
Nature of Science (NoS) of de aard van wetenschappen

Als natuurkundeleraar ben je niet alleen verantwoordelijk voor het bijbrengen van kennis aan je leerlingen, maar ook voor het overbrengen van een beeld van wat natuurwetenschappen zijn en wat wetenschappers proberen te bereiken. In een tijd waarin de (sociale) media soms onzin verspreiden over wetenschap, is het van belang dat je als leraar tegenwicht biedt. Verkeerde ideeën over wetenschap brengen namelijk risico's met zich mee, zoals we hebben gezien tijdens de recente coronacrisis waarin wetenschap soms werd afgedaan als 'ook maar een mening' en wetenschappers zelfs bedreigd werden. Een goed begrip van de wet van Ohm is belangrijk voor een voldoende op een proefwerk, maar een juist begrip van wat wetenschap inhoudt en wat het doel ervan is, is minstens zo belangrijk.

Maar welk beeld van de natuurwetenschappen zou je dan als natuurkunde leraar moeten over brengen? Wat kenmerkt wetenschap? Hoe onderscheidt wetenschap zich bijvoorbeeld van kunst of religie? En wat doe je ermee in je natuurkundeles? Dergelijke vragen worden in de vakliteratuur besproken onder het label 'Nature of Science' (NoS), (of in het Nederlands 'aard van de natuurwetenschappen').

Waarom aandacht voor NoS in de natuurkunde les?

De vraag wat natuurwetenschap -filosofisch gezien- is kun je misschien nooit voor iedereen bevredigend beantwoorden. Maar voor school-doeleinden hoeft dat ook helemaal niet. Het is voldoende als we leerlingen belangrijke kenmerken van de natuurwetenschappen kunnen bijbrengen waarover overeenstemming is. Als dat succesvol gebeurt begrijpen je leerlingen wat natuurwetenschap is, wat je ervan kunt verwachten en wat niet. Dit stelt leerlingen in staat om als mondige burgers deel te nemen aan maatschappelijke discussies over vraagstukken met een wetenschappelijke achtergrond en om beslissingen te nemen in hun persoonlijke leven, zoals over vaccinaties of milieuvraagstukken.

Voor de overgrote meerderheid van de leerlingen is deze 'wetenschappelijke geletterdheid' (*'scientific literacy'*) belangrijker voor hun toekomstige leven dan inhoudelijke natuurkundige kennis. Daarnaast kan aandacht voor NoS het onderwijs voor veel leerlingen interessanter, boeiender en motiverender maken. Het is alleen daarom al de moeite waard.

Lesgeven met aandacht voor NoS is misschien makkelijker dan je denkt. Vaak hoef je daarvoor vooral dingen *niet* te doen, die je normaal gewend bent juist wel te doen. Eén van de dingen die je bijvoorbeeld zo lang mogelijk uit zou moeten stellen, is het geven van het 'juiste antwoord'. Op school lijkt het er vaak om te gaan het juiste antwoord te weten, en 'foute antwoorden' worden afgewezen. Wetenschappers zijn immers voortdurend bezig met het zoeken naar mogelijke verklaringen en het overtuigen van anderen van hun methoden en antwoorden. Om dit aan leerlingen duidelijk te maken, is het soms beter om het geven van het 'juiste antwoord' zo lang mogelijk uit te stellen en te focussen op het proces van het zoeken naar het meest acceptabele antwoord. Op deze manier kunnen leerlingen de essentie van wetenschap beleven en ontwikkelen ze een kritische blik op wetenschappelijke vraagstukken, wat hen later in staat stelt om als mondige burgers deel te nemen aan maatschappelijke discussies.

Denkbeelden en inzichten

De belangstelling voor NoS-onderwijs komt voort uit de constatering dat gebruikelijk onderwijs vaak denkbeelden oplevert over wetenschap die niet stroken met de realiteit en die zelfs desastreuze gevolgen kunnen hebben voor de manier waarop leerlingen wetenschap zien en waarderen (McComas, 2020). Tabel 1 geeft enkele voorbeelden van boodschappen die door het gebruikelijke onderwijs opgeroepen kunnen worden en de opvattingen over natuurwetenschappen die dat op kan leveren.

Tabel 1. Veel voorkomende ongewenste conclusies en opvattingen over natuurwetenschappen.

| Boodschappen die natuurkundelessen onbedoeld kunnen overbrengen | Ongewenste conclusies die leerlingen daaruit kunnen trekken |
|---|---|
| Wetenschappers zijn niet creatief: zij volgen alleen maar vaste regels en methoden. | Natuurkunde en andere natuurwetenschappen zijn saai. |
| Zorgvuldig verzameld bewijs leidt tot eenduidige en zekere kennis. | Wetenschappers kunnen gegevens niet verschillend interpreteren. Wetenschappelijke kennis is vast en onveranderlijk. |
| Wetenschappelijke modellen geven de werkelijkheid op de best mogelijke manier weer. | Als er verschillende modellen bestaan, kan er maar één de juiste zijn. |
| Wetenschap is universeel en wetenschappers zijn absoluut objectief. Daarom zijn goede wetenschappers het altijd eens. | Als wetenschappers het oneens zijn, kunnen we hen niet vertrouwen. |

Hoewel duidelijk mag zijn, dat bovenstaande opvattingen over wetenschap niet wenselijk zijn, is het niet eenvoudig de juiste balans te vinden in je les. Je mag uiteraard laten zien dat wetenschappers systematisch en gestructureerd werken en dat dat enorme voordelen heeft. Leerlingen moeten ook weten dat er betrouwbare modellen zijn om processen en gebeurtenissen zorgvuldig te beschrijven, te verklaren en voorspellingen te doen. Het streven van wetenschappers naar consensus en objectiviteit hoef je niet onder stoelen of banken te steken. Maar het is letterlijk en figuurlijk zonde als we niet ook laten zien aan leerlingen dat wetenschap in principe altijd open staat voor kritiek en verbetering. Dit is geen zwakte, maar een kracht! *Juist* dat maakt de groei en ontwikkeling van wetenschappelijke kennis mogelijk, en onderscheidt de natuurwetenschappen van dogmatische en starre verklaringsmodellen.

In tabel 2 staan voorbeelden van enkele kenmerken van NoS waarover in de vakdidactische literatuur veel geschreven is. Er staan voorbeelden in van gewenste en niet-gewenste opvattingen bij elk kenmerk. De gewenste opvattingen geven de actuele stand van de wetenschappelijke literatuur over NoS weer. De tabel is niet volledig, hij is ook zeker niet bedoeld om aan leerlingen te geven, maar hij is zeer geschikt om over je eigen beeld van NoS te reflecteren.

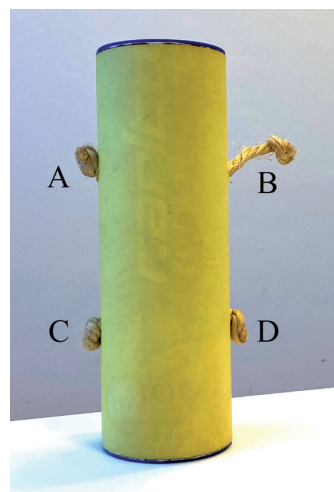
Tabel 2. Kenmerken van NoS en ongewenste en gewenste opvattingen

| Nature of Science aspect | Voorbeeld van vaak voorkomende opvatting | Voorbeeld van de gewenste opvatting |
|--|--|---|
| De rol van waarnemingen, experimenten en de samenhang met wetenschappelijke theorieën. | De enige manier om kennis te verwerven is experimenten doen. Waarnemingen en experimenten kunnen wetenschappelijke theorieën bewijzen. | Wetenschappers gebruiken diverse methoden (o.a. experimenten) en onderlinge uitwisseling om wetenschappelijke kennis te ontwikkelen. Waarnemingen kunnen wetenschappelijke theorieën ondersteunen of juist weerleggen, maar niet bewijzen. |
| Wetenschappelijke theorie | Theorieën zijn vage vermoedens. (In de omgangstaal gebruik je het woord theorie vaak zo.) | Een wetenschappelijke theorie -bijvoorbeeld de relativiteitstheorie- is een samenhangende structuur van gevalideerde en algemeen geaccepteerde verklaringen van verschijnselen. (Maak leerlingen attent op het verschil tussen omgangstaal en vaktaal.) |
| De rol van wetenschappelijke modellen | Wetenschappelijke modellen zijn een waarheidsgetrouwe weergave van de werkelijkheid. | Modellen zijn bedoeld om bepaalde aspecten van verschijnselen te verklaren of te voorspellen. Daarom kunnen er verschillende wetenschappelijke modellen die op hetzelfde verschijnsel betrekking hebben bestaan. |
| Voorlopigheid van wetenschappelijke kennis | Wetenschappelijke kennis is zeker en onveranderlijk. | Wetenschappelijke kennis is duurzaam en betrouwbaar maar staat principieel altijd open voor ontwikkeling, verandering en verbetering. |
| Creativiteit in de wetenschap | Er bestaat maar één stap-voor-stap manier voor wetenschappelijk onderzoek (de natuurwetenschappelijke methode). | Er bestaat niet zoiets als 'de wetenschappelijke methode'. Wetenschappers proberen juist op verschillende manieren wetenschappelijke kennis te vergroten. Daarvoor is vaak creativiteit nodig |
| Subjectiviteit in de wetenschap | Wetenschappers zijn objectief en daarom is er maar één juiste interpretatie van waarnemingen mogelijk. | Hoewel wetenschappelijk onderzoek streeft naar onafhankelijke kennis, blijft het mensenwerk. Dit houdt in dat wetenschap wordt beïnvloed door historische, culturele, sociale en economische omstandigheden en door persoonlijke voorkeuren van onderzoekers. Er is een verschil tussen waarneming en interpretatie. |
| Controverses in de wetenschap | Medeonderzoekers herkennen en aanvaarden nieuwe wetenschappelijke kennis direct. | Discussies en meningsverschillen over wetenschappelijke ideeën zijn essentieel voor de wetenschappelijke ontwikkeling. Er kunnen verschillende interpretaties naast elkaar bestaan. |
| Wetenschappers | Alleen in de westerse cultuur bedrijft men natuurkunde. Het is alleen voor jongens. | Mensen (vrouwen en mannen) uit alle culturen dragen bij aan de wetenschap. (Twee redenen waarom we vooral blanke mannen als wetenschappers kennen: Andere groepen mensen werd de toegang tot educatie geweerd en in schoolboeken staat meestal weinig over de invloed van wetenschappers uit andere culturen.) |

Hoe kun je aandacht voor NoS in je les brengen?

Een uitstekend begin zijn *Black-Box*-activiteiten, vooral als ze onmiddellijk verbazing en verwarring oproepen. Je voert met een voorwerp (de *Black Box*) kleine experimenten uit. Het resultaat is de *output* van de *Black Box*. Maar het mechanisme waardoor het tot die *output* komt blijft verborgen. Leerlingen hebben vaak het gevoel dat ze kunnen begrijpen 'hoe het zit' en ze gaan onmiddellijk op onderzoek uit. In een demonstratie heb je prima mogelijkheden om dat dan te sturen en met zijn allen samen op onderzoek uit te gaan. Zie bijvoorbeeld de NoS-activiteiten 'Cilinderpuzzel'(A06) en 'Magie of nie?'(A05) in dit boek of kijk op deze Engelstalige website van de Royal Society of Chemistry: edu.rsc.org/resources/black-box/1275.article

Leerlingen voelen zich bij een eigen onderzoek wel 'wetenschapper', maar ze leren daarvan niet direct wat wetenschap is; en ze krijgen niet vanzelf inzicht in NoS. Dat geldt evenmin voor leerlingpractica, en zelfs als leerlingen aan echte onderzoeksprojecten deelnemen - bijvoorbeeld tijdens stages - begrijpen ze niet vanzelf en spontaan de aard van de natuurwetenschappen. Om inzicht in NoS te ontwikkelen is het nodig dat je samen met de leerlingen terugkijkt op wat ze waarom hebben gedacht en gedaan, en dat vergelijkt met hoe wetenschappers denken en werken. Ga met de leerlingen bijvoorbeeld na waarom de ene verklaring minder goed gevonden wordt dan een andere. Bespreek achteraf hoe zij tijdens hun onderzoek beslissingen namen. Reflecteer dus met de leerlingen op wat zij zelf ervaren hebben en trek daaruit expliciet conclusies over wat wetenschap is en hoe wetenschappers te werk gaan. De eigen ervaringen uit het onderzoek helpen leerlingen dan om inhoud en betekenis te geven aan NoS. Onderwijs je NoS 'droog' dan is dat zo weer vergeten.



Cilinderpuzzel als voorbeeld van het model van het heeal.

Demonstraties als NoS-activiteit

Ook alle andere demonstraties en experimenten kun je tot NoS-activiteiten maken. Er zijn vaste elementen die in vrijwel alle demonstraties passen. Je kunt bijvoorbeeld de volgende vragen stellen.

1. *Heb je het zelf gezien en echt waargenomen, of heb je het erbij bedacht?*
Vooral jonge leerlingen zijn geneigd geen onderscheid te maken tussen observatie en interpretatie: wat je ziet, wat je denkt dat het is en wat het is. In de demonstratie 'Magie' giet je een doorzichtige vloeistof in een trechter en vang je vervolgens ongeveer evenveel doorzichtige vloeistof in een bekersglas op. Is dat dezelfde vloeistof? Is het water? De demonstratie laat zien dat je dat niet zomaar mag aannemen. Het onderscheid kan van belang zijn.
2. *Wat heb je waargenomen? Hebben anderen dat ook opgemerkt? Was er verder nog iets dat je opviel?*
Waarnemen gaat niet vanzelf. Het wordt beïnvloed door je kennis en verwachtingen. Als je weet waar je op moet letten zie je meer, en dat geldt ook voor

de wetenschap. Fleming's ontdekking van het effect van penicilline op basis van wat vergeten bacteriecultuurtjes is beslist geen uitzondering. Als je leerlingen niet vertelt wat je wilt dat ze zien maar dat aan hen zelf overlaat blijkt de variatie aan waarnemingen enorm groot. Dat is niet altijd de bedoeling, maar kan helpen als je wilt laten zien wat het belang van gericht waarnemen is in onderzoek.

3. *Hoe kwam dat? Kun je uitleggen hoe dat in zijn werk ging? Zijn er nog andere mogelijke verklaringen?*

In de 'Cilinderpuzzel' gebruik je de eigen verklaringen van leerlingen om NoS te bespreken. Belangrijk is wel dat de demonstratie eenvoudig genoeg blijft om de kwaliteit van de verklaringen enigszins te kunnen vergelijken.

4. *Wat kunnen we doen om te kijken of je uitleg zou kunnen kloppen? Hoe kunnen we je hypothese testen?*

Een verklaring krijgt pas waarde als die past bij de waarnemingen, en hij is sterker naarmate hij beter past en meer alternatieven uitsluit. Het zelf bedenken van tests voor verklaringen is belangrijk en leerzaam. Opnieuw een reden om niet te snel het 'juiste antwoord' in te brengen.

5. *Hebben we nu met dit onderzoek bewezen dat onze conclusie waar is? (Bijvoorbeeld, hebben we de wet van Hooke bewezen?)*

Het begrip 'wetenschappelijk bewijs' is lastig. De wet van Hooke kun je niet bewijzen op dezelfde manier als de stelling van Pythagoras: bij de laatste heb je geen waarnemingen nodig. Uit een eindig aantal waarnemingen kun je bovendien logisch gezien nooit een conclusie trekken over alle nog komende waarnemingen: dat heet het 'inductieprobleem'. Toch draagt de geldigheid en betrouwbaarheid van de waarnemingen in een onderzoek bij aan de kwaliteit van de conclusie.

Het is als docent de kunst om goed in te schatten wanneer en met welke leerlingen je dieper op een bepaald kenmerk van NoS ingaat. Als je er open voor staat, kunnen er heel nuttige gesprekken uit ontstaan. Bespreek bijvoorbeeld dat een 'experiment' per definitie een onderzoek is waarin variabelen worden gecontroleerd (dat wil zeggen: constant gehouden). Ter sprake komt dan vast ook onderzoek in de astronomie of paleontologie. Sommigen denken dat alleen uit experimenteel onderzoek wetenschappelijke kennis kan worden gehaald, maar er zijn allerlei vormen van acceptabel wetenschappelijk onderzoek, experimenten zijn maar een enkele vorm. Voor meer boeiende en vaak filosofische vragen over NoS die je direct in de klas kunt gebruiken, kijk op de Vlaamse website www.wetenschapsreflex.be.

En als je met je met leerlingen over stereotypen wilt praten (Waarom denken zo veel mensen dat wetenschap vooral voor witte mannen is?), geeft het boek 'Ongekend' van Margriet van der Heijden boeiende inblikken in hoe vrouwen vaak stelselmatig tegengewerkt werden en hoe hun belangrijke bijdragen tot de wetenschap 'vergeten' werden.

Bronnen

Van der Heijden, M. (2022) Ongekend, Over vrouwen in de natuurwetenschap die over het hoofd werden gezien, Uitgeverij Nieuwezijds.

McComas, W. F. (2020). Principal Elements of Nature of Science: Informing Science Teaching while Dispelling the Myths. In W. McComas (Ed.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (pp. 36-65). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_3