

Leren hoe wetenschap werkt

Nature of Science integreren in het quantumfysicaonderwijs

“Als docenten zelf vakdidactische verbeteringen kunnen onderzoeken en daarop promoveren, levert dat zowel beter onderwijs op als nieuwe wetenschappelijke kennis.” Dit is de gedachte achter de Dudoc-Bèta-promotiebeurzen. Kirsten Stadermann kreeg zo’n beurs. Zij promoveerde in maart 2022 op haar onderzoek naar het stimuleren van wetenschappelijke geletterdheid in lessen over quantumfysica.



Kirsten Stadermann werkte al een aantal jaren als wetenschapper (onder andere aan de ontwikkeling van lasers voor satellieten) toen ze min of meer toevallig het onderwijs inrolde. Op een school bij haar in de buurt viel een natuurkundedocent plotse-ling uit. Klas 6 vwo kreeg daardoor geen les meer – een paar maanden voor het eind-examen. “Ik had geen leservaring, bovendien was ik niet lang daarvoor vanuit Duitsland hier komen wonen, dus mijn Nederlands was nog niet goed. Toch waren de leerlingen blij met mijn lessen. Ik werd meteen verliefd op het vak van docent en op de interactie met leerlingen. Dus heb ik toen de eerstegraads lesbevoegdheid voor natuurkunde en wis-kunde gehaald.”

Quantumfysica: zonder trucjes

Haar wetenschappelijke inslag bepaalt nog steeds Kirsten Stadermanns manier van lesgeven: “In mijn lessen vind ik de wet van Ohm uitleggen of het aanleren van ezels-bruggetjes niet het meest belangrijk. Ik wil

leerlingen enthousiast maken voor natuur-kunde en natuurwetenschap, en hen dieper begrip bijbrengen.” Kirsten is er blij mee dat quantumfysica in 2014 een verplicht onder-deel werd in het examenprogramma. Volgens haar is quantumfysica namelijk een onder-deel van de natuurkunde waar je met trucjes niet verder komt. “Het begrijpen en toepas-sen van quantumfysische inzichten vergt wetenschappelijke geletterdheid: een goed begrip van hoe wetenschappelijke kennis tot stand komt, van de rol van modellen en interpretaties, van de Aard van de Natuur-wetenschappen – in het Engels ‘Nature of Science’ (NOS).”

Schijnbaar tegenstrijdige modellen

Quantumobjecten, zoals elektronen of fotonen, kunnen eigenschappen vertonen die elkaar volgens de klassieke natuurkunde uitsluiten. Sommige van die eigenschappen komen in de klassieke natuurkunde alleen bij golven voor; andere eigenschappen zijn alleen met het klassieke deeltjesmodel te verklaren. Er bestaat onder natuurkundigen geen consensus over de interpretatie van de quantumtheorie en over de betekenis van de golf-deeltje-dualiteit. De quantumfysica is

hiermee een buitenbeentje in de schoolnatuur-kunde, die in lessen, schoolboeken en toetsen vaak gepresenteerd wordt alsof er op elke vraag een eenduidig juist antwoord gegeven kan worden. Zo kunnen leerlingen het idee krijgen dat wetenschappelijke kennis zo zeker is dat er nooit iets aan zal veranderen en dat modellen een realistische weergave van de werkelijkheid zijn. Vanuit dit idee is de kans groot dat leer-lingen de twee schijnbaar strijdige modellen (golven en deeltjes) in de quantumfysica als onlogisch en onbegrijpelijk ervaren. Daarom is het belangrijk om – bij het introduceren van quantumfysica – leerlingen begrip van NOS bij te brengen. De docent kan ingaan op interpretaties en op de rol van modellen in het ontwikkelen van wetenschappelijke kennis. Leerlingen ontwikkelen adequate opvattingen over NOS namelijk niet ‘terloops’, bijvoorbeeld door practica of door onderzoekend leren. Daar moet expliciet aandacht aan besteed wor-den in natuurwetenschappelijke lessen.

Onderzoeksdoel

In haar promotieonderzoek onderzocht Kirsten Stadermann de integratie van NOS in het quantumfysica-onderwijs vanuit verschil-lende perspectieven.

CARLA DESAIN is zelfstandig onderwijsjournalist. Ze schrijft in opdracht van Dudoc-Bèta een serie artikelen over de promovendi van het Dudoc-Bèta-programma.



Les aan klas 5, Praedinius Gymnasium in Groningen.

Het curriculumperspectief

In Kirstens eerste onderzoek bleek dat quantumfysica weliswaar in vijftien landen in het schoolcurriculum staat, maar dat er nauwelijks expliciet verbanden met NOS gelegd worden.

Het leerlingenperspectief

Vervolgens onderzocht Kirsten het verband tussen het begrip dat leerlingen hebben van

quantumfysica en NOS-aspecten. Ze verwachtte dat hoe beter een leerling scoorde op de quantumfysicatoets, hoe beter ontwikkeld diens opvattingen over NOS-aspecten in de quantumfysica zouden zijn – en andersom. Dat verband vond ze niet. **Alle** leerlingen die quantumfysicalessen hadden gevolgd, bleken goed ontwikkelde NOS-opvattingen te hebben, ook degenen die slecht scoorden

op de quantumfysicatoets zelf. “Ik begreep er niets van, want uit de meeste andere onderzoeken blijkt dat een goed NOS-inzicht maar bij 20% van alle leerlingen aanwezig te zijn en ik kwam op 100% uit... Had ik soms een fout gemaakt? Uiteindelijk kwam ik tot de conclusie dat het in de context van quantumfysica voor leerlingen kennelijk logisch – zelfs bijna onvermijdbaar – is om in te zien dat er verschillende interpretaties van fenomenen mogelijk zijn.”

NATURE OF SCIENCE

Nature of Science (NOS) gaat niet over de inhoud van de natuurkunde, maar over hoe wetenschap werkt.

In de les kan besproken worden hoe natuurkundigen tot modellen komen en dat deze handig kunnen zijn, maar niet de ‘hele en enige’ waarheid vertegenwoordigen. Het is bijvoorbeeld handig om licht te beschrijven als stralen: stralen kun je tekenen, je kunt berekenen hoe ze door een lens vallen en afgebogen kunnen worden. Maar dat betekent niet dat ‘licht = stralen’.

Een ander voorbeeld: Een docent kan beter niet zeggen (zoals nu nog vaak gebeurt): “Een boek blijft op tafel liggen door de

normaalkracht, die staat haaks op het tafelblad.” Een aanpak die het begrip van NOS stimuleert, zou een dialoog met de leerlingen kunnen zijn: “Het boek blijft liggen, dat zie je. Maar hoe kan dat eigenlijk? De aarde trekt er toch aan? Een handig model daarvoor is een vector, die we als pijl naar beneden tekenen. Als dat de enige kracht op het boek zou zijn, wat zou dat betekenen?” De kunst van het lesgeven is dan om leerlingen zelf tot het inzicht te laten komen dat er in dit model ook een vector omhoog nodig is, omdat het boek anders zou vallen. Als docent moet je de leerlingen vooral helpen met heen en weer te redeneren tussen model en werkelijkheid.

Lesmateriaal

Om de aandacht voor NOS-aspecten in quantumfysicalessen te bevorderen, verzamelde en ontwikkelde Kirsten Stadermann lesmateriaal dat docenten kan ondersteunen. Ze stelde een PowerPoint-presentatie samen van zo’n 150 slides, waarmee de hele inhoud van het onderwerp ‘quantumwereld’ uit de natuurkunde-syllabus gedekt wordt. Docenten kunnen het materiaal gemakkelijk en flexibel selecteren en aanpassen aan hun eigen manier van lesgeven, hun lesdoelen, hun lesboek en hun leerlingen. Er zijn slides met uitleg over quantumfysische begrippen, experimenten, uitlegvideo’s, computersimulaties en rekenopgaven. Op sommige slides

wordt nadrukkelijk aandacht besteed aan NOS-aspecten in de quantumfysica, zoals wetenschappelijke modellen en interpretaties. Om een actieve, reflecterende rol van leerlingen te bevorderen, bevat het materiaal schrijfp opdrachten en discussiestellingen die argumentaties stimuleren.

Het docentenperspectief

Kirsten verkende ook of docenten er in hun dagelijkse lespraktijk iets voor voelen om NOS-aspecten in de quantumfysicalessen te bespreken. Zij vroeg tien docenten van verschillende scholen om haar lesmateriaal te gebruiken – zonder de NOS-aspecten te benoemen. Tijdens de lessenserie over quantumfysica (gedurende drie tot vijf weken) observeerde Kirsten bij elke docent minstens één les. Na afloop interviewde ze de docenten uitgebreid over het gebruik van het lesmateriaal.

Zo bleek dat de meeste docenten NOS-lesactiviteiten in hun lessen gebruikten hadden,

vooral in dienst van het leren van begrippen uit de quantumfysica. Zij bespraken expliciet de rol van modellen in de quantumfysica met de leerlingen om hen te helpen concepten zoals de golf-deeltje-dualiteit te begrijpen. Sommige docenten beoogden om het nadenken en argumenteren van leerlingen te stimuleren, of wilden nieuwsgierigheid bij leerlingen wekken door de menselijke kant van de wetenschap te laten zien.

De meeste deelnemers erkenden de waarde van NOS-aspecten bij het begrijpen van quantumfysica. Dit is opmerkelijk, omdat in de huidige natuurkundesyllabus en in de meeste Nederlandse lesboeken NOS-aspecten van de quantumfysica geen groot onderwerp zijn. Het aangereikte lesmateriaal voorzag kennelijk in een behoefte van de deelnemende docenten.

Aanbevelingen

Kirstens aanbevelingen voor het onderwijsveld: “Om meer leraren en leerlingen

KIRSTEN STADERMANN

Kirsten Stadermann vond wetenschap van jongs af aan boeiend. Ze voelde zich als een vis in het water bij de lessen natuurkunde en wiskunde en ze was er heel goed in. Na haar studie natuurkunde deed zij eerst onderzoek aan het Max Planck Institute for Radio Astronomy in Bonn en daarna aan de Universiteit Leiden. Door een ziektevervanging ontdekte Kirsten haar liefde voor onderwijs. In plaats van een baan bij SRON (Netherlands Institute for Space Research) koos ze voor de lerarenopleiding natuurkunde en wiskunde. Vanaf 1995 stond ze voor de klas; van 2002 tot 2020 op het Praedinius Gymnasium in Groningen waar ze de scholieren-olympiades coördineerde en een bèta-topklas opzette. “In 2016 liepen al mijn projecten op rolletjes. Mijn vier kinderen werden ook steeds zelfstandiger, ik zag een nieuwe levensfase opdoemen. Ik vond het tijd voor een nieuwe uitdaging en vond die in een promotietraject via Dudoc-Bèta. Quantumfysica boeide me altijd enorm. In Duitsland wordt dit onderwerp al decennia-lang op school behandeld. In 2014 werd het ook

opgenomen in het Nederlandse examenprogramma voor natuurkunde, maar veel docenten vonden het een lastig onderwerp om te behandelen. Dit leek me dus een mooi onderwerp voor mijn promotie. Van het begrip NOS had ik toen nog nooit gehoord. Pas in een gesprek met mijn promotor Martin Goedhart bleek dat wat ik altijd al in mijn lessen wilde overbrengen, een naam had: ‘Nature of Science’. Deze promotie gaf mij de kans om mijn ervaring en ideeën te delen met andere docenten.” Kirsten Stadermann promoveerde in maart 2022 op haar proefschrift: *Connecting Secondary School Quantum Physics and Nature of Science; Possibilities and challenges in curriculum design, teaching, and learning*. Van 2020 tot 2022 was zij vakdidacticus natuurkunde aan de Universiteit Flensburg. Kirsten werkt nu aan de Universiteit Twente: voor de helft als vakdidacticus natuurkunde bij de lerarenopleiding en voor de andere helft als expert voor quantumdidactiek aan de faculteit Technische Natuurwetenschappen.

Wat is een elektron?
Kies één of meer goede antwoorden.



- A. Een heel klein negatief geladen deeltje.
- B. Als het uit een kern van een atoom komt: Bèta-straling.
- C. Een deeltje in één van de schillen van een atoom, zeker niet in de kern.
- D. Een lopende golf.
- E. Een staande golf.
- F. Geen van bovenstaande antwoorden is juist.

Dit is Kirstens favoriete slide (van de 150 in haar lesmateriaal). In de eerste stemronde antwoordt iedereen individueel via Socrative. Vervolgens bespreken de leerlingen de verschillende antwoorden met elkaar. Kirsten: “Er ontstaat altijd discussie: Staat er helemaal geen goed antwoord bij? Zijn ze allemaal goed? Is de vraag al verkeerd? En dat is precies de bedoeling: dan dringt vaak tot leerlingen door wat een model is – en dat het begrip ‘elektron’ al een model is.”

van de gevonden voordelen te laten profiteren, zouden NOS-aspecten zichtbaar in het programma vastgelegd moeten worden. Als de vwo-examensyllabus van natuurkunde expliciet NOS-aspecten als leerdoelen van de quantumfysica zou noemen, is het waarschijnlijk dat auteurs van lesboeken er aandacht aan besteden. Zo kan NOS door elke docent makkelijker in de natuurkundelessen geïntegreerd worden. Bovendien zou op universiteiten en hogescholen al tijdens de opleiding van natuurkundedocenten meer aandacht voor NOS in het algemeen moeten komen.” ●

Kirsten Stadermanns lesmateriaal en proefschrift: [zijn hier te downloaden](http://www.kirstenstadermann.eu)

Contact: h.k.e.stadermann@utwente.nl

