



Ontwikkeling van 'n verklarende raamwerk vir die oplossing van elektrisiteitsprobleme



Authors:

Reuben D. Koontse¹ 
Jeanne Kriek¹ 

Affiliations:

¹Institute of Science and Technology, University of South Africa, South Africa

Corresponding author:

Jeanne Kriek,
kriekj@unisa.ac.za

Dates:

Received: 16 Feb. 2017
Accepted: 03 Nov. 2017
Published: 29 Nov. 2017

How to cite this article:

Koontse, R.D. & Kriek, J., 2017, 'Ontwikkeling van 'n verklarende raamwerk vir die oplossing van elektrisiteitsprobleme', *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 36(1), a1442. <https://doi.org/10.4102/satnt.v36i1.1442>

Copyright:

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

Probleemoplossing word as 'n hoërdenkvaardigheid beskou en is as een van die 21ste eeu se kernkondighede ingesluit. Ten einde te illustreer hoe studente se gebruik van 'n spesifieke wiskundige benadering tot 'n bepaalde soort begrip lei wanneer elektrisiteitsprobleme opgelos word, is daar 'n verklarende raamwerk ontwikkel. Hierdie verklarende raamwerk kombineer twee algemeen gebruikte raamwerke, naamlik Wiskundige hulpmiddels (WH) en die Uitgebreide semantiese model (USM), en is in drie subonderwerpe van elektrisiteit, naamlik elektriese stroombane, elektriese krag en elektriese veld, gerasionaliseer. Daar is op 'n interpretivistiese navorsingsparadigma besluit om vyftien eerstejaarstudente se wiskundige benadering in die oplossing van elektrisiteitsprobleme te verduidelik en sin daaruit te maak. Oor die algemeen is daar bevind dat studente meer geneig is om formele wiskundige reëls te aktiveer, selfs wanneer die gebruik van basiese of alledaagse wiskunde, waar intuitiewe kenniselemente en oorspronklike redenering geaktiveer word, doeltreffender sou wees. Die behoefte aan 'n kwalitatiewe, in plaas van kwantitatiewe, benadering in die oplossing van fisika-probleme het aan die lig gekom. Die studie het implikasies vir toekomstige benaderings tot wetenskaponderrig.

Development of an explanatory framework for the solution of electricity problems. Problem solving is considered a higher order thinking skill and is included as one of the 21st century's core competencies. To demonstrate how students' use of a specific mathematical approach leads to a particular type of understanding when solving problems in electricity, an interpretive framework was developed. This interpretive framework combined two extensively used frameworks, namely Mathematical Resources (MR) and Extended Semantic Model (ESM) and was rationalised in electricity subtopics namely electric circuit, electric force and electric field. An interpretivist research paradigm was chosen to explain and derive meaning from fifteen first year physics students' mathematical approaches in solving electricity problems. In general, students were found to be more inclined to activate formal mathematical rules, even when the use of basic or everyday mathematics that require activation of intuitive knowledge elements and reasoning primitives, would be more efficient. The need for a qualitative approach to solving physics problems rather than a quantitative one was presented and this has implications for future approaches to teaching science.

Inleiding

'From all the difficulties students have while trying to understand physics, the ones with mathematics are of the more remarkable, at least for physics teachers' (Greca & Pereira de Ataíde 2016). Studente se gebruik van wiskunde-in-fisika is egter al breedvoerig bestudeer (Kuo et al. 2013; Redish 2005; Tuminaro 2004). Sommige studies dui op wiskunde as onontbeerlik in die leer van fisika (Ayene, Dantie & Kriek 2010), terwyl ander wiskunde as 'n hindernis uitbeeld (Koichu 2010). Sommige (Uhdén et al. 2012) redeneer egter steeds dat kennis oor die ondersteunende gebruik van wiskunde in studente se leer van fisika gefragmenteerd is.

Die meeste studies op die gebied van wiskunde-in-fisika was tot dusver gerig op studente se gebruik en begrip van wiskunde-in-fisika (Kuo et al. 2013; Larkin 1980; Sherin 2001). Daar is hoofsaaklik ondersoek ingestel oor die manier waarop studente wiskunde-in-fisika gebruik en die effektiwiteit van hulle benadering tot probleemoplossing. Daar is egter nie baie studies gedoen om te bepaal hoe studente se gebruik van 'n spesifieke wiskundige benadering tot 'n bepaalde

Note: This article is partially based on the author's thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Mathematics, Science and Technology Education in the subject Physics Education at the University of South Africa, South Africa, with supervisor Prof. J. Kriek, April 2015, available here: http://uir.unisa.ac.za/bitstream/handle/10500/18602/thesis_koontse_rd.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Read online:



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

tipe begrip lei wanneer probleme opgelos word nie. Ten einde dit te illustreer is 'n verklarende raamwerk ontwikkel.

Hierdie navorsing kan tot 'n praktiese benadering bydra wanneer die oplossing van elektrisiteitsprobleme geëvalueer word. Daar is op elektrisiteit as fisikaonderwerp besluit, aangesien vroeë oor elektrisiteit die eksplisiete gebruik van wiskunde behels. Die fokus op probleemoplossing is ook omdat dit as 'n denkvaardigheid van 'n hoër orde beskou word en as een van die 21ste-eeuse kernkondighede ingesluit is.

Ontwikkeling van 'n verklarende raamwerk

In die ontwikkeling van 'n gepaste raamwerk is twee algemeen gebruikte raamwerke, naamlik WH en die USM gekombineer. Ten einde die kombinasie van die twee raamwerke te rasionaliseer, is elektriese stroombane, elektriese krag en elektriese veld as subonderwerpe van elektrisiteit gekies.

Wiskundige hulpmiddels

Wiskundige hulpmiddels verteenwoordig die spektrum van wiskundige kenniselemente wat geaktiveer behoort te word wanneer studente elektrisiteitsprobleme oplos, naamlik intuitiewe wiskundige kennis ('*intuitive mathematics knowledge*'), oorspronklike redenering ('*reasoning primitives*'), simboliese vorms ('*symbolic forms*') en verklarende meganismes ('*interpretive devices*') (Tuminaro 2004). Hierdie komponente word vervolgens kortliks verduidelik.

Intuitiewe wiskundige kennis word as basiese wiskundekennis beskryf soos tel en kitsskatting ('*subitizing*') wat op 'n baie vroeë ouderdom geleer word. Kitsskatting word verduidelik as '*the ability that humans have to immediately differentiate sets of one, two and three objects from each other*' (Tuminaro 2004). Voorbeelde van intuitiewe wiskundige kennis word hier onder in Tabel 1 gelys.

Oorspronklike redenering, afgelei van DiSessa' p-prims (1993), is abstraksies van alledaagse ervarings wat die veralgemening van groepe voorwerpe en invloede behels. Verdere voorbeelde van oorspronklike redenering en beskrywings daarvan is in Tabel 2 hieronder gelys (Tuminaro 2004).

Simboliese vorms is 'n raamwerk ter verduideliking van die manier waarop fisikastudente en sommige fisici fisikavergelykings beskou en toepas (Tuminaro 2004; Sherin

1996, 2001, 2006). Simboliese vorms word gekarakteriseer as bestaande uit twee elemente, naamlik die simbooltemplaet en die konseptuele skema. Die simboliese templaet verduidelik die virtuele strukture waardeur wiskundige uitdrukkings bestudeer word, en die konseptuele skema is die idee wat in die vergelyking uitgedruk moet word.

Verklarende meganismes word beskryf as redeneerstrategieë wat in die interpretasie van fisikavergelykings gebruik word (Sherin 1996, 2001, 2006). Hulle word in formele verklarende meganismes en intuitiewe verklarende meganismes gekategoriseer, waar eersgenoemde op die formele eienskappe van vergelykings aangewese is, en laasgenoemde uit algemene redenering ontleen word en op fisikavergelykings toegepas word (Tuminaro 2004).

Uitgebreide semantiese model

Die USM is 'n wetenskaplike probleemoplossings- en redeneermodel wat hoofsaaklik op konseptuele begrip gefokus is. Dit is deur Greeno (1989) ontwikkel en het ten doel om sin te maak van studente se stapsgewyse bewerkings wanneer probleme opgelos word.

Volgens die USM kan die volgende kennisdomeine in probleemoplossing geïdentifiseer word: *konkreet*, *modelgebaseer*, *abstrak* en *simbolies*. Die konkrete kennisdomein behels fisiese voorwerpe en gebeure, terwyl die modelgebaseerde domein oor realiteits- en abstraksiemodelle gaan. Die abstrakte domein sluit konsepte, wette en beginsels in, en die simboliese domein is gemoeid met taal en algebra. Elkeen van hierdie vier domeine bestaan uit twee lae, laag *a* en laag *b*. Laag *a* bevat onafhanklike items, of kennissegmente, terwyl die geassosieerde laag *b*-strukture van hierdie items bevat, m.a.w. betekenisvolle kombinasies of strukture van die kennissegmente (Gaigher 2006).

Die WHs, sowel as die USM, is met die gekose subonderwerpe van elektrisiteit saamgesmelt. Hierdie verklarende raamwerk is MATHRICITY genoem, 'n samestelling van die eerste gedeelte van die woord MATHematics en die laaste gedeelte van die woord electRICITY (sien Figuur 1).

'n Logiese verwagting is dat wanneer studente werk aan 'n subonderwerp, byvoorbeeld elektriese veld, 'n bepaalde wiskundige hulpmiddel geaktiveer sal word. Die wiskundige hulpmiddel dui op 'n wiskundige benadering. Op grond van die wiskundige benadering wat toegepas is, sal 'n bepaalde

TABEL 1: Beskrywing van intuitiewe wiskundige kennis.

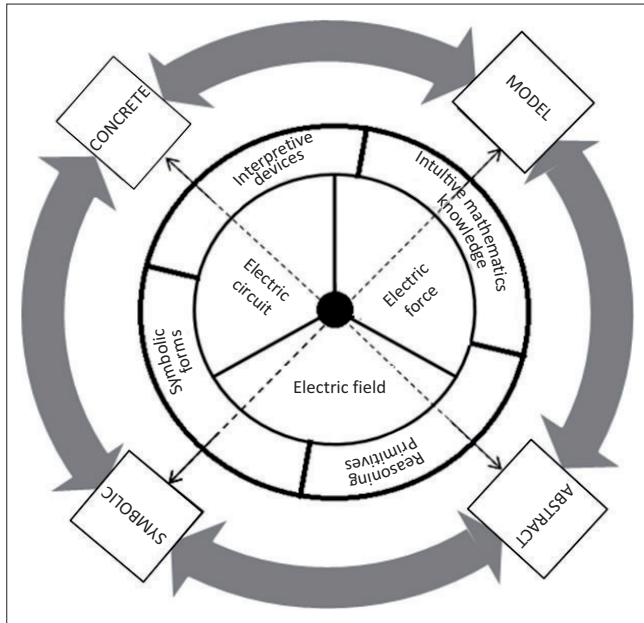
Hulpmiddels	Beskrywing: Die vermoë om:
Kitsskatting	tussen stelle van een, twee en drie voorwerpe te onderskei
Tel	'n reeks voorwerpe op of af te tel
Afparing	twee voorwerpe vir gesamentlike oorweging te groepeer
Ordering	die relatiewe groottes van wiskundige voorwerpe te rangorden

Bron: Gebaseer op Tuminaro, J., 2004, 'A cognitive framework for analyzing and describing introductory students' use and understanding of mathematics in physics', unpublished Ph.D. thesis, p. 45, University of Maryland, College Park

TABEL 2: Bespreking van oorspronklike redenering.

Tipes	Beskrywing: Die abstrakte idee dat:
Blokkering	lewelose voorwerpe nie aktiewe agente in enige fisiese scenario is nie
Uitskakeling	twee teenstellende invloede op die verkryging van onderling uitsluitende resultate gerig is, waar een van hierdie invloede die ander uitskakel
Balansering	twee teenstellende invloede mekaar uitkanselleer sonder dat enige skynbare resultaat verkry is
Meer is meer	meer van een kwantiteit meer van 'n verwante kwantiteit impliseer

Bron: Gebaseer op Tuminaro, J., 2004, 'A cognitive framework for analyzing and describing introductory students' use and understanding of mathematics in physics', unpublished Ph.D. thesis, p. 46, University of Maryland, College Park



Bron: Gebaseer op Koonste, R.D., 2015, 'The role of mathematics in first year students' understanding of electricity problems in physics', Ph.D. thesis, p. 71, University of South Africa, South Africa

FIGUUR 1: Mathricity.

tipe begrip na vore kom. Hierdie tipe begrip sal deur studente se bewustheid van 'n spesifieke kennisdomein of kombinasie van USM-domeine aangetoon word.

Metodologie

Daar is op 'n interpretiwistiese navorsingsparadigma besluit om te ondersoek hoe die gebruik van eerstejaarstudente, wat vir 'n algebragebaseerde fisikakursus aan die Universiteit van Botswana (UB) ingeskryf is, van 'n spesifieke wiskundige benadering in die oplossing van elektrisiteitsprobleme tot 'n bepaalde tipe begrip kan lei.

Die antwoordstelsel van twee toetse is as instrumente gebruik. Die eerste toets het uit vrae oor elektriese krag en elektriese veld bestaan, terwyl die tweede toets vrae ook elektriese stroombane bevat het.

Die spesifieke vrae in die toets was nog nooit voorheen deur die studente gesien nie. Tydens die amptelike lesings waar elektrisiteit as fisikaonderwerp onderrig is, is verskillende voorbeelde van byvoorbeeld elektriese krag, elektriese veld en potensiële elektriese energie egter bespreek en verduidelik.

Albei toetse is gemodereer ten einde geldigheid en betroubaarheid te verseker. Nadat 'n toets opgestel is, en voordat dit aan die studente gegee is, het 'n span fisikadosente vergader om die toepaslikheid, vlak en tyd te assesser wat elke vraag sou vereis. Verder is die navorser van die inhoud se geldigheid verseker, aangesien aangetoon is dat die vrae in die toets die kursusplan akkuraat weerspieël.

Daar was ses tutoriale groepe wat uit ongeveer 32 studente elk bestaan [$N = 193$]. Dertig (30) antwoordstelsel (10 uit 3 lukraak bestudeerde tutoriale groepe) is vir ontleding

gekopieer nadat studente se ingeligte toestemming verkry is. Elkeen van hierdie dertig antwoordstelsel is noukeurig bestudeer en vyftien geselekteer vir meer gedetailleerde ontleding. Dit is gevolg deur 'n verdere sifting vir variasie met betrekking tot studente se benadering en gebruik van wiskunde in die oplossing van die elektrisiteitsprobleme. Die data is uit studente se antwoordstelsel versamel nadat die onderwerp, elektrisiteit, geassesseer is.

Tydens die loodsondersoek is MATHRICITY as verklarende raamwerk vir die eerste keer op 'n tipiese eerstejaar-elektrisiteitsprobleem toegepas. Ten einde die haalbaarheid daarvan te toets, is vraag en oplossing in 'n tipiese elektrisiteitshandboek vir eerstejaars aan die hand van die raamwerk se twee komponente ontleed: WHs en die USM. 'n Stap-vir-stap-uiteensetting van die oplossings van drie studente het die identifisering van wiskundige benaderings aan die hand van die geaktiveerde WH moontlik gemaak. Dieselfde stap-vir-stap-ontleding het lig gewerp op studente se begrip soos aangetoon deur hulle bewustheid of oordrag tussen USM-kennisdomeine.

In die analise in die studie is daar op drie vrae van die twee toetse oor elektrisiteit gefokus. Uit toets 1, is twee vrae ondersoek, naamlik elektriese krag – vraag $1A_1$ en elektriese veld – vraag $1B_2$. Die derde vraag, $2B_2$ is uit toets 2 geneem en roer die onderwerp van elektriese stroombane aan. Die voorvoegsels 1 en 2 is gebruik om te onderskei tussen 'n vraag uit toets 1 en 2, respektiewelik. Die letters A en B het weer die verskillende seksies A of B aangedui in die toets. Die onderskrif het die nommer van die vraag (1, 2, 3...) in 'n bepaalde toets, wat geanaliseer is, aangedui. Die vrae is om 'n bepaalde rede uitgesoek, om seker te maak dat dit al die subonderwerpe van elektrisiteit, naamlik elektriese krag, elektriese veld en elektriese stroombane aanraak soos bepaal deur die USM-kennisdomeine.

Elk van die drie geselekteerde vrae van die vyftien studente is geëvalueer (Koonste 2015).

Resultate

Die studente se oplossing van die elektrisiteitsprobleme is geëvalueer deur MATHRICITY toe te pas. As illustrasie is slegs een vraag gebruik, en die resultate is op twee maniere aangebied. Eerstens is 'n algemene ontleding van al 15 studente se antwoorde op die betrokke vraag aangetoon en tweedens is 'n indringende ontleding van een student (S_1) se oplossing van die probleem aangebied om te illustreer hoe die gebruik van 'n spesifieke wiskundige benadering tot 'n bepaalde tipe begrip lei.

Die vraag (elektriese krag tussen twee puntladings) lui soos volg:

Die aantrekkingskrag tussen twee elektriese puntladings wat op 'n afstand d in 'n medium geplaas is, is F . Hoe ver behoort hulle in dieselfde medium van mekaar af gehou te word sodat die krag tussen hulle $F/3$ word?

Algemene ontleding

In die algemene ontleding het al 15 studente hulle oplossing begin deur Coulomb se vergelyking neer te skryf; $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ sonder enige aanduiding waarom hulle dit nodig geag het om die vergelyking te gebruik. Met betrekking tot die bestaande WH, kon hierdie waarneming nie geïdentifiseer word nie en is dit dus as *onbekende wiskundige hulpmiddel 1* aangewys.

Ander studente het op lukrake wyse eenhede aan die einde van hulle oplossings bygevoeg, sonder enige motivering. Hierdie spesifieke stap in die studente se oplossing is ook as 'n onidentifiseerbare wiskundige hulpmiddel aangeteken en is as *onbekende wiskundige hulpmiddel 2* aangewys.

Die geaktiveerde WH wat met die oplossing van hierdie probleem gebruik is, was *verklarende meganismes, intuïtiewe wiskundige kennis en simboliese vorms*. Die meeste van die studente (13/15) het van verklarende meganismes gebruik gemaak, terwyl intuïtiewe wiskundige kennis (1/15) en simboliese vorms (1/15) die minste aftrek gekry het. *Oorspronklike redenering* is glad nie by enige van die studente se oplossings geaktiveer nie.

Bewustheid van die *abstrakte, simboliese en konkrete kennisdomeine* het by al die studente voorrang geniet, hoewel die simboliese domein die gewildste was. Die *modelgebaseerde domein* het nie in enige van die studente se stappe verskyn nie.

Grondige ontleding

'n Grondige ontleding is op student (S_1) se oplossing toegepas ten einde te illustreer hoe studente se gebruik van 'n spesifieke wiskundige benadering tot 'n bepaalde tipe begrip lei (sien Figuur 2).

'n Stap-vir-stap-uiteensetting van student S_1 se oplossing soos ontleed deur van MATHRICITY gebruik te maak word in Tabel 3 verteenwoordig.

Wiskundige hulpmiddels

In stap 1 het die student die vergelyking $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ neergeskryf sonder ekplisiete verwysing na Coulomb se wet. Dit is egter onduidelik hoe die student slegs met die lees van die vraag by die vergelyking uitgekome het. Uit die neerskryf van die vergelyking kan mens egter nie aanneem dat die student die konsep verstaan nie; die student kon die vergelyking dalk gememoriseer en net lukraak neergeskryf het. Aangesien die analise deur middel van WH gedoen is, kon die neerskryf nie deur die aktivering van 'n bekende wiskundige hulpmiddel verklaar word nie en hierdie stap is dus as *onbekende hulpmiddel 1* aangewys.

Van stap 1 na stap 2 het die student r^2 met d^2 , en k met die numeriese waarde 9×10^9 vervang. Vervanging in probleemoplossing is 'n tegniek wat toegepas word met die

Bron: Gebaseer op Koonste, R.D., 2015, 'The role of mathematics in first year students' understanding of electricity problems in physics', Ph.D. thesis, p. 114, University of South Africa, South Africa

FIGUUR 2: Student S_1 se oplossing vir die vraag oor elektriese krag.

befes dat een entiteit 'n ander kan vervang. Die geaktiveerde wiskundige hulpmiddel is *verklarende meganisme* en verder gekategoriseer as *intuïtiewe verklarende meganismes*.

Met betrekking tot die vergelyking in stap 3, $\frac{F}{3} = 9.0 \times 10^9 \frac{q_1 q_2}{x}$ het die student die simbool x vir 'n onbekende hoeveelheid, naamlik afstand, gebruik. Die gebruik van 'n nuwe simbool (veral x) vir 'n onbekende hoeveelheid is 'n standaard-wiskundige prosedure en dui dus op die aktivering van die wiskundige hulpmiddel, *verklarende meganisme* se subkategorie, naamlik *formele verklarende meganismes*.

Alhoewel dit nie korrek gedoen is nie, blyk dit dat stappe 2 tot 4 en stappe 3 tot 5 vir albei vergelykings 'n poging tot wiskundige kansellasië is. Hier is *simboliese vorms* as wiskundige hulpmiddel geaktiveer. Die student het na die strukturele vorm (simbooltemplaot) van die twee vergelykings ($F = \frac{9 \times 10^9 x q_1 x q_2}{d^2}$ en $\frac{F}{3} = \frac{9 \times 10^9 x q_1 x q_2}{x}$) gekyk en die ooreenkomstige in 'n gedeelte van hulle vorm (tellers) opgemerk. Die gedeeltelike simbooltemplaot is $F = \frac{\Delta}{d^2}$ en $\frac{F}{3} = \frac{\Delta}{x}$. Die student het die 'rr' in albei vergelykings gekanselleer, en 1 het in albei gevalle as teller oorgebly.

Stap 6 toon kruisvermenigvuldiging, terwyl stap 4 en 5 die oplossing van gelyktydige vergelykings toon. Gelyktydige vergelykings, sowel as kruisvermenigvuldiging, is albei

TABEL 3: Ontleding van student S₁ se oplossing oor elektriese krag.

Stap	Aktiwiteit	Beskrywing van aktiwiteit	Geaktiveerde wiskundige hulpmiddel	Bewustheid/oordrag tussen USM-domeine
1	$F_e = k_e q_1 q_2 / r^2$	Coulomb se wet neergeskryf	Onbekende hulpmiddel 1	Abstrakte, laag b
2	$F = (9 \times 10^9 x q_1 x q_2) / d^2$	Die konstante k_e met syfers vervang, en die afstand as d uitgedruk (in stap 1 is dit as r uitgedruk)	Intuitiewe wiskundige kennis	Simbolies, laag b
3	$\frac{F}{3} = (9 \times 10^9 x q_1 x q_2) / x$	Vergelyking geskryf vir 'sodat die krag tussen hulle $F/3$ word' Konstante k_e is vervang en onbekende afstand is as x uitgedruk	Verklarende meganismes Verklarende meganismes	Simbolies, laag b Simbolies, laag b
4	$F = 1/d^2$	Die teller van stap 2 verdwyn	Verklarende meganismes	Simbolies, laag b
5	$F = \frac{1}{x}$	Die teller van stap 3 verdwyn	Verklarende meganismes	Simbolies, laag b
6	$\frac{1}{x} = 1/d^2$	Vergelykings in stappe 4 en 5 word gelyktydig opgelos	Verklarende meganismes	Simbolies, laag b
7	$d^2 = x$	Items in die vergelyking in stap 6 word kruisvermenigvuldig	Simboliese vorm	Simbolies, laag b
8	<i>It should be kept at d^2</i>	'n Bewoorde stelling word as antwoord op die vraag verskaf	Verklarende meganismes	Simbolies, laag b

Bron: Gebaseer op Koonste, R.D., 2015, 'The role of mathematics in first year students' understanding of electricity problems in physics', Ph.D. thesis, p. 116, University of South Africa, South Africa

standaard-wiskundige prosedures, en aktiveer dus *formele verklarende meganismes*.

Slegs *oorspronklike redenering* as tipe wiskundige hulpmiddel is glad nie in student S₁ se oplossing van hierdie probleem gebruik nie. Die student het geen basiese alledaagse wiskunde gebruik nie.

Uitgebreide semantiese model

Die vermoë om die fisiese situasie wiskundig uit te druk deur Coulomb se wet in die eerste reël van die oplossing neer te skryf, plaas die student se kennis in die *abstrakte domein*; 'n wet word gebruik om 'die fisiese of konkrete aspek te verduidelik'. Dit is moontlik dat die student die bewoorde beskrywing tot 'n vergelyking omskep het wat Coulomb se wet verbeeld. Alternatiewelik, omdat die student van die konteks bewus was, is Coulomb se wet in sy geheue geaktiveer. Die student het egter in die *simboliese domein* bly werk, aangesien hy die waarde van die Coulomb se konstante vervang het en in stap 3 in die vergelyking die onbekende afstand as simbool x aangewys het. Die daaropvolgende 'wiskunde van algebra' wat tot die oplossing van stap 4 tot stap 7 lei, toon (alhoewel verkeerd) steeds 'n simboliese benadering.

Die *modelgebaseerde domein* waar diagramme gebruik kan word om verskynsels te verteenwoordig, kom glad nie in hierdie student se werk voor nie.

Uit die oplossing kon die student moontlik die fisiese betekenis (*konkrete domein*) van die probleem konstrueer. Dit sou die geval gewees het indien die student besef het dat die krag tussen twee ladings slegs kan afneem (van F na $F/3$) indien die afstand toeneem. Die wiskunde wat egter tot d^2 (stap 7) lei, dui nie daarop nie. Dit is verkeerd en daarom kan daar nie afgelei word dat d^2 fisies betekenisvol is nie, selfs nie vir die student nie. Verder dui die frase 'dit behoort gehou te word' (stap 8) in plaas van 'dit behoort verander te word' ook daarop dat die student dink dat die oorspronklike afstand dieselfde as die finale afstand is. Daar is dus geen

aanduiding van die *konkrete domein* nie, daarom slegs die USM-laag b.

Nog voorbeelde van hoe MATRICITY as raamwerk toegepas is om bepaalde tipe begrippe in elektrisiteitsprobleme na vore te bring kan verkry word in Koonste (2015).

Gevolgtrekking

'n Praktiese benadering is gevolg om studente se oplossing van elektrisiteitsprobleme te evalueer. Tydens die studente se evaluering is daar twee nuwe WH geïdentifiseer, naamlik *onbekende wiskundige hulpmiddels 1* en 2. Hierdie twee WH is hernoem en sal in die vervolg as 'erkende aanwyser' en 'besef van noukeurigheid' bekend staan.

Ten einde te illustreer hoe studente se gebruik van 'n spesifieke wiskundige benadering tot 'n bepaalde tipe begrip van elektrisiteit lei, is daar van 'n verklarende raamwerk MATRICITY gebruik gemaak. MATRICITY is spesifiek ontwerp vir elektrisiteitsprobleme waar WHs die spektrum van wiskundige kenniselemente wat geaktiveer behoort te word, verteenwoordig en die USM die kennisdomeine in probleemoplossing identifiseer.

Studente gebruik en steek vas by die kenniselement, verklarende meganismes wanneer fisikaprobleme in elektrisiteit opgelos word, selfs al is dit nie die beste benadering nie. Die kennisdomeine wat na vore kom as studente se begrip, is steeds in wiskunde vergelykings waar simbole gemanipuleer word (simboliese domein).

In studente se oplossing vir elektrisiteitsprobleme kry uitgebreide wiskundige formalisme (verklarende meganismes) voorkeur bo basiese wiskunde (oorspronklike redenering). Dit lei tot die oorheersing van 'n bewustheid van die simboliese domein; daar word dus op simboliese maniere gefokus om 'n probleem deur die wiskunde van algebra voor te stel. Bewustheid van die konkrete domein, waar daar op die ontwikkeling van intuïsie gefokus word wat studente help om fisies sin te maak uit die fisikaprobleme wat hulle oplos, ontbreek.

Beperkinge

Die feit dat slegs een voorbeeld bespreek is, is problematies. Meer voorbeelde sou beter illustreer hoe studente se gebruik van 'n spesifieke wiskundige benadering tot 'n bepaalde soort begrip lei. Die beperking is egter moontlik oorkom deur eers 'n oorsig van die algemene ontleding van al 15 studente se antwoorde op die betrokke vraag voor te stel en daarna deur die gebruik van 'n spesifieke voorbeeld aan te toon hoe MATHRICITY gebruik is.

Aanbevelings

Die uitkoms van hierdie studie, met behulp van MATHRICITY, beklemtoon dat daar eerder 'n behoefte aan 'n kwalitatiewe as 'n kwantitatiewe benadering is. Dit het implikasies vir toekomstige benaderings in wetenskaponderrig, en strook met Albert Einstein se aanhaling deur Tinkers, Lambourne en Windsor (1999:223): '*... the view that qualitative thought must precede quantitative calculations is neither new nor an invention of educationalists, yet as physics teachers we often forget this basic point*'. Klaarblyklik moet dit nogmaals beklemtoon word, selfs in wetenskaponderrig in die 21ste eeu.

Alhoewel die nut gedemonstreer is van die verklarende raamwerk MATHRICITY wat in hierdie studie ontwikkel is, moet dit deur verdere data gestaaf word. Dit kan dan verfyn word, en in 'n rekenaarmodel ontwikkel word. Die model behoort gebruik te word om studente se wiskundige benaderings in subonderwerpe van elektrisiteit as insetdata in te voer, en dan van die resulterende geaktiveerde WHs en kennisdomeine as uitsetdata kennis te neem. Indien dit doeltreffend is, behoort soortgelyke modelle op ander fisikaonderwerpe toegepas te kan word. Op hierdie wyse sal ons aan studente se effektiewe gebruik aandag kan gee.

Erkenning

Mededingende belange

Die outeur verklaar dat hy geen finansiële of persoonlike verbintenis met enige party wat hom nadelig of voordelig kon beïnvloed het in die skryf van hierdie artikel nie.

Outeursbydrae

Hierdie artikel is geskryf gebaseer op die eerste outeur, R.K., se PhD met J.K. as toesighouer.

Literatuurverwysings

- Ayene, M., Dantie, B. & Kriek, J., 2010, 'Mismatch between the progression of the mathematics course and the level of mathematics required to do advanced physics', *Latin-American Journal of Physics Education* 4(3), 538–546.
- DiSessa, A.A., 1993, 'Toward an epistemology of physics', *Cognition and Instruction* 10(23), 105–225. <https://doi.org/10.1080/07370008.1985.9649008>
- Gaigher, E., 2006, 'The effect of a structured problem-solving strategy on performance and conceptual understanding in physics: A study in disadvantaged South African schools', unpublished Ph.D. thesis, University of Pretoria, South Africa.
- Greca, I.M. & Pereira de Ataíde, A.R., 2016, 'The influence of epistemic views about the relationship between physics and mathematics in understanding physics concepts and problem solving', in T. Greczyło & E. Dębowska (eds.), *International Conference GIREP EPEC 2015*, Wrocław Poland, July 6–10, vol. 190, pp. 55–64, viewed on 13 August 2016 from <http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-44887-9>
- Greeno, J.G., 1989, 'Situations, mental models, and generative knowledge', in D. Kahr & K. Kotovsky (eds.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon*, pp. 285–318, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Koichu, B., 2010, 'On the relationships between (relatively) advanced mathematical knowledge and (relatively) advanced problem-solving behaviours', *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* 41(2), 257–275. <https://doi.org/10.1080/00207390903399653>
- Koonste, R.D., 2015, 'The role of mathematics in first year students' understanding of electricity problems in physics', Ph.D. thesis, University of South Africa, South Africa.
- Kuo, E., Hull, M.M., Gupta, A. & Elby, A., 2013, 'How students blend conceptual and formal mathematical reasoning in solving physics problems', *Science Education* 97(1), 32–57. <https://doi.org/10.1002/sce.21043>
- Larkin, J.H., 1980, 'Skilled problem solving in physics: A hierarchical planning model', *Journal of Structural Learning* 1, 21–29.
- Redish, E.F., 2005, 'Problem solving and the use of math in physics courses', in a paper delivered at the conference World view on physics education in 2005: Focusing on change, Delhi, India, August 21–26, 2005, pp. 1–10.
- Sherin, B., 1996, *The symbolic basis of physical intuition: A study of two symbol systems in physics instruction*, unpublished doctoral thesis, University of California, Berkeley.
- Sherin, B., 2001, 'How students understand physics equations', *Cognition and Instruction* 19(4), 479–541. https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1904_3
- Sherin, B., 2006, 'Common sense clarified: Intuitive knowledge and its role in physics expertise', *Journal of Research in Science Teaching* 33(6), 535–555. <https://doi.org/10.1002/tea.20136>
- Tinkers, M.H., Lambourne, R.J.A. & Windsor, S.A., 1999, 'Flexible learning approach to physics (FLAP): A review after the first two years', *International Journal of Science Education* 21(2), 213–230. <https://doi.org/10.1080/095006999290796>
- Tuminaro, J., 2004, 'A cognitive framework for analyzing and describing introductory students' use and understanding of mathematics in physics', unpublished Ph.D. thesis, University of Maryland, College Park.
- Uhdén, O., Karam, R., Pietrocola, M. & Pospiech, G., 2012, 'Modeling mathematical reasoning in physics education', *Science and Education* 21, 485–506. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9396-6>