggende processen. In de learner reports gaven sommige leerlingen aan de practica als makkelijk of saai te ervaren. Het gebruik van (contra-intuïtieve) practica voor nieuwe concepten kan de nodige uitdaging bieden en te betrokkenheid verder vergroten. Verder maakt dit ontwerp differentiatie mogelijk, bijvoorbeeld door een extra verdiepingsvraag toe te voegen aan het werkblad, of zelfs door te werken met verschillende werkbladen met prompts die variëren in de mate van (talige) ondersteuning.

### Tot slot

Door practica doordachter te ontwerpen, kunnen leerlingen niet alleen zien wat er gebeurt, maar ook begrijpen én verklaren waarom. De beschreven aanpak laat zien dat kleine, simpele didactische ingrepen – POE, gerichte prompts en samenwerkend leren – een groot verschil maken in de kwaliteit van leren. Op deze manier worden practica naast leuk, ook extra leerzaam!

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

# Zonnecrème

## Leerlingen maken en onderzoeken zonnecrème

Door de verdunning van de ozonlaag en de toegenomen zonuren in West-Europa neemt de uv-straling toe. We worden dus steeds vaker blootgesteld aan hogere uv-straling en daarom is goede bescherming belangrijk. Petten, hoeden en een wit T-shirt helpen al een stuk, maar zonnecrème blijft een belangrijke extra bescherming. Maar hoe werkt het precies? En waarom is het zo belangrijk?

In dit project onderzoeken leerlingen de eigenschappen en ingrediënten van zonnecrème, maken zelf een basisrecept en maken hun eigen variant. Daarna testen ze die met een uv-lamp en sensor om te zien welke formule het beste beschermt.

[tk] Verloop van het project

Les 1 begint met een korte introductie tot het project. De leerkracht legt het doel uit, geeft de planning mee en verduidelijkt waarop de leerlingen beoordeeld zullen worden. Daarna volgt een uitleg over de plaats van uv-straling in het elektromagnetisch spectrum en de verschillende soorten uv-stralen. Dit vormt het vertrekpunt voor een korte brainstorm over welke materialen bescherming kunnen bieden tegen uv.

Vervolgens komt het praktische deel waarin de leerlingen zelf testen hoe goed verschillende zonwerende materialen, zoals hoeden, witte T-shirts en zonnebrillen, uv-licht tegenhouden. Ze gebruiken hiervoor een Vernier Go Direct® Light and Color Sensor die gekoppeld is aan de TI-Nspire. Boven de

sensor hangt een uv-lamp (365 nm). Door materialen tussen de lamp en de sensor te plaatsen, kunnen de leerlingen rechtstreeks aflezen hoeveel uv-straling wordt doorgelaten of wordt geblokkeerd (figuur 1).

### Vertrekken van het basisrecept

In de volgende les analyseren de leerlingen eerst het basisrecept van zonnecrème. De leerlingen bestuderen de vijf basis-ingredienten die vaak in een zonnecrème

voorkomen: shea butter, kokosolie, amandelolie, bijenwas en zinkoxide. Ze zoeken uit wat elk ingrediënt precies is en welke functie het in de zonnecrème vervult. Als er gekozen wordt voor een uitgebreidere versie van dit project, kan elke groep dit recept zelf variëren.

Alle leerlingen beginnen bij hetzelfde basisrecept: 5 g shea butter, 5 g kokosolie, 2,5 g bijenwas, 15 mL amandelolie en 0,2 g Zinkoxide. Wanneer er variaties worden toegelaten, noteren de leerlingen hieronder welke parameter zij willen aanpassen, bijvoorbeeld smerbaarheid, geur, hydratatie of uv-wering. Ze passen de hoeveelheden aan en denken na over hoe ze de gekozen parameter later kunnen testen.

### Zonnecrème maken en testen

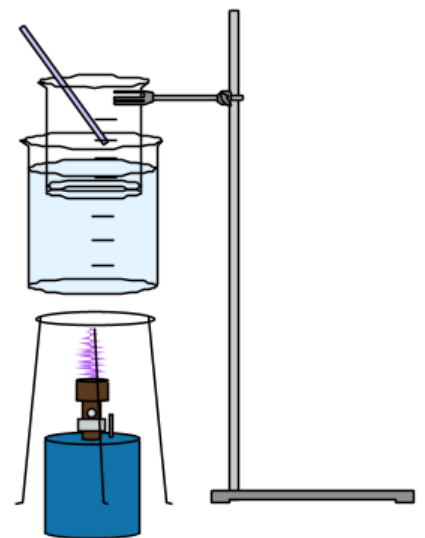
In les 3 maken de leerlingen hun eigen zonnecrème. Ze stellen vooraf een onderzoeksvoorstel op met hun onderzoeksvraag, hypothese en eventuele variaties op het basisrecept. Een voorbeeld onderzoeksvraag kan zijn: Welke ingrediënten in zonnecrème beschermen je het beste tegen de uv-stralen? Of: Wat gebeurt er als je minder zinkoxide toevoegt aan zonnecrème? Daarna verzame-



**ANN-KATHRIN COENEN** is bioloog van opleiding en sinds 2021 actief in het Vlaamse onderwijs. Aan het Agnetencollege in Peer is ze wetenschapsleerkracht in de tweede en derde graad. Daarnaast is ze betrokken bij Teachers Teaching with Technology (T3 Vlaanderen) en inspireert ze graag leerkrachten op congressen en tijdens workshops met bruikbare projecten en experimenten.



Figuur 1. Opstelling voor het meten van de uv-doorlaatbaarheid bij zonnecrème en andere materialen



Figuur 2. Opstelling voor het maken van de zonnecrème



Figuur 3 en 4. Meting van de uv met de uv-sensor en TI-Nspire zonder zonnecrème (links) en met zonnecrème tussen de sensor en lichtbron (rechts)

len ze de nodige lab-materialen en volgen ze de gegeven werkwijze voor zowel het bouwen van de proefopstelling als voor het maken van de zonnecrème. Voor de proefopstelling plaatsen we een bekeerglas met water op een driepoot met draadnet. Onder de driepoot staat een bunsenbrander. Aan een statief bevestigen we een bekeerglasklem, waarin het tweede bekeerglas met de afgewogen ingrediënten wordt vastgezet. Dit bekeerglas hangt vervolgens au bain-marie in het warme waterbad, zodat de ingrediënten gelijkmatig kunnen verwarmen en smelten (figuur 2).

In de laatste les testen de leerlingen hun zelfgemaakte zonnecrème en eventuele varianten. Ze voeren de standaardmeting uit met de uv-sensor en de TI-Nspire, aangevuld met hun eigen testmethode voor de gekozen parameter (figuur 4). De meetresultaten verwerken ze in hun laboverslag waarna ze tot een conclusie komen.

Tot slot werken de leerlingen met een Bookwidget (een digitaal oefenplatform) waarin het verschil tussen zonnecrèmes met een fysische en chemische filter aan bod komt. Een tweede Bookwidget behandelt de invloed van uv-straling op de verschillende huidlagen. Deze opdracht kan als afronding gebruikt worden of als introductie bij de eerste les.

### Het gebruik van sensoren

De sensoren van Vernier kunnen eenvoudig gekoppeld worden aan de TI-Nspire. Via de Vernier-module worden de meetwaarden meteen zichtbaar in de meetweergave, de tabel of de grafiek. Een groot voordeel is dat leerlingen geen laptop nodig hebben, waardoor er meer werkruimte vrij blijft op

hun desk. De nieuwste draadloze sensoren zorgen er bovendien voor dat er tijdens het experimenteren geen kabels in de weg zitten. Door gebruik te maken van sensoren worden leerlingen op een eenvoudige manier vertrouwd gemaakt met het gebruik van technologie voor dataverzameling. Ze leren om meetgegevens te interpreteren, te verwerken en om onderbouwde conclusies te trekken. Al deze vaardigheden sluiten nauw aan bij het doel van wetenschappelijk onderzoek.

### Evaluatie met de vier B's

Binnen de STEM-projecten ontwikkelen leerlingen stap voor stap de vaardigheden die nodig zijn om een wetenschappelijk onderzoek uit te voeren. In elk project ligt de nadruk op een ander aspect van onderzoekend leren, zoals het formuleren van een onderzoeksvraag, het opstellen van een correcte werkwijze, het maken van grafieken, het noteren van resultaten en het reflecteren over hun bevindingen.

Tijdens het werken aan de projecten maken we gebruik van de vier B's: *brains*, *books*, *buddy* en *boss*. Wanneer leerlingen vastlopen, denken ze eerst zelf opnieuw na over de opgave (*brains*). Vervolgens kunnen ze de theorie of eerdere notities raadplegen (*books*). Lukt het nog niet, dan vragen ze hulp aan een klasgenoot (*buddy*). Pas als laatste stap wenden ze zich tot de leerkracht (*boss*). Deze aanpak stimuleert zelfstandigheid en zelfregulatie bij de leerlingen.

Elk STEM-project is gekoppeld aan specifieke leerplandoelen, naast de ontwikkeling van onderzoeksvaardigheden en attitudes. Vooraf wordt duidelijk uitgelegd op welke doelen de leerlingen beoordeeld zullen worden en hoe zwaar deze meetellen in de eindevaluatie. Doorheen het project krijgen leerlingen

tussentijdse feedback zodat ze kunnen groeien in hun vaardigheden, maar de uiteindelijke evaluatie vindt pas plaats aan het einde van het project.

### Het projectmateriaal

Dit STEM-project werd ontworpen door de wetenschapsleerkrachten Evelyn Blocken en Ann-Kathrin Coenen van het Agnetencollege in Peer, België. Het project werd gepresenteerd als workshop tijdens het 50-jarig NVON-congres Bèta in Beweging door Natalie Dirckx (eveneens wetenschapsleerkracht aan het Agnetencollege) en Ann-Kathrin Coenen.

Het STEM-project omvat een complete leerkrachten- en leerlingenbundel voor vier lessen. Op het Agnetencollege in Peer ligt een sterke focus op het ontwikkelen van wetenschappelijke vaardigheden bij leerlingen in de richting (natuur)wetenschappen. Daarom krijgen de leerlingen van het derde jaar natuurwetenschappen één lesuur STEM per week, in het vierde jaar zijn dat er twee. Dit zijn extra uren buiten hun wetenschappelijk curriculum.

Het project sluit bovendien goed aan bij de lessen biologie en/of chemie en kan hier eenvoudig aan gekoppeld worden. Daarnaast maakt het ook gebruik van de technologie van Texas Instruments en Vernier, zodat leerlingen verschillende datametingen kunnen uitvoeren en hun onderzoeksvaardigheden verder ontwikkelen.

De digitale leerkrachten- en leerlingenbundels van dit project, alsook andere STEM- en wetenschapsprojecten kunnen op de website T<sup>3</sup> Nederland geraadpleegd worden via de volgende weblink: <https://resources.t3nederland.nl/t3nederland-home> of scan de QR-code. ●



### BRON

- *UV-straling in Nederland, 1980-2022*. (2023b, augustus 2). Compendium Voor de Leefomgeving. [www.clo.nl/indicatoren/nl022010-uv-straling-in-nederland-1980-2022](http://www.clo.nl/indicatoren/nl022010-uv-straling-in-nederland-1980-2022)

# Inzet van de toa

Veel toa's kennen de NVON-toa sectie van het toa-congres, de TOT en/of het toa-forum. Minder bekend is echter dat leden van de sectie in de arbo- en vakbondscommissie van de NVON plaatsnemen om via die weg op te komen voor de rechten van de toa.

Uit gesprekken die wij voeren met de achterban, en discussies die worden gevoerd op het toa-forum, blijkt dat er grote verschillen blijken te bestaan waar het gaat om de inzet en de functiewaardering van toa's. Steeds vaker worden toa's daarbij ondergebracht bij de onderwijsassistenten. Via het uitzetten van een enquête wilden we beter inzicht krijgen in de huidige stand van zaken. Enerzijds om de daarmee de achterban beter te kunnen informeren en anderzijds om waar nodig veranderingen in gang te zetten. Met het uitzetten van de enquête is onderzocht in welke mate:

- Er landelijke verschillen zijn in de toa/leerling verhouding
- De tevredenheid van de toa afhankelijk is van de toa/leerling verhouding.
- Er verschil is in het type taken die toa's toebedeeld krijgen.
- De tevredenheid van de toa afhankelijk is van de taken die de toa uitvoert.

## De praktijk

Al voor het starten van dit onderzoek kregen we signalen dat toa's naast de hoofdtaken een veelvoud aan taken uitvoeren en dat veel toa's een hoge werkdruk ervaren. Dit beeld wordt bevestigd door de resultaten van de enquête, die door 62 toa's werd ingevuld.

## Tevredenheid t.a.v.de bezetting

Van de 62 respondenten hebben 56 respondenten aangeven in welke mate ze tevreden zijn over de huidige toa-bezetting op hun school (figuur 1).

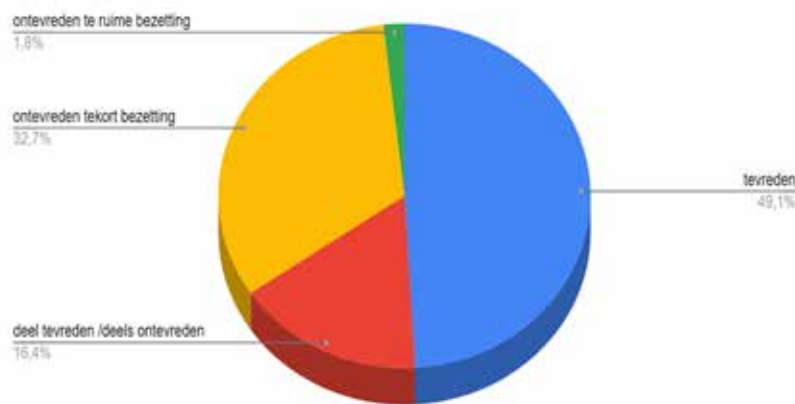
Hieruit blijkt dat bijna de helft (49.1%) tevreden is met de bezetting, 32.7% is (deels) ontevreden. Van de laatsten zijn de oorzaken daarvoor divers (zie tabel 1).

Het meest genoemd is een tekort aan tijd tijdens de piekmomenten (wat leidt tot frustratie en in sommige gevallen tot potentieel gevaarlijke situaties).

Diverse respondenten geven aan dat ze taken uitvoeren die geen natuurwetenschappelijke basis hebben (zoals surveilleren in de aula). Daarnaast blijken toa's ook geregeld docententaken uit te voeren (zoals zelfstandig lessen geven, practica ontwikkelen en leerlingen beoordelen). Onduidelijk is vooralsnog in welke mate toa's zelf invloed hebben op hun takenpakket.

Tabel 1. Redenen voor ontevredenheid van toa's

Redenen voor ontevredenheid
werkdruk
niet relevante taken
slechte samenwerking toa's
veiligheid in het geding door tekort toa-bezetting
reizen tussen locaties
beloning (bijv. inschaling als onderwijs assistent C)
niet gewaardeerd om kennis
weinig budget
geen goede toa collega's te vinden



Figuur 1. Tevredenheid van toa's met betrekking tot de huidige bezetting

JEFFREY SLOPSMA is secretaris van de NVON-toa sectie

Toa's, die werken op scholen waar de toa zich heeft gespecialiseerd in één vak, maar die wanneer het nodig is taken van elkaar overnemen, lijken tevredener dan toa's op scholen waar een strikte scheiding plaatsvindt op het gebied van vak (in tijd en locatie).

*Tevredenheid in relatie tot het leerlingaantal*

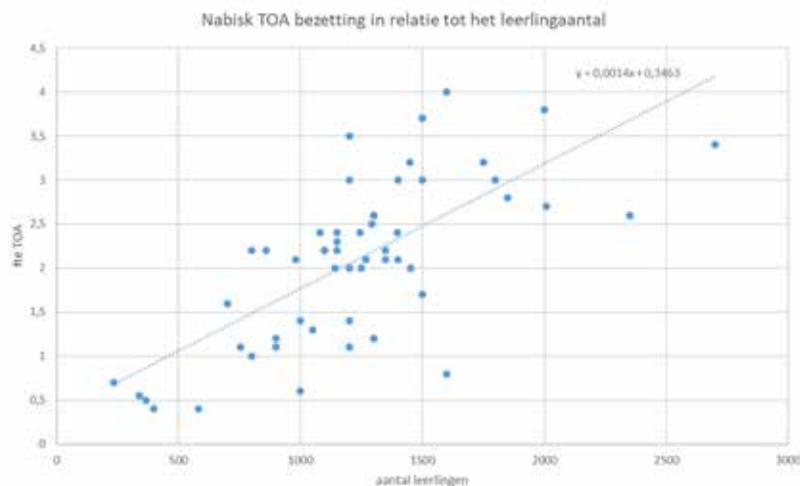
Figuur 2 toont de relatie tussen de toa-bezetting en het leerlingaantal van een school ( $y = 0.0014x + 0.3463$ ). Het betreft hier slechts een indicatie van de bezetting op scholen waar toa's worden ingezet. Gemiddeld gezien zetten scholen uit ons onderzoek ongeveer per 500 leerlingen 1 fte toa-aanstelling in. Figuur 2 laat ook zien dat er een grote variatie bestaat binnen de groep van respondenten.

In dit onderzoek varieert de toa bezetting van 1fte per 200 leerlingen tot 1 fte per 2000 leerlingen.

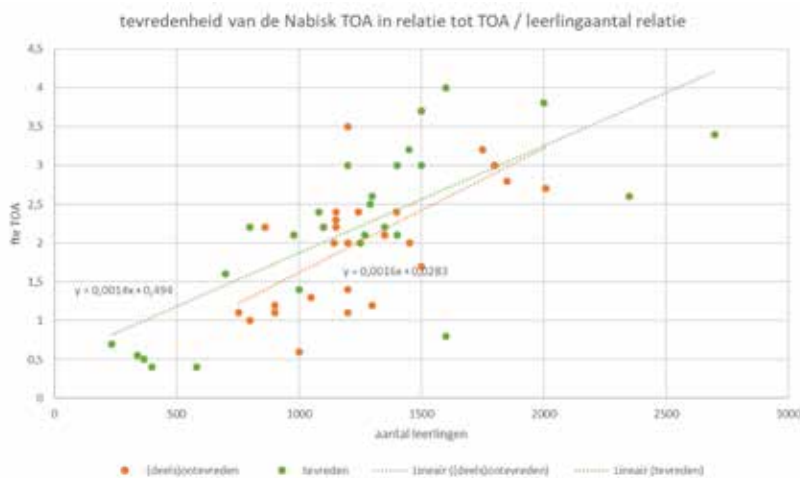
*Oorzaak (on)tevredenheid t.o.v. de bezetting*

Uit een analyse van de gegevens (figuur 3) blijkt dat er een relatie lijkt te bestaan tussen de tevredenheid over de inzet en de leerling/toa verhouding. Onder de groep van tevreden toa's is het aandeel scholen, met 500 leerlingen per toa of minder, hoger (namelijk 48,1%) dan bij de groep van (deels) ontevreden toa's (22,2%). Toch is de leerling/toa verhouding niet de enige factor die de tevredenheid bepaalt. Dit blijkt uit het voorkomen van ontevreden toa's, met in onze ogen een zeer gunstige leerling/toa-verdeling en tevreden toa's met een op het eerste oog nadelige leerling/toa verhouding. Een verschil in onderwijsvorm (vmbo/ versus mavo/havo versus gymnasium), het voorkomen van fusies en/of krimp in het leerlingaantal en problemen met het verkrijgen van geschikte

Figuur 2. De relatie tussen de Nabisk toa bezetting uitgezet tegenover het totale aantal leerlingen op de desbetreffende school (N = 55)



Figuur 3. In deze grafiek is een splitsing gemaakt ten aanzien van de mate van tevredenheid van de toa betreffende deze verhouding (N = 55)



**DE TOEKOMST EN JOUW AANDEEL DAARIN**

Komend jaar zal de NVON toa-sectie zich achter de schermen hard inzetten voor het beschikbaar stellen van een specifieke landelijke fuwa voor de toa/instructeur. Wij zijn van mening dat die nodig is om onduidelijkheden weg te nemen (bij zowel toa's al schoolbesturen) en de veiligheid van de schoolorganisatie (op het gebied van natuurwetenschappelijk onderwijs) in de toekomst te garanderen. Wil jij met ons meedenken over de opzet/ inhoud van deze enquête of kan je de toa-sectie op een andere manier in het proces ondersteunen dan horen we dat graag van je. Neem dan contact op met ons via [info@toa.tips](mailto:info@toa.tips).

toa's, zijn tevens factoren die genoemd worden. Omdat de enquête deze factoren niet expliciet heeft bevraagd, kunnen we daarover geen eenduidige uitspraken doen.

*Tevredenheid versus de taken*

Veel toa's blijken taken uit te voeren die niet aansluiten bij het beeld dat de toa-sectie heeft van toa-taken. Zo worden er door diverse toa's docent-, oa- en andere niet toa-gerelateerde taken uitgevoerd.

Onduidelijk is of dergelijke taken zijn opgenomen in de functiewaardering (fuwa) van deze toa's, de taken worden opgedragen door de leidinggevende of dat toa's deze taken uit eigen initiatief uitvoeren. Onduidelijk is daarnaast of toa's passend worden beloond voor deze taken.





### Conclusie

Duidelijk is dat er een relatie bestaat tussen het leerlingaantal en de toa-bezetting van scholen. De trendlijn toont aan dat 1 toa per 500 leerlingen de standaard is. De tevredenheid van de toa lijkt in grote lijn afhankelijk te zijn van het relatieve formaat van de toa-bezetting. Tevreden toa's werken vaker dan (deels) ontevreden toa's op scholen met een lage leerling/toa verhouding. Door het ontbreken van uniforme richtlijnen voor taken en bezetting van toa's, zijn er grote verschillen op deze punten. Er worden door toa's geregeld taken uitgevoerd die niet tot hun standaardtaken behoren. Dat kan leiden tot een hoge werkdruk en in sommige gevallen tot onveilige situaties.

Er blijken grote verschillen in de inzet en de functie-waardering van toa's

### Tekortkomingen van dit onderzoek

In dit onderzoek zijn de resultaten van slechts 62 toa's verwerkt, waardoor het kan zijn dat een bepaalde groep is over- of ondervertegenwoordigd. Bovendien zijn in dit onderzoek geen vragen gesteld over de huidige inschaling, de relatie tussen de uitgevoerde taken en de in de functiewaardering opgenomen taken (en verantwoordelijkheden). Eén van de respondenten vermeldt terecht dat het gehele vo over één kam wordt geschoren. Het type school bepaalt mede hoeveel inzet en in welke vorm gewenst is.

### Aanbevelingen

Volgens de toa sectie zijn taken van de toa ondersteunend en onderscheidt de toa zich van andere onderwijsassistenten door het type uit te voeren werkzaamheden (gericht op natuurwetenschappelijk onderwijs), genoten opleiding en verantwoordelijkheden. De toa sectie zet zich in om een specifieke functiewaardering op te laten nemen in de wet. Maar zolang dat ons nog niet is gelukt, zal een toa zelf met de leidinggevende in gesprek moeten gaan waar onduidelijkheid/onenigheid is.

We adviseren om het gesprek binnen jouw school aan te gaan als:

- Het functiehandboek van jouw organisatie wordt aangepast.
- De toa/leerling-verhouding 'sterk' afwijkt van de trend van 500 leerlingen per toa.
- Je fuwa (veel) taken/verantwoordelijkheden bevat die geen relatie hebben tot de toa-functie.
- Je fuwa taken/verantwoordelijkheden niet passen bij de beloning (loonschaal).
- De werkdruk systematisch te hoog (of te laag) is.

Heeft de situatie een negatieve invloed op je gezondheid, werkplezier en/of de veiligheid van leerlingen (zie QRC B) en/of de organisatie in het algemeen (zie QRC C) dan moet je zeker het gesprek aangaan.

Voer je naar tevredenheid van je leidinggevende taken uit die de toa-functie/fuwa overstijgen, dan kun je het gesprek aangaan om de mogelijkheid tot een hogere inschaling te onderzoeken. Als de school je geen hogere inschaling kan/wil bieden, moet je bedenken of je de taak wilt blijven uitvoeren. Als je antwoord op bovenstaande vraag nee is, dan adviseren we je het gesprek aan te gaan.

Voor het uitgebreide artikel en meer adviezen verwijzen we je naar de NVON-toa website (zie QRC D). ●

### MEER WETEN?

- QRC A: Het functiewaarderingssysteem op de Voion-website
- QRC B: Arboscan vo op de Voion-website
- QRC C: Arbocatalogus: Begeleiding en toezicht leerlingen
- QRC D: NVON-toa website: toa.tips



# De traagheids- wet met een bunsenbrander

Als de traagheidswet of de middelpuntzoekende kracht aan de orde komt, dan wil je die met een leuk proefje verduidelijken. Jan van Riswick, docent natuurkunde, deed dat op een wel heel bijzondere manier, vertelde hij.



Voor de slinger die hij nodig had gebruikte hij een bunsenbrander die altijd op zijn demonstratietafel stond; die lag het meest voor de hand. Hoewel hij deze les niet in zijn eigen lokaal gaf, vertrouwde hij erop dat de proef ook hier, met een andere bunsenbrander, moest lukken. Hij trok de gasslang los van de kraan en slingerde de brander boven zijn hoofd rond nadat hij zijn leerlingen had gevraagd: “Word je bij een draaiende kermisattractie naar binnen of naar buiten geduwd?”

[afbeelding: 27-ervaring\_rijker\_Riswick\_CvdK.jpg, met onderschrift:] Jan van Riswick slingerde nog eenmaal een bunsenbrander

## Gevaarlijk projectiel

Blijkbaar zat de brander niet zo stevig vast aan de slang. Hij liet los en werd de klas in gekatapulteerd. Als levensgevaarlijk projectiel vloog hij rakelings langs de leerlingen op de tweede en derde rij om vervolgens tegen een zijwand tot stilstand te komen. Grote schrik, gevolgd door even grote hilariteit. Van Riswick begreep dat hij veel geluk had gehad en ook dat hij wel wat uit te leggen had aan zijn opgewonden publiek. Later zei hij: “Het was misschien wel het beste experiment ooit. Leerlingen bleken heel goed in te zien wat er gebeurd was: na het loslaten bewoog de brander rechttuit. Om dat te voorkomen was er tot dat noodlottige moment een terugtrek-

kende kracht van de slang nodig. Tijdens de bespreking bleek dat alle leerlingen dit goed doorhadden.”

Ook ontdekte van Riswick waarom zoveel mensen denken dat de kracht naar buiten gericht is. “Als de bunsenbrander losraakt en naar buiten beweegt ten opzichte van het middelpunt van de draaicirkel, dan denken we intuïtief dat die daarvoor naar buiten geduwd moet worden...” Voor de leerlingen werd duidelijk dat de beweging naar buiten niet door een kracht komt, maar juist door het wegvallen van de kracht, door de traagheid. Waarschijnlijk zullen deze leerlingen de traagheidswet voor altijd associëren met een vliegende, levensgevaarlijke bunsenbrander. Wet en brander vergeten ze niet gauw. Tegenwoordig gebruikt Jan van Riswick geen bunsenbrander maar een tennisballetje aan een koord. De proef doet hij liever niet zelf, maar laat hij aan zijn leerlingen over. Hij vindt het heel belangrijk dat ze zoveel mogelijk waarnemingsvormen gebruiken: niet alleen luisteren en kijken, maar ook fysiek ervaren. “Dan worden het experiment en het begrip veel beter opgeslagen in het brein.”

## In de sloot

Een ander voorbeeld van de traagheidswet, dat voor van Riswick onvergetelijk is en waarmee hij zijn leerlingen weet te vermaken, was hemzelf overkomen. Als springruiter deed hij

in zijn jonge jaren mee aan concoursen. Bij kampioenschappen ging het dan niet alleen om de hoogte van de hindernissen maar ook om de lengte (of breedte). Zo moest zijn paard over een bak water springen. Om de hindernis ‘natuurlijk aan te kleden’ stond er een rij ligusterstruikjes voor die van enige afstand het zicht op de kleine poel wegnam. Terwijl het op topsnelheid lag, kreeg zijn paard vlak voor de hindernis het glinsterende vloestofoppervlak toch in de gaten en weigerde onmiddellijk. “Het zal duidelijk zijn waar ik belandde. Nog geen seconde later lag ik in de, gelukkig niet al te diepe, sloot. Ook hier was sprake van de eerste wet van Newton: traagheid.” ●

## 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.

# Nucleaire technologie in het onderwijs

## Betekenis Nuclear Academy voor middelbare scholen?

De wereld van nucleaire technologie is veelzijdig, actueel en maatschappelijk relevant. Toch blijft dit onderwerp vaak onderbelicht in het voortgezet onderwijs. De Nuclear Academy wil daar verandering in brengen. Met onder meer interactieve lesmodules, wetenschapsdagen en inspirerende profielwerkstukdagen helpen we leerlingen én docenten om de fascinerende wereld van kernenergie, ioniserende straling en medische beeldvorming op een toegankelijke manier te verkennen.

De Nuclear Academy is in 2023 opgericht door NRG PALLAS en de Technische Universiteit Delft (TU Delft), en wordt gesteund door het Ministerie van Klimaat en Groene Groei. Het doel is om een krachtig ecosysteem te ontwikkelen voor nucleair-technologische opleidingen en trainingen. Dit ecosysteem stimuleert de instroom van goed gekwalificeerd personeel voor

de nucleaire sector en biedt overheden de kennis die nodig is om de Nederlandse nucleaire ambities veilig en verantwoord te realiseren.

### Missie

Onze missie is om betrouwbare en toegankelijke informatie te bieden over nucleaire toepassingen en daarmee bij te dragen aan

een goed geïnformeerde samenleving. We ontwikkelen lesmateriaal en onderwijsactiviteiten voor diverse doelgroepen: van middelbare scholieren tot mbo- en hbo-studenten en van overheidsinstanties tot het algemene publiek. Denk hierbij aan:

- Lesmodules voor het voortgezet onderwijs.
- Ondersteuning bij het ontwikkelen van nucleaire curricula voor mbo- en hbo-instellingen.
- Voorlichting en cursussen voor overheden over kernenergie en Small Modular Reactors (SMR's).
- Samenwerking met Europese partners om nucleaire ambities te realiseren.

Met dit brede aanbod willen we nucleaire technologie uit de sfeer van misverstanden en taboes halen en juist laten zien hoe het bijdraagt aan energievoorziening, gezondheidszorg en innovaties van de toekomst.

### Lesmodules voor havo/vwo

Een belangrijk speerpunt binnen de Nuclear Academy is het ondersteunen van middelbare scholen. Voor de bovenbouw van havo en vwo hebben we verschillende lesmodules ontwikkeld en werken we continu aan nieuw onderwijsmateriaal. Deze modules zijn gratis beschikbaar via [www.nuclearacademy.nl](http://www.nuclearacademy.nl) (of scan de QR-code). Op dit moment zijn er twee lesmodules beschikbaar.





13 maart  
 'NVON op locatie'  
 bij het Reactor  
 Instituut in Delft  
 (zie de NVON-agenda)

### Lesmodule 1: Kernenergie

In deze module ontdekken leerlingen de principes achter kernenergie: hoe werkt een kerncentrale, wat gebeurt er tijdens een splijtingsreactie en hoe wordt veiligheid gewaarborgd? Daarnaast is er aandacht voor de maatschappelijke discussie rondom kernenergie, afvalverwerking en de energietransitie. De module bevat:

- Een werkboek voor leerlingen en een docentenhandleiding met uitleg, leerdoelen en bijlagen.
- Een theorieles en een verdiepende presentatie over kernenergie en de energietransitie.
- De expertmethode, waarbij leerlingen vanuit drie verschillende rollen (energiedeskundige, milieudeskundige en veiligheidskundige) samenwerken aan een scenario zonder fossiele brandstoffen.

### Lesmodule 2: Medische beeldvorming

Radioactieve isotopen worden in ziekenhuizen veel gebruikt voor diagnostiek en behandeling. In deze module leren leerlingen hoe nucleaire technologie wordt toegepast in de medische wereld, bijvoorbeeld bij PET-scans, CT-scans en de productie van medische isotopen in reactoren zoals die in Petten. Deze module bevat onder andere:

- Een werkboek voor leerlingen en een docentenhandleiding met uitleg, achtergrondinformatie en opdrachten.
- Uitleg over verschillende medische beeldvormingstechnieken zoals nucleaire geneeskunde.
- Opdrachten waarin leerlingen zelf onderzoeken hoe beeldvorming werkt, inclusief stralingsdoses, veiligheid en toepassingsgebieden.

- Een verdiepende presentatie die aansluit op de theorie en is ontworpen voor bovenbouw havo/vwo.

### Waarom deze modules?

De modules zijn ontworpen voor gebruik in de klas of tijdens projectonderwijs. Ze zijn inhoudelijk sterk én begrijpelijk voor leerlingen. Daarnaast zijn ze visueel aantrekkelijk en bevatten ze verschillende werkvormen. Dit maakt het materiaal geschikt voor diverse lesstijlen. Docenten kunnen ze inzetten als aanvulling op de reguliere lessen, ter voorbereiding op profielwerkstukken of zelfs in het kader van loopbaanoriëntatie. Alles is kosteloos te downloaden, en we blijven werken aan uitbreiding en actualisering van het aanbod.

### Profielwerkstukdagen

Naast het online lesmateriaal organiseert de Nuclear Academy twee keer per jaar een PWS-dag. Deze dagen zijn bedoeld voor alle leerlingen die een profielwerkstuk maken over nucleaire technologie, ioniserende straling of medische toepassingen. Tijdens de PWS-dag krijgen leerlingen eerst een basisles stralingsbescherming, gevolgd door een practicum waarin ze leren werken met meetapparatuur voor ioniserende straling. Daarna gaan ze, onder begeleiding, aan de slag met hun eigen werkplan en experiment. Het is prettig wanneer leerlingen vooraf hebben nagedacht over hun onderzoeksvraag; wij zorgen voor de benodigde apparatuur en materialen.

### Toekomstplan: jaarlijkse dag voor docenten

Naast onze bestaande initiatieven organiseren we op 13 maart de eerste docentendag, in samenwerking met 'NVON op locatie' bij de

TU Delft. Tijdens deze dag staan de lesmodules Kernenergie en Medische Beeldvorming centraal, zodat docenten zelf kunnen ervaren hoe het materiaal werkt en hoe het in de klas kan worden ingezet. Daarnaast bieden we een korte les over stralingsbescherming aan, zodat dit onderwerp op een toegankelijke manier bespreekbaar wordt. De dag wordt afgesloten met een rondleiding bij het Reactor Instituut Delft (RID).

We horen tijdens deze bijeenkomst ook graag van docenten waar zij nog behoefte aan hebben op het gebied van nucleair onderwijs, zodat we ons aanbod verder kunnen afstemmen op de praktijk.

## Leerlingen begeleiden bij een onderzoeksvraag

Zo geven we docenten niet alleen theoretische bagage mee, maar ook een unieke blik achter de schermen. We hopen hiermee niet alleen kennis over te dragen, maar ook een netwerk te creëren van docenten die nucleaire thema's in hun onderwijs een plek willen geven.

### Stralend de toekomst in

De Nuclear Academy is volop in beweging. Nieuwe lesmodules, inspirerende samenwerkingen en innovatieve manieren om nucleaire kennis de klas in te brengen zijn in ontwikkeling. Denk aan thema's zoals stralingsbescherming, kernfusie, Small Modular Reactors (SMR's) of zelfs virtuele excursies achter de schermen van een nucleaire installatie.

Houd NVOX in de gaten: zodra er nieuwe ontwikkelingen zijn, zullen we die daar delen. Ook via onze website [www.nuclearacademy.nl](http://www.nuclearacademy.nl) en onze socials (LinkedIn en Facebook) blijf je op de hoogte van alles wat we doen. ●



# De eerste weken zijn zilver, de kerstvakantie goud!

## Positieve groepsvorming na de kerstvakantie

Wellicht één van de bekendste termen in het onderwijs is 'gouden weken'. Dit zijn de weken die cruciaal zijn voor groepsvorming en het opbouwen van een veilig en positief leerklimaat. Tijdens de gouden weken leren de leerlingen elkaar en hun docenten kennen, en worden er afspraken gemaakt. Dit zijn de storming, forming en norming-fasen van groepsvorming.

De kerstvakantie is een breukmoment in het schooljaar en een afsluiting van een - voor velen - drukke periode. Ouder-gesprekken, rapportpresentaties, Sinterklaas, Kerst, Oud-en-Nieuw, misschien is er tussendoor nog wel iemand jarig! De zilveren weken kunnen gebruikt worden om de sfeer en de dynamiek weer op de rit te krijgen en

vooruit te blikken naar de rest van het schooljaar. Het kan namelijk zo zijn dat er in de loop van het schooljaar enkele problemen zijn ontstaan. Denk hierbij aan 'eilandjes' in de klas die niet (meer) met elkaar mengen, of regels die vervaagd zijn.

### Doen in de zilveren weken?

De zilveren weken zijn voor iedereen belangrijk, niet alleen voor mentoren, maar ook voor docenten. Een veranderde of verslechterde klassendynamiek hoeft niet alleen bij de mentorles te worden aangepakt, maar dat moet in elke les consequent gebeuren.

Na de vakantie kun je met je leerlingen hun vakantie-ervaringen bespreken door een klassengesprek of door er kort naar te vragen. Als je dit niet passend vindt binnen je les, en je liever iets vakgerelateerds doet met de leerlingen, kun je een werkvorm toepassen waarbij de leerlingen moeten samenwerken met elkaar. Dit kan bijvoorbeeld door de werkvorm 'denken-delen-uitwisselen', waarbij leerlingen samen na moeten denken over een begrip of een antwoord. De leerlingen krijgen een vraag, som of begrip van de docent. De leerlingen krijgen een bepaalde tijd om hier zelf over na te denken. Als de tijd voorbij is, vertellen de leerlingen aan

elkaar wat hun antwoord of oplossing is. Ze kunnen hun antwoorden met elkaar vergelijken en hun eigen antwoord eventueel bijstellen. Als laatste worden verschillende leerlingen aangewezen om het antwoord te geven of om hun oplossing op het bord te zetten. Aan de andere leerlingen wordt regelmatig om feedback gevraagd. Op deze manier bevorder je in een vrij korte tijd de communicatie tussen leerlingen, en hopelijk ook de interpersoonlijke relatie met hen.

Je kunt de eerste les na de kerstvakantie ook beginnen met een *energizer*. Hierdoor worden de energie en focus van de leerlingen verhoogd. Ook hier zijn verschillende opties voor. Je kunt bijvoorbeeld 'petje op, petje af' spelen met de leerlingen, waarbij je verschillende stellingen op het bord zet of opnoemt. Als leerlingen het eens zijn met de stelling gaan ze staan, als leerlingen het oneens zijn met de stelling blijven ze zitten. Denk hierbij aan stellingen als



'Ik hou van chocolade', of 'De kerstvakantie is mijn favoriete vakantie'. Ook deze werkvorm kan aan je vak gerelateerd worden. Bereid verschillende juist/onjuist-vragen voor, of meerkeuzevragen met twee antwoordopties. De vragen kun je op het bord projecteren, waarna je de leerlingen heel even de tijd geeft om over hun antwoord na te denken. Om het competitief te maken kun je er een afvalrace van maken, waarbij de laatste leerling die overblijft iets kan winnen.

Om de communicatie tussen leerlingen te verbeteren bij deze werkvorm, kun je tussentijds aan leerlingen vragen hoe ze tot bepaalde antwoorden zijn gekomen, of kun je de leerlingen in tweetallen tot een antwoord laten komen.

Mocht je meer van de spelletjes zijn, dan kan het een leuk idee zijn om een eigen ganzenbordspel te maken. De leerlingen spelen dit in groepjes van 4, waarbij ze verschillende vragen moeten beantwoorden. Het bordspel heeft, net als ganzenbord, 63 vakjes. Sommige vakjes zijn groen (reproductievraag, makkelijk), sommige vakjes zijn rood (toepassings- of inzichtsvraag, moeilijk) en andere vakjes zijn blauw (kans). Als een leerling op een vragenvakje komt, moet diegene de vraag beantwoorden. Is het antwoord goed, dan mag de leerling twee stappen vooruit. Is het antwoord fout, dan moet de leerling drie stappen achteruit. Het is natuurlijk ook mogelijk om de bekende 'put' en 'gevangenis' ook aan het bord toe te voegen, het is immers jouw spell! Het is ook fijn om een aantal vakjes leeg te laten, zodat de leerlingen tussendoor ook even kunnen 'uitrusten'. Niks verbetert de onderlinge banden zo goed als een ouderwets potje ganzenbord!

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



## SAVE THE DATE!

Op 20 en 21 maart 2026 is het weer zover: onze Jong NVON-conferentie! Nadat vorig jaar de conferentie helaas niet door kon gaan, hopen wij jullie nu weer te mogen verwelkomen bij Boswell Bèta. Dit jaar zijn er workshops over onder andere modelleren, positieve groepsvorming en AI in het onderwijs. Je leert niet alleen veel van de workshops, maar ook van elkaar om jouw lessen nóg leuker en beter te maken! We beginnen op vrijdagmiddag rond een uur of vijf met een openingslezing. Gevolgd door een gezellig diner met zijn allen in een gezellig restaurant. We sluiten de avond af met een borrel waar we elkaar de gaafste les- en practicumideeën laten zien. We overnachten in het centrum van Utrecht, dicht bij het uitgaanscentrum. Wie nog

een afzakkertje wil halen, hoeft niet ver te lopen.

Zaterdag is er een keuzeprogramma voor de workshops. We sluiten de conferentie om 14.30 uur af.

Zin om te komen? Houd de website in de gaten!

Eerdere deelnemers over deze conferentie: "Top! Heel leuke sfeer en nuttige workshops"

"Supertof, veel info die ik kan gebruiken"

"Goede combi van gezelligheid en info"

"Workshops waar je praktisch uitvoerbare ideeën uit meeneemt"

Namens Jong NVON,  
Tosca Tamis

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



# Mondelinge staatsexamens

## Remedie tegen GenAI-verslagen

Tijdens de nlt-conferentie op 6 maart was er een groot aantal lezingen en workshops. Een van de lezingen, over de staatsexamens, is hier uitgelicht. Van de ervaring bij de staatsexamens kunnen we leren hoe generatieve AI op een zinvolle manier te gebruiken.

**T**wee jaar geleden gaf ik 2-havoleerlingen die zich hadden ingeschreven voor mijn flex-uur 'De Groene School', de opdracht een brief aan het schoolbestuur te schrijven met een projectvoorstel waarmee de school kon verduurzamen. Ze kregen een half uur om zo nodig door de school te lopen en met docenten en leerlingen in gesprek te gaan, en om goed na te denken en de juiste zinnen te formuleren voor hun brief. Ik stond er versteld van dat leerlingen van wie ik de taalvaardigheid bescheiden achtte, binnen tien minuten prachtige brieven hadden geformuleerd. Wel enigszins algemeen en onsamenhangend, en niet specifiek bedoeld voor onze school, maar toch! Ik had meteen al enig wantrouwen, ondanks dat de leerlingen mij wilden overtuigen dat zij zelf de bron van creativiteit waren. Zo konden ze de rest van de les besteden aan spelletjes en chillen. Waarom hadden ze anders voor mijn flex-uur gekozen?

Generatieve AI (GenAI) stelt ons voor de opgave om het onderwijs en de toetsing vorm te geven in een snel veranderende tijd. ChatGPT, Copilot en Gemini zijn er voorbeelden van. Het is een uitdaging. Vooral een vak als nlt, dat leerlingen bij projecten vaak toetst op de verslaglegging, heeft ermee te maken. Kent de leerling zijn bronnen en de samenhang daartussen? Kan de leerling laten zien zijn kennis te kunnen toepassen in onbekende situaties?

**HARM SMIT** is docent nlt en biologie op het Thomas a Kempis College, in Arnhem. Hij is bovendien examenbetrokkene voor nlt en biologie

Een goede manier om de eigen inbreng van de leerling te achterhalen, is het afnemen van mondelinge examens. Op middelbare scholen is daar weinig ervaring mee. Bij de staatsexamens des te meer, daarom is het goed om daar te rade te gaan.

### Staatsexamens

De organisatie van de staatsexamens is in handen van het College voor Toetsen en Examens (CvTE), de uitvoering ligt bij de Dienst Uitvoering Onderwijs (DUO) van het Ministerie van OCW. Dankzij staatsexamens kunnen veel jongeren via de niet reguliere weg een diploma halen, of een apart certificaat voor een enkel vak. Niet alleen voor een gebruikelijk vak, zoals biologie, maar ook voor minder gangbare vakken, zoals nlt en informatica.

### Voor wie een schriftelijk geen goede maat is

Staatsexamens lijken sinds corona aan populariteit te winnen. Jaarlijks melden zich enkele duizenden (de laatste jaren zelfs 9000) kandidaten aan voor het staatsexamen voor een of meer vakken. Voor nlt zijn het er elk jaar enkele tientallen. Kandidaten komen vooral uit Nederland, een klein deel uit het Caribisch gebied, en een zich uitbreidende groep heeft het voortgezet onderwijs elders genoten, bijvoorbeeld in Bulgarije of Zwitserland.

### Het mondeling

Bij de meeste vakken maken kandidaten bij het staatsexamen het reguliere centrale examen (CE). Voor vakken waarvoor geen CE bestaat, leggen de kandidaten een college examen af. Zo ook voor het vak nlt. Dit schriftelijke examen gaat in op vijf of zes vastgestelde modules die elke kandidaat zelfstandig heeft kunnen voorbereiden. Het cijfer voor het schriftelijk telt voor 50% mee in het eindcijfer. Daarnaast leggen de kandidaten een mondeling examen af. Per vak nemen twee



examinatoren, eerstegraads (oud)docenten met jarenlange ervaring, het examen af. Zij krijgen jaarlijks een bijscholing van DUO-CvTE op basis van nieuwe ontwikkelingen. Een mondeling verloopt volgens een vaste procedure om de betrouwbaarheid te waarborgen. Die procedure wordt regelmatig getoetst aan voortschrijdend inzicht. Denk aan vakinhoudelijke, didactische en pedagogische ontwikkelingen. De examinatoren toetsen kennis en inzicht in meerdere modules, onder meer aan de hand van een actuele casus, bijvoorbeeld het klimaat in een stad, op hersenbeschadiging ten gevolge van zenuwgas. De kandidaat krijgt 20 minuten om de casus te bestuderen. Het mondeling examen duurt 40 minuten. Een mondeling mag niet opgenomen worden. De examinatoren maken wel een uitgebreid schriftelijk verslag.

De staatsexamens informatica en natuurkunde volgen een vergelijkbaar schema. Ook hier krijgt de kandidaat 20 minuten van tevoren een casus uitgereikt om te bestuderen en alvast antwoorden te bedenken. Daarna volgt het eigenlijke mondelinge examen waarbij de ene examinator de rol heeft van onder-

vrager en de ander notuleert, goede en foute antwoorden opschrijft en classificeert als reproductie, toepassing of inzicht. Na de casus volgen minimaal twee andere onderwerpen om een goed inzicht te krijgen in wat de kandidaat wel en niet beheerst. Bij informatica bestaat bij het speciaal onderwijs ook de mogelijkheid om een artefact mee te nemen. Dat kan een game of een apparaat zijn dat de kandidaat zelf gemaakt en geprogrammeerd heeft. Ook dat wordt besproken. Examinatoren bij informatica hebben vaak een tas bij zich met een moederbord, harde schijf of een set connectoren om het gesprek op gang te helpen.

## De eigen inbreng van de leerling achterhalen

Naast deze mondelingen beoordelen we bij kandidaten uit het speciaal onderwijs ook de profielwerkstukken die op ons vakgebied liggen. Hier krijgen de examinatoren een korte periode om het PWS door te lezen voordat het mondeling begint.

### Ervaringen

Persoonlijk vind ik als examinator het afnemen van een mondeling examen samen met een mede-examinator, bijzonder waardevol. Vanuit mijn positie kan ik er echt achter komen of de kandidaat zich heeft verdiept in de stof. Maar ook of die zich kan verplaatsen in een nieuwe situatie, waar deze zijn of haar kennis kan toepassen.

Wat een mondeling ook een prachtige vorm van examineren maakt, is het moment waarop een geëxamineerde, die iets niet meteen onder woorden kan brengen, toch met enige hulp zijn verwondering en zijn inzet kan tonen. Dit speelt bijvoorbeeld bij kandidaten uit het speciaal onderwijs. Aan de andere kant zie je ook meteen welke kandidaten enigszins te nonchalant met de stof zijn omgegaan en niet beschikken over de specifieke kennis die nodig is voor het oplossen van een technisch, aardkundig, scheikundig of biologisch probleem.

### Terug naar het reguliere onderwijs

Bij een vak als nlt lijkt bij verslaglegging steeds vaker GenAI te worden ingezet. De vraag die dan naar voren komt is of de leerling voldoende inzicht heeft om verbanden te leggen met de bestudeerde stof. Een mondeling examen kan in dat geval een waardevolle aanvulling zijn. Het mondeling kan het gebruik van GenAI vermoedelijk nog beter stroomlijnen, zodat de leerling ook echt weet waar de inhoud over gaat en zelf de samenhang tussen onderdelen binnen het vak leert inzien.

Daarnaast, in het reguliere onderwijs zijn ook leerlingen met (lichtere vormen van) autisme en ADD, voor wie een schriftelijk examen niet altijd een goede maat is voor wat ze weten en kunnen.

Het is dan wel van belang dat we de leerling laten wennen aan een mondeling, en er mee laten oefenen. In enkele andere Europese landen zijn mondelinge examens veel gebruikelijker. Daarbij lijkt Denemarken voorop te lopen en is mondeling gemeengoed, evenals in Zwitserland, waar middelbare scholen het diploma baseren op zowel schriftelijke toetsen als een mondeling eindexamen. Bij een mondeling kan een leerling laten zien dat de stof, ook al is die gegenereerd met behulp van GenAI, ook echt begrepen is.

Dan zien ook leerlingen nog meer het belang en de waarde van GenAI in, en leren ze het op een juiste wijze te gebruiken. Ze zullen dan nog sneller leren en onverwachte verbanden opsporen, zich zelfstandig verdiepen en de docent verstedd doen staan.

Natuurlijk is het van belang enkele randvoorwaarden te stellen aan het gebruik van GenAI en de beoordeling daarvan. De Rijksuniversiteit Groningen heeft daartoe tien basisregels opgesteld. Wanneer een school GenAI opbouwt kan het geen kwaad eens naar dat voorbeeld te kijken (zie QR-code). ●



# AMR een groeiend wereldwijd probleem

## Een gesprek met Monika Irmak Šalandová

In NVOX heeft al een aantal artikelen gestaan die zijn geschreven door Monika Irmak Šalandová. Ze is werkzaam aan de TU Delft en betrokken bij DARTBAC. In het themanummer van NVOX van afgelopen december stond een artikel over antimicrobiële resistentie (AMR) waaraan zij meewerkte. De redactie wilde graag meer weten over haar en over AMR en ging in gesprek.

**M**onika Irmak Šalandová: “Als biomedisch ingenieur zie ik het als mijn verantwoordelijkheid om te werken aan duurzame oplossingen voor uitdagingen in de zorg.

Oplossingen die niet alleen inspelen op de huidige, maar ook op de toekomstige behoeften van patiënten en zorgprofessionals, en die de samenleving als geheel ten goede komen. Om de kwaliteit en gelijke toegankelijkheid van ons zorgsysteem te behouden, moeten we naar mijn mening de rollen en drijfveren van veel betrokken partijen opnieuw definiëren. Zij bepalen immers hoe medische diensten worden geleverd. Een zeer belangrijke speler hier is bijvoorbeeld het publiek, dat beter erkend zou moeten worden. Maar verandering gaat niet van de ene op de andere dag, en ik geloof dat een mooie manier om dat aan te pakken bijvoorbeeld is door van jongs af aan meer aandacht te besteden aan praktische gezondheidsvoorlichting.”

*Wat wil je dat mensen verder van je weten?*

Ik ben onderzoekster, ik houd van dansen, bergklimmen, muziek, en van dingen maken met mijn handen. En ik werk graag aan vraagstukken waarmee ik écht impact kan maken. Dat is ook de reden dat ik betrokken ben bij DARTBAC.

*Hoe kwam je op de plaats waar je nu bent?*

Dat kan een lang verhaal worden. Algemeen gezegd, was het een mix van invloeden van mijn familie en vrienden, met een aantal grote en kleine, willekeurige en weloverwogen keuzes die ik mijn hele leven heb gemaakt. Toen ik op zoek was naar een onderwerp voor mijn promotieonderzoek, waarbij ik graag een direct verband wilde hebben met een wereldwijd gezondheidsprobleem, trok DARTBAC meteen mijn aandacht. AMR voelde als een veelzijdig en relevant thema

waarin ik me volledig kon vastbijten. Het project biedt bovendien mogelijkheden om een direct zichtbare bijdrage te leveren aan een reëel probleem.

Een belangrijk argument was bovendien dat ik tijdens mijn masteropleiding al in dezelfde onderzoeksgroep werkte, dus ik kende mijn begeleiders en de overgang naar dit PhD met DARTBAC voelde natuurlijk. De timing was perfect.

*Wat was de belangrijkste invloed op de keuzes die je maakte?*

Sommige van mijn levenskeuzes werden beïnvloed door puur toeval. Bij werkgerelateerde beslissingen herinner ik mezelf er altijd aan wat het probleem is en wat het uiteindelijke doel is, wat wil ik bereiken en hoe goed zal het anderen van dienst zijn. Ik probeer keuzes te maken die de meeste voordelen opleveren, terwijl ik me bewust blijf van de mogelijke risico's.

*Je komt uit Tsjechië, hoe kwam je hier terecht?*

Ja, ik kom uit Tsjechië en ik heb voor Nederland gekozen omdat de opleiding en de onderwerpen van de onderzoeksgroep hier me erg aanspraken. Tijdens een bezoek aan een vriend ontdekte ik bovendien dat Delft een stad is waar ik me echt thuis voel. Maar de doorslaggevende reden was het studieaanbod.

*Wat zijn de meest opvallende verschillen tussen Tsjechië en Nederland?*

Er zijn heel wat verschillen tussen Tsjechië en Nederland: het landschap, de zee, en vooral het ontbreken van bergen en grote natuurgebieden. Het leven in Delft is rustiger dan in Praag, en ik geniet ervan dat ik hier overal naartoe kan fietsen, zonder afhankelijk te zijn van openbaar vervoer.



Monika Irmak Šalandová

De universiteit biedt een prettige werkomgeving, met eerlijke arbeidsvoorwaarden en een duidelijke waardering voor je werk.

*Wat was het belangrijkste moment in je loopbaan?*

Het belangrijkste moment in mijn carrière tot nu toe was de start van mijn promotieonderzoek. Ik heb nu een beter begrip van de innerlijke werking van de academische wereld. Ik realiseer me nu trouwens ook dat ik verder wil groeien in de richting van het onderwijs.

*Als je terugkijkt, zijn er dan dingen die je met de kennis van nu anders had gedaan?*

Ja, dat zit in de kleine dingen. Ik weet nu meer van het plannen van een project, dus ook als het gaat om mijn eigen onderzoek. Toen ik aan mijn onderzoek begon was ik eigenlijk best naïef. Als het gaat om de grote dingen en mijn persoonlijke sfeer is er niet echt iets wat ik had willen veranderen, ik ben tevreden.

*Waren er docenten of mentoren die invloed op je hebben gehad?*

Ik denk dat ik vooral gevormd ben door mijn directe omgeving zoals familie, vrienden en collega's. Ze zijn een onuitputtelijke bron van meningen en inspiratie voor wat ik zou willen doen, maar soms ook waarschuwendende voorbeelden van wat ik wil vermijden.

Wat het onderwijs betreft, denk ik aan mijn leerkracht in het basisonderwijs. Ze deed haar uiterste best om onze dagelijkse lessen zo voor te bereiden, dat we er het meeste van zouden leren. Ze deed het altijd interactief, niet alleen vanachter de bureaus. Zo'n aanpak kan op elk opleidingsniveau worden toegepast. Maar het vergt veel tijd en toewijding van de docent.

## DARTBAC

*Waar staat DARTBAC ook maar weer voor?*

'Dutch Antimicrobial Resistance Technology development and Biofilm Assessment Consortium'. Hun uitgangspunt is:

Nederland voorbereiden op een tijdperk na antibiotica veroorzaakt door antimicrobiële resistentie (AMR).

*Waarom is AMR zo belangrijk voor ons?*

AMR is actueel. Het is een groeiend, wereldwijd probleem: miljoenen mensen sterven elk jaar als gevolg van AMR. Infectiebehandelingen worden steeds moeilijker en langdurig. Sommige infecties die vroeger gemakkelijk te behandelen waren met antibiotica, vereisen nu een veel sterker antibacterieel regime en kunnen in sommige gevallen zelfs dodelijk zijn. AMR verhoogt ook de kans op complicaties bij routine-procedures. Maar, net als bij andere zich langzaam ontwikkelende epidemieën, kreeg microbiële resistentie lange tijd weinig of geen aandacht. We weten nu dat de belangrijkste oorzaak van AMR het misbruik en overmatig gebruik van antibiotica is. Maar dit kan niet allemaal alleen aan het publiek worden verweten. Sommige farmaceutische bedrijven hebben een groot aandeel in de ontwikkeling van resistentie vanwege hun agressieve promotiecampagnes, ondanks dat ze op de hoogte zijn van AMR. En nu zien we steeds meer de negatieve gevolgen van dit alles gecombineerd. We zullen hard moeten werken om deze 'epidemie' te vertragen. Hoewel we het niet helemaal kunnen stoppen, kunnen we wel een verschil maken, maar het vraagt de inzet van iedereen.

*Wat is het verband tussen jou en AMR?*

Mijn onderzoek richt zich op technologieën voor gecontroleerde geneesmiddelaafgifte bij de preventie en behandeling van infecties die samenhangen met orthopedische implantaten.

Maar, zoals hierboven vermeld, het creëren van nieuwe oplossingen is niet genoeg en zal ons niet redden van AMR. De sleutel is het vergroten van de bewustwording over wat AMR is en hoe de antibacteriële oplossingen moeten worden gebruikt – iets dat in de praktijk uitdagender blijkt te zijn dan verwacht.

## Tot slot

*Wat is je grootste wens voor de toekomst?*

Voor de toekomst wens ik vooral dat ik gezond blijf en dat ik mag blijven werken aan projecten die er toe doen. Hopelijk kan ik bijdragen aan het een stukje veiliger en gezonder maken van de wereld. Ik vind het prachtig om studenten te zien groeien en nieuwe vaardigheden te ontwikkelen. En onderwijs is een geweldig hulpmiddel dat verandering mogelijk maakt. Zeker in deze tijd, waarin alles en iedereen in de wereld zo verbonden is en alle informatie op je afkomt, is het essentieel dat we er goed op kunnen reageren.

*Wat verwacht je van de toekomst?*

Wat ik van de toekomst verwacht? Onzekerheid. ●



## TOT-Twente

### Workshops bij Bèta in Beweging

TOT-Twente was gevraagd om een workshop te verzorgen op het NVON-congres 'Bèta in Beweging op de HAS Green Academy in Den Bosch. De toa's biologie van TOT Twente hebben gekozen om de workshop: Levend strateco-boseditie te presenteren. Deze hebben wij afgelopen jaar ontworpen en is binnenkort ook beschikbaar op de website [toa.tips/practica-overzicht](http://toa.tips/practica-overzicht) van de NVON.

Het spel is gebaseerd op de wadeditie van strateco (bedacht en ontworpen door Sophie Mooren en Jurgen Memelink van de lerarenopleiding Biologie van de Hogeschool Utrecht). We hebben hun lay-out gebruikt, maar de kleuren, soorten en spelregels aangepast naar een boseditie. Dit spreekt voor leerlingen in Twente meer tot de verbeelding dan de wadeditie.

Wij begonnen de workshop in een lokaal met een korte presentatie over wie wij zijn en wat wij doen bij TOT Twente, daarna hebben wij de spelregels uitgelegd.



### Spel en feedback

Na het maken van de twee teams zijn wij naar buiten gegaan om het spel te spelen. Wij mochten in de mooie tuinen van de HAS Green Academy het spel uitvoeren. Voor de deelnemers was het eerst even wennen. Ook bleek dat wij de kaarten niet helemaal goed verdeeld hadden zodat sommige deelnemers niet 'getikt' konden worden. Voor ons ook een leerzame ervaring. Nadat wij de kaarten op een andere manier hadden uitgedeeld werd er redelijk fanatiek gespeeld. Er waren verschillende tactieken en sommige deelnemers trokken zelfs sprintjes. Na ongeveer 30 minuten hebben wij het spel gestopt. Waarna beide team met de gewonnen kaarten en stoepkrijt



een voedselweb hebben getekend. Ter afsluiting hebben wij in het lokaal de workshop nabesproken en feedback opgehaald bij de deelnemers. Iemand stelde voor om een heide-editie te maken. Of andere diersoorten te gebruiken. Later op dag hoorden wij van iemand de suggestie om een jungle-editie te maken. Dit zijn allemaal leuke ideeën en het geeft al aan dat je het spel makkelijk kan aanpassen aan je regio, interesse of lesniveau. Het is echter wel veel werk om de kaarten te maken en te plastificeren. De deelnemers waren enthousiast en vonden het ook een leuk spel voor een werk- of activiteitenweek.

### Druppelpracticum

De toa's scheikunde van TOT Twente gaven ook een workshop. In het kader van 50 jaar NVON leek het ons leuk om terug te grijpen op al eerder gepresenteerde experimenten: druppelpractica. Tenslotte komen er steeds weer toa's bij voor wie het allemaal nieuw is. Met het druppelpracticum doe je een echte reactie maar met heel weinig materiaal, wat weer goed is voor het milieu. Bovendien kunnen bijna alle gebruikte oplossingen bewaart worden zodat het zo uit de kast te pakken is. De bestaande druppelpractica zijn een mix van zuur/base, redox- en neerslagreacties. Nieuw was het experiment met diffusie van een gas, hierbij duidelijk wordt hoe een gas zich verspreid in een ruimte.



## Handjes uit de mouwen als nodig

De laatste dag voor het congres werd duidelijk dat twee van de drie workshopleiders ziek waren. Paniek in de tent! De taken waren immers verdeeld over drie personen. Workshop afzeggen? Niet overwogen, gewoon gaan! Met kunst en vliegwerk waren alle materialen op tijd verzameld. Het kwam helemaal goed. Een TOT-collega samen met haar collega, die nog geen lid is van de TOT, schoten te hulp! Als het nodig is het erg fijn om terug te kunnen vallen op je toa-collega's. Een goede eigenschap van toa's: gewoon de handjes uit de mouwen als het nodig is. Een eigenschap waar we als toa trots op mogen zijn en dat ook weleens genoemd mag worden.

## TOT bijeenkomsten

TOT Twente organiseert niet alleen bijeenkomsten op de scholen van de deelnemers maar ook bij bedrijven en andere scholen. Op 24 november gingen wij op bezoek bij hogeschool Saxion in Enschede. Wij gaan daar op bezoek bij de toa voor Life Sciences. Na een gezamenlijke lunch werd een practicum met elektroforese uitgevoerd en kregen we natuurlijk een rondleiding. Mocht je je ook willen aansluiten bij een TOT in jouw omgeving? Doen! Het is erg leerzaam en motiverend.

DANIËLLE KROON, ANJA VAN DIJK EN HETTY LOURENS,

TOT TWENTE

# Radioactief verval in het vmbo of de onderbouw

## Van angstbeeld naar alledaags verschijnsel

Bij het onderwijzen van radioactiviteit lopen docenten in de onderbouw havo/vwo en de bovenbouw vmbo vaak tegen vergelijkbare obstakels aan. Leerlingen vinden de abstractie lastig: wat zich in een atoomkern afspeelt, is immers onzichtbaar. Begrippen als halveringstijd of dracht voelen ver weg. Daarbij roept het onderwerp emoties op: straling wordt al snel gekoppeld aan kernrampen of kanker. Juist daarom is het belangrijk om straling niet alleen vanuit de theorie te benade-

ren, maar te laten zien dat het iets heel gewoons is. Straling is overal om ons heen: van kosmische straling tot de radioactiviteit in onze voeding. Zo bevat een banaan het radioactieve isotoop kalium-40, wat zelfs aanleiding is geweest voor de bekende 'bananenequivalentdosis'. Dit voorbeeld werkt ontwapenend: een banaan eten is volkomen veilig, en tegelijk maakt het zichtbaar dat straling niet per se eng of gevaarlijk hoeft te zijn.

## Praktisch ervaren in plaats van abstract leren

Voor bovenbouw havo- en vwo-leerlingen biedt het Ioniserende Stralenpracticum (ISP) van de Universiteit Utrecht een unieke kans om te werken met echte bronnen en röntgentoestellen. Zij onderzoeken er onderwerpen als halveringstijd, absorptie en doordringend vermogen. Voor derdeklassers en vmbo-leerlingen is dit practicum echter niet beschikbaar. Hoe maak je dit thema dan toch tastbaar en veilig in de les? Een eenvoudige eerste stap is het zichtbaar maken van achtergrondstraling met een Geiger-Müller-teller in de klas. Leerlingen merken dan dat er continu straling aanwezig is, zonder dat ze zich daar normaal bewust van zijn. Zo verdwijnt het idee dat straling alleen iets 'buitengewoons' of 'gevaarlijks' is.

Daarnaast kunnen modellen en simulaties (bijvoorbeeld van PhET) helpen om het onzichtbare te verbeelden. Met duidelijke visualisaties, eenvoudige taal en herkenbare contexten als rookmelders, medische beeldvorming, voedselbestraling wordt het onderwerp begrijpelijker én minder beladen.



## LoSalt als lesmateriaal

Ook vmbo-leerlingen kunnen op een veilige manier kennismaken met radioactief verval. Een verrassend praktisch voorbeeld is

# Reageren met een glimlach

## Jas

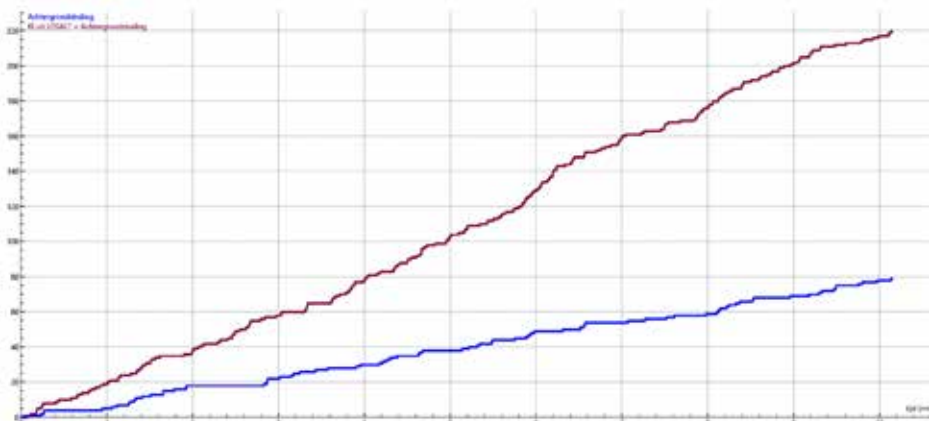
"Dat ga ik echt niet doen hoor! Dan wordt mijn jas vies!" Voor me staat een leerling die ik zojuist heb uitgelegd hoe je een blusdeken gebruikt. En nu moet een pop, die in de brand staat, met die deken worden gedooft. Maar deze leerling heeft er duidelijk geen zin in. Dat er iemand in brand staat is niet mijn probleem. Die vlek op mijn mooie jas is wel mijn probleem. Na enige aandring gaat de leerling toch aan de slag en vanaf een afstandje wordt de deken over het slachtoffer gegooit. Bijna goed, zullen we maar zeggen. Ik doe het nog één keer voor en de volgende mag het proberen. Ja, het is lastig om realistisch te oefenen, maar beter dan dit heb ik niet.

Vroeger kon ik eindeloos soldaatje spelen. Gewapend met een in elkaar geknutseld geweer en een oude baret op het hoofd, was het voor mij echt genoeg. Maar om een derde klas goed te laten oefenen is een uitdaging. Er wordt ook

geklaagd: "Het is koud, ik word nat, hoe lang duurt dit nog?" Toch vinden de meesten het wél leuk. En als je over een paar jaar leerlingen vraagt "Welke scheikundeles kun je je nog herinneren?", dan wordt vaak de blustraining genoemd. Dus gaan we er toch mee door. Het is zinvol dat de leerlingen een keer hebben ervaren wat het is om een brandblusser vast te houden, of een blusdeken. We nemen het risico dat er een vlek op een - toegegeven - mooie jas komt, dan maar voor lief.

REINDER HORINGA, TOA SCHEIKUNDE EN BIOLOGIE OP HET JFC IN BARNEVELD





LoSalt, een zoutvervanger die je gewoon in de supermarkt vindt. LoSalt bevat kalium, waarvan een klein deel het radioactieve isotoop kalium-40 is. Dit ondergaat bèta- verval. Daarmee heb je dus een alledaagse, goed verkrijgbare én veilige radioactieve bron in handen.

Met een standaard Geiger-Müller-teller is het verschil met de achtergrondstraling klein, maar met langere computermetingen - bijvoorbeeld met Coach 7 - wordt het effect zichtbaar. Door metingen boven een schaalkje LoSalt te vergelijken met een leeg schaalkje, zien leerlingen zelf het verschil.

Nog mooier wordt het wanneer leerlingen onderzoeken wélke soort straling LoSalt uitzendt. Met simpele afschermmaterialen - papier, aluminium, of juist niets - ontdekken ze zelf dat het om bètastraling gaat. Een proef die nieuwsgierigheid oproept én inzicht geeft in doordringend vermogen van verschillende soorten straling.

### Van beladen naar betekenisvol

Door gebruik te maken van alledaagse voorbeelden, tastbare experimenten en toegankelijke visualisaties kunnen we leerlingen laten ervaren dat straling niet alleen een onderwerp is uit rampenfilms of examens, maar ook gewoon een deel van hun dagelijkse omgeving. Of het nu gaat om een banaan, achtergrondstraling in de klas, of een schaalkje LoSalt: zulke concrete voorbeelden maken een moeilijk en beladen onderwerp toegankelijk, veilig én betekenisvol.

GIJS VAN BIJNEN EN JEROEN NELISSEN, 2COLLEGE DUREN-  
DAEL TE OISTERWIJK.

## Geen peulenschil?

### Dissimilatieproef met kiemende erwten

In de afbeelding is het resultaat te zien van een proef na een tijdsduur van ongeveer 50 minuten. Je ziet twee erlenmeyers, de ene met een paar lagen kiemende erwten en de andere met een paar lagen dode (gekookte) erwten. Rustend op de erwten een met gaatjes doorboord kokertje van pvc of plastic (met 2 kurkjes aan uiteinden), gevuld met een aantal NaOH-pellets in beide erlenmeyers. De erlenmeyers zijn afgesloten met een doorboorde stop met daarin een glazen overleidsbuisje. Beide buisjes staan in water met rode kleurstof. Duidelijk is te

zien dat bij de erlenmeyer met kiemende erwten vloeistof is opgezogen, bij de dode erwten niet.

### Doel

Het doel van de proef is om aan te tonen dat bij kiemende erwten zuurstof wordt verbruikt en bij dode erwten niet. De opstelling met dode erwten dient dan ook als controleproef. Feitelijk gaat het om dissimilatie bij kiemende erwten. Het leuke van deze proef en met name deze variant (zie ook *Doen we practicum?*, deel 1 p.143) is dat je dit in zeer korte tijd kunt uitvoeren en dat deze opstelling bovendien eenvoudig is te bouwen.

Maar hoewel het een simpele proef mag zijn, blijkt het vaak een uitdaging voor leerlingen om het resultaat van deze proef te begrijpen of in eigen woorden uit te leggen. Direct gekoppeld aan deze proef is dat er ook CO<sub>2</sub> ontstaat, maar dat gas verdwijnt geleidelijk uit de erlenmeyers doordat het reageert met de NaOH in de buisjes. De reactievergelijkingen die daarbij horen zijn: CO<sub>2</sub>(g) + H<sub>2</sub>O(l) → H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(aq) en vervolgens H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(aq) + 2OH<sup>-</sup>(aq) → CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>(aq) + 2H<sub>2</sub>O(l).

Per saldo verdwijnt er dus een hoeveelheid gas uit de erlenmeyer met kiemende erwten en omdat de gasdruk als gevolg daarvan afneemt, loopt er door het drukverschil met de lucht buiten de erlenmeyer vloeistof in het overleidsbuisje. Zo kun je





- Watten + water.
- Water met kleurstof.
- Gekiemde erwten en dode erwten
- NaOH pellets en spatel

**MARTIN ROOKS**, TOA BIOLOGIE OP DE CSG LIUDGER IN DRACHTEN

indirect afleiden dat er zuurstof bij de dissimilatie verbruikt wordt. Als een leerling (bijvoorbeeld 5-havo) dit kan uitleggen, heeft hij/zij de dissimilatie voor een groot deel begrepen. In de praktijk blijkt vaak dat enkele hulpvolle aanwijzingen welkom zijn. Deze proef bieden wij aan in de vorm van een keuzep practicum, maar kan ook heel goed als demonstratie practicum dienen, al of niet met onderwijsleergesprek.

#### Aanwijzingen ter voorbereiding:

- Laat één of twee dagen van te voren erwten kiemen tussen natte watten.
- Kook hiervan een klein deel voor de dode erwten. Laat deze volledig afkoelen voor gebruik!
- Breng eerst een laagje natte watten aan in de erlenmeyers voor je erwten toevoegt.
- Een dubbele laag erwten is voldoende; het buisje met NaOH moet er nog inpassen.
- Voorzichtigheid is geboden met het vullen van de buisjes met NaOH pellets; zelf klaarmaken, of onder toezicht door de leerling.
- Opstelling zelf opruimen vanwege veiligheid wat betreft eventuele resten NaOH.

#### Benodigdheden:

- 2 erlenmeyers 250 mL.
- 2 overleidsbuisjes.
- 2 doorboorde rubber stoppen die op erlenmeyer passen.
- 2 plastic buisjes met gaatjes met aan beide kanten twee kurkjes om het af te sluiten.

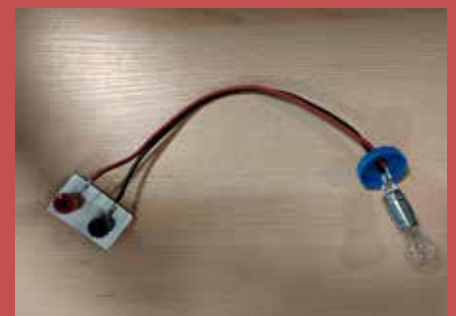
Ruimte voor nog wat aanvullingen

## Een kabinetflitsje, klein maar...

### Handige lampjes



Omdat bij de practica elektriciteit de reguliere 3 Watt-lampjes te snel vanzelf los gaan zitten of door leerlingen losgeschroefd worden en ook de gloeidraad te klein is, heb ik de (bajonet) 12 V, 21 W autolampjes (voor het knipperlicht) gebruikt. De gloeidraad is dan op een optische bank ook mooi uit te vergroten voor weer andere practica en we gebruiken ze zelfs in de joulemeters als verwarmingsbron ondergedompeld in het water! Zie onderste foto. Let uiteraard op de veiligheid.



Nodig:

- Trespas 10 - 10 cm
- Vier voetjes
- Een bajonethouder
- Het lampje
- Twee 4 mm insteekpluggen

**TON SCHUCKMAN**, AMANUENSIS/INSTRUCTEUR NATUURKUNDE, TABOR COLLEGE WERENFRIDUS

# Geleiders en isolatoren

## De band gap en het vrije-elektronenmodel

Natuurkundedocenten mochten de band gap voor de eerste keer uitleggen aan hun leerlingen in 6-vwo. Voor mijn postdoctoraal onderzoek bestudeer ik het lesgeven in dit nieuwe concept. Bij de zeven docenten bij wie ik in de les mocht meekijken tijdens het behandelen van de band gap keerde één vraag steeds terug: Waarom geleiden geleiders wel en isolatoren niet?

De vraag waarom sommige materialen elektriciteit geleiden en andere niet, staat centraal bij het onderwijzen van de band gap. Een eenvoudige verklaring is dat isolatoren een grote band gap hebben en geleiders niet. De geobserveerde docenten starten met de voorkennis dat atomen discrete energieniveaus hebben, zoals leerlingen hebben gezien bij het waterstofatoom. Wanneer atomen en daarmee de energieniveaus dichter bij elkaar worden gebracht, worden deze discrete energieniveaus energiebanden. De afstand tussen die banden varieert per stof en wordt de band gap genoemd. Deze opbouw sluit aan bij de omschrijving in de syllabus (College voor examens, 2023): “benoemen dat in vaste stoffen de discrete atomaire toestanden combineren tot vrijwel continue energiebanden met daartussen eventuele band gaps.” Leerlingen hebben vervolgens geen enkel probleem om in energieniveauschema's de geleider, halfgeleider en isolator aan te

wijzen. Het energieniveauschema waarbij de afstand tussen de banden het grootst is, is de isolator, en het schema waarin de banden elkaar overlappen, zal wel de geleider zijn. Maar is de vraag waaróm geleiders wel geleiden en isolatoren niet, eigenlijk wel echt beantwoord? Een kritische leerling stelt direct een nieuwe vraag: waarom heeft een geleider geen band gap en een isolator een grote band gap?

### Het boek nèt voorbij

Het antwoord op deze vraag is complex en gaat snel de stof van de middelbare school voorbij. Een relatief eenvoudige benadering met behulp van het één dimensionale vrije-elektronenmodel kan een eerste idee geven waarom er zoiets is als een band gap en waarom deze verschilt per stof (Rae, 2005). Het model maakt gebruik van concepten en modellen die een leerling uit 6-vwo bekend zijn. Het vrije-elektronenmodel is een quantumfysisch model uit de vastestoffysica waarmee het gedrag van vrije elektronen in metalen te verklaren is. De onderliggende aannames van dit model zijn:

- Interactie tussen valentie-elektronen en atoomresten is verwaarloosbaar.
- Interacties tussen elektronen worden genegeerd.
- Het uitsluitingsprincipe van Pauli geldt: elke quantumtoestand kan door slechts één elektron worden bezet.

Het gedrag van het vrije elektron wordt benaderd met de oneindig diepe één-dimensionale energieput, waar leerlingen

bekend mee zijn. De lengte van de energieput is dan gelijk aan de afmeting van het metaal  $L$ . Alleen staande golven die passen in het metaal zijn mogelijk. De mogelijke golflengtes van een vrij elektron wordt dan gegeven door:

$$\lambda_m = \frac{L}{m}$$

## Als energieniveaus dichter bij elkaar komen ontstaan energiebanden

Hierin is  $\lambda$  de golflengte van het vrije elektron,  $L$  de lengte van het metaal en  $m$  de mogelijke toestanden ( $m = 1, 2, 3, \dots$ )

### Quantumtoestanden

We kijken eerst naar atomen met één elektron in de buitenste schil, dus één valentie-elektron. Als één specifieke golflengte  $\lambda_m$  wordt beschouwd, zijn er twee elektronengolven mogelijk per golflengte in het metaal: één golf naar links en één golf naar rechts. In deze toestand kunnen dan weer twee elektronen zitten, een elektron met spin up en een elektron met spin down (denk terug aan Pauli). Dit betekent dat er vier mogelijke quantumtoestanden zijn voor elke toestand  $m$ . In een kristal met  $N$  atomen zijn nu  $N$  valentie-elektronen beschikbaar en maximaal  $N/4$  quantumtoestanden ( $n_{\max}$ ):

$$n_{\max} = \frac{N}{4}$$



**TIM BOUCHÉE** is docent natuurkunde aan het Augustinianum in Eindhoven. Hij onderzoekt het onderwijzen van de band gap met een postdoc-VO-beurs van het NRO aan de ESoE. <https://research.tue.nl/en/persons/tim-bouchée>



**LESLEY DE PUTTER** is vakdidacticus en UD aan de TU/e lerarenopleiding ESoE [www.tue.nl/en/research/researchers/lesley-de-putter-smits](http://www.tue.nl/en/research/researchers/lesley-de-putter-smits)

Voor atomen met twee valentie-elektronen in de buitenste schil gaat dezelfde redenering op. Het enige verschil is dat er nu  $2 \cdot N$  valentie-elektronen beschikbaar zijn en maximaal  $2 \cdot N/4$  quantumtoestanden, en geldt:

$$n_{\max} = \frac{2 \cdot N}{4} = \frac{N}{2}$$

De volgende stap is de minimale golflengte van het elektron af te leiden in dit model, zodat er iets gezegd kan worden over de hoogste energiebanden in het metaal. In het model is aangenomen dat het metaal een één dimensionaal kristal is dat  $N$  atomen bevat en de afstand tussen de atomen  $a$  is. In figuur 1 is dit schematisch weergegeven. De totale lengte van het metaal is dan gelijk aan:

$$L = N \cdot a$$



Figuur 1. Een kristal met  $N$  atomen

De minimale golflengte  $\lambda_{\min}$  is bij de hoogste quantumtoestand te bepalen door de formules hierboven te combineren.

De minimale golflengte bij atomen met één valentie-elektron is:

$$\lambda_{\min} = \frac{L}{N/4} = \frac{4L}{N} = \frac{4Na}{N} = 4a$$

De minimale golflengte bij atomen met twee valentie-elektronen is:

$$\lambda_{\min} = \frac{L}{N/2} = \frac{2L}{N} = \frac{2Na}{N} = 2a$$

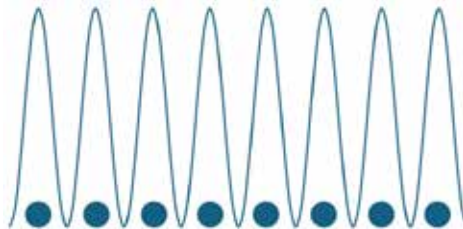
Het valt op dat de golflengte in formule [6] twee keer kleiner is dan de golflengte van atomen waarbij er maar één valentie-elektron in het metaal aanwezig is. Maar wat betekent dit nu voor de band gap?

### Band gap van isolatoren

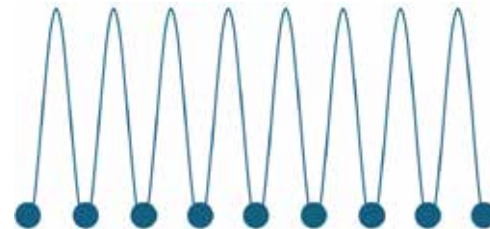
Wanneer de golflengte precies tweemaal de afstand tussen de atomen ( $2a$ ) is, kunnen er twee staande golven in het metaal optreden (Serway et al., 2005):

- Golftoestand 1 wanneer de elektronen zich dicht bij de atoomresten bevinden, waar de potentiële energie laag is (zie figuur 2).
- Golftoestand 2 wanneer de elektronen zich tussen de atoomresten bevinden, waar de potentiële energie hoog is (zie figuur 3).

Het verschil in potentiële energie bij golflengtes rond  $2a$  zorgt voor een verschil in



Figuur 2. Golftoestand met lage potentiële energie



Figuur 3. Golftoestand met hoge potentiële energie

totale energie, omdat de kinetische energie voor beide golven hetzelfde blijft. Dit kan worden uitgelegd met de formule van de Broglie: beide elektronen hebben dezelfde golflengte en snelheid, dus hun kinetische energie is gelijk. De totale energie neemt toe omdat de kinetische energie en de potentiële energie samen de totale energie van het elektron vormen.

Hierdoor ontstaan er twee energiebanden die van elkaar gescheiden zijn. De golf-toestanden rond  $\lambda = 2a$  met lage totale energie bevinden zich dicht bij de atoomresten, terwijl de golf-toestanden met hogere totale energie tussen de atoomresten liggen. Dit resulteert in een band gap, omdat de energiebanden niet overlappen.

Bij grotere golflengtes, zoals  $\lambda = 4a$ , wordt de invloed van het metaalrooster kleiner en liggen de energiebanden dicht bij elkaar. Op deze manier is verklaard waarom een geleider geen band gap heeft en een isolator wel.

### Beperking

Uit het model zou je kunnen generaliseren dat de beste geleiders een oneven aantal elektronen hebben. Voorbeelden hiervan zijn de alkalimetalen, zoals lithium (3) en de edelmetalen, zoals koper (29), die inderdaad goede geleiders zijn. Voorbeelden van niet-geleiders met een even aantal elektronen zijn koolstof (6) en silicium (14). Toch hoeft je niet lang naar het periodiek systeem te kijken om voorbeelden te vinden van metalen met een even aantal valentie-elektronen. Zo staan bijvoorbeeld de aardalkalimetalen magnesium (12) en calcium (20) bekend als goede geleiders, ondanks dat ze twee elektronen in hun buitenste schillen hebben.

Een belangrijke reden dat dit generaliseren van het model niet kan, is dat het hierboven beschreven vrije-elektronenmodel een één-dimensionale beschouwing is. Wanneer

dit model wordt toegepast op driedimensionale vaste stoffen, komt het overeen met de één-dimensionale regel dat vaste stoffen met een oneven aantal valentie-elektronen geleiders zouden moeten zijn. De situatie is echter minder duidelijk als het aantal valentie-elektronen even is. Verder houdt dit model geen rekening met de invloed van het metaalrooster, waarbij elke atoomrest een

## Een vrij elektron gedraagt zich als een oneindig diepe één-dimensionale energieput

energieput vormt, of de driedimensionale kristalstructuren die ontstaan bij stoffen zoals koolstof en silicium. Bij deze materialen worden orbitalen gevormd die de band gap vergroten.

Het is raadzaam voorzichtig te zijn bij het inzetten van dit model om de band gap te verklaren gezien de beperkingen. Het model biedt echter het inzicht dat het golfgedrag van elektronen aan de basis ligt van de band gap, waarmee het onderwerp zeker thuis-hoort in het domein quantumwereld. ●

### Bronnen

- College voor Toetsen en Examen. (2023). *Natuurkunde VWO: syllabus centraal examen 2025. College voor Examen.* (Via: [www.examenblad.nl](http://www.examenblad.nl))
- Rae, A. I. (2005). *Quantum Physics: A beginner's guide.* Simon and Schuster.
- Serway, R.A., Moses, C.J., & Moyer, C.A. (2005). *Modern Physics* (3<sup>rd</sup> ed., International student ed.). Thomson/Brooks/Cole.



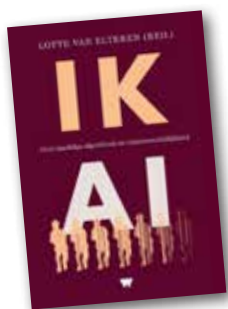
Dick de Vos. **Canon van de Nederlandse boeren natuur. 50 karakteristieke soorten wilde planten en dieren, gewassen en boerderijdieren.** Zeist: KNNV Uitgeverij (2025), 232 p. ill. kl. ISBN 9789050119672. € 34,95.

## Canon van de Nederlandse boeren natuur

Dit is een geweldige canon. Voor mijn gevoel de beste die tot nog toe verschenen is. “De soorten zijn gekozen omdat ze kenmerkend zijn voor de boeren natuur, er veel over te vertellen is, of omdat ze mooi, opvallend, waardevol of heel zeldzaam zijn.” De volgorde van de soorten is alfabetisch: van Aaltje tot en met de Zomereik. Bij elke soort is een ‘woordwolk’ geplaatst van begrippen die met de soort te maken hebben; de aanpak per soort is heel divers, maar onderwerpen, zoals natuur en landschap, biodiversiteit, cultuur, klimaatverandering, dierenwelzijn, biologisch boeren en nieuwe ecologische initiatieven komen uitgebreid aan de orde. Vijftig soorten passeren de

revue, met soms voor mij verrassende verhalen: zoals het boerenknoopje (een slak) dat heel erg lijkt op de Zeeuwse Knoop (een sieraad); het boerenknoopje is in 2022 uitgeroepen als symbool voor aanpassing en samenwerking tussen boeren en natuurorganisaties, die vaak lijnrecht tegenover elkaar staan. Dit is een voorbeeld van de vele verhalen, feiten en weetjes van de boeren natuur. De illustraties zijn prachtig en de beschrijvingen bij de noten zeker niet te versmaden. Dit boek zou in elk huis aanwezig moeten zijn als tegenhanger voor de verhitte discussies over het landbouwbeleid.

MARIJKE DOMIS



Lotte van Elteren (Red.) **Ik AI. Over machtige algoritmen en verantwoordelijkheid.** Leusden: ISVW (2025). 200 p. ISBN 9789083436944. € 22,95.

## Ik AI

AI beïnvloedt ons werk, ons denken en ons handelen, vaak zonder dat we daar bewust voor gekozen hebben. In deze bundel reflecteren AI-onderzoekers en filosofen op de gevolgen van al dat AI-gebruik en op de keuzes die we wél, en veel bewuster, zouden moeten maken. In negen hoofdstukken belichten diverse auteurs ieder een aspect of een toepassingsgebied van AI, zo zijn er hoofdstukken over AI in de gezondheidszorg, in onderwijs, in politiek en media, maar ook over verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid van autonome systemen, over milieu-impact en over privacy en AVG. De concrete AI-toepassingen die besproken worden zullen vaak wel bekend zijn, maar de

nadruk ligt hier op de psychologische, maatschappelijke en ecologische vraagstukken die ontstaan als AI wordt losgelaten in de samenleving. De tekst is op inleidend niveau, losse hoofdstukken zouden bruikbaar kunnen zijn voor bijvoorbeeld een profielwerkstuk. De auteurs zijn niet anti-AI, maar ze pleiten voor wijs en verantwoord gebruik met oog voor de bredere gevolgen. En precies daar wringt vaak de schoen: de kracht van AI maakt het moeilijk om te voorspellen hoe de gevolgen eruit zullen zien. Reden voor de auteurs om te pleiten voor terughoudend gebruik, zeker in het onderwijs.

ELWIN SAVELSBERGH



Hannah Ritchie. **Nog niet te laat. Een hoopvolle gids om het klimaatprobleem op te lossen in 50 vragen en antwoorden.** Amsterdam: Uitgeverij Balans (2025). 317 p. ill. zw.w. ISBN 9789463824224. € 23,99.

## Helder beeld van klimaatverandering

Een kant-en-klare oplossingen voor het klimaatprobleem bestaat niet. Er bestaat wel veel onduidelijkheid over de klimaatverandering en mogelijke oplossingen, waarbij vaak feiten en fictie door elkaar gehaald worden. Tegenstrijdige verhalen doen de ronde over te optimistische oplossingen en pessimistische doemscenario's. Hannah Ritchie, bekend bestsellerauteur op dit gebied, bestrijdt deze klimaatverwarring door zich te beperken tot de feiten. Zij geeft antwoord op een vijftigtal relevante vragen en onderbouwt ze met cijfers en diagrammen. Daarbij heeft ze een optimistische en realistische kijk op de mogelijkheden, hulpbronnen en intelligentie die we hebben om onze toekomst vorm te geven en de planeet duurzaam

in te richten. Opvallend is hoe ze laat zien hoe we de laatste jaren een enorme groei hebben doorgemaakt van het aantal mogelijkheden waarmee we effectief de wereld mooier kunnen maken, mits ze goed doordacht ingezet worden.

Het boek is een prima naslagwerk, informatief, helder en prettig leesbaar. Allerlei controverse aspecten van de klimaatverandering, van fossiele brandstoffen tot warmtepompen, van staalfabrieken tot elektrische auto's, komen uitvoerig aan de orde. Voor docenten is er een handig register waardoor je direct een duidelijk, uitgebreid en actueel antwoord vindt op de vraag van die ene leerling.

COEN VAN DER KAMP

## Bijna alles wat je moet weten over lesgeven



Pedro de Bruyckere, Liese Missinne & Jeroen Janssen. **Bijna alles wat je moet weten over lesgeven aan kinderen, jongeren en volwassenen.** Leuven (B): Lannoo Campus (2025). 309p., ISBN 9789020995671. € 32,50.

Voor de leerkrachten is dit boek een direct toepasbaar kompas. De Bruyckere is vooral bekend geworden door het ontcrachten van onderwijsmythes en zijn werk over jongeren en media (vaak samen met Paul A. Kirschner) en bouwt daar in dit boek, samen met Missinne en Janssen op voort. Zie ook het interview met De Bruyckere op pagina 50.

De basis van dit boek is evidence-informed lesgeven. Het biedt geen hypes of losse ideeën, maar inzichten uit wetenschappelijk onderzoek die de kans op een geslaagde les significant vergroten. Dit, met soms een knipoog naar het bereiden van maaltijden door een chefkook. Elk hoofdstuk eindigt op een bijzonder waardevolle wijze met 'lessen voor de leerkracht' en 'lessen voor het schoolbeleid'.

Na een uitgebreid Voorwoord valt het boek uiteen in drie delen: De basis van goed lesgeven; Wat werkt in de klaspraktijk; Lesgeven in context. Het eindigt met Tot slot, een verklarende woordenlijst, een register, referenties en eindnoten. Dit duale perspectief maakt het boek niet alleen een praktisch hulpmiddel voor de individuele docent, maar ook een leidraad voor verbeteringen op organisatieniveau. Een must-read om de brug te slaan tussen theorie en de veeleisende dagelijkse praktijk. NB. Onder de eersten die een mail sturen naar [redactie@nvon.nl](mailto:redactie@nvon.nl) en aangeven waarom ze graag dit boek ontvangen, wordt een aantal boeken verlost.

ERIK VAN DE LEUR

## Dit is onderzoek



Ben Baarda & René van Vianen. **Dit is onderzoek** (vierde editie). Groningen: Noordhoff. 324 p., ill. ISBN 9789001078089. € 57,96.

Inmiddels heb ik in mijn leven aardig wat scripties en enkele proefschriften begeleid. En nog steeds kan het me verbazen hoe studenten, die in de afstudeerfase of zelfs verder zijn, stuntelen als het gaat om het opzetten van een onderzoek en zeker wanneer ze moeten weergeven wat ze hebben gedaan. En wat te denken van leerlingen die met een profielwerkstuk aan de gang moeten?

Nu werd ik geattendeerd op *Dit is onderzoek*. Een zeer toegankelijk boek, dat in principe is gericht op het hoger onderwijs, maar ik denk dat leerlingen in de hogere klassen van het vo er ook hun voordeel mee kunnen doen.

In acht hoofdstukken wordt de lezer door alle fasen van onderzoek geleid. Oriënteren,

Informatie verzamelen, Plan van aanpak maken, Data verzamelen, Analyseren van kwantitatieve en kwalitatieve data, Rapporteren en daarna nog eventueel evalueren en reflecteren, hoewel dat laatste weer uit de mode schijnt te raken.

Elk hoofdstuk wordt voorafgegaan door leerdoelen of -uitkomsten en aan het eind van elke paragraaf staan opdrachten die de student nog eens bij de gelezen stof doen stilstaan. In principe kunnen studenten zelfstandig met het boek te werk gaan en zo een volledig onderzoek opzetten en uitvoeren. Zeer de moeite waard.

MARIANNE OFFEREINS

## De kwantumheerschappij



Michio Kaku. **De kwantumheerschappij.** Gorredijk: Noordboek (2025). 400p. ISBN 9789464713343. € 32,90.

Michio Kaku is een van de bedenkers van de snaarveldtheorie. Zijn boek *De kwantumheerschappij*, een vertaling van zijn Engelstalige boek *Quantum Supremacy*, is een fascinerende verkenning van quantumcomputers en hun potentiële impact op de toekomst. Kaku neemt je mee op een reis door de geschiedenis van de quantumfysica, van de revolutionaire ideeën van Einstein en Bohr tot de recente doorbraken van Google en andere techreuzen. Hij beschrijft in begrijpelijke taal hoe quantumcomputers werken en wat hen zo krachtig maakt. Het boek bevat veel technische details, maar toch slaagt Kaku erin om de materie toe-

gankelijk te maken voor een breed publiek. Hij schetst een beeld van een wereld waarin quantumcomputers de farmaceutische industrie, de financiële sector en zelfs kunstmatige intelligentie (AI) radicaal zullen veranderen. *De kwantumheerschappij* is niet alleen informatief, maar ook enorm inspirerend. Het laat zien dat we aan de vooravond staan van een nieuwe technologische revolutie. Het boek is een aanrader voor iedereen met interesse in wetenschap en technologie, en biedt een hoopvolle blik op de toekomst.

ERIK VAN DE LEUR



Martijn van Calmthout. **De quantumvriend. George Eugène Uhlenbeck (1900-1988), Gastheer van de moderne natuurkunde.** Amsterdam: Lias (2025). 192 p. Ill. zw.w. ISBN 9789088031328. € 22,99.

## Biografie George Uhlenbeck

In deze biografie geeft Martijn van Calmthout een prachtig beeld van de wetenschappelijke wereld in de eerste helft van de twintigste eeuw, een boeiende periode waarin de natuurkunde een turbulente en vruchtbare ontwikkeling doormaakte. Het was de tijd van grote vriendschappen en verhitte discussies tussen de grote natuurkundigen. In die wereld speelde George Uhlenbeck een invloedrijke rol. Reeds als Leids student vond hij in 1925, samen met zijn studiegenoot Sam Goudsmit en onder supervisie van zijn hoogleraar Paul Ehrenfest, de elektrospin, waarmee het tweetal direct wereldberoemd werd. Zijn werk bestrijkt vooral de statistische fysica en de fundamentele quantummechanica, waaraan hij belangrijke inzichten en wiskundige

technieken leverde. Een groot deel van zijn leven was hij verbonden aan Ann Arbor, waar hij de befaamde zomerscholen organiseerde en waar elk jaar de top van de theoretische natuurkunde graag bijeenkwam. Uhlenbeck was er de elegante en ontspannen gastheer die een verbindende rol speelde en zo de ontwikkeling van de natuurkunde een grote dienst bewees.

Na de biografie van Sam Goudsmit laat Van Calmthout ook in deze biografie zien dat hij een begenadigd verteller is. Mede door zijn vlotte, toegankelijke stijl is dit boek een aanrader voor iedereen die geïnteresseerd is in de geschiedenis van de moderne natuurkunde.

COEN VAN DER KAMP



Tamara Luijter en Madelon Beemer. **Perfectionisme gesprekskaarten voor jongeren.** Huizen: Pica (2024). 45 kaarten plus handleiding. ISBN 9789493336100. € 19,90.

## Perfectionisme gesprekskaarten

Zeker in deze tijd wordt van jongeren veel gevraagd. En het blijkt dat er dat steeds meer van hen last hebben van perfectionisme, al dan niet opgedrongen door de omgeving. Daarbij valt onder meer te denken aan onze prestatiegerichte maatschappij en de druk veroorzaakt door de sociale media. Kortom, perfectionisme betekent een niet te onderschatten risico voor jongeren. Als onderwijsgevenden dienen we daar alert op te zijn en vooral ook op de gevolgen die het kan hebben, zoals stress, angst, zelftwijfel, burn out. In de handleiding bij deze kaarten staat dat perfectionisme in verschillende vormen kan voorkomen, die kunnen overlappen of

als voorkomen als combinatie. Zo kan er sprake zijn van Zelfgericht perfectionisme, Perfectionisme gericht op anderen en Sociaal voorgeschreven perfectionisme. Doel van de kaarten is dat jongeren zichzelf leren accepteren en realistische doelen te stellen. De kaarten zijn verdeeld in drie onderdelen: 1 Denken, 2 Voelen, 3 Doen, en bestaan uit een stukje uitleg met daarna een vraag of een opdracht. Ze kunnen zowel in de groep als individueel worden gebruikt. Zeer de moeite waard voor gebruik in mentor- en loopbaanbegeleidinglessen.

MARIANNE OFFEREINS

## Oog in oog met wisent, ooievaar en eland



N. Kwint, R. Hendriks, T. Beldman, Y. Meijberg. **Oog in oog met wisent, ooievaar en eland- Natuurpark op de zeebodem.** Gorredijk: Noordboek (2025). 204 p. ill. kl. ISBN 9789464713688. € 29,90.

Ik ben nog nooit in Natuurpark Lelystad geweest, maar na het lezen ben ik van mening dat dit een gemis is. De aanleg van het park begon in 1975 en het park bestaat inmiddels vijftig jaar. Het is begonnen als een project van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders in samenwerking met Artis. In eerste instantie als een park met grote grazers zoals wisent, Przewalskipaard en eland, aangelegd voor de nieuwe bewoners van Lelystad en de rest van Flevoland. "Het is in die 50 jaar uitgegroeid tot een groot natuurgebied met veel waterpartijen, spannende doorkijkjes en verrassende dieren." Het Natuurpark Lelystad staat bekend om de met uitsterven bedreigde Euraziatische dieren,

zoals wisenten, Pater Davidsherten, Przewalskipaarden en Europese otters. De Przewalskipaarden werden trouwens uitgezet in Mongolië, nadat er genoeg paarden waren voor een gezonde populatie. Er zijn meer grote grazers in het park te vinden zoals bijvoorbeeld elanden. Daarnaast zijn er ook veel watervogels. In die vijftig jaar is het park ook steeds groter geworden. Het is was bedoeld als een natuurgebied om te wandelen en te ontspannen. Er worden ook evenementen georganiseerd en het is een goed bezochte trouwlocatie. Mooi boek, prachtig geïllustreerd.

MARIJKE DOMIS



Greta Isola, Pirjo Kääriäinen, Tapani Vuorinen & Susanna Ahola. **Marvelous Materials**. Aalto: Aalto University publication (2025). 143 p. ISBN 9789526426266. € 26,00.

P. Kääriäinen, L. Tervinen, T. Vuorinen, N. Riutta. **The ChemArts Cookbook**. Aalto: Aalto University publication (2020). 192 p. ISBN 9789526088020 € 32,00. Gratis te downloaden via <https://shop.aalto.fi/p/1193-the-chemarts-cookbook/>

## Fantastische materialen

Soms krijg je van die boeken in je handen waarbij je meteen zin krijgt om er mee aan de slag te gaan. En dat geldt gelukkig niet alleen voor docenten, maar ook voor leerlingen. CHEMARTS is een langdurige samenwerking in Aalto University (Finland) tussen de opleidingen tot chemisch ingenieur (CHEM) en die van de kunst- en ontwerpopleidingen (ARTS). Hier zijn twee mooi uitgevoerde boeken met voorbeeldrecepten uit voortgekomen: het ChemArt-Cookbook in 2020 en recent het boek Marvelous Materials dat zich speciaal richt op de jeugdige onderzoeker. De boeken laten zien hoe met plantaardige grondstoffen (voornamelijk op basis van cellulosepoeders) nieuwe materialen kunnen worden ontworpen en toegepast in het dagelijks leven of voor kunstzinnige uitingen.

Tijdens een zomerschool van Aalto University kunnen zelfs leerlingen tussen 7 en 11 jaar met hulp van de recepten in Marvelous Materials samen een groot poppenhuis helemaal biobased inrichten. Een project dat ze ook op de Dutch Design week in Eindhoven hebben mogen presenteren.

In de context van scheikunde-onderwijs kunnen leerlingen aanpassingen voor de recepten bedenken en onderzoeken hoe materialen bijvoorbeeld sterk, zacht, hard, flexibel en doorzichtig kunnen worden. De samenwerking in Aalto University heeft in de praktijk al laten zien dat deze hands-on benadering van duurzaamheid zowel studenten in kunst- als ingenieursopleidingen kan inspireren.

MARION VAN BREDERODE

## Niet zo superieur als we denken



Christine Webb. **De arrogante aap. De mythe van de superieure mens**. Amsterdam: De Bezige Bij (2025). 366p. ISBN 9789403117829. € 26,99.

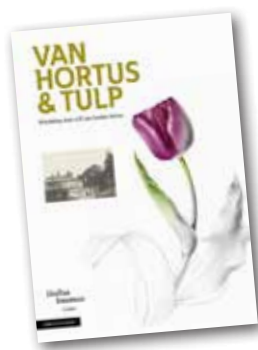
Wij lijden aan een meerderwaardigheidscomplex. De superioriteit van de mens is ons met de paplepel ingegoten: wij staan boven aan de ladder van de evolutie.

Christine Webb promoveerde aan Harvard en deed postdoc-onderzoek bij Frans de Waal aan wie ze dit boek heeft opgedragen. Ze laat zien dat onze (westerse) samenleving doordrenkt is van het antropocentrische denken. Ook in het onderwijs en in de wetenschap is dit al eeuwen de standaard. Het houdt hiërarchieën in stand en het bepaalt de manier waarop velen de natuur bezien en ermee omgaan. De rampzalige ecologische ontwikkelingen die de wereld treffen, zijn een direct gevolg van dit soort denken.

Zo uitzonderlijk zijn we echter niet. Webb beschrijft allerlei interessante onderzoeken die aantonen dat elk ander wezen op eigen wijze minstens zo bijzonder is als wij en dat al het leven met elkaar verbonden is. De fout die we maken is dat we vanuit menselijk perspectief en volgens menselijke maatstaven naar onze medeaardbewoners kijken. In dit verfrissende, indringende en heel persoonlijke boek krijgt de lezer een geheel nieuwe kijk op de plaats die wij innemen in het universum. Het is een mooie les in nederigheid en ontzag voor de natuur. Een aanrader!

COEN VAN DER KAMP

## Van Hortus & tulp



Hortus botanicus Leiden. **Van Hortus & tulp. Wandeling door 435 jaar Leidse Hortus**. Zeist: KNNV Uitgeverij (2025). 336p. ill. kleur. ISBN 9789050119665. € 24,95.

De botanische tuin in Leiden is de oudste botanische tuin van ons land. De Leidse Hortus botanicus is al 435 jaar oud en bevindt zich nog steeds in het centrum van Leiden. De tuin heeft een rijke historie. In dit boek is de hele geschiedenis tot nu beschreven: vanaf het begin met alle uitbreidingen en vernieuwingen door de eeuwen heen. En daarbij ook veranderingen op het gebied van kassen(bouw). En verhalen over de 'hortulanussen' en 'prefecten' van de botanische tuin gedurende deze lange geschiedenis. Bekende namen zoals Dodo-neus en Boerhaave en vele andere passeren de revue. Er zijn tijdlijnen zodat je kunt lezen wat

er in die zelfde tijd nog meer plaatsvond. Ook de bouw van de Leidse Sterrenwacht en de oprichting van 's Lands plantentuin in Bogor Indonesië komen aan de orde. Maar er wordt nog een andere geschiedenis verteld: die van de tulp. Daarmee werd de Leidse Hortus bekend. "Bollenspecialist Arie Dwarswaard zocht uit wat er klopt van de vele verhalen over de tulp". Het is een mooi lees- en kijkboek geworden met prachtig foto's en mooie botanische illustraties. Aangeraden voor liefhebbers van planten en botanische tuinen en geschiedenis.

MARIJKE DOMIS

# Beeldvorming met MRI

In natuurkundeboeken voor vwo wordt MRI beschreven als een quantumverschijnsel, waarin spins tussen up en down flippen door fotonen. MRI-specialisten gebruiken een completer model dat overigens geheel klassiek is. De techniek is complex, maar de achterliggende natuurkunde valt best mee.

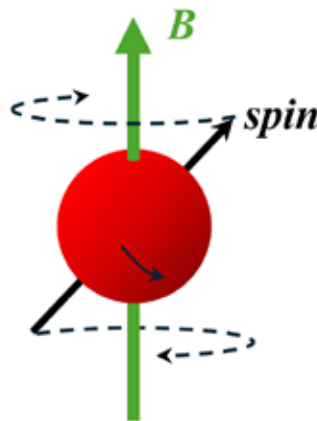
Een MRI-apparaat maakt afbeeldingen van de zachte weefsels in het lichaam met radiogolven in een sterk magneetveld, opgewekt door supergeleidende spoelen, meestal 1,5 tesla. Het apparaat richt zich volledig op de spin van de waterstofkernen (protonen). Voor de toepassing binnen MRI is het prima om je het proton voor te stellen als een om zijn as tollende lading, die door zijn draaiing magnetisch is en een impulsmoment heeft.

De kern van MRI is dat je een groep protonen in een magneetveld kunt manipuleren met radiogolven. Zonder extern magneetveld heeft elke proton een willekeurige spinrichting. In het sterke magneetveld van een MRI hebben protonen een klein energievoordeel om meer richting het magneetveld te staan. Interacties in lichaamsweefsel zorgen ervoor dat de spins zich uiteindelijk deels richting het externe magneetveld gaan richten. Er ontstaat daardoor een netto-magnetisatie in de richting van het externe veld, die overigens minimaal is in vergelijking met het magneetveld van de MRI.

## Precessie

In veel schoolboeken staat dat protonspins alleen parallel of antiparallel aan het magneetveld kunnen staan. Maar het magneetveld van een waterstofkern kan zich niet gelijk als een kompasnaaldje naar het externe magneetveld richten. Het impulsmoment zou niet meer behouden zijn, net als bij een spinnende tol die niet omvalt door de zwaartekracht. De tol gaat een precessiebeweging maken. Precies hetzelfde gebeurt bij een proton in een magneetveld. De kracht

van het magneetveld zorgt hier voor de precessiebeweging. De richting van de vector die de protonspin aangeeft, draait dus om de magneetveldlijnen, zie figuur 1. De frequentie van deze precessiebeweging, de lamorfrequentie is evenredig met de magneetveldsterkte. De evenredigheidsconstante voor waterstofkernen is 42,57 MHz/T. Het magneetveld zorgt dus voor de netto-magnetisatie en voor de precessiebeweging.



Figuur 1. Precessie van het proton

## Radiogolven

Om een beeld te maken vuurt een spoel in de MRI een korte radiogolf af met de lamorfrequentie. Bij MRI is het gebruikelijk een x,y,z-assenstelsel te kiezen, met de richting van het krachtige magneetveld in de z-richting. Voordat de radiogolf aankwam was er dus een netto-magnetisatie van de protonen in de z-richting.

Als je denkbeeldig met de precessiebeweging meedraait, dus om de z-as, dan zorgt de radiopuls voor een constant magnetisch veld, loodrecht op de z-as. Hierdoor gaat de netto-magnetisatie draaien. Dit kan tot elke willekeurige hoek met de z-as, afhankelijk van hoe lang de radiopuls aanhoudt. Ik beperk me hier tot een puls die de magnetisatie van de z-as naar het x-y-vlak draait: een 90° puls. Vanuit een stilstaand assenstelsel draait de netto-magnetisatie na ontvangst van deze puls met de lamorfrequentie rond in het x-y-vlak en is de z-component van de magnetisatie verdwenen.

## T1-relaxatie

Door allerlei interactie met atomen in de omgeving verliezen de protonen weer energie, waardoor de netto-magnetisatie in de z-richting langzaam terugkeert. Dit is een exponentieel proces met een tijdsconstante T1, de relaxatietijd, die aangeeft dat de magnetisatie in de z-richting weer 63% is van de oorspronkelijke waarde. T1 is bijvoorbeeld in de orde van grootte van een seconde bij waterige vloeistoffen en tussen de 0,2 en 0,3 s bij vet.

## T2-relaxatie

Tegelijk met T1-relaxatie vindt T2-relaxatie plaats, een heel ander en veel sneller proces. De ronddraaiende netto-magnetisatie bestaat uit spins die in dezelfde fase een precessiebeweging maken. Maar door interacties met de omgeving wijken de individuele precessiefrequenties iets af, waardoor de individuele fases steeds meer uit elkaar lopen. Na enkele tientallen milliseconden is de x-y-component van de netto-magnetisatie hierdoor verdwe-

nen. Ook dit proces wordt beïnvloed door interacties met de omgeving van het proton, onder andere de koppeling met andere protonen in de buurt. De tijdsconstante van deze exponentiële afname noemt je T2.

### Metten van T1 en T2

Het signaal van T1-relaxatie is niet rechtstreeks te meten. Het netto-magneetveld in de z-richting is daarvoor te zwak. T2-relaxatie is wel rechtstreeks te meten. Een groep protonen die in fase een precessiebeweging in het x-y-vlak maakt, zorgt voor een netto-magnetisatie die rondjes draait in het x-y-vlak. Dit rondraaien produceert een radiosignaal dat wordt opgevangen met spoelen die dwars op de z-richting staan. Denk aan een fietsdynamo waarin een magneet rondjes draait tussen spoelen.

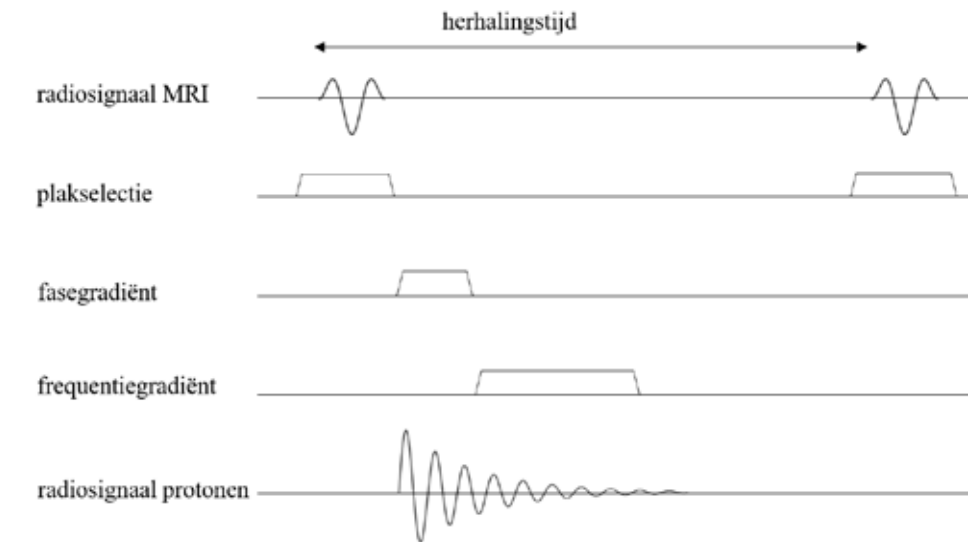
Als je een nieuwe radiopuls afvuurt voordat de magnetisatie in de z-richting helemaal is hersteld, meet je een minder sterk signaal. Door metingen te doen met verschillende tijden tussen twee opeenvolgende radiopulsen krijg je zo indirect metingen van T1.

T1 en T2 zijn beiden sterk afhankelijk van de chemische omgeving van de waterstofkernen. Dit geeft MRI de bijzondere eigenschap om verschillende zachte weefsels zo goed te onderscheiden.

### Selectie van pixels

Bij een MRI-beeld zie je steeds doorsnedes van de patiënt. Dat kunnen doorsnedes zijn in willekeurige richtingen. Voor de eenvoud een uitleg voor een doorsnede in de axiale richting, dus in het x-y-vlak.

In het MRI-apparaat wordt dan tijdens het uitzenden van de puls een gradiënt in het magneetveld aangezet in de z-richting. Er is nu maar één plak, in het lichaam waar de aangeboden frequentie overeenkomt met de lamorfrequentie. Zo'n plak is ongeveer 3 mm dik. In zo'n plak zijn natuurlijk heel veel protonen aanwezig en de ontvangstspoelen kunnen niet waarnemen uit welke richting de straling komt. Daarom worden kortdurende gradiënten in de x- en y-richting aangelegd. De gradiënt in de x-richting wordt aangezet tijdens de ontvangst van het signaal. De precessiefrequentie en daarmee de frequentie van het gemeten signaal, hangt af van de sterkte van het magneetveld en dus van



Figuur 2. Eenvoudige sequentie

de positie van de protonen. Zo ontstaat een x-afhankelijkheid van de frequentie van het signaal. Voor de y-component wordt, heel kort, tussen het uitzenden en ontvangen van het signaal een gradiënt aangebracht. De protonen zullen hierdoor heel even in een andere frequentie precesseren, waardoor er in de y-richting faseverschillen ontstaan.

## Lorentzkrachten van de gradiëntspoelen zorgen voor het lawaai van de MRI

De MRI ontvangt dus één radiosignaal, uit één plak. Dit signaal is samengesteld uit verschillende frequenties en verschillende fasen. Met een wiskundige bewerking kunnen deze uit elkaar worden gehaald. De resolutie die op deze manier wordt behaald is ongeveer 1 mm bij 1 mm in de x- en y-richting. De gradiënten in de x-, y- en z-richting worden snel aan- en uitgezet waardoor Lorentzkrachten opgewekt worden in de gradiëntspoelen. Dit zorgt voor het lawaai in een MRI-scanner.

### Sequenties

De volgorde van het schakelen van de gradiënten en het sturen van radiogolven in een MRI zoals hierboven beschreven, noemt je een sequentie. Deze bestaat dus uit kortdurende magneetvelden met gradiënten in x-, y- en z-richting en het uitzenden van een radiogolf om de netto-magnetisatie te laten draaien, zie figuur 2. De exacte instelling van zo'n sequentie bepaalt wat er precies te zien is op een MRI-beeld. In de praktijk worden meestal complexere sequenties gebruikt.

Doordat er zoveel keuzes mogelijk zijn bij MRI kun je inzoomen op een specifiek type weefsel. Je wilt bijvoorbeeld een tumor kunnen onderscheiden van het orgaan waarin de tumor groeit, of de grijze stof in de hersenen onderscheiden van het hersenvocht. ●

### BRON

- Blink, E. (2004). Basis MRI Fysica. [www.angelfire.com/planet/mri/MRIDetectiek.pdf](http://www.angelfire.com/planet/mri/MRIDetectiek.pdf)
- En dank aan Mariëlle Philippens (UHD klinische fysica) voor inspiratie en feedback.

# Volkssterrenwacht Philippus Lansbergen en Hans Lipperhey Museum

## Een verrassende ontmoeting in Middelburg

Op een zonnige vrijdagavond in september brachten we een bezoek aan de Volkssterrenwacht Philippus Lansbergen en het Hans Lipperhey museum. Beide in het centrum van Middelburg, achter het voormalige stadhuis. We werden allervriendelijkst ontvangen door Rijk-Jan Koppejan, de voorzitter van de groep die de sterrenwacht beheert.

In Nederland en België zijn er veel volkssterrenwachten, meer dan je zou denken: binnen 50 km zou je een sterrenwacht moeten kunnen vinden. Een belangrijke daarvan is de Volkssterrenwacht Philippus Lansbergen in Middelburg.

Wat deze sterrenwacht zo aardig en interessant maakt is dat hij is gekoppeld aan een museum dat gericht is op de ontwikkeling van de telescoop. Dat is ook heel begrijpelijk want de telescoop is immers in 1608 door de brillenmaker Hans Lipperhey uitgevonden. In het museum in hetzelfde pand, dat in het verleden onderdeel was van het Middelburgse stadhuis, ligt de nadruk op een aantal Zeeuwse natuurwetenschappers.

In de volkssterrenwacht komen veel schoolklassen, van groep 6 tot aan de leerlingen die een profielwerkstukken over sterrenkunde willen maken.

In principe is de volkssterrenwacht gericht

op een algemeen publiek, maar de jaarlijkse Lipperheylezing wordt gegeven door gerenommeerde sterrenkundigen op wetenschappelijk niveau.

“We doen zelf niet aan wetenschappelijk onderzoek, maar we kunnen wel mensen enthousiast maken voor de sterrenkunde en kosmologie.” zegt Rijk-Jan Koppejan. “Hoevel er heel veel te vinden is op internet, blijkt dat de sterrenwacht heel veel mensen trekt: dan zie je het in het echt.”

In het museum is er een ruimtevaartzaal waar kinderen heerlijk aan het werk kunnen. Er is een zaal met modellen van historische telescopen, onder andere de Herschel telescoop en er is aandacht voor Zeeuwse wetenschappers, zoals Caroline Bleeker en Pieter Zeeman.

In de sterrenwacht staat – naast de historische telescopen – ook een moderne telescoop opgesteld. Dat is door de lichtvervui-





ling in de stad niet altijd even gemakkelijk, maar daar is wel iets op gevonden: er staat een aantal telescopen in de dependance in Oostkapelle, waar veel minder lichtvervuiling is. Deze zijn slechts bij grote uitzondering voor publiek toegankelijk. En wanneer de telescoop in Middelburg wordt gebruikt, is er naast het toestel een schakelaar waarmee de straatlantaarn kan worden uitgeschakeld. In maart, tijdens de landelijke sterrendagen, trokken de vijf telescopen uit het museum die op de markt waren opgesteld, zo'n 2000 bezoekers. "Door dat glaasje kijken vinden mensen nog steeds het mooiste, maar het gaat deels om wat ze zien, en vooral om wat je vertelt. Het verhaal over de sterren maakt de sterrenkunde interessant."

Alle mensen van de sterrenwacht en het museum zitten vol met interessante, andere verhalen en gegevens over de sterren en de sterrenwacht zodat iedere rondleiding weer een beetje anders is.

Vrienden – echte Middelburgers – waren er vrijdag ook, omdat ze gehoord hadden dat

**Volkssterrenwacht Philippus Lansbergen en Museum Hans Lipperhey**

Helm 3  
4331 CD Middelburg  
philippus@lansbergen.net  
Tel. 06 42 36 76 06

Openingstijden: Vrijdag vanaf 19.30 uur.  
Juli en augustus: woensdag en vrijdag  
vanaf 19.30 uur

Verdere informatie: [www.lansbergen.net/site/wp/bezoekersinformatie/](http://www.lansbergen.net/site/wp/bezoekersinformatie/)



we naar de sterrenwacht gingen. De volgende dag zeiden ze: "Ik was er nog nooit geweest, maar wat een interessant instituut, wat hebben ze veel en wat weten ze er goed over te vertellen. We zijn echt blij dat we er geweest zijn." Dat vonden wij dus ook.

**Philippus Lansbergen**

De volkssterrenwacht is vernoemd naar predikant en natuur- en wiskundige Philippus Lansbergen, die leefde van 1561 tot 1632. Lansbergen werd geboren in Gent, groeide op in Frankrijk, studeerde in Engeland en kwam na de 'Val van Antwerpen' in 1585 in de Noordelijke Nederlanden terecht. Na een kort verblijf in Leiden, werd hij in Goes predikant, wat hij tot 1613 bleef, toen hij wegens zijn verzet tegen een burgemeestersverkiezing ontslagen werd. De toen twee-en-vijftigjarige Lansbergen vestigde zich daarop in Middelburg, waar hij zich tot het eind van zijn leven bleef bezighouden met astronomische onderzoekingen. Hij was een fervent aanhanger van de theorie van Copernicus. Diens theorie stelt dat de aarde om de zon draait, in plaats van andersom. Zowel de katholieke als de protestantse kerk had met deze theorie grote moeite. De aarde was toch immers het centrum van het universum?

**Het Hans Lipperhey Museum**

In het Hans Lipperhey Museum kunnen bezoekers zien hoe het komt dat de telescoop in Middelburg is uitgevonden. In de tijd van Lipperhey was er in Middelburg een bloeiende glasindustrie. Vanaf 1581 was er een glasoven aan de Blauwedijk in Middelburg, de eerste in de Noordelijke Nederlanden. Waar men gebruik maakte van Italiaanse technieken om glas te maken. Dat betekende dat er kwalitatief helder glas beschikbaar was om goede lenzen te slijpen.

Verder is in het museum speciale aandacht voor de geschiedenis van de sterrenkunde en de rol van Zeeland daar in. De werkplaats van brillenmaker Hans Lipperhey is nagebouwd en er wordt getoond hoe in de 17e eeuw lenzen werden geslepen.

In het museum is een mooie collectie antieke telescopen te bewonderen. De oudste stamt uit het eind van de 17e eeuw. De collectie kijkers bestaat, naast kijkers van sterrenwacht Philippus Lansbergen, uit bruikleenexemplaren van Peter Louwman, Harold Haverkorn, de Pieter Vijn Stichting en Rijk-Jan Koppejan.

**Hans Lipperhey**

Er is heel weinig bekend over Lipperheys leven. In 1594 woonde hij in Middelburg, waar hij in dat jaar in het huwelijk trad. In 1602 werd hij poorter van deze stad. Hij woonde in een huis tegen de abdijkerk, in de Kapoenstraat, een straat die verdween na het bombardement van Middelburg in 1940. Daar kocht hij in 1609 ook zijn buurhuis. In 1619 overleed hij. Zijn testament is bewaard gebleven en berust in het Zeeuws archief. In 1608, op 25 september vroeg hij bij het dagelijks bestuur van de Staten van Zeeland, de Gecommitteerde Raden, een introductiebrief voor de Staten Generaal van de Republiek der Zeven Verenigde Nederlanden. Tussen 2 en 6 oktober gaf Lipperhey in Den Haag op het hoofdkwartier van prins Maurits van Oranje, graaf van Nassau een succesvolle demonstratie van zijn vinding: 'een seecker instrument om verre te sien'. Daarmee was hij de eerste in de wereld. Na de demonstratie vond de telescoop als bruikbaar wetenschappelijk instrument zijn weg in Europa. Een patent werd hem echter geweigerd. ●

# Pedro De Bruyckere

Op pagina 42 van dit blad vindt u een recensie van het laatste boek van Pedro De Bruyckere, Liese Missinne & Jeroen Janssen: *Bijna alles wat je moet weten over lesgeven aan kinderen, jongeren en volwassenen*. Zeker in België, maar ook in Nederland is De Bruyckere een van de bekendste pedagogen van deze tijd. Goede redenen om met hem in gesprek te gaan.

**P**edro De Bruyckere is onderzoeker en pedagoog aan de Universiteit Utrecht. Daarnaast is hij algemeen directeur van Leerpunt Vlaanderen, een kenniscentrum dat in 2022 werd opgericht om onderwijspraktijken te versterken met wetenschappelijke inzichten. Hij houdt zich al jarenlang bezig met de leefwereld van jongeren en is een zelfverklaard verslaafde aan populaire cultuur. Hij staat bekend als mytbuster in het onderwijs en combineert wetenschappelijke inzichten met een toegankelijke stijl, hij zet zich in om hardnekkige misverstanden over leren en opvoeding te ontcrachten. Dat gebeurt onder meer in zijn boeken *Jongens zijn slimmer dan meisjes* (samen met Casper Hulshof en Paul Kirschner) en *Juffen zijn toffer dan meesters*.

*Wat wil je dat mensen verder van je weten?*  
Zelf sta ik nog altijd graag voor de klas, en dat lesgeven zal ik ook niet snel stoppen.

*Wanneer, hoe en waarom kwam je terecht in op de plaats waar je nu bent?*  
Er waren een paar belangrijke stappen. Als eerste behaalde ik mijn bevoegdheid als docent Nederlands, aardrijkskunde en geschiedenis. Ik begon met mijn eerste baan, maar mijn docenten zeiden: "Jij moet verder studeren." Dus besloot ik, naast mijn werk, tot een studie pedagogiek, daarna ben ik gepromoveerd. Daarna heb ik vier jaar lang in Leiden een postdoc-studie gevolgd. Vervolgens kwam ik in Utrecht als docent en werd ik directeur van Leerpunt Vlaanderen.

*Wat heeft je keuzes bepaald?*

Ik had het geluk dat ik heel goede docenten had, waardoor ik zelf koos voor een beroep als leraar met als doel even goed te worden. Vervolgens maakte ik de stap naar lerarenopleider om studenten op te leiden tot goede docenten.

De meeste leraren staan vol goede bedoelingen voor de klas, maar niet iedereen kan alles tegelijk. Soms sluipen zaken het werk binnen waar men veel tijd aan kwijt is. Denk daarbij aan onbewezen theorieën, zoals 'leerstijlen' en 'meervoudige intelligentie'.

Veel mensen weten nog steeds niet dat collectieve feedback ook heel effectief kan zijn. En dat scheelt heel veel tijd, dat maakt het beroep van leerkracht iets gemakkelijker.

*Wat zou je onmiddellijk weer doen?*

Met mijn vrouw trouwen! En ze zei dat zij dat ook zou doen. Dus dat komt goed uit.

*Wat zou je nooit meer doen?*

Ik heb ooit een paar dagen geprobeerd iets te doen met HR, maar dat was echt niets voor mij. Ik zou er vast veel meer mee verdienen, maar voor mij is het heel goed om te weten: dat nooit meer.

*Wat was het belangrijkste moment in je loopbaan?*

Veel is toeval. Mijn grootste geluk is dat Paul (Kirschner M.O.) op een moment de vraag kreeg om een boek over onderwijsmythen te schrijven voor een Amerikaanse uitgever. We kenden elkaar toen nog niet, maar Paul



zei: "Er is al een goed boek, dat moeten jullie maar vertalen." En toen ontstond een domino-effect. Er kwam zelfs een artikel in the Guardian: en daar stond ineens ons boek bij de zes beste pedagogieboeken. Dat veranderde mijn hele leven en daar ben ik hem nog steeds dankbaar voor.

*Als je terugdenkt aan je carrière tot dusver, waar ben je het meest trots op?*

Af en toe kom ik mensen tegen die van mijn les gehad hebben en dat die nog steeds iets aan hun opleiding hebben gehad. Dat ik daar aan heb kunnen bijdragen, vind ik heel fijn.

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

Onderzoek doen en schrijven voor je proefschrift naast je werk is niet gemakkelijk. De helft is geschreven in binnenspeeltuinen.

Volgens sommigen de hel op aarde.

## Onderwijs

*Wat zijn volgens jou de grootste verschillen tussen het onderwijs in België en in Nederland?*

Er zijn vaak meer verschillen tussen scholen onderling dan over de grens. Een belangrijk verschil vandaag is dat men in Vlaanderen en Nederland anders reageert. Bijvoorbeeld bij een teleurstellend Pisa-onderzoek zegt men in Vlaanderen: "We moeten er nu iets aan doen." In Nederland zegt men: "kloppen de cijfers wel?" Veel scholen zoeken in beide landen naar een oplossing.

*Wat kunnen wij van jullie leren?*

Een van de dingen is bijvoorbeeld: we hebben prioritaire nascholing, zoals in het leesonderwijs. Men vindt dat wel een goed verbeteringsmiddel.

*Wat kunnen jullie van ons leren?*

Wat ik merk is dat de schoolgebouwen verschillen als dag en nacht. In Vlaanderen werd de huisvesting lang ondergewaardeerd. Sommige gebouwen zijn 80 tot 100 jaar oud, mooi, maar met alle gebreken.

*Aan welke eisen moet een goede docent voldoen?*

De basis is voldoende vakkennis en positieve passie voor het vak. Tegelijkertijd is de docent onderdeel van de samenleving. Ik wil hebben dat leden van een team ook met hun eigen kinderen kunnen zijn, niet dag en nacht aan het werk: je houdt het niet vol en je geeft geen goed voorbeeld.

*Wie wil je beslist niet voor de klas?*

Een expert die niet kan uitleggen.

*Wat vind je van het gebruik van sociale media?*

Als wetenschapper ben ik daar meer genuanceerd in, ik zie kansen én problemen. Maar dit debat polariseert soms te veel, daardoor is er minder ruimte voor de nuance.

*Als jij minister van onderwijs was, wat was dan het eerste dat je zou doen?*

Mezelf ontslaan. Maak nooit een expert minister. Hij moet ruimer kijken, hij is dienaar van het volk dat hij vertegenwoordigt. Iedere keuze heeft voor- en nadelen, neveneffecten, absolute keuzes zijn niet te trekken. Voor de afweging zijn de politici. De rol van de eindverantwoordelijke zou ik oprecht niet aankunnen.

*Wat verwacht je van je studenten/leerlingen?*

Als ze in mijn les zitten, dat ze meedoen. Ik doe altijd mijn best. Dus verwacht ik dat ze wel actief opletten.

## Bijna alles wat je moet weten

*Wat bewoog je tot het schrijven van dit boek?*

Zo'n tien jaar geleden schreef ik *Klaskit*, een voorloper van dit boek. Liese en Jeroen vonden dat er meer was dan 'koken met 10 ingrediënten', dus gingen we samen de uitdaging van de titel aan en probeerden die waar te maken. Doel was een boek dat op verschillende momenten in de onderwijsloopbaan bruikbaar is, niet voor alleen beginners, maar ook voor ervaren rotten.

*Wat ging soepeler dan verwacht?*

Ik ben ook muzikant, als je een plaat opneemt, neemt op een moment die plaat de beslissing over. Op zeker ogenblik hadden we heel veel losse hoofdstukken, maar dat werkte niet. Ineens plopten die drie delen op en toen viel alles op zijn plaats. Toen begon het boek zelf het werk te dirigeren.

*Als je het over zou moeten doen, wat zou je dan zeker wel, en zeker niet doen?*

Daarvoor is het nog te vroeg dag. Het boek is

er nu. Er zijn al opvallend veel verkocht. De commentaren tot dusver zijn positief, en we hebben zelf nog weinig blunders gezien.

*Wat denk je dat mensen ervan mee kunnen nemen?*

De waardering voor iedere onderwijsprofessionaal, iedereen wordt in zijn rol gezien en gewaardeerd. Door de nuchtere toon en door de haalbaarheid kan ieder zich gewaardeerd voelen.

*Wat heb je zelf geleerd bij het schrijven van dit boek?*

Het voordeel van werken met drie mensen: Jeroen met veel achtergrond, Liese staat met haar voeten in de klei. Onze gesprekken zijn heel leerzaam voor ons allemaal. En ik heb waardering voor onze redacteur die de hoofdstukken leest als een leek. Dat is belangrijk voor de leesbaarheid en toegankelijkheid van het boek.

*Heb je plannen voor een nieuw boek? Zo ja, wat?*

Ja, er lopen divers boekprojecten. Volgend jaar komt een nieuw boek, daar zeg ik nog niets over. Maar er zullen veel mensen van opkijken.

## Tot slot

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

Ik heb het geluk dat ik veel van mijn dromen op mijn werkvlak heb kunnen verwezenlijken. Ik zou nog meer willen lesgeven en onderzoek doen. Lezingen geven is leuk, maar met studenten aan slag, daar kijk ik het meest naar uit.

*Wat verwacht je van de toekomst?*

Poeh. Er zijn twee zekerheden: 'death' en 'taxes'. Ik hoop dat taks meevalt en dat de dood nog lang uitblijft. ●

## 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.

### Subsidie curriculumimplementatie

De NVON krijgt subsidie vanuit het ministerie van OCW voor curriculumimplementatie. Hoofddoel van deze subsidie is om vakverenigingen substantieel bij te laten dragen aan de implementatie van de nieuwe kerndoelen en de nieuwe (nu nog concept) examenprogramma's. Dit zijn mooie ontwikkelingen omdat de NVON op deze wijze vakinhoudelijk en vakdidactisch bij kan dragen aan de curriculumimplementatie. Dit geldt niet alleen voor onze vereniging maar voor een heel aantal verenigingen die aangesloten zijn bij de Federatie van Onderwijsvakorganisaties (FvOv) en het Platform Vakinhoudelijke Vakverenigingen Voortgezet Onderwijs (Platform VVVO). Zij overleggen samen binnen de Onderwijskamer over de nodige gezamenlijke lijnen die uitgezet kunnen worden. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan een gezamenlijke website, een startpunt voor docenten als zij naar materiaal zoeken voor hun lessen. Specifiek ook aandacht voor de leraar in het primair onderwijs (po). Anders dan docenten in het voorgezet onderwijs (vo) is het voor leraren in het po functioneel om op één plek informatie te krijgen over de nieuwe kerndoelen, zonder dat zij hier allerhande websites voor dienen te bezoeken. Met onder andere de Onderwijskamer en de PONVON, een werkgroep die onderwerpen van het po behandelt binnen onze vereniging, denken we verder na over de manier waarop leraren uit het po het beste bereikt kunnen worden. Daarnaast onderzoeken we hoe we door middel van gerichte trajecten, regionale bijeenkomsten en het ontwikkelen van voorbeeldmateriaal docenten optimaal

kunnen ondersteunen bij de concrete verstaalslag naar de dagelijkse onderwijspraktijk. Het streven is om een samenhangend ondersteuningsaanbod te creëren dat zowel vakoverstijgend als vakspecifiek is, zodat scholen flexibel kunnen aansluiten bij de eigen ontwikkeltrajecten. Door intensieve samenwerking tussen de vakverenigingen wordt kennisdeling gestimuleerd en ontstaat een sterk netwerk dat de implementatie van de nieuwe curriculumontwikkelingen duurzaam kan versterken.

### De toa-functie

De toa-sectie schrijft in dit nummer uitgebreid over de toa-functie binnen de school. De sectie beschrijft belangrijke aandachtspunten voor de toa: er is toezicht en kennis nodig voor het veilig kunnen oefenen en werken in het natuurwetenschappelijk onderwijs. Daarvoor zijn vakmensen nodig, de toa's, die deze setting op de school kan organiseren. In het artikel wordt duidelijk dat er veel verschillen zijn in de invulling van de bezetting en taken van toa's op middelbare scholen. Tegelijkertijd zijn er ook algehele adviezen te geven voor het gesprek over deze bezetting en taken op scholen. Over deze thematiek krijgen we als vereniging geregeld vakbondsragen: hoe wordt mijn functie gewaardeerd, en welke ruimte en mogelijkheden krijg ik om hier het gesprek over aan te gaan met mijn leidinggevende? Deze vragen komen nu met name binnen na de publicatie van de nieuwe voorbeeldfuncties in februari 2024, en we merken dat scholen stappen zetten om deze voorbeeldfuncties te implementeren. Schroom niet om deze vragen bij ons neer te leggen, we kijken graag hoe we onze leden hierin kunnen bijstaan. Daarnaast zien we dat de discussie over professionalisering en loopbaanperspectief voor toa's steeds prominenter wordt. In het afgelopen jaar is vanuit het ministerie van OCW hier ook aandacht voor geweest. Veel toa's willen zich verder ontwikkelen, maar ervaren

soms onduidelijkheid over de mogelijkheden binnen hun functiegebouw. Door actief bij te dragen aan gesprekken over deze thematiek hopen we meer helderheid en eenduidigheid te verschaffen in de landelijke praktijk.

### ALV in 2026

Een datum om alvast in de agenda te zetten: de Algemene Ledenvergadering vindt plaats op woensdag 8 april 2026 op een centrale plek in ons land.

Corine Hijmissen *Stafmedewerker Vakbonds zaken en Projecten*



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.

# Verborgenkanten

"Mevrouw, dat meent u niet toch?"

Jasper keek me met grote ogen aan. Van binnen moet ik lachen: deze reactie krijg ik wel vaker. Als ik mijn leerlingen vertel dat ik ook rechten heb gestudeerd, vervallen ze meestal in verbijsterde schok. Ik weet niet meer hoe het ter sprake kwam, maar soms is er eens zo'n moment.

"Echt waar hoor. Rechten was mijn eerste studie, dit was mijn tweede."

"Ja maar... WAAROM?" Met een blik alsof ik hen vertelde dat ik mijn villa had achtergelaten om in een kippenhok te gaan wonen, keek hij me onthutst aan.

"Ik vond rechten helemaal niet zo leuk. Ik vind dit veel leuker. Veel afwisselender. En ik vind jullie leuk."

Jasper wist niet meer wat hij moest zeggen. Hij moest waarschijnlijk de schokkende mededeling even verwerken. Zijn buurman, Thijs, viel hem bij. Thijs was nu al, in klas 5, een echt bedrijfsmannetje en als er geld om de hoek

kwam kijken stonden de eurotekens al in zijn ogen. Ik zag duidelijk dat ik met de studie rechten een heel nieuw soort respect bij hem afdwong: het respect dat doorsnee docenten nooit konden genieten en het respect dat hij nooit had gedacht dat hij mij ooit nog eens zou geven.

"Maar heeft u het wel afgemaakt?"

"Jazeker, ik ben meester in de rechten. Strafrecht en criminologie, om precies te zijn." Ter illustratie liet ik een fotootje zien.

## Leerlingen toch vaak denken dat je maar één hobby hebt, namelijk je vak



Thijs zakte met open mond tegen de rugleuning van zijn stoel. Hij keek Jasper verbijsterd aan. Grappig altijd, hoe leerlingen toch vaak denken dat je maar één hobby hebt, namelijk je vak, en onder het bureau op school slaapt om daar 's nachts nog even al hun toetsen na te kijken.

"Maar mevrouw!" bracht hij na een tijdje uit, toen hij zijn stem hervonden had. "U had dus gewoon... rijk kunnen zijn!" Het idee dat iemand geld op de tweede plaats zou zetten kwam in zijn omgeving blijkbaar niet voor.

"Nou nou," suste ik, "dat weet ik niet hoor. Niet iedereen in de rechten is rijk."

"U had gewoon de nieuwe Moskowitz kunnen zijn. Of een andere beroemde advocaat."

"Dat had gekund ja, maar de meesten in de rechten worden niet zo rijk hoor. En ik was nog geen advocaat."

"Maar het had wel gekund."

"Ja, theoretisch had het wel gekund."

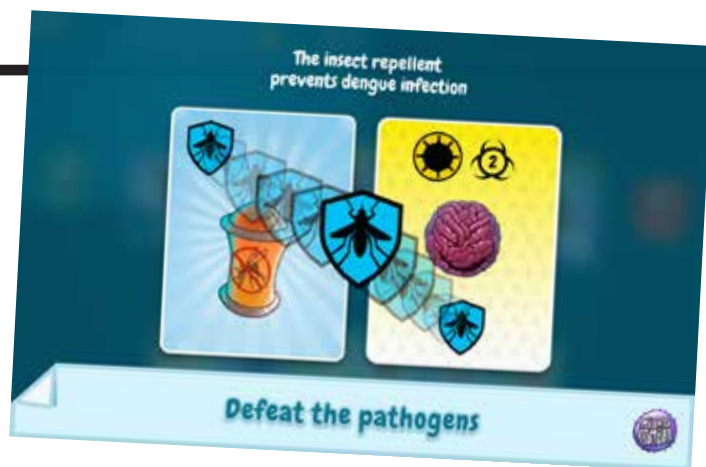
"En in plaats daarvan kiest u ervoor om met een stel losgeslagen pubers in een stinkend lokaal te zitten?"

"Ja."

"U moet wel heel veel van ons houden."

# Micro Combat

Simpel maar effectief



**Enkele weken geleden werd ik gewezen op de app Micro Combat. Deze app gebruikt een spelvorm om inzicht te geven in besmettelijke ziekten, voorzorgsmaatregelen en resistentie. Nieuwsgierig installeerde ik de app en stapte er met een open blik in.**

*Nienke Lurvink / Kamerling Onnes, Groningen*

Het spel begint met vijf vragen die de speler moet beantwoorden. Deze vragen keren op onregelmatige momenten terug, zonder duidelijk patroon. Mogelijk hebben ze een functie in de online multiplayer-modus, maar in mijn solospel leverden ze weinig toegevoegde waarde. Dat is meteen mijn enige kritiekpunt, want verder ben ik positief verrast door deze, op het oog toch vrij eenvoudige app.

Zoals een echte gamer betaamt sloeg ik de instructies en tutorial over, immers, hoe moeilijk kon het zijn? Ik kwam wel even van een koude kermis thuis, kan ik vertellen. Al

snel bleek het spel pittiger te zijn en meer diepgang te hebben dan ik gedacht had. In de eerste paar keren dat ik het spel speelde, kwam ik niet verder dan ronde twee of drie. Vijf ronden leken compleet onhaalbaar. Gelukkig geef ik als gamer ook niet snel op, want ook ik geef niet graag toe dat ik een spel niet snap. Dus werd ik door schade en schande wijs, maar juist daardoor realiseerde ik me hoe goed het spel eigenlijk in elkaar zit.

## Opzet van het spel

Het spel bestaat uit vijf ronden waarin je vijf karakters in leven moet houden. Elk karakter heeft een aantal levenspunten en een eigen beschermingsmiddel. Aan het begin kies je een hoofdkarakter, maar dit lijkt weinig invloed te hebben: de overige karakters worden willekeurig toegewezen. Elke ronde kent de volgende fasen: Blootstellingsfase: je ontvangt acht kaarten met beschermingsmiddelen en medicatie. Je kunt kaarten ruilen. Daarna worden de aanvalskaarten getrokken waarmee de karakters besmet raken met een ziekte (variërend van

syfilis en chlamydia tot knokkelkoorts en malaria). Resistentie kan optreden en middelen kunnen opraken.

Preventiefase: hier kun je ziekten preventief bestrijden, mits je de juiste middelen hebt. Resistente ziekteverwekkers zijn alleen in deze fase te stoppen. Behandelingsfase: patiënten die nog ziek zijn kunnen medicatie krijgen, behalve bij resistente ziekteverwekkers. Onbehandelde karakters lopen schade op (1-3 punten). Verliest een karakter al zijn levenspunten, dan is het spel voorbij. Besmettingsfase: ziekteverwekkers schuiven door naar een ander karakter. Wie al beschermd is tegen de nieuwe ziekte, kan deze direct afslaan.

## Educatief én gemakkelijk

Het spel laat overtuigend zien hoe belangrijk preventie is en dat resistente ziekteverwekkers alleen op die manier bestreden kunnen worden. Het effect van bijvoorbeeld condoomgebruik tegen chlamydia wordt helder en concreet weergegeven.

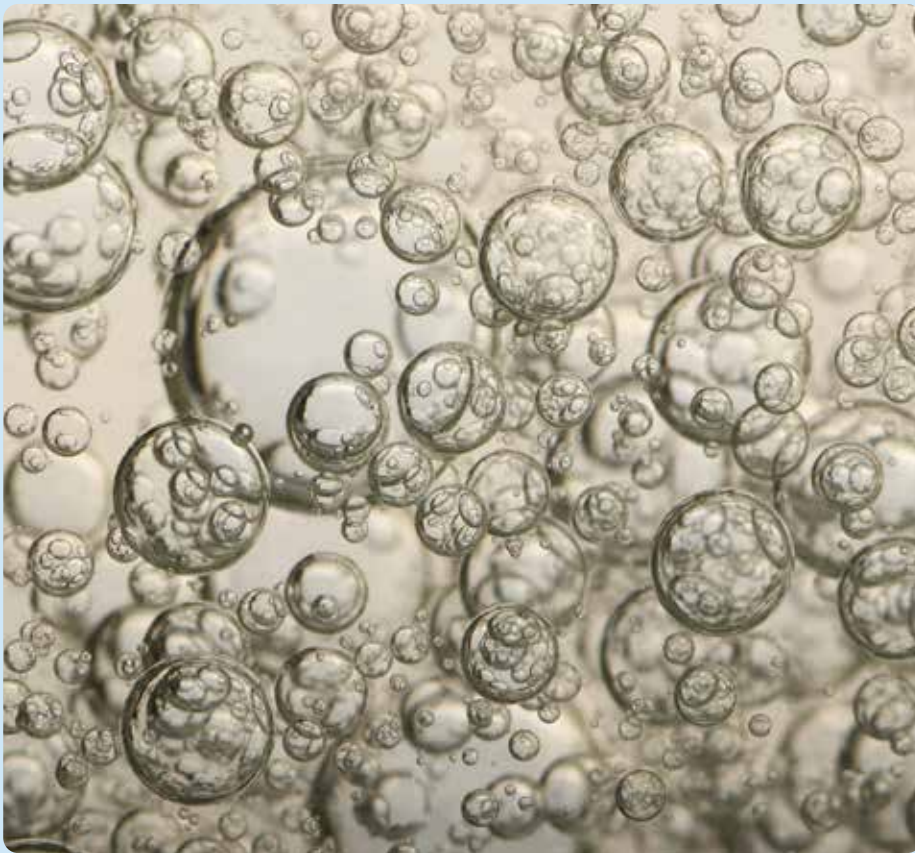
Ook moet de speler onder tijdsdruk beslissingen nemen. Welke middelen ga ik op welke patiënt inzetten. Bescherm ik opa, die de zwakste gezondheid heeft, maar 'slechts' griep heeft, wat '1' schade aanricht, of behandel ik de bouwvakker die '3' schade oploopt door een besmetting met knokkelkoorts? De uitdaging om alle karakters vijf ronden lang in leven te houden is beslist geen gemakkelijke opgave. Daarnaast zijn er grappige momenten: de bouwvakker die opa besmet met chlamydia zorgde bij mij voor een glimlach.

## Conclusie

Micro Combat is een geslaagde app die duidelijk maakt hoe besmettelijke ziekten bestreden kunnen worden, maar ook welke beperkingen en gevolgen daarbij spelen. Simpel in opzet, effectief in boodschap - en verrassend uitdagend om te spelen.



**ADVERTENTIE**



## Soda-stream

Mijn neef heeft sinds kort een Soda-stream apparaat. Reuze gemakkelijk: nooit meer slepen met flessen water, onbeperkt je eigen prik in alle gewenste sterktes, en op de - lange - duur ben je zelfs goedkoper uit. Samen met zijn jongste dochter deed hij een experiment: wat zou er gebeuren als je de soda-stream zou gebruiken om Ice tea peach bruisend te maken? Dat hebben ze gemerkt: een 'explosie' was het gevolg, de hele keuken onder de ijsthee. De vraag aan tante was: Hoe kan dat?

*Marianne Offereins*

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

## 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)); 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

([nienkelurvink@gmail.com](mailto:nienkelurvink@gmail.com)).

**Redacteurs:** H. van Bommel (na), H. Bruijnesteijn (vmbo/toa),

J. de Gruitjer (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 beeldmateriaal 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 datamining 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: J. van den Berg ([ijbergh@xs4all.nl](mailto:ijbergh@xs4all.nl))

natuurkunde: R. Zibret ([r.zibret@jdesign.org](mailto:r.zibret@jdesign.org)), nlt: A. Linnenbank

([andrel@bytehouver.nl](mailto:andrel@bytehouver.nl)), scheikunde: M. Schaveling

([margeschaveling@gmail.com](mailto:margeschaveling@gmail.com)), toa: D. Cloots ([danielle\\_cloots@hotmail.nl](mailto:danielle_cloots@hotmail.nl)), techniek en technologie: E. Giero ([egon@giero.nl](mailto:egon@giero.nl)),

vmbo: H. 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 Vakbondzaken:** 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.