


Die gebruik van ondersoekgebaseerde wetenskaponderrig om studente se konseptuele begrip van gelykstroomelektrisiteit te bevorder

**Authors:**

Nazeem Edwards¹
Lesley le Grange¹ 

Affiliations:

¹Department of Curriculum Studies, Stellenbosch University, South Africa

Corresponding author:

Nazeem Edwards,
nedwards@sun.ac.za

Dates:

Received: 30 Sept. 2016

Accepted: 15 Mar. 2017

Published: 26 May 2017

How to cite this article:

Edwards, N. & Le Grange, L., 2017, 'Die gebruik van ondersoekgebaseerde wetenskaponderrig om studente se konseptuele begrip van gelykstroomelektrisiteit te bevorder', *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 36(1), a1427. <https://doi.org/10.4102/satnt.v36i1.1427>

Copyright:

© 2017. The Authors.
Licensee: AOSIS. This work is licensed under the Creative Commons Attribution License.

Navorsing in wetenskaponderwys het ontstaan uit die positivistiese paradigma waarin wetenskaplike kennis as onveranderlik beskou was. Hierdie artikel ondersoek die gebruik van ondersoekgebaseerde wetenskaponderrig as 'n pedagogiese strategie om voornemende wetenskaponderwysers se konseptuele begrip van gelykstroomelektrisiteit te bevorder. Daar word voorgestel dat Vygotsky se sosiale konstruktivisme en Dewey se pragmatisme gemeenskaplike elemente het wat as 'n filosofiese raamwerk vir ondersoekgebaseerde wetenskaponderrig kan dien. 'n Voorbeeld van die transformerende veronderstellinggedrewe onderrigeksperiment as 'n ontwerpstudie in wetenskaponderwys, word uiteengesit. 'n Terugskouende ontleding word verskaf om 'n leeromgewing te ontwikkel wat tot beter konseptuele begrip van basiese gelykstroomelektrisiteit deur voornemende wetenskaponderwysers kan bydra.

The use of inquiry-based science teaching to promote students' conceptual understanding of direct current electricity. Research in science education evolved from the positivist paradigm in which scientific knowledge was considered to be immutable. This article investigates the use of inquiry-based science teaching as a pedagogical strategy to develop prospective science teachers' conceptual understanding of direct current electricity. It is proposed that Vygotsky's social constructivism and Dewey's pragmatism have common elements that may serve as a philosophical framework for inquiry-based science teaching. An example of the transformative conjecture-driven teaching experiment as a design study in science education, is outlined. A retrospective analysis is provided to develop a learning environment that can contribute to better conceptual understanding of basic direct current electricity by prospective science teachers.

Inleiding

Voornemende onderwysers in Suid Afrika word tans opgelei teen 'n agtergrond van verandering in beleid met betrekking tot die voorgraadse sowel as nagraadse onderwysprogramme op universiteitsvlak. Die idee is om ons historiese agterstand, vanweë ongelykhede in die verlede, te oorkom. Die uitdagings is groot en veral opvallend in die wetenskappe en wiskunde op skoolvlak waar ons leerders baie sleg vaar in vergelyking met hul eweknieë op internasionale vlak. Daar word deur kundiges bekommering uitgespreek oor die kwaliteit van ons wiskunde- en wetenskaponderwys in Suid Afrika. Dit is nieteenstaande die feit dat daar op nasionale vlak meer geld bestee word om dié twee vakke tot op standaard te bring.

Een van die probleme uit die verlede is dat 'n behavioristiese benadering tot onderrig in die klaskamer gevolg is. Uitkomsgebaseerde onderwys (UGO) was 'n poging om 'n konstruktivistiese benadering toe te pas waarvolgens die menslike verstand nie as 'n *tabula rasa* beskou is nie. Omdat onderwysers nie die nodige vaardighede, en alle skole nie ewe veel hulpbronne gehad het nie, was UGO ook onsuksesvol. Die Nasionale Kurrikulumverklaring (NKV) is toe geïmplementeer en opgevolg deur die Kurrikulum- en Assesseringsbeleidsverklaring (KABV) – ons huidige kurrikulum wat in 2014 in aanvang getree het (Departement van Basiese Onderwys [DvBO] 2011). Motala (2014) het die hoop uitgespreek dat eksploratie en ontdekking nie totaal gaan verdwyn, met wat sy die nuwe, gebruikswaardige onderrigagenda ('*new, utilitarian teaching agenda*') noem nie.

Ons navorsing neem ondersoekgebaseerde wetenskaponderrig as uitgangspunt deur studente nie net aan hierdie strategie bloot te stel nie, maar ook om hulle prosesvaardighede in die wetenskap te ontwikkel. Ondersoek in wetenskaponderrig kan beskou word as 'n pedagogiese

Read online:

Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read online.

benadering wat onderwysers aanneem, of dit kan gesien word as dit wat studente gebruik om inhoud in die wetenskap te leer (Minner, Levy & Century 2010:476). Die samesmelting van diverse idees oor ondersoek in 'n enkele identiteit het gelei tot probleme omdat sommige persone dit as eenvoudige praktiese werk beskou, terwyl ander dit as studentgedrewe leerprogramme sien (Bevins & Price 2016). Ondanks hierdie verskillende standpunte is daar 'n algemene tema in ondersoekgedrewe wetenskaponderrig wat behels 'doen wat wetenskaplikes in die klaskamer doen' (Howes, Lim & Campos 2009).

Bevins en Price (2016:17) het pertinent opgemerk dat terwyl 'n groot deel van die bestaande literatuur oor ondersoekgebaseerde wetenskaponderwys verslae oor die voordele en doeltreffendheid van ondersoek rapporteer, dit ook beklemtoon dat onderwysers tydens pogings om ondersoekende benaderings in die wetenskapklaskamer te implementeer, wel probleme ondervind. Die redes hiervoor is baie uiteenlopend en hang grootliks af van die konteks waarin dit geïmplementeer word. Dit wissel van kurrikulumlewering, die onderwyser se bevoegdheid, 'n gebrek aan laboratoriumhulpbronne en 'n baie swaar toetsregime. Deignan (2009:13) het voorgestel dat onderrig en leer in hoër onderwys deur ondersoekgebaseerde onderrig verbeter kan word, maar dat die dinamika van die spesifieke konteks versigtig oorweeg moet word.

Die navorsingsliteratuur beklemtoon ook dat voornemende wetenskaponderwysstudente se begrip van fisika nie na wense is nie. Daar word verwag dat die inhoud en pedagogie op areas van wanopvatting toegespits moet wees. Die studie van gelykstroomelektrisiteit word vanaf laerskool tot universiteit bestudeer en is dus 'n ideale onderwerp omdat daar baie wanopvattinge bestaan (Tsai et al. 2007; Engelhardt & Beichner 2004; Mulhall, McKittrick & Gunstone 2001). Gelykstroomelektrisiteit is ook 'n baie belangrike konsep vir voornemende wetenskaponderwysers om te onderrig omdat hulle dit prakties kan demonstreer. Terselfdetyd moet hulle dit ook op mikrovlak verstaan, want elektrone, byvoorbeeld, kan nie met die oog waargeneem word nie.

Hierdie studie stel die volgende navorsingsvraag:

Watter ondersoekgebaseerde onderrigstrategieë sal voornemende wetenskaponderwysers se konseptuele begrip van gelykstroomelektrisiteit bevorder?

Een van die doelwitte in wetenskap op skoolvlak is dat 'leerders in staat moet wees om ondersoeke te voltooi, probleme te analiseer en praktiese prosesse en vaardighede te gebruik in die evaluering van oplossings' (DvBO 2011:10). Dit is daarom belangrik dat voornemende wetenskaponderwysers self aan ondersoeke blootgestel word.

Die volgende afdeling gee 'n breë oorsig van konstruktivisme as 'n filosofiese raamwerk vir die aanneming van ondersoekgebaseerde wetenskaponderrig deur voornemende wetenskaponderwysers.

Konstruktivisme as filosofiese raamwerk

Traianou (2006:827) het aangevoer dat die effektiewe onderrig van wetenskap in primêre grade afhanklik is van die onderwysers se begrip van wetenskaplike kennis en die pedagogie wat nodig is om dit aan kinders oor te dra. Sy identifiseer twee konstruktivistiese sienings bestaande uit 'kleinreeks'-en 'grootidees'-konstruktiviste. In eersgenoemde geval sal die onderwyser se konseptuele begrip van 'n klein verskeidenheid wetenskapkonsepte volstaan, terwyl in laasgenoemde geval niks minder nie as breë wetenskaplike beginsels en behoorlike wetenskaplike oriëntasie voldoende sal wees. 'n Sekwensiële siening van kennisverwerwing is aangeneem deur 'kleinreeks'-konstruktiviste waardeur eenvoudige feite en prosesvaardighede 'n voorvereiste is vir vorme van 'kennis van 'n hoër orde soos komplekse konsepte' [outeurs se vertaling], (bl. 830). Die pedagogiese repertoire van so 'n onderwyser is onvoldoende wanneer situasies ontstaan wat probleemoplossende prosedurekennis vereis. Die 'grootidees'-konstruktiviste benader die onderwyser se vakkennis deur probleemoplossende aspekte van die hoër orde te beklemtoon. Die 'grootidees'-konstruktivis waardeur ook sosiale interaksie met meer kundiges in die Vygotskyaanse tradisie om wetenskaplike begrip te ontwikkel (bl. 833).

Hall et al. (2006:154) het die mening geopper dat onderwysers wat die pragmatiese Deweyaanse idee van leer in aksie aanneem, sal resoneer met die Vygotskyaanse opvatting van leer as beide sosiaal gekonstrueer en sosiaal ondersteun. Garrison (1995:717) het ook beklemtoon dat 'n *'suitable constructivist epistemology already exists deeply embedded in the tradition of Deweyan pragmatism'* [geskikte konstruktivistiese epistemologie bestaan reeds wat diep in die tradisie van Deweyaanse pragmatisme gewortel is, outeur se eie vertaling]. Die konsep van steierwerk het ook na vore gekom en is gekoppel aan Vygotsky (1978) se konsep van die Sone van Proximale Ontwikkeling (SPO) wat die gaping oorbrug tussen dit wat kinders alleen kan bereik en wat moontlik is wanneer hulle deur 'n volwassene of kundige ander gelei word. Die SPO speel 'n belangrike rol in die ontwerp van onderrig om konseptuele begrip te ontwikkel en dit word geskep in die interaksie tussen studente en die onderwyser, of tydens die samewerking tussen eweknieë van probleemoplossing (Liang & Gabel 2005:1146). Wetenskaponderrig vereis 'n repertoire van strategieë, asook die behoorlike implementering in verskillende klaskameromgewings. Die meeste studente se inhoudskennis en denkvaardighede wanneer hulle opvoedkundige programme betree, is swak. Dus kan die toepassing van Vygotsky se sosiale konstruktivisme gedurende die leerproses help om die konseptuele trajek te onderhandel wat oorgesteek moet word.

Taber (2011a:258) is ook van mening dat konstruktivisme in wetenskaponderrig en wetenskaponderwys-navorsing sedert die laat 1970's prominent geword het. Dit het onderrig gekonseptualiseer in terme van 'n verskuiwing van waar die leerder se denke tans is en waar dit potensieel kan wees – net soos steierwerk in die SPO. Die moderne konstruktivistiese

perspektief *'assumes that the learner comes to knowledge by recognising the meaning of what is found in the environment'* [veronderstel dat die leerder kennis bekom deur die erkenning van die betekenis van wat in die omgewing gevind word, 'outeur se eie vertaling] (Taber 2011b: 41–42). Die doel van onderrig is immers om begrip van konsepte te bevorder, maar betekenisvolle leer kan nie vanuit papegaai-leer¹ plaasvind nie – alhoewel dit sy plek in sekere gevalle het. Volgens Taber moet die individu 'n sinvolle vertolking van sy ervarings in die omgewing deur 'n proses van persoonlike betekenis-making konstrueer (bl. 44). Dit resoneer sterk met die pragmatiese tradisie van John Dewey.

Studente word dikwels met abstrakte konsepte in die wetenskap gekonfronteer en dus moet die onderwyser die leerproses deur die aanneming van toepaslike opvoedkundige strategieë lei. Die individu bestaan binne 'n sosiale en kulturele konteks waar konseptuele raamwerke deur middel van interaksie met ander gebou word (bl. 50). Die skrywer vra watter benaderings tot pedagogie as konstruktivisties oorweeg kan word. Ondersoekeer kan ondersteun word deur konstruktivistiese onderrig indien die aktiwiteite noukeurig ontwerp is om die gewenste leer vas te lê (bl. 56). Ondersoekeer het 'n primêre doel om onderwysstudente die vaardighede en prosesse van ondersoek, soos data-insameling, ontleding, redenasie, ens. te leer. Studente sal in die metodes van ondersoek gelei word wanneer hulle volgens konstruktivistiese ondersoek onderrig, want dan sal hulle binne hul SPO werk. Konstruktivistiese pedagogie behels dus beide studentgesentreerde en onderwysergedrewe onderrig om optimale vlakke van onderrig te verseker.

In hierdie studie is die benadering tot onderrig en leer in die wetenskap deur die Vygotskyaanse idee van kennis as sosiaal gekonstrueer ondersteun. Daar is ook hierbo gewys dat Dewey se pragmatiese benadering tot wetenskaponderwys, waardeur studente hul ervarings in die omgewing vertolk, elemente van sosiale konstruktivisme insluit (Garrison 1995; Hall et al. 2006; Kruckeberg 2006). Die benadering tot wetenskaponderrig in hierdie studie is dus dié van 'n 'grootidees'-konstruktivis wat denkvaardighede van die hoër orde in studente se SPO bevorder, deur interaksie met hul portuurgroep en dosent in die sosiale omgewing. Dit is hierdie elemente wat as 'n ideale filosofiese raamwerk vir ondersoekgebaseerde wetenskaponderrig kan dien.

Ondersoekgebaseerde wetenskaponderrig

Die volgende breë definisie van wetenskaplike ondersoek word voorgestel:

Studente by alle graadvlakke en in elke domein van die wetenskap moet die geleentheid kry om wetenskaplike ondersoek te gebruik en die vermoë ontwikkel om te dink en op 'n manier op te tree wat verband hou met ondersoek. Dit sluit in om vrae te vra, die beplanning en uitvoering van ondersoeke met behulp van gepaste gereedskap en tegnieke om data in te

1. Wanneer inligting deur 'n leerder bekom word sonder dat daar betekenis van die inligting gemaak word.

samel, sowel as om krities en logies te dink oor verhoudings tussen bewyse en verduidelikings. Die bou en ontleding van alternatiewe verduidelikings, en om wetenskaplike argumente te kommunikeer is ook belangrik. (National Research Council 2000:105)

Die beoefening van wetenskaplike ondersoek koester waardering en gepaste begrip van die wetenskap (Chiappetta 1997; Haefner & Zembal-Saul 2004). Studente kan hul begrip van die wetenskaplike inhoud ook deur middel van wetenskaplike ondersoek verdiep (De Boer 2006; Bransford, Brown & Cocking 2000). Smolleck en Nordgren (2014:15) beweer dat studente voordeel trek wanneer hulle in gesprek met hul eweknieë tree om idees uit te ruil, en ook van mekaar leer in 'n ondersoekgebaseerde wetenskapklaskamer. Wanneer voornemende onderwysers se leer in die wetenskaponderwysklas geïntegreer word, ontwikkel hulle begrip van ondersoekgebaseerde wetenskaponderrig, sowel as waardering vir die voordele van onderrig en leer in die wetenskap deur middel van ondersoek (Plevyak 2007; Varma, Volkmann & Hanuscin 2009). 'n Vroeëre studie deur Crawford (2000:918) het ook vasgestel dat sosio-konstruktivistiese perspektiewe van leer tydens praktiese opdragte die geleentheid vir die konstruksie van kennis deur ondersoek verhoog.

Hinrichsen, Jarrett en Peixotto (1999:4) verklaar dat wetenskaplike ondersoek rondom twee groot idees draai:

- Ondersoek as die essensie van die wetenskaplike onderneming, en
- Ondersoek as 'n strategie vir onderrig en leer in wetenskap.

Hulle beklemtoon vier noodsaaklike en assesserbare eienskappe van ondersoek:

- Studente moet aangemoedig word om hul begrip van hoe 'n verskynsel werk te bespreek en te verduidelik. Dit moet ook deur die wetenskaplike gemeenskap aanvaar word.
- Studente verbind konsepte met die wetenskaplike proses wanneer hulle eksperimente ontwerp en veranderlikes beheer.
- Studente skep betekenis deur waarnemings en die transformasie van hul data om die verwantskap tussen veranderlikes te openbaar.
- Studente besin oor die betekenis en interpreteer hierdie verhouding.

Binns en Popp (2013:1) het bevind dat voornemende onderwysers nie geleentheid kry om ondersoekgerigte opdragte tydens hul studenteplasing te oefen nie. 'n Moontlike verklaring hiervoor is die druk wat op onderwysers by skole geplaas word deur die kurrikulum en eindeksamens. Seung, Park en Jung (2014:507) het tot die gevolgtrekking gekom dat hoewel voornemende onderwysers by verskeie aktiwiteite betrokke was wat ontwerp is om hul begrip van ondersoek in die wetenskaponderwysklas te ondersteun, hulle nie al die

kenmerke in hul werklike onderrig implementeer nie. McDermott en Shaffer (1992:994) het tot die gevolgtrekking gekom dat daar meer sistematiese ondersoeke gedoen moet word wat studente se probleme met gelykstroomelektrisiteit help oplos. Studente kan nie formele voorstellings (bv. diagramme, grafieke en vergelykings) gebruik en interpreteer nie, en sien die konsepte van stroom, potensiaalverskil en weerstand bloot as veranderlikes in 'n formule. Die implementering van 'n ondersoekgebaseerde wetenskaponderrig-strategie kan help om konseptuele begrip van basiese konsepte van elektrisiteit te bevorder (Afra, Osta & Zoubeir 2009:103).

Wetenskaplike ondersoek kan ook as geslote, gelei of oop beskou word. Die verskille in benadering is aangepas van 'n studie deur Dudu en Vhurumuku (2012) in Suid Afrika soos hieronder uiteengesit:

- 'n Geslote ondersoek behels stap-vir-stap-instruksies aan studente; spesifieke vrae moet beantwoord word; studente is passiewe ontvangers van inligting; onderwyser en handboekverduidelikings word gebruik vir waargenome verskynsels.
- In 'n geleide ondersoek moet die student spesifieke vrae beantwoord, maar hulle eie ondersoek onderneem; eie data word versamel; resultate word geïnterpreteer en gevolgtrekkings gemaak. Toerusting word verskaf met die nodige hulp om dit korrek te gebruik.
- 'n Oop ondersoek is afhanklik van die ruimte wat deur die onderwyser aan studente gegee word om vrae vir die ondersoek te formuleer; die ondersoek te ontwerp en onderneem; data te versamel; resultate te interpreteer en gevolgtrekkings te maak.

Wetenskaponderrig is geteister deur 'n fundamentele probleem wat die 'monometodologiese benadering' beklemtoon wat betref objektiwiteit en empirisme (McFarlane 2013). Hierdie benadering is onderwysergesentreerd en behels behavioristiese teorieë. Die benadering in hierdie studie is geleide ondersoek wat iewers tussen oop en geslote ondersoek lê. Studente kry 'n spesifieke probleem om te ondersoek, sonder stap-vir-stap-instruksies wat hulle moet volg, maar toerusting word voorsien om die ondersoek te voltooi.

Volgens Lederman en Lederman (2012:338) verwys wetenskaplike ondersoek na die ontwikkeling van prosesvaardighede wat met kennis, redenasie en kritiese denke gekombineer word om wetenskaplike kennis te skep. Martin (2011:76) is van mening dat prosesvaardighede ook in twee groepe verdeel kan word:

- Basiese prosesvaardighede vorm die fondament van wetenskaplike ondersoek en sluit in kernvaardighede soos waarneming, klassifikasie, kommunikasie, meting, voorspelling en afleiding.
- Die geïntegreerde prosesse verleng die basiese prosesse en sluit in die identifikasie en beheer van veranderlikes, formulering en toets van hipoteses, data-interpretasie, eksperimentering en konstruksie van modelle.

Metodologie

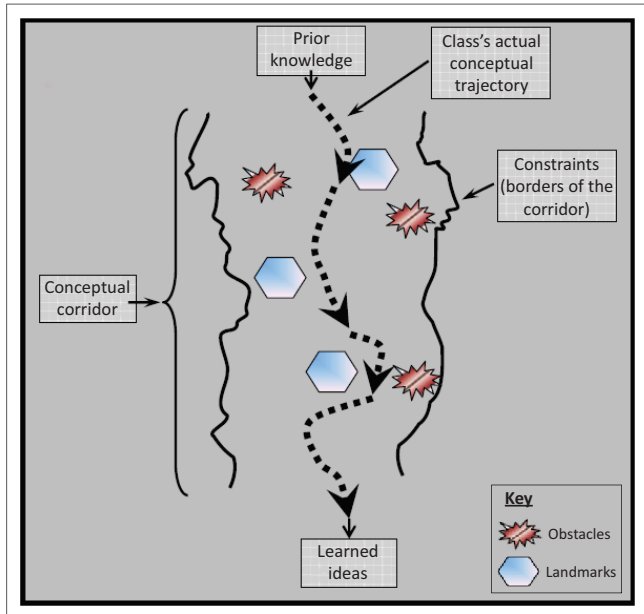
Die transformerende onderrigeksperiment in ontwerpnavorsing

Confrey en Lachance (2000:232–233) het, in hul begeerte om die onderwyspraktyk te hervorm deur die skep en ondersoek van nuwe onderrigstrategieë, die term transformerende veronderstellinggedrewe onderrigeksperiment (*transformative conjecture-driven teaching experiment*) geskep. Dit is ook gemotiveer deur hul verbintenis tot billikheid en 'n poging om gelyke geleenthede vir alle studente te skep sodat hulle aan wiskunde kan deelneem, sowel as om dit te slaag. Die navorsingsontwerp word deur hierdie ideologiese standpunt ingelig wat uit veronderstellings eerder as hipoteses bestaan.

'n Veronderstelling is 'n afleiding wat gebaseer is op onbesliste of onvolledige bewyse en in die konteks van die onderwys verband hou met hoe 'n onderwerp gekonseptualiseer of onderrig word. Dit is 'n manier om die inhoud en pedagogie te herkonseptualiseer en spruit uit ontevredenheid met die huidige praktyk (bl. 235). 'n Veronderstelling is nie 'n bewering wat wag om bewys of weerlê te word soos 'n formele hipotese in 'n eksperimentele ontwerpbenadering nie. Dit kan hersien word terwyl die ondersoek aan die gang is. Die veronderstelling bestaan uit twee dimensies, nl. 'n inhoudsdimensie en 'n pedagogiese dimensie. Dit is toegespits op onderskeidelik die inhoud en hoe die inhoud onderrig moet word.

Confrey (2006:145) het die doel van ontwerpnavorsing as die artikulasie van twee verwante begrippe beskryf: 'n konseptuele gang en 'n konseptuele trajek. Die konseptuele gang beskryf die moontlike ruimte wat suksesvol genavigeer moet word om inhoudskennis te leer, terwyl studente 'n spesifieke konseptuele trajek tydens die onderrigepisode oorstek. Die idee is om data in te samel ten einde die aard van alle moontlike vrugbare trajekte op te teken terwyl studente hul konseptuele begrip van die inhoud opbou. Daar is talle beperkings en struikelblokke, maar formatiewe assesseringstake kan studente begelei, aangesien hulle as bakens dien wanneer hulle die konseptuele gang suksesvol oorstek. Figuur 1 illustreer die konseptuele gang en konseptuele trajek van studente tydens 'n onderrig- en leerepisode. Die onderwyser moet onderrigstrategieë bou wat studente sal help om betekenis en begrip van die inhoud te laat ontwikkel. Veelvuldige geleenthede moet voorsien word vir verduideliking en beredenering om hul begrip vas te lê en aan te moedig in afwagting op die volgende leerepisode.

Confrey en Lachance (2000:236) het ook aangevoer dat die veronderstelling noodwendig in 'n teorie geleë moet wees of dit kan nie geïnterpreteer word nie. Die toepaslike teorie soos hierbo uiteengesit, is Vygotskiaanse sosiale konstruktivisme omdat die ontwikkeling van konseptuele begrip in die wetenskap afhanklik van die studente se voorkennis is. Studente se begrip van konsepte word geïnterpreteer wanneer hulle verskillende vaardighede wat toepaslik vir die inhoud en pedagogie is, demonstreer.



Bron: Confrey, J., 2006, 'The evolution of design studies as methodology', in R. K. Sawyer (ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences*, p. 146, Cambridge University Press, New York, NY

FIGUUR 1: Die doel van die ontwerpnavorsing.

Bevindings en bespreking

Die resultate en bespreking word aan die hand van verskillende fases van die onderrigeksperiment aangebied.

Fase 1: Identifisering van die probleem

Voornemende wetenskaponderwysers op primêre en sekondêre skoolvlak het 'n kritieke rol om in die ontwikkeling van leerders se konseptuele begrip van gelykstroomelektrisiteit te speel. Toekomstige wetenskaponderwysers moet dus blootgestel word aan die onderrig van gelykstroomelektrisiteit (inhoudsdimensie) om hul eie konseptuele begrip te ontwikkel. Die benutting van die onderskeie pedagogiese strategieë (pedagogiese dimensies) maak verskillende moontlike konseptuele trajekte oop en plaas toekomstige wetenskaponderwysers in 'n posisie om die konseptuele gang, soos hierbo geïllustreer, te navigeer. Die begeerte om te sien hoe onderwysers hul praktyk in fisika, van 'n klem op probleemoplossing, met behulp van formules en algoritmes, transformeer om konseptuele begrip te ontwikkel, beklemtoon die transformerende aspek van die onderrigeksperiment.

Die identifisering van gelykstroomelektrisiteit as die inhoudsdimensie van die studie word deur 'n omvattende oorsig van die literatuur ondersteun, byvoorbeeld:

- Finkelstein (2005:1187) verklaar oortuigend dat 'fisikaklasse met tradisionele onderrig misluk om robuuste konseptuele begrip oor te dra, selfs by studente wat goed in die klaseksamens presteer', [outeur se eie vertaling]. Studente is soms in staat om berekening van komplekse stroombane te doen, maar kan nie voorspel wat in eenvoudiger stroombane gaan gebeur nie. Die skrywer beveel aan dat daar ondersoek ingestel moet

word na watter elemente die begrip van die studente in 'n bepaalde omgewing vorm.

- Beide hoërskoolleerders en universiteitstudente se redenasie met betrekking tot resistiewe gelykstroombane verskil dikwels van die aanvaarde verduidelikings. Studente is geneig om op die stroom te fokus om probleme op te los, sowel as om terme te verwar. Dikwels word die eienskappe van die stroom aan spanning of weerstand toegeken (Engelhardt & Beichner 2004:98).
- Sukses in die oplossing van kwantitatiewe probleme in elektrisiteit is nie 'n betroubare maatstaf van konseptuele begrip nie, want studente kan dikwels nie maklike kwalitatiewe vrae op grond van dieselfde fisiese konsepte beantwoord nie (McDermott & Shaffer 1992:995).

Die navorsingsvraag wat die studie rig, spruit uit hierdie fase.

Fase 2: Ontwikkeling van oplossings deur bestaande ontwerpbeginsels

In hierdie fase word die strategieë geskets wat in die pedagogiese dimensie voorgestel word. Dit behels die ontwikkeling van 'n domeinspesifieke leeromgewing wat sosiaal konstruktivistiese leeraktiwiteite omarm. Dit is weereens deur 'n oorsig van die literatuur ondersteun. 'n Paar voorbeelde volg hieronder:

- Onderwysers gebruik wetenskaplike ondersoek as 'n onderrigmetode in 'n ondersoekgebaseerde klaskamer om studente se begrip van die beginsels van die wetenskap te bevorder. Studentebetrokkenheid deur direkte, praktiese ervaring tydens 'n wetenskaplike ondersoek versterk ook hul begrip van die metodes en inhoud van die wetenskap (De Boer 2006:19).
- Wetenskaplike ondersoek verwys na die ontwikkeling van prosesvaardighede en die kombinasie daarvan met wetenskaplike kennis, wetenskaplike beredenering en kritiese denke om wetenskaplike kennis te ontwikkel (Lederman & Lederman 2012:338).
- Schwarz et al. (2009:633) omskryf 'n wetenskaplike model as 'n voorstelling wat 'n stelsel opsom en vereenvoudig deur te fokus op die belangrikste eienskappe wat wetenskaplike verskynsels verduidelik en voorspel.
- Driver, Newton en Osborne (2000:298) voer aan dat tydens die onderrig en leer van wetenskap studente die geleentheid gebied moet word om hul eie persoonlike kennis deur 'n proses van dialogiese argument te rig en te herbou.
- Barak en Dori (2009:461–462) beweer dat die aanneming van 'n konstruktivistiese georiënteerde pedagogie, wat op die teorie van sosiale konstruktivisme in die Vygotskyaanse tradisie gebaseer is, kritiese denke en argumentvaardighede kan verbeter.
- In Berland en McNeill (2010:772) se navorsingstudie is 'n argumentatiewe produk gebruik wat 'n 'beredeneerde stukkie diskoers waarin 'n eis geregverdig is' [outeur se eie vertaling] voorstel.

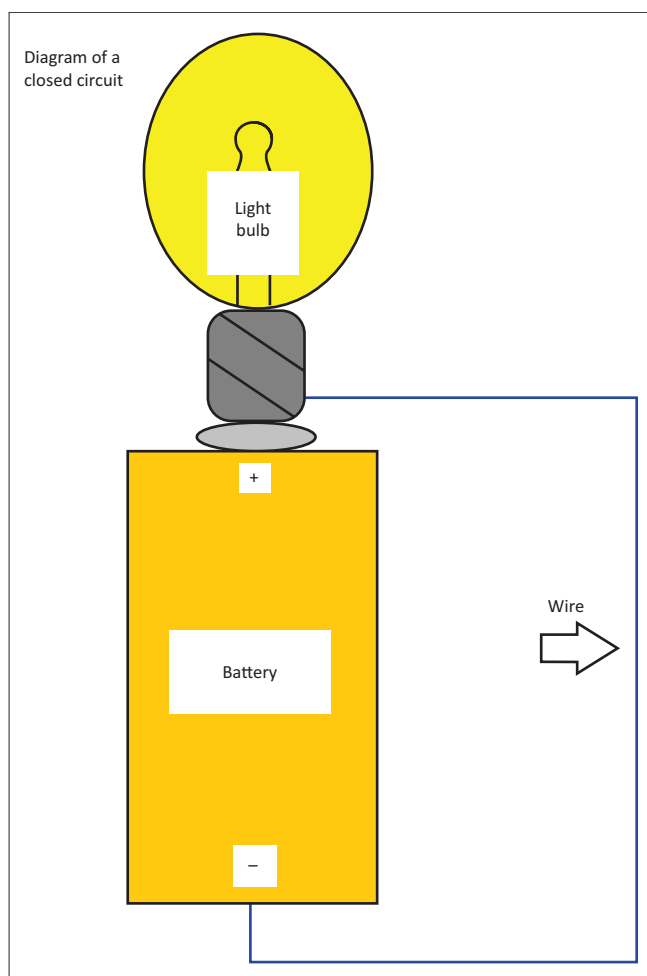
Fase 3: Iteratiewe siklusse van die toets en verfyning van oplossings in die praktyk

Siklus 1

Voorlopige fase: Voorbereiding vir die onderrigeksperiment.

Die voorlopige fase is met 'n groep van 51 natuurwetenskapstudente in hul tweede jaar oor 'n tydperk van vier weke voltooi. Hierdie groep was in 'n Baccalaureus Educationis-program (B.Ed) op universiteitsvlak ingeskryf. In die onderrigeksperiment moet daar tussen die verwagte konseptuele trajek en die werklike konseptuele trajek onderskei word. Eersgenoemde verteenwoordig die konsepte en vaardighede wat ons sou verwag die studente moet aanleer, terwyl laasgenoemde die eintlike konsepte en vaardighede wat deur middel van geskrewe en mondelinge assesserings bewys word, verteenwoordig.

Die eerste aktiwiteit (Figuur 2) het die studente aan 'n praktiese voorbeeld van 'n geslote stroombaan blootgestel. Hulle moes self die komponente koppel wat dan ook 'n geleentheid geskep het vir samewerking in groepverband in die Vygotskiaanse tradisie. Die tweede aktiwiteit (Figuur 3) het dit verder uitgebrei deurdat hulle tussen parallelle en



Bron: Brinn, J. & Elischer, M., 2015, 'Why did my string of holiday lights go out?', in *Michigan State University Extension*, viewed n.d., from http://msue.anr.msu.edu/news/why_did_my_string_of_holiday_lights_go_out

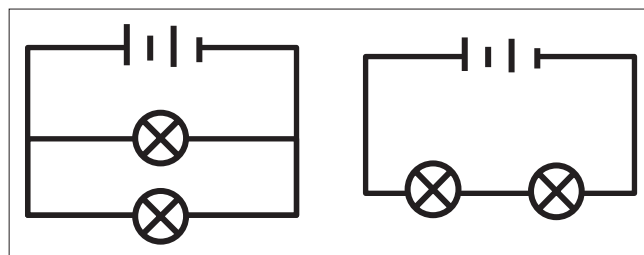
FIGUUR 2: 'n Eenvoudige geslote stroombaan.

seriekombinasies moes onderskei. Wat duidelik na vore gekom het, is dat die kwaliteit van redenasie ontbreek wanneer studente hulle waarnemings moes verduidelik. 'n Opvolgaktiwiteit het die idee van stroomsterkte en potensiaalverskil uitgebrei. Die helderheid van die gloeilampies is dan 'n aanduiding van die stroomsterkte. 'n Paar multikeusevrae is aan die studente gestel om te bepaal of die praktiese blootstelling enigszins tot beter begrip sou bydra. Hulle het oor die algemeen swak gevaar.

Verdere praktiese aktiwiteite het behels dat die studente op die toepassing van Ohm se wet gefokus is, sowel as uitbreiding van hul prosesvaardighede. Hulle het redelik goed gevaar sover dit die omskepping van data in 'n grafiek aangaan, maar in terme van interpretasie en gevolgtrekkings maak, was daar heelwat leemtes. Die studente het dan ook berekeninge gedoen om die stroomsterkte en potensiaalverskil in 'n stroombaan te bepaal. In 'n skriftelike toets was die klasgemiddelde 53%, terwyl hulle veel beter (73%) in die praktiese ondersoek gedoen het.

Die hele idee met die onderrigeksperiment is om te verstaan hoe studente leer, eerder as om statistiek te gebruik soos wat in eksperimentele navorsing sou verwag word (Gravemeijer & Cobb 2006:18). Die klasaktiwiteite dien as belangrike aanduiders om die konseptuele trajek van die student te openbaar. Hierdie aktiwiteite kan in daaropvolgende iterasies aangepas word. Die navorsers moet ook die klaskultuur in ag neem wanneer iets nuuts gepoog word. Studente is geneig om inligting in te neem liever as om vanaf 'n wetenskaplike ondersoek hulle eie idees te vorm. Hulle blootstelling aan die wetenskap op skoolvlak het ook gewissel. Daar is dus 'n fyn balans om die regte kognitiewe uitdaging te vind en om kwaliteit te handhaaf. Die skepping van 'n sosiaal konstruktivistiese leeromgewing gee die studente ook 'n geleentheid om te argumenteer en sodoende hulle begrip te ontwikkel.

Die voorlopige fase dien as beginpunt om die belangrike konsepte te identifiseer, assesserings te formuleer en die prosesse te stel wat in die teoretiese raamwerk aangeneem moet word. 'n Duidelike tekortkoming in hierdie fase is die tydramwerk van vier weke om die inhoud te voltooi. Die tyd is dan in die volgende iterasie verleng om die studente 'n kans te gee om saam te werk, asook 'n model te bou wat verduidelik moes word. Dit is 'n belangrike aspek wat nie genoeg aandag geniet het nie en waarin die studente swak

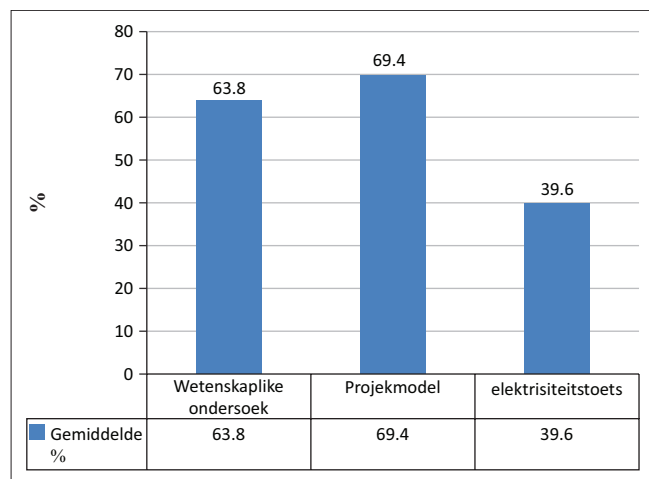


FIGUUR 3: Parallelle en seriekombinasies.

gevaar het. Daar moet op die kwantitatiewe, sowel as kwalitatiewe aspekte van elektriese gelykstroombane gefokus word sodat die studente beter konseptuele begrip kan ontwikkel.

Siklus 2

Die deelnemers is 'n ander kohort van 63 natuurwetenskapstudente op tweedejaarsvlak wat ingeskryf is in 'n Baccalaureus Educationis-program (B.Ed.) op universiteitsvlak. Die pragmatiese gemengdemetode-ontwerp wat in hierdie studie benut word 'is een waarin kwalitatiewe en kwantitatiewe data versamel en ontleed word om 'n enkele studie se navorsingsvrae te beantwoord' [outeurs se eie vertaling] (Mertens 2009:298). Die data is onafhanklik van mekaar ingesamel en vind plaas oor 'n tydperk van ses weke tydens die aanbieding van die eenheid van gelykstroomelektrisiteit. Studenterekords, video's en klaskamerassesserings word gebruik om die data in te samel.



FIGUUR 4: 'n Staafgrafiek van die gemiddelde persentasie vir drie assesseringstake.

Beskrywende statistiek bied die data in opsommende formaat aan. Inferensiële statistiek word gebruik om vergelykings tussen groepe te maak en die *t*-toets word in hierdie navorsingstudie in afgepaarde groepe gebruik (Mertens 2009:406). Die kwalitatiewe data vir die navorsingstudie is verkry uit die transkripsies van die video-opnames van die projekaanbieding. Die data is in Excel oorgedra en word volgens Berland en McNeill (2010:772) se kategorieë van argumentasieproduk ontleed.

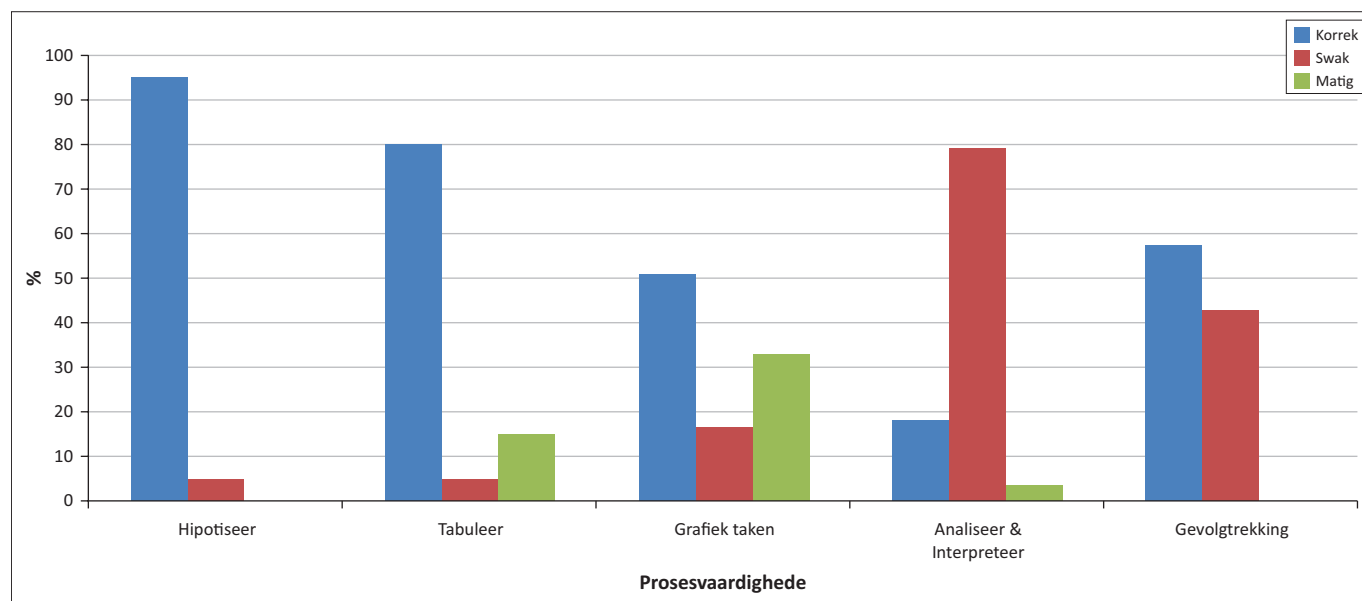
Drie assesseringstake is tydens die verloop van die ses weke aan die studente gegee om hul konseptuele begrip te toets. Die wetenskapondersoek het hul prosesvaardighede getoets; die projekmodel het hul vermoë getoets om hul kennis van gelykstroomelektrisiteit te kan toepas; en die teoretiese toets het hul algehele begrip van die elektrisiteitseenheid geëvalueer. Dit blyk uit die staafgrafiek (Figuur 4) dat die studente beter in staat is om hul kennis toe te pas wanneer hulle 'n werkende projekmodel bou, en redelik ontwikkelde prosesvaardighede in vergelyking met hul teoretiese kennis het.

Daar is statistiesbeduidende verskille getoon wanneer die *t*-toets gebruik is (Tabel 1). Hierdie verskille word ook verder deur die korrelasie ondersteun wat onderskeidelik matig en swak was. Dit beteken dat 'n student wat goed in die een assessering vaar, moontlik swak in die ander een sal vaar.

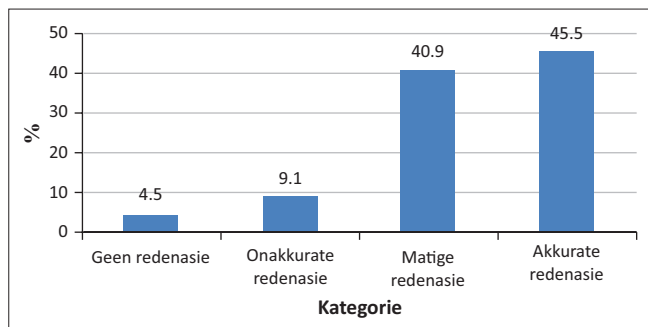
Noukeurige ontleding van die wetenskapondersoek (Figuur 5) het aan die lig gebring dat die vaardighede ontbreek wat hoër kognitiewe vlakke soos die teken van

Tabel 1: *t*-Statistiek en korrelasies tussen assesserings

Vergelyking	<i>t</i> -statistiek	<i>p</i> -waarde	korrelasie
Wetenskaplike ondersoek & toetspunte	-9.1104	4.81E-13	0.4094
Projek en toetspunte	-10.5661	1.7E-15	0.1490



FIGUUR 5: Staafgrafiek van prosesvaardighede vir wetenskaplike ondersoek.



FIGUUR 6: Staafgrafiek van persentasie toepaslikheid en genoegsaamheid.

grafieke, ontleding en vertolking vereis. 'n Groot persentasie van die studente is ook nie in staat om voldoende gevolgtrekkings op grond van hul bevindinge tydens die wetenskaplike ondersoek te maak nie. Dieselfde patroon wat tydens die elektrisiteitstoets waargeneem is, het weer na vore gekom toe die studente oor hierdie vaardighede beoordeel is.

Wanneer die studente hul projekmodel aangebied het, was daar 'n gebrek aan die toepaslikheid (d.w.s. relevansie en wetenskaplike akkuraatheid), asook genoegsaamheid (d.w.s. kwantiteit en kompleksiteit) van bewyse en redenering. Figuur 6 dui aan dat net 40.9% en 45.5% onderskeidelik van die twee groepe studente matige tot akkurate redenasie getoon het. Dit impliseer dat talle studente swak argumentvaardighede gedemonstreer het deur te versuim om hul eise voldoende te motiveer. Die kompleksiteit van hul argumente was ook swak. Hierdie kwalitatiewe ontleding stem beduidend ooreen met die bewyse van die kwalitatiewe aspekte van die elektrisiteitstoets, veral daardie vrae waar studente redenasievaardighede moes toepas.

Daar is alreeds aangedui dat ontwerpnavorsing 'n benadering is wat beide kwalitatiewe en kwantitatiewe metodes gebruik. Die studente moes kwalitatief redeneer om hul begrip op te bou deur hul projekmodel teen die einde van die module te verduidelik. Hier volg 'n paar aanhalings wat direk vanaf die transkripsies geneem is:

'Jy benodig 'n geslote stroombaan en 'n bron van energie vir energie vloei. Hierdie stroombaan is 'n geslote stroombaan wanneer die skakelaar op die regterkant is en dit is af wanneer die skakelaar aan die linkerkant is. Ons het besluit om die gloeilampe in parallel te koppel ... Die rede hiervoor is dat die een gloeilamp sal voortgaan om te skyn as die ander een uitgeskroef word en dit sal ook helderder skyn'.

'Die potensiaalverskil is oral dieselfde in parallel en die gloeilampe is ewe helder. Sê een van die gloeilampe is gebreek dan sal die fan steeds draai. Die stroombaan is nou in serie en die gloeilampe is helderder en die fan draai vinniger'.

Bostaande aanhalings dui aan hoe studente hul begrip van 'n geslote stroombaan opgebou het en gebruik maak van die bewyse wat die model demonstreer. Dit spruit ook direk uit die praktiese aktiwiteite waaraan die studente blootgestel is.

Daar is ook ander voorbeelde waar studente se redenasie die vorige punt bevestig. Byvoorbeeld:

'Ons het besluit om die stroombaan in parallel te koppel en nie serie want dan sou dit te veel stroom trek en dan sal die lampies nie so helder gloei nie'.

'So die weerstand verminder in die parallel kombinasie en die stroomsterkte neem toe op die komponente in parallel'.

Daar is ook gevalle waar studente foutiewe afleidings na afloop van ondersoek gemaak het, byvoorbeeld:

'Die rede vir die stroom wat vloei, is dat dit verbind is van positief na negatief en ons het besluit om die metode te gebruik, want so 'n wetenskaplike metode verband kan dit toelaat om van positief na negatiewe te vloei en werk'.

Sampson en Clark (2008) het beweer dat dit baie moeilik vir studente is om 'n verduideliking deur middel van argument te staaf.

Terugskouende ontleding en bespreking

In hierdie navorsingstudie word die voornemende wetenskaponderwyser se konseptuele begrip van gelykstroomelektrisiteit deur middel van verskeie pedagogiese strategieë ontwikkel. Dit sluit in blootstelling aan wetenskaplike ondersoek in die laboratorium om prosesvaardighede te ontwikkel, maar ook die vermoë om tussen verskillende vaardighede soos hipoteses, grafiek teken, interpretasie, ens. te skakel. Hierdie geleentheid word gebruik sodat die studente kan saamwerk om hul konseptuele begrip deur dialogiese interaksie te ontwikkel. Die laboratoriumsessies is ontwerp om hulle praktiese geleentheid te gee om met elektriese stroombane te werk. Die studente bou ook hul eie modelle wat met behulp van kwalitatiewe redenasie verduidelik moet word, en wat dus hul argumentvaardighede demonstreer.

Studente se konseptuele begrip kan versterk, en hul wetenskaplike redenasie verbeter word deur die aanneming van 'n ondersoekgebaseerde benadering tot die onderrig van gelykstroomelektrisiteit. Wanneer hulle blootgestel word aan praktiese ondersoek oor parallelle en seriekombinasies van gloeilampe, kan die kwalitatiewe begrip wat tydens hierdie spesifieke verteenwoordigende modus na die geskrewe modus soos 'n werkdokument oorgedra word. Studente is ook in staat om formele voorleggings soos grafieke te vertolk en na 'n skriftelike of visuele modus soos 'n diagram oor te skakel om hul konseptuele begrip te ontwikkel. Herhaalde blootstelling aan die verskillende modaliteite kan help om toepaslike betekenis op te bou.

Slot

In die verlede is die benadering tot navorsing in wetenskaponderrig tot 'n groot mate vanuit 'n positivistiese paradigma benader en het dit kwantitatiewe metodes

aangeneem. Navorsingsresultate het min, indien enige, invloed op die praktyk gehad en oorsaaklike verhoudings is toegeskryf aan ingrypings en uitkomst waar vreemde veranderlikes nie gekontroleer kon word nie. Onderzoekgebaseerde wetenskaponderrig kan aangewend word om die gaping tussen navorsing en praktyk in wetenskaponderwys, sowel as ander dissiplines te oorbrug.

Hierdie navorsingstudie het getoon dat Dewey se pragmatisme en Vygotsky se sosiale konstruktivisme gemeenskaplike elemente het wat kan dien as 'n filosofiese raamwerk om onderzoekgebaseerde wetenskaponderrig te ondersteun. Die navorsing is in 'n bepaalde omgewing gedoen en is toegespits op onderrig- en leerprobleme, wat in die voorste linie van die praktyk voorkom. Die transformerende onderrigeksperiment as ontwerpstudie word deur 'n veronderstelling gedryf waar volgens die inhoud en pedagogiese dimensie in enige domein van studie toegepas kan word. Die beskrywing van die fases van die ontwerpproses in die aangehaalde voorbeeld kan gebruik word om 'n domeinspesifieke leeromgewing in die studie van gelykstroomelektrisiteit te skep. Dit kan dan moontlik in ander domeine van die wetenskap en ander kontekste toegepas word om uiteindelik die onderrig- en leerproses in die wetenskap te verbeter.

Erkenning

Mededingende belange

Die outeurs verklaar dat hulle geen finansiële of persoonlike verhoudings het wat hulle op 'n onvanpaste wyse in die skryf van hierdie artikel kon beïnvloed nie.

Outeursbydrae

N.E. het die studie uitgevoer en die data versamel en was verantwoordelik vir die skryf van die artikel. L.I.G. het toesig gehou oor die studie en het verskeie konsepte van die artikel hersien.

Literatuurverwysings

- Afra, N. C., Osta, I. & Zoubair, W., 2009, 'Students' alternative conceptions about electricity and effect of inquiry-based teaching strategies', *International Journal of Science and Mathematics Education* 7(1), 103–132. <https://doi.org/10.1007/s10763-007-9106-7>
- Barak, M. & Dori, Y., 2009, 'Enhancing higher order thinking skills among inservice science teachers via embedded assessment', *Journal of Science Teacher Education* 20, 459–474. <https://doi.org/10.1007/s10972-009-9141-z>
- Berland, L. K. & McNeill, K. L., 2010, 'A learning progression for scientific argumentation: understanding student work and designing supportive instructional contexts', *Science Education* 94, 765–793. <https://doi.org/10.1002/sce.20402>
- Bevins, S. & Price, G., 2016, 'Reconceptualising inquiry in science education', *International Journal of Science Education* 38:1, 17–29. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1124300>
- Binns, I. C., & Popp, S., 2013, 'Learning to teach science through inquiry: Experiences of preservice teachers', *Electronic Journal of Science Education* 17(1), 1–24.
- Bransford, J., Brown, A., Cocking, R., 2000, *How people learn: Brain, mind, experience, and school*, National Academy Press, Washington, DC.
- Brinn, J. & Elischer, M., 2015, 'Why did my string of holiday lights go out?', in *Michigan State University Extension*, viewed n.d., from http://msue.anr.msu.edu/news/why_did_my_string_of_holiday_lights_go_out
- Chiappetta, E.L., 1997, 'Inquiry-based science. Strategies and techniques for encouraging inquiry in the classroom', *The Science Teacher* 64, 22–26.
- Confrey, J., 2006, 'The evolution of design studies as methodology', in R. K. Sawyer (ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences*, pp. 135–152, Cambridge University Press, New York, NY.
- Confrey, J. & Lachance, A., 2000, 'Transformative teaching experiments through conjecture-driven research design', in A.E. Kelly en R.A. Lesh (eds.), *Handbook of research design in mathematics and science education*, pp. 231–265, Lawrence Erlbaum Associates, Mahway, NJ.
- Crawford, B. A., 2000, 'Embracing the essence of inquiry: New roles for science teachers', *Journal of Research in Science Teaching* 37(9), 916–937. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200011\)37:9<916::AID-TEA4>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200011)37:9<916::AID-TEA4>3.0.CO;2-2)
- De Boer, G., 2006, 'Historical perspectives on inquiry teaching in schools', in L. B. Flick en N. G. Lederman (eds.), *Scientific inquiry and nature of science*, pp. 17–35, Kluwer, Dordrecht.
- Deignan, T., 2009, 'Enquiry-based learning: Perspectives on practice', *Teaching in Higher Education* 14(1), pp. 13–18. <https://doi.org/10.1080/13562510802602467>
- Departement van Basiese Onderwys, 2011, *Kurrikulum- en Assesseringsbeleidsverklaring*, Staatsdrukkery, Pretoria.
- Driver, R., Newton, P. & Osborne, J., 2000, 'Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms', *Science Education* 84, 287–312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<287::AID-SCÉ1>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCÉ1>3.0.CO;2-A)
- Dudu, W.T. & Vhurumuku, E., 2012, 'Teachers' practices of inquiry when teaching investigations: A case study', *Journal of Science Teacher Education* 23(6), 579–600. <https://doi.org/10.1007/s10972-012-9287-y>
- Engelhardt, P. V. & Beichner, R. J., 2004, 'Students' understanding of direct current resistive circuits', *American Journal of Physics* 72, 98–115. <https://doi.org/10.1119/1.1614813>
- Finkelstein, N., 2005, 'Learning physics in context: A study of student learning about electricity and magnetism', *International Journal of Science Education* 27, 1187–1209. <https://doi.org/10.1080/09500690500069491>
- Garrison, J., 1995, 'Deweyan pragmatism and the epistemology of contemporary social constructivism', *American Educational Research Journal* 32, 716–740. <https://doi.org/10.3102/00028312032004716>
- Gravemeijer, K. & Cobb, P., 2006, 'Design research from a learning design perspective', in J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney, & N. Nieveen (eds.), *Educational Design Research* pp.17–51, Routledge, London.
- Gunstone, R., Mulhall, P. & McKittrick, B., 2009, 'Physics teachers' perceptions of the difficulty of teaching electricity', *Research in Science Education* 39(4), 515–538. <https://doi.org/10.1007/s11165-008-9092-y>
- Haefner, L.A., & Zembal-Saul, C., 2004, 'Learning by doing? Prospective elementary teachers developing understandings of scientific inquiry and science teaching and learning', *International Journal of Science Education* 26(13), 1653–1674. <https://doi.org/10.1080/0950069042000230709>
- Hall, E., Leat, D., Wall, K., Higgins, S. & Edwards, G., 2006, 'Learning to learn: Teacher research in the zone of proximal development', *Teacher Development* 10, 149–166. <https://doi.org/10.1080/13664530600773119>
- Hinrichsen, J., Jarrett, D. & Peixotto, K., 1999, 'Science inquiry for the classroom: A literature review', *Programme Report*, The Northwst Regional Educational Laboratory, Oregon.
- Howes, E.V., Lim, M. & Campos, J., 2009, 'Journeys into inquiry-based elementary science: Literacy practices, questioning, and empirical study', *Science Education* 93(2), 189–217. <https://doi.org/10.1002/sce.20297>
- Kruckeberg, R., 2006, 'A deweyan perspective on science education: Constructivism, experience, and why we learn science', *Science & Education* 15, 1–30. <https://doi.org/10.1007/s11191-004-4812-9>
- Lederman, N. G. & Lederman, J. S., 2012, 'Nature of scientific knowledge and scientific inquiry: Building instructional capacity through professional development', in *Second international handbook of science education* pp. 335–359, Springer, Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_24
- Liang, L.L. & Gabel, D.L., 2005, 'Effectiveness of a constructivist approach to science instruction for prospective elementary teachers', *International Journal of Science Education* 27(10), 1143–1162. <https://doi.org/10.1080/09500690500069442>
- Martin, D., 2011, *Elementary science methods: A constructivist approach*, Wadsworth Cengage Learning, Belmont.
- McDermott, L. & Shaffer, P., 1992, 'Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding', *American Journal of Physics* 60, 994–1003. <https://doi.org/10.1119/1.17003>
- McFarlane, D.A., 2013, 'Understanding the challenges of science education in the 21st century: New opportunities for scientific literacy', *International Letters of Social and Humanistic Sciences* 4(1), 35–44. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILSHS.4.35>
- Mertens, D. M., 2009, *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods*, 3rd ed., Sage, Thousand Oaks, CA.
- Minner, D. D., Levy, A. J. & Century, J., 2010, 'Inquiry-based science instruction – what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002', *Journal of Research in Science Teaching* 47(4), 474–496. <https://doi.org/10.1002/tea.20347>
- Motala, S., 2014, 'Equity, access and quality in basic education', in T. Meyiwa, M. Nkondo, M. Chitiga-Mabugu, M. Sithole & F. Nyamnjoh, (eds), *State of the nation: South Africa 1994–2014*, pp. 284–295, HSRC Press, Cape Town.
- Mulhall, P., McKittrick, B., & Gunstone, R., 2001, 'A perspective on the resolution of confusions in the teaching of electricity', *Research in Science Education* 31(4), 575–587. <https://doi.org/10.1023/A:1013154125379>
- National Research Council (NRC), 2000, *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*, National Academy Press, Washington, DC.

- Plevyak, L. H., 2007, 'What do preservice teachers learn in an inquiry-based science methods course?', *Journal of Elementary Science Education* 19(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/BF03173650>
- Sampson, V. & Clark, D., 2008, 'Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions', *Science Education* 92, 447–472. <https://doi.org/10.1002/sce.20276>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., et al., 2009, 'Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners', *Journal of Research in Science Teaching* 46, 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Seung, E., Park, S. & Jung, J., 2014, 'Exploring preservice elementary teachers' understanding of the essential features of inquiry-based science teaching using evidence-based reflection', *Research in Science Education* 44(4), 507–529. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9390-x>
- Shaffer, P. S., & McDermott, L. C., 1992, 'Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity Part II: Design of instructional strategies', *American Journal of Physics* 60, 1003–1013. <https://doi.org/10.1119/1.16979>
- Smolleck, L. A. & Nordgren, S. B., 2014, 'Transforming standards-based teaching: Embracing the teaching and learning of science as inquiry in elementary classrooms', *Journal of Education and Human Development* 3(2), 1–19.
- Taber, K.S., 2011a, 'Inquiry teaching, constructivist instruction and effective pedagogy', *Teacher Development* 15, 257–264.
- Taber, K. S., 2011b, 'Constructivism as educational theory: Contingency in learning, and optimally guided instruction', in J. Hassaskhah (ed.), *Educational theory*, pp. 39–61, Nova, New York, NY. <https://doi.org/10.1080/13664530.2011.571515>
- Traianou, A., 2006, 'Teachers' adequacy of subject knowledge in primary science: Assessing constructivist approaches from a sociocultural perspective', *International Journal of Science Education* 28, 827–842. <https://doi.org/10.1080/09500690500404409>
- Tsai, C. H., Chen, H. Y., Chou, C. Y., & Lain, K. D., 2007, 'Current as the key concept of Taiwanese students' understandings of electric circuits', *International Journal of Science Education* 29(4), 483–496. <https://doi.org/10.1080/09500690601073327>
- Varma, T., Volkmann, M., & Hanuscin, D., 2009, 'Preservice elementary teachers' perceptions of their understanding of inquiry and inquiry-based science pedagogy: Influence of an elementary science education methods course and a science field experience', *Journal of Elementary Science Education* 21(4), 1–22. <https://doi.org/10.1007/BF03182354>
- Vygotsky, L., 1978, *Mind in society: The development of higher psychological processes*, Harvard University Press, Cambridge, MA.