

Vaktaalontwikkeling bij het verklaren van drijven en zinken: een ontwerpstudie naar denkstappen

J. Smit, M.A.R. Gijssels en A. Bakker

Samenvatting

Het W&T-onderwijs op de basisschool kent verschillende uitdagingen, die we in deze ontwerpstudie aangaan door begrips- en (vak)taalontwikkeling tegelijkertijd te ondersteunen. Daartoe ontwikkelden we een taalgerichte lessenserie die het leren verklaren van drijven en zinken, en de daartoe benodigde *denkstappen*, tot doel had. Deze studie evalueert hoe de kwaliteit van de verklaringen en het vaktaalgebruik in de denkstappen zich ontwikkelden. Met een schriftelijke voor- en nameting scoorden we verklaringsniveaus van 21 leerlingen (10–11 jaar) en stelden we een significante vooruitgang in de kwaliteit van verklaringen vast. De ontwikkeling van drie meertalige gevalsstudieleerlingen werd nader geanalyseerd met transcripten van interviewdata die na elk van de zes lessen werden verzameld. De interviewvragen richtten zich op het verklaren van drijven en zinken. Eerst werden de niveaus van de verklaringen van drijven en zinken gescoord. Vervolgens werd de vaktaalontwikkeling beschreven. De verklaringsniveaus en de vaktaalontwikkeling gingen niet altijd gelijk op. Uit een *cross case*-analyse bleek verder een toegenomen frequentie en variatie in gebruik van vaktaalwoorden, en een verschuiving naar wetenschappelijk adequatere verklaringen. Deze studie levert een *proof of principle* van de mogelijkheid om tegelijkertijd de kwaliteit van verklaringen en (vak)taalontwikkeling te bevorderen tijdens een taalgerichte lessenserie waarin het idee van denkstappen centraal staat.

1 Inleiding

De ontwerpstudie waarover hier wordt gerapporteerd beoogt enkele bekende uitdagingen in het onderwijs van Wetenschap en Techniek (W&T) en (vak)taalontwikkeling aan te gaan. W&T-onderwijs betreft vaardigheden bij onderzoeken en ontwerpen, houdingsaspecten, en kennis vanuit het leergebied *Oriëntatie op jezelf en de wereld* (aardrijkskunde, geschiedenis, en natuur en techniek). In deze studie is gekozen voor het domein natuur en techniek.

De eerste uitdaging betreft het realiseren van onderwijs en leeropbrengsten in W&T. Sinds januari 2020 hebben alle basisscholen in Nederland zich verplicht om structureel W&T aan te bieden (Techniekpact, 2013). Ondanks allerlei initiatieven om W&T de klas in te krijgen, wordt in de gemiddelde basisschool in Nederland weinig onderwijstijd aan W&T-inhouden besteed: 4% in Nederland in vergelijking met gemiddeld 10% in andere OESO-landen (Inspectie van het Onderwijs, 2017; Meelissen et al., 2012). Bovendien hebben leraren basisonderwijs doorgaans weinig vakinhoudelijke en vakdidactische kennis van natuurwetenschap en techniek, en is het vertrouwen in het eigen kennen en kunnen (*self-efficacy*) gering (Van Aalderen-Smeets, Walma van der Molen, Van Hest, & Poortman, 2017). Wat betreft de leerresultaten in het W&T-basisonderwijs toont het TIMMS-onderzoek van 2015 op de toets natuuronderwijs een lichte neerwaartse trend voor Nederlandse leerlingen in groep 6 (Meelissen & Punter, 2016). Verder laat een recente peiling van de Inspectie van het Onderwijs (2017) grote verschillen onder leerlingen zien in kennis en vaardigheden bij natuur en techniek, en blijken leerlingen met Nederlands als moedertaal bovendien over meer kennis te beschikken dan leerlingen met een andere moedertaal.

Een tweede en gerelateerde uitdaging behelst het interpreteren en verwezenlijken van de gestelde kerndoelen voor natuur en techniek. Er zijn zeven kerndoelen geformuleerd die globaal beschrijven wat leerlingen zouden moeten kennen en kunnen, zonder specificatie van beoogde conceptuele ontwikkeling. Het kerndoel dat het meest raakt aan deze studie, stelt dat leerlingen leren onderzoek te doen naar materialen en natuurkundige verschijnselen. Onderzoek doen behelst in de onderwijspraktijk vaak een focus op procedures en ontwikkeling van vaardigheden, en een faciliterende rol van de leerkracht op gepaste afstand van de zelf ontdekkende leerling (Velthorst, Oosterheert, & Brouwer, 2011). Het onderwijs in W&T is dan ook meer *hands-on* dan *minds-on*: proefjes zijn voornamelijk gericht op het wekken van verwondering en interesse, en minder op begripsontwikkeling (Van Keulen, 2009). Het richtinggevend leerplankader voor het leergebied *Oriëntatie op jezelf en de wereld* (Van Graft & Klein Tank, 2018) richt de aandacht echter ook op het formuleren van inzichten die aangeven welke *kennis* leerlingen moeten opdoen. Van den Berg (2010) pleitte in zijn lectorale rede al voor de combinatie van hands-on en minds-on en spreekt in dit kader van “heen-en-weer denken tussen de Wereld van Ideeën en de Wereld van Dingen” (p. 9). Internationaal lijkt de situatie vergelijkbaar met die in Nederland: Zo is geconstateerd dat de nadruk op procedures, waarbij de empirische cyclus vaak als simplistisch stappenplan wordt opgevat, ten koste gaat van conceptuele kennis (Furtak & Penuel, 2019; Windschitl, Thompson, & Braaten, 2008). In de Amerikaanse *Next Generation Science Standards* (NGSS; 2013) wordt de combinatie van actief (hands-on) leren met het ontwikkelen van kennis en inzicht (minds-on) dan ook bepleit.

Om te verwezenlijken dat naast hands-on ook minds-on leren wordt bevorderd in de W&T-les, is taal onmisbaar. Taal maakt namelijk sociale interactie over leerinhouden mogelijk, alsmede individuele begripsontwikkeling (Vygotsky, 1962). In de wezenlijke rol van taal ligt een derde

uitdaging van het huidige W&T-onderwijs besloten. Het taalgebruik bij W&T is complex: zowel autochtone leerlingen met een beperkt talig fundament als leerlingen voor wie de instructietaal niet de moedertaal is, zullen daardoor minder goed kunnen deelnemen aan het W&T-onderwijs, of het nu gaat om instructie(materiaal), klasseninteractie, lesactiviteiten, of toetsing. Amerikaans onderzoek laat zien dat basisschoolleerkrachten bij uitstek moeite hebben om leerlingen met een andere moedertaal les te geven in W&T (Banilower et al., 2013; Lee, Luykx, Buxton, & Shaver, 2007). Het is bekend dat docenten in klassen met een hoog percentage anderstalige leerlingen vaak geneigd zijn om taal te veel te versimpelen of te vermijden, waardoor taalbarrières onzichtbaar blijven en kansen voor taalontwikkeling niet worden benut (Lee, 2005). Het inclusieprobleem dat hieruit voortvloeit staat haaks op internationale hervormingsbewegingen die juist *science for all* bepleiten (Karlsson, Nygård Larsson, & Jakobsson, 2018; National Research Council, 2012).

In lijn met de uitgangspunten van taalgericht vakonderwijs (Hajer & Meestringa, 2015), waarin iedere vakles (ook) als een taalles wordt gezien, zoeken wij in deze studie een oplossing door extra aandacht voor benodigde (vak)taal in het ontwerp en de uitvoer van W&T-lessen te realiseren. De oplossingsrichting van taalgericht vakonderwijs wordt ondersteund door onderzoek (Brinton, Snow, & Wesche, 2003; Bunch, 2013; Smit, 2013) en is in lijn met de voorstellen van Curriculum.nu voor het basisonderwijs en de Curriculumspiegel (SLO, 2017), waarin wordt gesteld dat in alle vakken taal een cruciale rol speelt bij het verwerven van kennis en vaardigheden. Hoewel er zowel internationaal (bijv. Cervetti, Barber, Dorph, Pearson, & Goldschmidt, 2012; Yore, Bisanz, & Hand, 2003) als nationaal (bijv. Henrichs & Leseman, 2014; Van der Graaf, Van de Sande, Gijssels, & Segers, 2019) verschillende initiatieven zijn geweest om taalontwikkeling expliciet centraal te stellen in het W&T-onderwijs, is nog weinig onderzocht hoe

vakspecifieke taal- en begripsontwikkeling in de W&T-les tegelijkertijd kunnen worden bevorderd, wat daarbij de te verwachten opbrengsten zijn, en in hoeverre de opbrengst in verhouding staat tot de geleverde inspanning.

Deze vraagstukken lenen zich voor ontwerpgericht onderzoek, omdat nog onduidelijk is hoe gewenste leerdoelen kunnen worden bereikt (McKenney & Reeves, 2018). Centraal staat het onderwerp drijven en zinken, in het bijzonder het verklaren ervan. De theoretische nadruk van dit artikel ligt op het nieuwe idee van *denkstappen*, dat in onze optiek de potentie heeft om een geschikte focus te zijn van de verschillende geformuleerde leerdoelen (begripsontwikkeling en taalontwikkeling), concreet genoeg is voor de leerkracht om mee te werken, en geschikt is om de analyse op te richten. We gaan ervan uit dat deze conceptuele focus theoretische generalisatie mogelijk maakt naar andere onderwerpen, leerjaren en contexten (cf. Bakker & Smit, 2017), in lijn met het pleidooi van diSessa en Cobb (2004) dat ontwerponderzoek ook aan theorievorming zou moeten bijdragen.

Het doel van dit artikel is samen te vatten hoe we de genoemde leerdoelen hebben proberen te verwezenlijken in een klas met veel meertalige leerlingen, en te evalueren hoe deze leerlingen zich ontwikkeld hebben in het verwoorden van denkstappen bij het verklaren van drijven en zinken. We bespreken daartoe achtereenvolgens de theoretische achtergrond van het ontwerp van deze studie en de methode, waarna een evaluatie volgt van de vooruitgang in verklaringen in de hele klas, en een analyse van de verklaringen en vaktaalontwikkeling bij drie gevalsstudie-leerlingen die na elke les kort zijn geïnterviewd. Tot slot bespreken we de resultaten en reflecteren we op het ontwerp en onze focus op denkstappen.

specifiek onderscheiden diSessa en Cobb (2004) onder andere *orienting frameworks*, *frameworks for action*, en domeinspecifieke kaders. Ze betogen dat de concretere en “lokale” raamwerken weliswaar een oriëntatie en mogelijke acties suggereren maar uiteindelijk weinig houvast bieden bij ontwerpbeslissingen. In de zoektocht naar concepten die elementen van verschillende relevante raamwerken combineren, en tegelijkertijd kunnen dienen als focus bij ontwerp, doceren en analyse, kwamen wij uit op het concept “denkstappen”. In deze paragraaf bespreken we de raamwerken die achtergrondinspiratie boden (2.1) en het domeinspecifieke onderwerp van drijven en zinken (2.2), waarna we dieper ingaan op het idee van denkstappen (2.3).

2.1 Taal centraal in de W&T-les

Op het algemene niveau van wat diSessa en Cobb (2004) *orienting frameworks* noemen, vertrekken we vanuit sociaal-culturele theorie (Vygotsky, 1962) en systemisch-functionele linguïstiek (Halliday, 1978), die een theoretische oriëntatie bieden, maar niet direct het ontwerp informeren. Sociaal-culturele theorie representeert een visie op leren als activiteit die plaatsvindt in culturele praktijken waarbij taal wordt gezien als *mediating tool* die cruciaal is voor zowel sociale interactie als voor de denkontwikkeling van individuen. Voor het verklaren van een natuurlijk fenomeen (hier: drijven en zinken) is het onderscheid tussen alledaagse en wetenschappelijke concepten essentieel. In wetenschappelijke concepten (in deze studie bijvoorbeeld ‘dichtheid’) wordt de essentie van bepaalde vakinhoud preciezer en compacter samengevat dan in dagelijkse taal mogelijk is (Van der Veer, 1994). Systemisch-functionele linguïstiek is een stroming waarin taal wordt gezien als middel om betekenis te verlenen en sociale doelen te bereiken. In W&T-onderwijs ligt de nadruk daarmee niet zozeer op losse concepten, maar op patronen (*thematic patterns*) waarin concepten onderling verbonden zijn en op die manier betekenis krijgen (Lemke, 1990). Het leren van W&T behelst het leren van *talking science*, met taal als cruciale tool om aan

2 Theoretische achtergrond

Bij ontwerponderzoek kunnen theoretische raamwerken van verschillende aard een inspiratiebron vormen. Van algemeen naar

allerlei doelgerichte handelingen deel te nemen, zoals beargumenteren, theoretiseren, evalueren en verklaren.

Op het niveau direct onder dat van *orienting frameworks* onderscheiden diSessa en Cobb (2004) *frameworks for action*: generieke, richtinggevende kaders voor het ontwerp, die geen ontwerpbeslissingen op detailniveau informeren. *Frameworks for action* in deze studie zijn *scaffolding* (Wood, Bruner, & Ross, 1976) en genredidactiek (Hyland, 2007). *Scaffolding*, als metafoor voor adaptieve, tijdelijke hulp gericht op overdracht naar zelfstandigheid (Van de Pol, Volman, & Beishuizen, 2010), richt zich in deze studie op de ontwikkeling van vaktaal die nodig is om te participeren in de W&T-les, ook wel getypeerd als cognitief-academisch taalgebruik (CAT; Cummins, 1984). Deze vaktaal is gedecontextualiseerd, abstract, onpersoonlijk en compact, en maakt gebruik van vakspecifieke woorden (Gibbons, 2002). Om leerlingen met een minder sterk talig fundament of een andere moedertaal dan het Nederlands gelijke kansen te geven in W&T-onderwijs, is het zaak om aandacht te besteden aan zulke vaktaal (Lee, Quinn, & Valdes, 2013; Lin & Wu, 2014). Genredidactiek stelt dat vaktalige genres die vaak voorkomen in het schoolse curriculum (zoals een verslag of verklaring; Derewianka, 1990), in het onderwijs expliciet aandacht behoeven. In het vakonderwijs krijgen deze algemene genres (hier: de verklaring) vaak een lokale, vakspecifieke invulling (cf. Smit, Bakker, Van Eerde, & Kuijpers, 2016). Interactieve *scaffolding* – talige ondersteuning in interactie die leerlingen helpt de benodigde vaktaal te ontwikkelen – is één manier om genrevaardigheid te bevorderen.

2.2 W&T-onderwijs over drijven en zinken

Eén niveau dichterbij het concrete ontwerp, namelijk dat van domeinspecifieke theorieën, hanteerden we om te beginnen het idee van *inquiry-based learning*, in het Nederlandse onderwijs vaak aangeduid als onderzoekend leren. De didactiek van onderzoekend leren kan effectief zijn voor het bijbrengen van kennis en onderzoeksvaardigheden (bijv. Lazonder & Harmsen,

2016). In deze didactiek zijn grofweg vijf fasen te onderscheiden (Pedaste et al., 2015): oriëntatie, conceptualisatie, onderzoek, conclusie en discussie. We kozen in navolging van Van Galen en Oosterwaal (2015) voor het thema drijven en zinken, omdat het op de meeste basisscholen aan bod komt en zich leent voor onderzoek en begripsontwikkeling: het vereist specifieke verklaringen van een alledaags verschijnsel. Om het fenomeen drijven en zinken te verklaren, hebben leerlingen bepaalde inzichten nodig, zoals: “de aarde trekt alles aan” (zwaartekracht), en “water oefent een tegenkracht uit” (opwaartse kracht). Daarnaast leidt het plaatsen van een voorwerp in water tot waterverplaatsing. Massieve voorwerpen (zonder holtes) van een bepaald materiaal gedragen zich in het water in principe hetzelfde: iets van hout blijft drijven, of het nu een klein blokje is of grote boomstammen.

Leerlingen geven op grond van hun dagelijkse ervaringen echter vaak andere verklaringen voor drijven en zinken, die in de literatuur ook wel preconcepties worden genoemd (Havu-Nuutinen, 2005). Ze verklaren drijven en zinken vaak slechts op basis van één factor: de grootte, het gewicht of de vorm van het voorwerp. Grote objecten zouden (altijd) zinken (zie Yin, Tomita, & Shavelson, 2008, voor een overzicht van de meest voorkomende preconcepties). Ook de intuïtieve ideeën over krachten vormen vaak wetenschappelijk gezien (nog) geen adequate verklaringen: Leerlingen zien lucht soms als een actieve kracht die objecten omhoog duwt en water als een kracht die objecten naar beneden trekt (Hardy, Jonen, Möller, & Stern, 2006). De interventie die we ontwikkelden (zie paragraaf 3.1) beoogde leerlingen te leren om drijven en zinken te onderzoeken en observeren in experimenten, en het fenomeen vervolgens te verklaren aan de hand van *krachten* bij drijven en zinken, begrip van *waterverplaatsing*, het besef dat *materiaal* ertoe doet, en uiteindelijk begrip van *dichtheid* (gewicht per volume-eenheid) als cruciale factor voor het drijven en zinken van massieve voorwerpen.

Als mogelijke verbindingsschakel tussen algemenere raamwerken en een concreet

ontwerp noemen diSessa en Cobb (2004) het gebruik van een hypothetisch leertraject (HLT), waarin *testable conjectures* (p. 83) zijn geformuleerd. Een HLT behelst een beschrijving van: 1) leerdoelen van de les; 2) beginsituatie (veronderstelde voorkennis van de leerlingen); 3) lesactiviteiten; 4) veronderstellingen over hoe de lesactiviteiten de beoogde denkactiviteit bij leerlingen bevorderen (Simon, 1995). In eerder onderzoek naar taalgericht vakonderwijs werd het overkoepelende leerdoel uitgesplitst in doelen gericht op begripsontwikkeling enerzijds en taaldoelen anderzijds (Smit et al., 2016; Van Eerde, 2013). In deze studie zochten we naar een manier om die twee typen doelen te integreren – in lijn met de theoretische onderleggers binnen deze studie. Die vonden we in het idee van *denkstappen*, dat we in de volgende paragraaf uiteenzetten.

2.3 Denkstappen

Een inspiratiebron voor de introductie van het idee van denkstap was het concept *inference* zoals Brandom (2000) dat heeft uitgewerkt in zijn inferentialisme, een semantische theorie over concepten en hun betekenis. In deze theorie is een *inference* (of denkstap) een actie om uit een of meer uitspraken of observaties een conclusie te trekken. Derry (2013) heeft gewezen op het belang van deze filosofische theorie voor het onderwijs, en Bakker heeft deze theorie doordacht en gebruikt in het statistiek- en wiskunde-onderwijs en beroepsonderwijs (e.g., Bakker & Hußmann, 2017). Mensen begrijpen een concept dus als ze weten wanneer het bijbehorende woord (bijv. drijven) gebruikt mag worden en overzien wat de consequenties zijn van dit gebruik, dus welke uitspraken of acties gerechtvaardigd zijn. Brandom ziet *knowing-how* als de basis voor *knowing-that*: weten hoe je concepten in redeneringen en handelingen gebruikt, is de basis voor weten dat iets zo is. *Knowing-that* is voor Brandom een bekwaamheid (ability) om impliciete *knowing-how* expliciet te maken (Brandom, 1994). Kennis is dus niet zozeer een verzameling feiten (proposities), zoals “hout drijft in water” maar een vaardigheid om desgewenst iets uit te kunnen leggen

(expliciet, in taal), bijvoorbeeld wat massieve objecten van hout in water doen en waarom, en hoe we dat weten.

Evenals de systemisch-functionele linguïstiek, benadrukt Brandom dat je geen losse concepten kunt kennen. Elk concept wordt in een netwerk van andere betekenissen vervlochten. Zo is het concept drijven niet los te zien van concepten als zinken, dichtheid, materiaal, inhoud, massa en vorm van het drijvende object. De relatie tussen deze concepten wordt uitgedrukt in denkstappen. In deze studie zijn we vooral geïnteresseerd in denkstappen als de beoogde (talige) stappen (deelinzichten) die leerlingen in hun denken zetten om het overkoepelende leerdoel te bereiken: het verklaren van drijven en zinken (bij massieve voorwerpen). Zelfs als een verklaring in een lineaire redenering van denkstappen wordt gepresenteerd, gaan we ervan uit dat er een netwerk aan denkstappen aan ten grondslag ligt (die bij het geven van een verklaring niet allemaal worden geëxpliciteerd).

De onderzoeksvraag in deze studie is: *Hoe manifesteerden de denkstappen van leerlingen zich in het verklaren van drijven en zinken?* We vragen ons ten eerste af in hoeverre de gegeven verklaringen inhoudelijk adequaat zijn. Daarom luidt de eerste deelvraag: *Hoe ontwikkelde de kwaliteit van de verklaringen zich?* Om denkstappen te maken en uit te drukken is (vak)taal nodig. Daarom luidt de tweede deelvraag: *Hoe ontwikkelde het vaktaalgebruik in de denkstappen van leerlingen zich tegen de achtergrond van de taalgerichte lessenserie over drijven en zinken?* Door het beantwoorden van deze twee deelvragen beoogt deze studie een *proof of principle* (cf. Bakker, 2018) te leveren van de mogelijkheid om tegelijkertijd de kwaliteit van verklaringen en van taalontwikkeling te bevorderen tijdens een taalgerichte lessenserie waarin het idee van denkstappen centraal staat.

3 Methode

3.1 Ontwerp en setting

Samen met een ervaren leerkracht ontwikkelden we een taalgerichte lessenserie

Tabel 1

Denkstappen die centraal stonden in de lessenserie

Les	Denkstappen
1	Alles valt omlaag; dat komt door de zwaartekracht, de aarde die alles aantrekt. Wat omlaag gaat, wordt op een bepaald moment tegengehouden. Als een voorwerp op water komt, houdt het water het tegen: de opwaartse kracht. De grootte van de opwaartse kracht bepaalt of een voorwerp drijft of zinkt.
2	(Massieve) Voorwerpen van hetzelfde materiaal blijven (altijd) drijven, dan wel gaan (altijd) zinken.
3	Materialen kunnen een verschillende dichtheid hebben. De dichtheid (het gewicht per volume-eenheid) bepaalt mede of een voorwerp drijft of zinkt.
4	Als de dichtheid van het materiaal kleiner is dan de dichtheid van water, dan zinkt het materiaal; als de dichtheid van het materiaal groter is dan de dichtheid van water, dan drijft het materiaal.

(zes lessen van 60 minuten elk) rond het onderwerp drijven en zinken. Deze lessenserie was een verbeterd ontwerp van een lessenserie die we in een ontwerpgerichte *pilot*-studie gezamenlijk met dezelfde leerkracht en een W&T-expert hadden ontwikkeld. Als overkoepelend leerdoel formuleerden we: het leren verklaren van drijven en zinken van massieve voorwerpen. Per les formuleerden we een HLT, met specificatie van de beoogde denkstappen. In Tabel 1 zijn de denkstappen weergegeven die per les centraal stonden. In les 5 en 6 kwamen deze denkstappen herhaald aan de orde. De tabel laat zien dat de beoogde denkstappen specifieke vaktaal met zich meebrengen (bijvoorbeeld: “bepaalt of.”; “groter dan de dichtheid van...”).

De lessen werden eens per week uitgevoerd in een reguliere onderwijssetting door de hiervoor genoemde leerkracht. Zij had eerder meegewerkt aan een onderzoek waarin *scaffolding* van taal binnen het rekenonderwijs centraal stond (Smit, 2013). De leerkracht kende de leerlingen van de klas niet en had tijdens de interventie de rol van basisschoolleerkracht die meewerkte aan een onderzoeksproject. Met de inzet van een ervaren leerkracht beoogden we de condities binnen het onderzoek te optimaliseren, om het innovatieve ontwerp zo goed mogelijk te kunnen beproeven in de praktijk.

Tijdens de uitvoering van de lessen volgde de leerkracht de werkvormen en suggesties uit het lesontwerp. Om de beoogde denkstappen te bevorderen, werden zowel plenair als in groepjes proeven uitgevoerd en klassikaal nabesproken. Bij het terug- en vooruitblikken op de lessen expliciteerde de

leerkracht de (ontbrekende) kennis van de leerlingen aan de hand van de gemaakte en nog te maken denkstappen: “We weten dat (...) maar we weten nog niet (...).” Op deze manier werden de leerlingen bewust gemaakt van het leerproces. Verder zette de leerkracht in interactie met de leerlingen *scaffolding*-strategieën in, zoals het herformuleren van leerlinguitingen en vragen om preciezer taalgebruik – “Hoe zeggen we dat in onderzoekstaal?” (Smit, 2013). Daarbij maakte de leerkracht expliciet dat precisie in taalgebruik een belangrijk onderdeel vormt van het leren verklaren (cf. Gibbons, 2002).

3.2 Deelnemers

De lessenserie werd gegeven aan 21 leerlingen (14 meisjes en 7 jongens) in een groep 7 van een multiculturele basisschool in Utrecht. De gemiddelde leeftijd was 10,7 jaar ($SD = 0,4$). Veertien leerlingen hadden een meertalige achtergrond en hun gemiddelde taalniveau in het Nederlands was volgens de groepsleerkracht laag, wat overeenstemde met onze eigen observaties tijdens de interventie. Voor drie gevalsstudies werd aan de leerkracht gevraagd om spraakzame leerlingen voor te stellen met verschillend redeneerniveau en taalachtergrond. Cancan (10 jaar, meisje, alle namen zijn gefingeerd) spreekt Turks met haar familie, maar Nederlands op school en met vrienden. Achmeds (10 jaar) ouders spreken Somalisch; hij spreekt Nederlands met zijn broers/zussen, op school en met vrienden. De ouders van Yesser (11 jaar) spreken Turks en Bulgaars; hij spreekt Nederlands met zijn broers/zussen, op school en met vrienden.

3.3 Dataverzameling

Voor, tijdens en na de lessenserie zijn verschillende typen data verzameld. Voor de interventie (december) en na de interventie (februari) is bij alle leerlingen een individuele schriftelijke toets afgenomen. Daarnaast zijn de drie gevalsstudieleerlingen na afloop van elke les individueel geïnterviewd buiten het klaslokaal, door de eerste of tweede auteur, aan de hand van een interviewprotocol. De interviews namen gemiddeld 5 à 7 minuten in beslag. Ze zijn met een audiorecorder opgenomen en woordelijk getranscribeerd. In totaal zijn 14 interviews gebruikt. In verband met ziekte van een van de leerlingen (Yesser) bij les 4 ontbreekt 1 interview. Andere verzamelde data (zoals video-opnames van de lessen) zijn niet gebruikt binnen deze studie, aangezien ze niet nodig waren voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag. In deze studie beantwoorden we de twee deelvragen als volgt:

Deelvraag 1. Eerst zijn we nagegaan of er bij de 21 leerlingen in de klas een vooruitgang was in de kwaliteit van hun verklaringen van drijven en zinken na afloop van de lessenserie. Deze vooruitgang is blootgelegd door het niveau van de verklaringen (voor en na) te scoren. Om beter zicht te krijgen op de ontwikkeling van de kwaliteit van verklaringen tegen de achtergrond van de lessenserie, hebben we bij de gevalsstudieleerlingen ook per interview (dus na elke les) in kaart gebracht wat het niveau van de verklaringen was.

Deelvraag 2. Bij de gevalsstudieleerlingen is geanalyseerd en beschreven hoe het vaktaalgebruik in de denkstappen zich ontwikkelde, en hoe dat gerelateerd was aan het niveau van hun verklaringen.

3.4 Onderzoeksinstrumenten en data-analyse

Schriftelijke toetsen

De schriftelijke toetsen beoogden het niveau van de verklaringen vast te stellen. De formats van de schriftelijke toetsen (voor en na) bestonden elk uit zes opdrachten. In de eerste drie opdrachten werd leerlingen gevraagd waardoor de afgebeelde voorwerpen zinken

(opdracht 1; zie figuur 1 voor een voorbeeld) of drijven (opdracht 2 en 3). Bij opdracht 4 en 5 werd gevraagd naar een voorspelling (drijven of zinken) en nodigden we leerlingen uit om in hun uitleg gebruik te maken van een of meer weergegeven vaktaalwoorden (bijvoorbeeld grootte, materiaal, opwaartse kracht). Opdracht 6 bestond uit zeven stellingen over drijven en zinken (bijvoorbeeld: Platte dingen blijven altijd drijven), waarbij leerlingen moesten aangeven of ze het eens of oneens waren met de stelling. In deze studie zijn de antwoorden van de opdrachten 1 en 2 uit de voor- en nameting van alle leerlingen gebruikt, respectievelijk een afbeelding van bestek en boomstammen in de voormeting, en een paperclip en een vlot in de nameting. Deze opdrachten werden door het open karakter het geschiktst geacht om te laten zien in hoeverre leerlingen in staat waren om zelfstandig – zonder *scaffolding* – drijven en zinken te verklaren. De schriftelijke toetsen zijn voorgelegd aan de hele klas, ter beantwoording van deelvraag 1.



Opdracht 1. Leg uit waarom de vorkjes en lepeltjes in de bak met water zinken.

Figuur 1. Voorbeelditem uit de schriftelijke toets.

Interviewprotocol

De interviews hadden telkens dezelfde opbouw. Eerst werd de les geëvalueerd: “wat heb je gedaan?”, “wat heb je geleerd?” en “wat vond je moeilijk?”. Daarna volgden drie proefjes, waarin we leerlingen vroegen om zo precies mogelijk te vertellen wat ze zagen gebeuren en waardoor dat gebeurde, om op die manier verklaringen uit te lokken. De voorwerpen die gebruikt werden, verschilden

per interview (bijvoorbeeld een satéprikker, een koekvormpje, een flessenkurk). De interviews zijn gehouden met de gevalsstudieleerlingen, ter beantwoording van deelvraag 1 en 2.

Data-analyse deelvraag 1: niveau van verklaringen

Om de vooruitgang in het niveau van de verklaringen van de gehele klas te onderzoeken, zijn de antwoorden van de leerlingen bij opdracht 1 en 2 van de schriftelijke voor- en nameting gescoord. Hiervoor is gebruikgemaakt van een analyseschema – geïnformeerd door Havu-Nuutinen (2005) – waarin vijf conceptuele niveaus zijn onderscheiden (zie Tabel 2). Het laagste niveau is van toepassing op verklaringen die irrelevant of wetenschappelijk niet adequaat zijn, het hoogste op verklaringen die in vakinhoudelijk opzicht correct en volledig zijn. In de beschrijving van de niveaus in het analyseschema zijn de beoogde denkstappen te herkennen. Ter illustratie: Op het hoogste niveau (categorie 4) is de verklaring op basis van de verhouding tussen

zwaartekracht en opwaartse kracht, of op basis van dichtheid van het materiaal van het object in relatie tot dichtheid van het water. De verklaring op basis van krachten behelst de denkstappen die centraal stonden in de eerste les. De verklaring op basis van dichtheid behelst de denkstappen uit les 2, 3 en 4 (zie Tabel 1). De antwoorden zijn aan de hand van het analyseschema gescoord door de tweede auteur en vervolgens op onafhankelijke wijze gescoord door de eerste auteur. Cohens kappa varieerde van .84 voor de opdracht ‘boomstammen’ in de voormeting tot 1 voor de opdracht ‘paperclip’ in de nameting, wat neerkomt op een bijna perfecte interbeoordelaarsbetrouwbaarheid (Landis & Koch, 1977).

Ook de interviewdata (na elke les) van de gevalsstudieleerlingen zijn geanalyseerd aan de hand van het schema in Tabel 2. Hierbij werd voor elke gegeven verklaring tijdens een interview vastgesteld wat het niveau van de verklaring was zoals die was verwoord. Deze analyse is verricht door de tweede auteur. Na controle door de eerste auteur is over alle coderingen overeenstemming bereikt.

Tabel 2

Analyseschema voor het scoren van conceptueel begrip van drijven en zinken

Categorie	Score
Irrelevante en/of niet-wetenschappelijke verklaring	0
a) Verklaring op basis van uitsluitend irrelevante kenmerken van het voorwerp zoals: gewicht, grootte of vorm/lucht (hol), <i>zonder</i> een verwijzing naar materiaal of krachten b) Verklaring op basis van uitsluitend irrelevante kenmerken van het voorwerp zoals: gewicht, grootte of vorm/lucht (hol) <i>inclusief</i> een onjuiste verwijzing naar materiaal of krachten c) Onjuiste verklaring op basis van krachten	1
a) Verklaring op basis van (deels irrelevante) kenmerken van het voorwerp inclusief een correcte verwijzing naar materiaal <i>of</i> krachten b) Verklaring op basis van (deels irrelevante) kenmerken van het voorwerp inclusief een correcte verwijzing naar materiaal <i>en</i> krachten c) Verklaring op basis van (deels irrelevante) kenmerken van het voorwerp inclusief een <i>onzorgvuldige verwijzing naar krachten</i> d) Verklaring op basis van (deels irrelevante) kenmerken van het voorwerp inclusief een correcte verwijzing naar materiaal <i>en</i> een onzorgvuldige verwijzing naar krachten	2
a) Verklaring enkel op basis van correcte verwijzing naar materiaal b) Verklaring enkel op basis van correcte verwijzing naar materiaal, inclusief een zorgvuldige verwijzing naar één van de krachten c) Verklaring op basis van dichtheid van het materiaal zonder een vergelijking met water d) Verklaring op basis van dichtheid van het materiaal zonder een vergelijking met water, inclusief een zorgvuldige verwijzing naar één van de krachten	3
a) Verklaring op basis van de verhouding tussen de zwaartekracht die op het voorwerp werkt en de opwaartse kracht in het water b) Verklaring op basis van dichtheid van het materiaal van het object in relatie tot de dichtheid van het water	4

Data-analyse deelvraag 2: gebruik van vaktaal in de denkstappen

Voor het beantwoorden van deelvraag 2 richtten we de analyse op het vaktaalgebruik in de denkstappen die de gevalsstudieleerlingen verwoordden in het verklaren van drijven en zinken. Daartoe analyseerden we alle interviewtranscripten op het gebruik en de frequentie van vaktaalwoorden die centraal stonden in de beoogde denkstappen (materiaal, zwaartekracht, opwaartse kracht en dichtheid), het gebruik van verbindingswoorden die causaliteit uitdrukken (“omdat”, “daardoor” etc.), en de kwaliteit van de verklaringen waarbinnen deze woorden werden gebruikt. Daarbij keken we onder meer naar abstractieniveau, adequaatheid en compactheid van verklaringen. Per les werden opvallende en kritische zaken genoteerd.

Per gevalsstudieleerling heeft de eerste auteur de eerste analyse en identificatie van kritische momenten gedaan. De tweede auteur heeft de bevindingen nagelezen en waar nodig zijn in overleg aanpassingen gedaan. Vervolgens is over elk van de gevalsstudieleerlingen door één auteur een narratief geschreven waarin de meest in het oog springende momenten in de vaktaalontwikkeling – gerelateerd aan de wetenschappelijke adequaatheid van de verklaringen – in samenhang met elkaar zijn beschreven. De andere auteur las en valideerde deze beschrijving in alle drie de gevallen.

Tot slot hebben wij gezamenlijk de drie narratieven met elkaar vergeleken (*cross-case*-analyse; Borman et al., 2012) en opvallende verschillen en overeenkomsten door de interviews heen geïdentificeerd (4.2).

4 Resultaten

4.1 Vooruitgang in de kwaliteit van verklaringen

Leerlingen scoorden bij de nameting op een hoger begripsniveau dan bij de voormeting: een *Wilcoxon's signed rank test* toonde een statistisch significante vooruitgang aan bij zowel de opdracht over zinken ($z = -3.67, p < .05$) als de opdracht over drijven ($z = -3.70, p$

Tabel 3
Gemiddelde en SD op de schriftelijke voor- en nameting ($N = 21$)

	voormeting		nameting	
	M	SD	M	SD
Opdracht 1 (zinken)	1.33	1.24	3.00	0.63
Opdracht 2 (drijven)	1.19	0.98	3.05	0.74

Noot. minimale score=0, maximale score=4.

$< .001$. In Tabel 3 zijn de gemiddelden en standaarddeviaties op de voor- en nameting weergegeven voor de twee relevante opdrachten.

Deze vooruitgang doet zich over het algemeen ook voor bij de gevalsstudieleerlingen (zie Tabel 4). Hun verklaringen waren vóór de interventie in meer dan de helft van de gevallen irrelevant/ wetenschappelijk inadequaar (score 0) of op basis van uitsluitend irrelevante kenmerken en/of een onjuiste verwijzing naar krachten (score 1).

Bij de gevalsstudieleerlingen hebben we bovendien in kaart gebracht hoe de kwaliteit van de verklaringen zich ontwikkelde tegen de achtergrond van de lessenserie. Daartoe hebben we per interview (dus na elke les) het niveau van de verklaringen vastgesteld. Uit Tabel 5 blijkt dat er reeds na de eerste les geen irrelevante en/of wetenschappelijk inadequate verklaringen meer voorkwamen; de verklaringen tijdens de interviews hadden deels betrekking op het materiaal en/of krachten (score 2). In de loop van de lessenserie bleven de verklaringen stabiel op niveau 2 en 3.

4.2 Vaktaalgebruik van de gevalsstudieleerlingen

De *cross case*-analyse bracht verschillende overeenkomsten in vaktaalontwikkeling tussen de gevalsstudieleerlingen aan het licht. Om te beginnen gebruiken de drie leerlingen al in de vroege interviews vaktaalwoorden. Zo zegt Cancan na afloop van les één: “*Het kan aan het materiaal liggen of iets drijft of zinkt.*” Bij Yesser zien we iets vergelijkbaars in de volgende uitspraak, waarin hij ‘daardoor’ gebruikt om causaliteit in zijn denkstap uit te drukken: “*Want hij is van hout gemaakt. De*

Tabel 4

Resultaten bij de voor- en nameting van de gevalsstudieleerlingen

	Opdracht 1 (zinken)		Opdracht 2 (drijven)	
	Voor	Na	Voor	Na
Achmed	"omdat in metaal geen water kan het is zwaar" (2)	"omdat het een hogere dichtheid heeft dan water en het is ook van ijzer" (4)	"omdat de boomstammen lucht hebben en lucht niet in water kan" (1)	"omdat het van hout is en de water heeft genoeg opwaartse kracht heeft" (3)
Cancan	"omdat de water lichter dan de vorkjes zijn" (1)	"De zwaartekracht diewt het omlaag en het is van metaal" (3)	"omdat ze zwaar zijn" (1)	"het is van hout en hout drijft altijd" (3)
Yesser	"want dan worden ze schoon" (0)	"de paperclip zinkt wan het is van ijzer gemaakt en ijzer zinkt altijd en de zwartekracht trekt hem naar beneden" (3)	"want de boomstammen zijn van hout en de hout blijft drijven" (3)	"het vlot drijft wan het is van hout gemaakt en hout drijft altijd maar ik dacht dat het zou zinken want het is heel zwaar maar bij de lessen van drijven en zinken heb ik het geleert dat het zou drijven en de opwaartse kracht duwd hem naar boven" (3)

Noot. De formuleringen zijn letterlijk overgenomen van de leerlingen.

Tabel 5

Resultaten gevalsstudieleerlingen na elke les

	Cancan	Achmed	Yesser		Cancan	Achmed	Yesser
Item				Item			
1.1 drijven	2	2	3	4.1 drijven	2	3	
1.2 zinken	2	2	2	4.2 zinken	2	3	
1.3 zinken	3	3	3	4.3 drijven	2	3	
2.1 drijven	3	3	3	5.1 drijven	3	2	3
2.2 zinken	2	3	2	5.2 zinken	3	2	3
2.3 drijven	2	3	3	5.3 drijven	3	3	3
3.1 zinken	1	2	3	6.1 zinken	2	2	2
3.2 drijven	2	3	3	6.2 drijven	2	2	3
3.3	-	-	-	6.3 drijven	3	2	3

stof is van hout gemaakt. Ja. Daardoor. Ja, daardoor. Volgens mij." Op basis van het woord 'kan' in het citaat van Cancan en de laatste toevoeging van Yesser ("volgens mij") vermoeden wij dat de leerlingen conceptueel nog wel wat onzeker zijn over hun verklaringen. Anders dan Achmed en Cancan spreekt Yesser in het eerste interview al uitgebreid over de krachten. Dit doet hij eerst nog zonder het vaktaalwoord 'zwaartekracht' te gebruiken:

Eh, nou, ik heb geleerd dat eh... de aarde trekt alles naar beneden. En als je je hand zo legt, dan kan die hand niet..., hij heeft niet

genoeg eh kracht om te trekken, dan blijft het op je hand. Maar als je 'm loslaat dan trekt ie 'm naar beneden.

Later in het eerste interview gebruikt hij de aangeboden vaktaalwoorden wel:

Bijvoorbeeld je legt iets op de water en dan blijft het daar drijven. Dat komt doordat de opwaartse kracht is, want hij is te licht en eh de kracht, de zwaartekracht kan 'm niet naar beneden trekken want de water houdt 'm boven, houdt 'm zo tegen.

Verder valt op dat Yesser al vanaf het eerste interview langere antwoorden geeft dan de andere twee leerlingen.

Het gebruik van vaktaalwoorden in de verwoorde denkstappen wordt bij de drie leerlingen conceptueel geleidelijk adequater, al is dit niet een lineair proces. Zo zegt Cancan na les drie: *“De zwaartekracht trekt naar beneden en de opwaartse kracht... eh, wat was het ook weer.”* Na afloop van les vier lijkt ze opwaartse kracht met zwaartekracht te verwarren: *“De opwaartse kracht zuigt, trekt naar beneden.”* Na les vijf laat ze een sprong zien, wanneer ze in een verklaring de volgende denkstap verwoordt: *“En toen we het in het water deden was ie lichter omdat de opwaartse kracht het naar boven duwde.”* In deze uiting is ‘opwaartse kracht’ gebruikt in een verklaring die inhoudelijk adequaat is. Bovendien gebruikt Cancan hier ‘omdat’ op een functioneel adequate manier. Soms zien we een terugval in begrip – in het bijzonder bij Yesser na les vijf. Wanneer de interviewer vraagt om zijn verklaring “door de materiaal” voor het zinken van een ijzeren koekvormpje toe te lichten, zegt hij: *“Nou, het materiaal is heel licht en lichte dingen, nou, niet hè... meestal maar wel bijna altijd die zinken... die drijven”* [onderstreping toegevoegd]. Hiermee lijkt hij terug te zijn bij het idee dat lichte dingen “bijna altijd” drijven. Deze interpretatie wordt bevestigd door wat hij er vervolgens aan toevoegt: *“Alleen de paperclip, die zinkt.”* Na les zes komt deze conceptie niet meer voor in het interview met Yesser, en zet hij zelfs de volgende denkstap: *“Hout bijvoorbeeld is licht materiaal en hout blijft altijd drijven.”* In deze uitspraak gebruikt Yesser overigens ‘en’ in plaats van het causaal adequatere verbindingswoord ‘dus’. Bij Yesser laat de terugval na les vijf zich mogelijk verklaren door zijn afwezigheid in les vier.

De drie leerlingen laten allemaal een toename in variatie en frequentie van gebruik van vaktaalwoorden zien: na les vijf en zes worden alle centrale vaktaalwoorden door alle drie gebruikt, waar dat in de eerdere interviews nog niet het geval is. Hieruit maken we op dat – in ieder geval bij deze leerlingen – het gebruik van vaktaalwoorden niet precies samenvalt met de inhoudelijke kwaliteit van de verklaringen zoals gemeten bij stap 2 in de analyse.

Daarentegen zien we ook dat de drie leerlingen zaken soms vakinhoudelijk adequaat uitdrukken zonder de aangeboden vaktaalwoorden te gebruiken. Dit betreft in het bijzonder het begrip ‘dichtheid’. Zo laat Yesser in de volgende uitspraak zien te weten dat het gewicht van het materiaal bepalend is voor drijven en zinken: *“Hij drijft want eh hij is van eh.. zo’n materiaal gemaakt die heel licht is. Ja daardoor.”* Het gewicht van het materiaal zien we hier als stap op weg naar gewicht per volume-eenheid (dichtheid). Achmed drukt het onder meer als volgt uit: *“’t Is zware materiaal”* – wanneer hem gevraagd wordt te verklaren waarom een voorwerp van klei zinkt. Bij Cancan blijkt uit de volgende verklaring (in reactie op “waarom zinkt het cakevormpje?”) dat ze ‘materiaal’ én ‘dichtheid’ verbindt, zonder dat ze deze twee vaktaalwoorden gebruikt: *“Die zinkt. Omdat ie van metaal is. En hij is te zwaar voor het water. Als je hem op je hand legt, is ie licht, maar voor het water is ie zwaar.”* Door de formulering “voor het water” laat Cancan zien te begrijpen dat er een relatie is tussen het gewicht van metaal en dat van water, en dat die relatie van belang is voor het verklaren van drijven en zinken. Bovendien drukt ze met het woord ‘maar’ adequaat een tegenstelling uit. Een dergelijke denkstap drukt ook Yesser uit in de volgende verklaring: *“Het is eh.. dinges. Lichte materiaal. Ja niet helemaal maar toch wel is het licht van het water”* [onderstreping toegevoegd]. In “van het water” lijkt Yesser de relatie “ten opzichte van” uit te drukken – een relatie die essentieel is voor het begrijpen van dichtheid en het verklaren van drijven en zinken. Achmed verklaart het drijven van hout na les 6 als volgt: *“omdat opwaartse kracht genoeg kracht heeft omdat het heel licht is, die piepschuim”*. Hij relateert (cf. ‘omdat’) het gewicht van het materiaal aan de opwaartse kracht van het water.

Tijdens de analyse van vaktaalgebruik ontvouwde zich nog een ander aspect dat gerelateerd is aan denkstappen bij W&T: een ontwikkeling naar wetenschappelijk adequatere verklaringen. Dit zien we in uitspraken zoals: *“Hout drijft altijd”* (onderstreping toegevoegd; Cancan na les

vijf); “*het gaat om het materiaal*” (Achmed na les vijf); en “*hij zinkt wel, want hij is van ijzer; en ijzer zinkt*” (Yesser na les drie). Achmed relateert dit zelfs een keer aan een veelvoorkomende preconceptie (namelijk: ‘grote dingen zinken’): “*Dat alle dingen die van hout zijn kan drijven... Ook iets groots van hout.*” Bij Yesser zien we iets vergelijkbaars in de volgende, nog wat aarzelende, uitspraak: “*Ja dat grote dingetjes en kleine, bijvoorbeeld eh... er is iets groots maar hij... het kan ook drijven. Dus grote dingetjes kunnen ook drijven en kleine dingetjes kunnen ook zinken.*” Voor alle drie geldt overigens dat aan uitspraken die een ontwikkeling naar adequatere verklaringen uitdrukken eerst meer aarzelende uitspraken voorafgaan, zoals: “*Dat het kan liggen aan het materiaal... Van hout bijvoorbeeld. Misschien gaat dat drijven, of zinken. Daar kan het aan liggen. Of aan iets anders*” (Cancan, na les twee).

Het adequater verklaren zien we (alleen) bij Cancan ook op andere manieren in haar uitingen vorm krijgen. In een verklaring tijdens interview vijf zegt ze: “*Ligt aan het materiaal denk ik. Wat voor materiaal is het?*” Blijkbaar kan ze de verklaring al geven zonder precieze kennis van het materiaal te hebben. De verschuiving naar wetenschappelijk adequatere verklaringen komt ook naar voren in haar volgende uitspraak uit het interview na les vijf: “*Kan het ook te maken hebben met de vorm?*” Cancan laat hiermee zien dat bepaalde eigenschappen (en niet de concrete specificatie van die eigenschap, zoals ‘vierkant’ of ‘rond’) bepalend kunnen zijn voor drijven of zinken. Yesser verwoordt in zijn terugblik op zijn eigen leerproces: “*Hij is van hout gemaakt maar eerste keer nog van het begin dacht ik dat die zou zinken want hij was zo zwaar maar toen had ik geleerd dat dingetjes die van hout zijn.. drijven... mees... altijd.*” Hiermee laat hij een verschuiving zien naar wetenschappelijk adequatere verklaringen.

5 Discussie

Dit artikel vat samen hoe we in een ontwerpstudie tegelijkertijd begripsontwikkeling en

vaktaalontwikkeling in het W&T-onderwijs hebben proberen te bevorderen in een lessenserie over drijven en zinken. De focus in deze lessenserie lag op het idee van denkstappen, dat zowel begrips- als taalontwikkeling in zich bergt, en voor de leerkracht werkbaar bleek als ‘knooppunt’ om tegelijkertijd aan vakinhoudelijke en aan taaldoelen te werken. We evalueerden hoe de leerlingen zich ontwikkeld hebben in het verwoorden van denkstappen bij het verklaren van drijven en zinken. De kwaliteit van de verklaringen (deelvraag 1) liet een significante vooruitgang zien bij vergelijking van verklaringsniveaus op de schriftelijke voor- en nameting. Opvallend was dat de verklaringsniveaus van de gevalsstudie-leerlingen na het eerste interview geen duidelijke verschuiving meer lieten zien: ze konden alle drie al vanaf vroeg in de interventie het fenomeen drijven en zinken verklaren op basis van (deels) relevante kenmerken, maar bereikten niet het hoogste verklaringsniveau.

De analyse van vaktaalgebruik in de verwoorde denkstappen van gevalsstudie-leerlingen (deelvraag 2) liet wel een geleidelijke ontwikkeling zien tot aan het laatste interview, zij het met vallen en opstaan, en niet in een lineair proces. Deze ontwikkeling betrof het gebruik van vaktaalwoorden in gegeven verklaringen, het gebruik van verbindingswoorden van causaliteit, en de wetenschappelijke aard van de verklaringen. De resultaten van de twee deelvragen wijzen uit dat de leerlingen in deze studie substantiële vooruitgang boekten in het verklaren van drijven en zinken bij massieve voorwerpen. Daarmee levert deze ontwerpstudie een *proof of principle* (cf. Bakker, 2018) van de mogelijkheid om tegelijkertijd begrips- en taalontwikkeling te bevorderen tijdens een W&T-lessenserie gericht op denkstappen: leerlingen deden onderzoek (ze experimenteerden met drijven en zinken, leerden voorspellingen doen en ideeën verwoorden), ontwikkelden benodigde vaktaal, en leerden gaandeweg *hoe* ze vaktaal konden gebruiken om drijven en zinken te verklaren.

De resultaten in deze studie geven niet alleen inzicht in de begrips- en taal-

ontwikkeling, maar werpen ook licht op de invloed van de gekozen onderzoeksapproach. Zo leert de studie ons dat het uitsluitend kwantitatief vaststellen van de kwaliteit van verklaringen aan de hand van conceptuele niveaus een beperkt beeld oplevert van de ontwikkeling die leerlingen tijdens een lessenserie (kunnen) doormaken. Immers, hoewel de niveau-analyse liet zien dat de gevalsstudieleerlingen al snel verklaringen gaven met (deels) relevante kenmerken, toonde de vaktaalanalyse aan dat er door de tijd heen nog veel ontwikkeling plaatsvond, niet alleen in het gebruik van vaktaal, maar ook wat betreft de inhoudelijke kwaliteit van de verklaringen.

Het gemak waarmee leerlingen bepaalde denkstappen maakten leek op het eerste oog samen te hangen met de complexiteit van begrippen die centraal staan in de denkstappen. Waar leerlingen vrij snel en adequaat overgingen tot denkstappen waarin ‘het materiaal’ centraal stond, lag dat anders bij het wetenschappelijke concept ‘dichtheid’. Dichtheid stond centraal in de laatste beoogde denkstap: “Als de dichtheid van het materiaal groter is dan de dichtheid van water dan zinkt het materiaal; als de dichtheid van het materiaal kleiner is dan de dichtheid van water, dan drijft het materiaal.” Ondanks de uitgebreide voorbereiding van deze denkstap in verschillende proeven en tijdens klasseninteractie waarin *scaffolding* plaatsvond, bleef adequaat gebruik van het begrip ‘dichtheid’ tijdens de interviews met de gevalsstudieleerlingen uit. Een mogelijke verklaring is dat leerlingen aan het eind van de basisschool nog te jong zijn om een abstract en relationeel begrip als dichtheid zodanig te begrijpen dat ze het actief gebruiken bij het verwoorden van verklaringen (cf. Zoupidis, Pnevmatikos, Spyrtoul, & Kariotoglou, 2016).

Maar er is ook een andere interpretatie mogelijk. Uit de gevalsstudieresultaten blijkt immers ook dat leerlingen soms vaktaalwoorden gebruikten zonder begrip te tonen, en dat ze soms begrip toonden zonder het gebruik van vaktaal. Dit laatste zagen we verschillende keren terug waar het gaat om begrip van ‘dichtheid’: hoewel leerlingen het

woord dichtheid niet gebruikten in hun verklaringen, waren er, zo liet de *cross case*-analyse zien, verschillende verklaringen waarin leerlingen wel (gedeeltelijk) begrip demonstreerden van het concept. Hoewel deze verklaringen minder precies en minder compact waren dan een uiting met gebruik van het woord ‘dichtheid’ zou kunnen zijn (cf. Van Dijk, 2018), lijken ze een belangrijke brugfunctie te vervullen in de begripsontwikkeling van leerlingen (cf. Brown, Ryoo, & Rodriguez, 2010).

Een eerste aanbeveling van deze studie voor het Nederlandse onderwijs is dan ook om tijd en ruimte te maken voor de verbale inbreng van leerlingen in de W&T-les, waarbij leerlingen aanvankelijk worden aangemoedigd om in hun eigen (dagelijkse) taalgebruik hun observaties te beschrijven en te verklaren. Een tweede aanbeveling betreft een mogelijke nadruk op denkstappen. Ten eerste brengen we daarmee de aandacht in het Nederlandse W&T-onderwijs, met zijn sterke focus op ‘hands-on’, meer bij begripsontwikkeling. Ten tweede kan de notie *denkstappen* leerkrachten helpen, zo vermoeden wij op grond van deze studie, om in de voorbereiding en uitvoering van W&T-lesse te gelijktijdig aandacht te besteden aan begrips- en taalontwikkeling; iets wat voor leerkrachten tot dusver een complexe taak is gebleken (cf. Tan, 2011). Redeneren in de W&T-les (onder andere beschrijven, verklaren, argumenteren) behelst immers meer dan woorden alleen: het gaat om wetenschappelijk adequate denkstappen zetten, en daarmee ook om het gebruik van vaktaalwoorden en verbindingswoorden in vakspecifieke formuleringen die leerlingen toegang geven tot natuurwetenschappelijke inhoud (“hout drijft, want hout is een licht materiaal”). Bovendien ontwikkelen leerlingen daarbij schoolse taalvaardigheid (of CAT) die hen ook in bredere zin toegang geeft tot het curriculum. Als eerste uitdaging in het huidige W&T-onderwijs noemden we het realiseren van onderwijs en leeropbrengsten in W&T. Deze studie heeft een manier laten zien waarop leeropbrengsten binnen een specifiek W&T-onderwerp, tegelijk met de benodigde vaktaalontwikkeling,

kunnen worden gerealiseerd. Hoewel de beschreven werkwijze arbeidsintensief en onderwerpspecifiek is, menen we dat de aandacht voor functionele, mondelinge taalvaardigheid die zo'n aanpak met zich meebrengt, kan doorwerken in andere onderwerpen en vakken. Met een dergelijke aanpak boekt niet alleen het W&T-onderwijs winst, maar ook het taalonderwijs op de basisschool: dat wordt vaak verkaveld en weinig betekenisvol vormgegeven (cf. Van Gelderen & Van Schooten, 2011). Bovendien staat een belangrijk domein als mondelinge taalvaardigheid vaak niet op de beleidsagenda van scholen en wordt er nog (te) weinig doelgericht gewerkt aan het bevorderen van mondelinge taalvaardigheid (Inspectie van het Onderwijs, 2019). De tweede uitdaging betrof het realiseren van de gestelde kerndoelen. Het antwoord dat dit artikel geeft, behelst een meer inhoudsgerichte benadering van het W&T-onderwijs, waarin naast hands-on óók minds-on leren wordt bevorderd. Daarvoor is (vak)taal nodig – de derde uitdaging. In het idee van denkstappen denken we niet zozeer een pasklare oplossing te hebben gevonden voor het verrijken van het huidige W&T-onderwijs, maar we denken wel onderwijsprofessionals een idee in handen te geven waarmee zij hun W&T-lessen zowel vakinhoudelijk als talig kunnen verdiepen: in de voorbereiding én uitvoering van hun lessen.

Dankbetuiging

Lia Oosterwaal bedanken we voor het gezamenlijk ontwerpen en uitvoeren van de lessen, en Frans van Galen voor zijn denk- en ontwikkelwerk in een eerdere, exploratieve ronde van dit ontwerpgerichte onderzoek. Stefanie Korenberg danken we voor het uitvoeren van een deel van de analyse. Elwin Savelsbergh en Gerald van Dijk danken we voor het kritisch meedenken over denkstappen bij drijven en zinken.

Literatuur

- Bakker, A. (2018). *Design research in education: A practical guide for early career researchers*. London, UK: Routledge.
- Bakker, A., & Hußmann, S. (2017). Inferentialism in mathematics education: Introduction to a special issue. *Mathematics Education Research Journal*, 29, 395–401. doi: 10.1007/s13394-017-0224-4
- Bakker, A., & Smit, J. (2017). Theory development in design-based research: An example about scaffolding mathematical language. In S. Doff & R. Komoss (Eds.), *Making change happen? Wandel im Fachunterricht analysieren und gestalten* (pp. 109–124). Wiesbaden: Springer.
- Banilower, E. R., Smith, P. S., Weiss, I. R., Malzahn, K. A., Campbell, K. M., & Weis, A. M. (2013). *Report of the 2012 National Survey of science and mathematics education*. Chapel Hill: Horizon Research.
- Borman, K. M., Clarke, C., Cotner, B., & Lee, R. (2012). Cross-case analysis. In J. Green, G. Camilli, G., & P. B. Elmore, P. B. (Eds.). *Handbook of complementary methods in education research* (pp. 123–139). New York, NY: Routledge.
- Brandom, R. (2000). *Articulating reasons: An introduction to inferentialism*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Brandom, R. (1994). *Making it explicit: Reasoning, representing, and discursive commitment*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Brinton, D., Snow, M. A., & Wesche, M. (2003). *Content-based second language instruction*. Michigan Classics Edition.
- Brown, B. A., Ryoo, K., & Rodriguez, J. (2010). Pathway towards fluency: Using 'disaggregate instruction' to promote science literacy. *International Journal of Science Education*, 32(11), 1465–1493.
- Bunch, G. C. (2013). Pedagogical language knowledge preparing mainstream teachers for English learners in the new standards era. *Review of Research in Education*, 37(1), 298–341.
- Cervetti, G. N., Barber, J., Dorph, R., Pearson, P. D., & Goldschmidt, P. G. (2012). The impact of an integrated approach to science and literacy in elementary school classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(5), 631–658. doi: 10.1002/tea.21015

- Cummins, J. (1984). *Bilingualism and special education: Issues in assessment and pedagogy*. Clevedon, UK: Multilingual Matters.
- diSessa, A. A., & Cobb, P. (2004). Ontological innovation and the role of theory in design experiments. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 77–103.
- Derewianka, B. (1990). *Exploring how texts work*. Sydney: Primary English Teaching Association (PETA).
- Derry, J. (2013). *Vygotsky: Philosophy and education*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Furtak, E. M., & Penuel, W. R. (2019). Coming to terms: Addressing the persistence of “hands on” and other reform terminology in the era of science as practice. *Science Education*, 103(1), 167–186.
- Gibbons, P. (2002). *Scaffolding language, scaffolding learning: Teaching second language learners in the mainstream classroom*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Halliday, M. A. K. (1978). *Language as social semiotic*. London: Edward Arnold.
- Hajer, M., & Meestringa, T. (2015). *Handboek taalgericht vakonderwijs*. Bussum: Coutinho.
- Hardy, I., Jonen, A., Möller, K., & Stern, E. (2006). Effects of instructional support within constructivist learning environments for elementary school students’ understanding of “floating and sinking.” *Journal of Educational Psychology*, 98, 307–326. doi:10.1037/0022-0663.98.2.307
- Havu-Nuutinen, S. (2005). Examining young children’s conceptual change process in floating and sinking from a social constructivist perspective. *International Journal of Science Education*, 27(3), 259–279.
- Henrichs, L. F., & Leseman, P. P. (2014). Early science instruction and academic language development can go hand in hand. The promising effects of a low-intensity teacher-focused intervention. *International Journal of Science Education*, 36(17), 2978–2995.
- Hyland, K. (2007). Genre pedagogy: Language, literacy, and L2 writing instruction. *Journal of Second Language Writing*, 16, 148–164.
- Inspectie van het onderwijs (2017). *Peil. Natuur en Techniek 2015–2016*. Utrecht: Inspectie van het Onderwijs.
- Inspectie van het Onderwijs (2019). *Peil. Mondelinge taalvaardigheid. Einde basis-onderwijs 2016–2017*. Utrecht: Inspectie van het Onderwijs.
- Karlsson, A., Nygård Larsson, P., & Jakobsson, A. (2018). Multilingual students’ use of translanguaging in science classrooms. *International Journal of Science Education* 41, 2049–2069. doi:10.1080/09500693.2018.1477261.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159–174. doi: 10.2307/2529310.
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: effects of guidance. *Review of Educational Research*, 681–718. doi:10.3102/0034654315627366
- Lee, O. (2005). Science education with English language learners: Synthesis and research agenda. *Review of Educational Research*, 75, 491–530.
- Lee, O., Luykx, A., Buxton, C., & Shaver, A. (2007). The challenge of altering elementary school teachers’ beliefs and practices regarding linguistic and cultural diversity in science instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 1269–1291.
- Lee, O., Quinn, H., & Valdes, G. (2013). Science and language for English language learners in relation to next generation science standards and with implications for common core state standards for English language arts and mathematics. *Educational Researcher*, 42(4), 223–233.
- Lin, A. M. Y., & Wu, Y. M. (2015). ‘May I speak Cantonese?’—Co-constructing a scientific proof in an EFL junior secondary science classroom. *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*, 18, 289–305. doi:10.1080/13670050.2014.988113
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Norwood, NJ: Ablex.
- McKenney, S., & Reeves, T. C. (2018). *Conducting educational design research* (2nd Ed.). London: Routledge.
- Meelissen, M., Netten, A., Drent, M., Punter, R., Droop, M., & Verhoeven, L. (2012). *PIRLS-en TIMSS-2011*. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen & Universiteit Twente.
- Meelissen, M. R. M., & Punter, R. A. (2016). *Twintig jaar TIMSS : Ontwikkelingen in leerlingprestaties in de exacte vakken in het basisonderwijs*

- 1995-2015. Enschede: Universiteit Twente.
- National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: Practices, cross-cutting concepts, and core ideas. Washington, DC: National Academies Press.
- NGSS Lead States (2013). Next Generation Science Standards: For states, by states (vol. 1, The Standards). Washington, DC: The National Academies Press. <http://www.nextgenscience.org/nextgeneration-science-standards>
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61.
- Simon, M. A. (1995). Reconstructing mathematics pedagogy from a constructivist perspective. *Journal for Research in Mathematics Education*, 26, 114–145.
- SLO (2017). Curriculumspiegel 2017. Enschede: SLO.
- Smit, J. (2013). Scaffolding language in multilingual mathematics classrooms. Utrecht, the Netherlands: Flsme Scientific Library.
- Smit, J., Bakker, A., Van Eerde, D., & Kuijpers, M. (2016). Using genre pedagogy to promote student proficiency in the language required for interpreting line graphs. *Mathematics Education Research Journal*, 28(3), 457–478.
- Tan, M. (2011). Mathematics and science teachers' beliefs and practices regarding the teaching of language in content teaching. *Language Teaching Research*, 15(3), 325–342.
- Techniekpact (2013). Nationaal Techniekpact 2020. Beschikbaar op <http://www.techniekpact.nl/>.
- Van Aalderen-Smeets, S., Walma van der Molen, J. H., van Hest, E. G. W. C. M. & Poortman, C. (2017): Primary teachers conducting inquiry projects: Effects on attitudes towards teaching science and conducting inquiry. *International Journal of Science Education*. doi: 10.1080/09500693.2016.1277280
- Van de Pol, J., Volman, M., & Beishuizen, J. (2010) Scaffolding in teacher–student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review*, 22(3), 271–297.
- Van den Berg, E. (2010). Natuurwetenschap en techniek in het basisonderwijs. Van hands-on naar minds-on, van manipuleren van objecten naar manipuleren van ideeën. Amsterdam: HvA Publicaties.
- Van der Graaf, J., Sande, E. van de, Gijssels, M. A. R., & Segers, E. (2019). A combined approach to strengthen children's scientific thinking: Direct instruction on scientific reasoning and training of teacher's verbal support. *International Journal of Science Education*, 41(9), 1119–1138. doi: 10.1080/09500693.2019.1594442 .
- Van der Veer, R. (1994). The concept of development and the development of concepts: Education and development in Vygotsky's thinking. *European Journal of Psychology of Education*, 9(4), 293–300.
- Van Dijk, G. (2018). Het opleiden van taalbewuste docenten natuurkunde, scheikunde en techniek: Een ontwerpgericht onderzoek. Utrecht, the Netherlands: Flsme Scientific Library.
- Van Eerde, D. (2013). Lesmateriaal ontwikkelen voor taalontwikkeling in de reken-wiskundeles. In M. van Zanten (red.), *Rekenen-wiskunde op niveau* (pp. 137–151). Utrecht: Freudenthal Instituut.
- Van Galen, F., & Oosterwaal, L. (2015). Drijven en zinken in de bovenbouw. In: Damhuis, C.M.P., Wismans, G.A., Slot, E.M., Van Galen, F.H.J., & Van Wessel, T. (red). *Lessen onderzoekend en ontwerpend leren voor groep 1 tot en met 8 van het basisonderwijs*.
- Van Gelderen, A., & Schooten, E. van (2011). *Taalonderwijs; een kwestie van ontkavelen*. Openbare Les in Duplo. Rotterdam: Rotterdam University Press.
- Van Graft, M. Klein Tanke, M., & Beker, T. (2016). Wetenschap en technologie in het basis- en speciaal onderwijs. Richtinggevend leerplankader bij het leergebied Oriëntatie op jezelf en de wereld. Enschede: SLO.
- Van Keulen, H. (2009). Drijven en zinken: Wetenschap en techniek in het primair onderwijs. Openbare les, 26 juni 2009. Fontys Pabo Limburg.
- Velthorst, G., Oosterheert, I., & Brouwer, N. (2011). Onderzoekend leren: De nieuwsgierigheid voorbij. *Tijdschrift voor Lerarenopleiders (VELON/VELOV)*, 32(3), 32–38.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and language*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Sci-*

ence Education, 92, 941–967. doi:10.1002/sce.2025910.1002/sce.20259

Wood, D., Bruner, J., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17, 89–100.

Yin, Y., Tomita, M. K., & Shavelson, R. J. (2008). Diagnosing and dealing with student misconceptions: Floating and sinking. *Science Scope*, 31(8), 34–39.

Yore, L. D., Bisanz, G. L., & Hand, B. M. (2003). Examining the literacy component of science literacy: 25 years of language arts and science research. *International Journal of Science Education*, 25(6), 689–725.

Zoupidis, A., Pnevmatikos, D., Spyrtou, A., & Kariotoglou, P. (2016). The impact of procedural and epistemological knowledge on conceptual understanding: The case of density and floating–sinking phenomena. *Instructional Science*, 44, 315–334.

and variation of academic language, as well as a shift towards a more scientific view on sinking and floating as a science phenomenon. As such, this study provides a proof of principle of how language-oriented science education focusing on reasoning steps can simultaneously promote children’s knowledge and academic language.

Keywords: science education, knowledge development, academic language development, sinking and floating, design-based research

Auteurs

Jantien Smit, Hogeschool Utrecht. **Martine Gijssel**, Hogeschool Saxion. **Arthur Bakker**, Universiteit Utrecht.

Correspondentieadres: J. Smit, Hogeschool Utrecht, Padualaan 97, 3584 CH Utrecht; E-mail: jantien.smit@hu.nl

Abstract

The development of academic language in explaining sinking and floating: A design study on reasoning steps

Primary science education faces several challenges that we, in a design study, addressed by promoting students’ knowledge and academic language development simultaneously. We developed a language-oriented lesson series aimed at student proficiency in explaining sinking and floating. We investigated how the quality of children’s explanations and their academic language use in their reasoning steps evolved. The analysis of explanation levels in 21 students’ (aged 10–11) pre- and posttests showed a significant improvement. In addition, the knowledge and academic language development of three multilingual case study students were analyzed based on interviews held after each of the six lessons. The interview format contained questions that elicited explanations of sinking and floating. We scored the level of students’ explanations as well as academic language use. The results showed that students’ explanation levels and academic language development did not always coincide. A cross-case analysis further pointed toward an increased frequency