

IMPULS

VERSTERKING BÈTADIDACTIEK:
HET LEREN VAN CONCEPTEN UIT
HEDENDAAGSE
WETENSCHAPSCONTEXTEN

EINDRAPPORTAGE

UNIVERSITY OF TWENTE.



MANAGEMENTSAMENVATTING

JAN VAN DER VEEN

In de periode 2016-2019 is er aan de Universiteit Twente hard gewerkt aan het bètadidactische IMPULS project met als oogmerk het leren van concepten uit hedendaagse wetenschapscontexten. Hierbij heeft ELAN intensief samengewerkt met de diverse UT onderzoeksgroepen, het Pre-U leerlingenlab, studenten en VO-docenten. De resultaten laten zien dat goed geselecteerde hedendaagse wetenschapscontexten prima te gebruiken zijn in het onderwijs. Het type ontwikkelwerk en daaraan gekoppelde onderzoek zoals dat in IMPULS samen met studenten is uitgevoerd past goed bij het profiel dat we als master lerarenopleiding voor ogen hebben. Ook levert het IMPULS project een inhoudelijke 'kapstok' op voor docenten die met een promotie aan de slag willen. In deze eindrapportage wordt per deelproject een overzicht gegeven van de opbrengsten. Daarbij gaat het om nieuwe leermiddelen, het betrekken van studenten, conferentiebijdragen en publicaties in vaktijdschriften en wetenschappelijke tijdschriften.

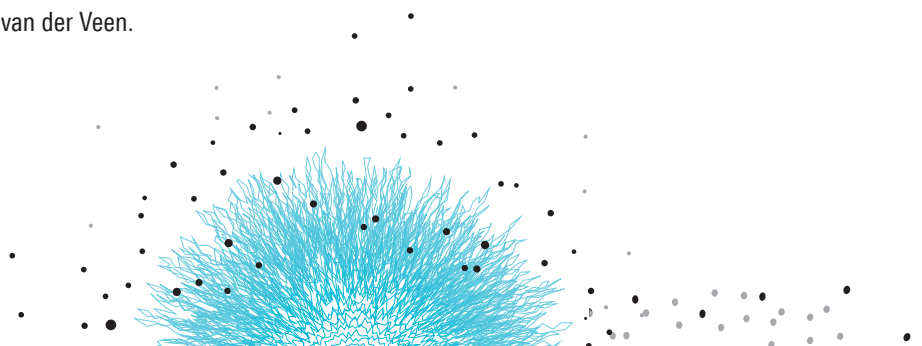
Het IMPULS project is tot stand gekomen in samenwerking met de decanen van de bètafaculteiten. IMPULS maakt deel uit van een project tot versterking van de bètadidactiek waaraan ook de Universiteit Utrecht, Rijksuniversiteit Groningen, Universiteit Leiden en Technische Universiteit Delft deelnemen, en is mogelijk gemaakt door subsidie van het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen.

Uit het projectplan:

Voor vijf bètaschoolvakken ontwikkelt ELAN samen met onderzoeksgroepen, bètastudenten en ervaren docenten nieuw lesmateriaal. Elke ontwikkelgroep bestaat uit vier bètastudenten/ promovendi, een vakdidacticus, vier ervaren docenten en een medewerker uit de bèta- onderzoeksgroep. Uitgaande van een actueel onderzoeksthema, ontwikkelt elke groep leermateriaal voor het vwo. Zie de tabel voor een overzicht van de onderzoeksthema's, participerende onderzoekers en betrokken bètadidactici.

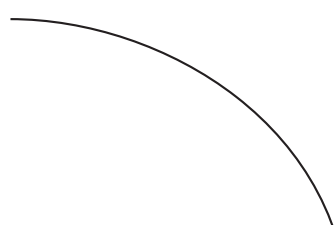
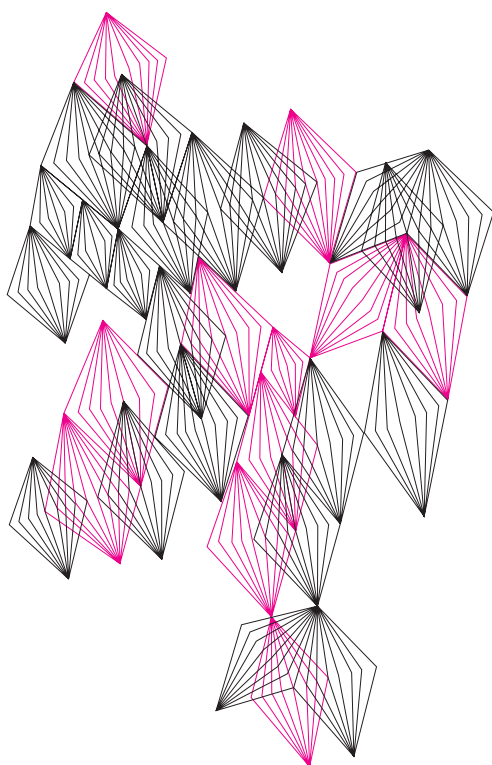
Onderzoeksterrein	Schoolvak	Bèta-onderzoekers	Bètadidactici
Quantumfysica	Natuurkunde	Prof.dr.ir. Alexander Brinkman	Dr. Henk Pol, ir. Jeroen Grijzen, dr. E. van den Berg
Molecular Nanofabrication	Scheikunde	Prof.dr.ir. Juriaan Huskens	Dr. Fer Coenders, dr. Talitha Visser
Wachtrijen	Wiskunde	Prof.dr. Richard Boucherie	Dr. Nellie Verhoef, dr. Tom Coenen
Sociale robotica	Informatica	Prof.dr. Vanessa Evers	Dr. Ingrid Breymann
Lab on a chip	NLT (Na, Sk)	Prof.dr.ir. Albert van den Berg	Dr. Jan Jaap Wietsma

Projectleider: dr. Jan van der Veen.



INHOUDSOPGAVE

Managementsamenvatting	1
Inhoudsopgave	3
Natuurkundedeelproject: quantumfysica, leren met experimenten	4
Scheikundedeelproject: molecular nanofabrication	8
Wiskundedeelproject: speltheorie in de context van lesson study	10
Informatica deelproject: sociale robotica	14
Nlt deelproject: lab on a chip	16



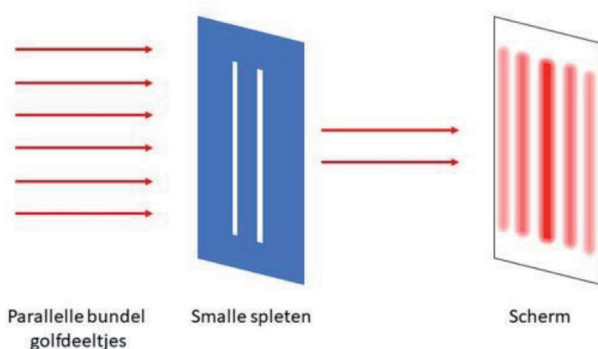
NATUURKUNDE DEELPROJECT: QUANTUMFYSICA, LEREN MET EXPERIMENTEN

ED VAN DEN BERG, JAN VAN DER VEEN & JEROEN GRIJSEN

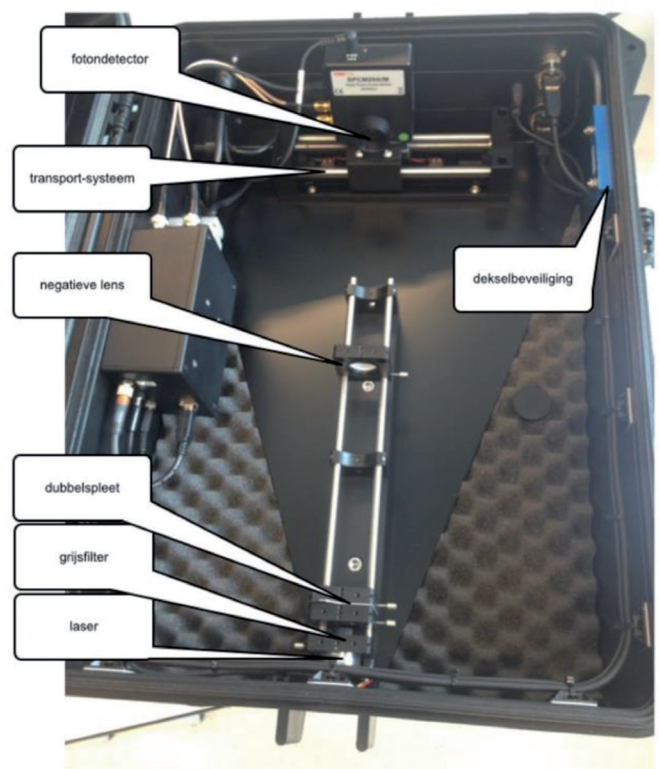
Het **doel** van IMPULS is versterking van bètadidactiek m.b.t. het leren van begrippen uit de hedendaagse wetenschap. Voor natuurkunde is dat het maken van kant en klaar materiaal over de quantumwereld, dat ingezet kan worden in de klas. Dit als aanvulling op het onderwijsmateriaal dat er al is, dus als ondersteuning van het lesprogramma. Vanwege het overwegend theoretische karakter van lessen over de quantumwereld werd gekozen voor de ontwikkeling van demonstraties over twee kernverschijnselen: golf-deeltje dualiteit en tunneling. Inmiddels wordt ook gewerkt aan enkele andere demonstraties. Het project wordt versterkt door synergie met andere Twente projecten zoals de ontwikkel- en promotietrajecten van Kim Krijtenburg-Lewerissa en Luiza Vilarta-Rodriguez en het pre-U programma voor scholieren. Ook studenten droegen bij via afstudeerprojecten en profiteerden van de stimulerende projectomgeving.

GOLF-DEELTJE DUALITEIT EN DUBBELSPLEET

Richard Feynman (1964) startte zijn behandeling van quantumfysica met het dubbelspleet experiment en golf-deeltje dualiteit, een verschijnsel dat volgens hem alle typische kenmerken heeft van de quantumfysica. Bij kleine afmetingen, op nano-schaal vertonen deeltjes zowel golf- als deeltjes gedrag. Aernout van Rossum perfectioneerde het reeds eerder door hem ontwikkelde koffereperiment waarin fotonen één-voor-één door een dubbele spleet gaan en toch een interferentiepatroon laten zien. We ontwikkelden een les over dualiteit, probeerden die uit in 5 scholen met 5 docenten en 112 leerlingen, evalueerden door middel van een toets en interviews, en concludeerden dat de dubbelspleet demonstratie didactisch anders aangepakt moest worden. Leerlingen waren zich onvoldoende bewust van het klassieke golf-deeltje verschil, dat golven gespreid zijn in de



Figuur 1 Dubbelspleet en interferentie



Figuur 2 De koffer met laser, filter, dubbelspleet en detector.

ruimte en deeltjes juist scherp gelokaliseerd zijn, en ze toonden te weinig verbazing over de wonderen van quantum. De nieuwe didactische aanpak heeft een serie van dubbelspleet demonstraties, verfdeeltjes met een plantenspuit, watergolven, laserlicht, en de één-voor-één fotonen. Bij elk van deze demonstraties voorspellen leerlingen uitkomsten en worden ze zich meer bewust van golf-deeltje verschillen waardoor ze uiteindelijk de uitkomsten van de fotoneninterferentie meer waarderen. Retentie interviews na 3 maanden en zelfs na 8 maanden hebben laten zien dat ze zich de hoofdzaken na vele maanden nog herinneren en zelfs experimentele details.

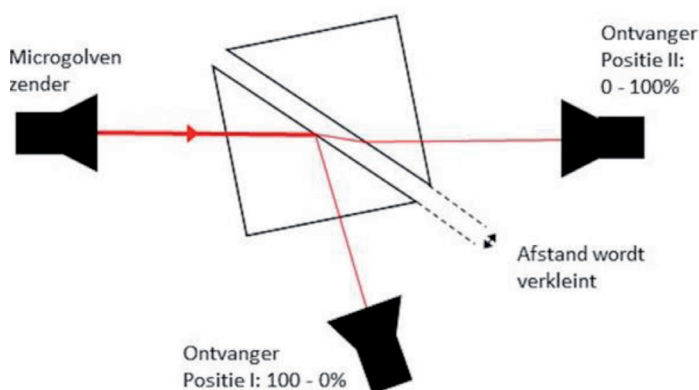
Onze ervaringen werden in 2017 en 2018 gedeeld met het collega docenten via 5 volle workshops in de jaarlijkse Woudschoten conferentie, via het docentenblad NVOX en via de Europese GIREP-conferentie. Een docent die de demonstratie voor het eerst in de klas gebruikte, schreef:

Vorige week de toets Quantum afgenomen. In de bijlage enkele toets vragen + antwoorden. Het valt me op dat de leerlingen dit jaar erg goed hebben begrepen wat de betekenis is van het dubbelspleet-experiment met materiedeeltjes (elektronen). Hun bewoordingen van de antwoorden zijn veelal zelfs minstens zo goed als dat ik dat zou opschrijven. Dit is mede te danken aan het koffer-experiment! Daarom dank voor het opzetten en regelen van dit geweldige kofferexperiment!

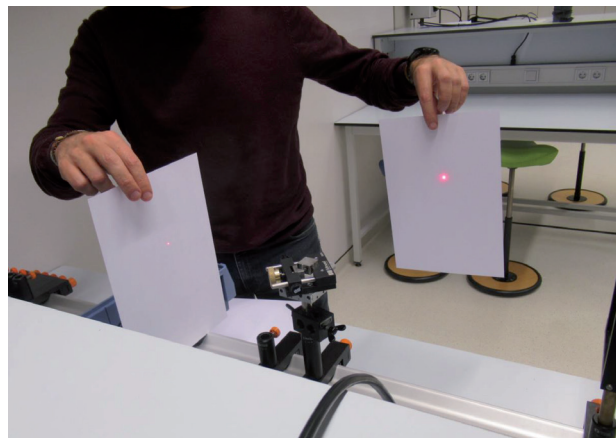
Er zijn inmiddels 4 koffers die docenten kunnen lenen van Universiteit Twente, Technische Universiteit Delft (2x), en Rijksuniversiteit Groningen. In een gezamenlijke workshop van UT, TUD, en RUG tijdens de Woudschoten conferentie werd het kofferexperiment gedemonstreerd en toegelicht voor 35 natuurkundedocenten.

TUNNELING

Golfdeeltjes blijken in een kansproces op plekken te kunnen komen waar ze klassiek niet genoeg energie voor hebben. Bijvoorbeeld, de kinetische energie van protonen in de zon is onvoldoende om de onderlinge elektrostatische afstoting (positieve ladingen) te overwinnen. Toch is er een piepkleine kans dat protonen zo dicht bij elkaar komen dat ze kunnen fuseren. Er is fusie, maar met een hele kleine kans zodat het fusieproces 10 miljard jaar kan duren in plaats van dat de zon in een keer uit elkaar spat. Dit zogenaamde tunnelproces maakt gecontroleerde, langdurige kernfusie in sterren mogelijk. We ontwikkelden een demonstratie met microgolven die door een spleet tussen twee prisma's "tunnelen", een klassiek analoog voor quantum tunnelen. Veel scholen hebben nog microgolf opstellingen die weinig gebruikt worden. Interviews met leerlingen direct na de demonstratie lieten misconcepties zien die begrip van de uitkomsten van demonstratie verhinderden. In een eerste reactie maakten we dan ook een nieuwe



Figuur 3 Opzet van het microgolf tunneling experiment. Leerlingen kennen het begrip totale interne reflectie niet en zien het verband niet tussen dit tunnelen en quantum mechanisch tunnelen.



Figuur 4 Opzet van het tunneling experiment met licht en prisma's. De relatieve intensiteit van de gereflecteerde (A4 rechts) en de getunnelde bundel (A4 links) hangt af van de breedte van de spleet tussen de prisma's.

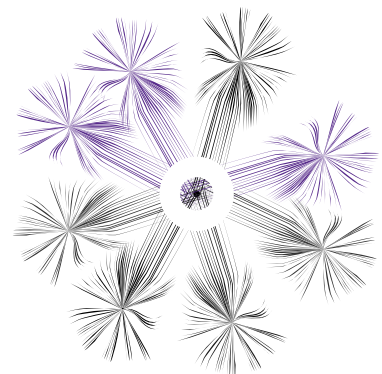
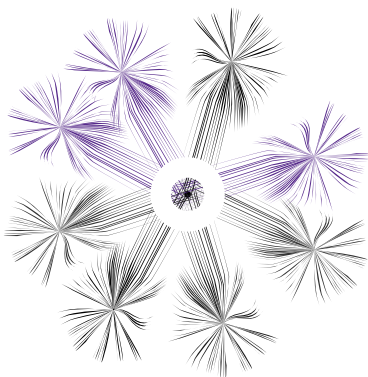
lesopzet voor tunneling zonder deze demonstratie. Maar intussen is het gelukt om een veel duidelijkere demonstratie te ontwikkelen met licht in plaats van microgolven. Eerder lukte dat niet, achteraf vanwege slechte prisma's. Met de betere prisma's kan tunneling goed gedemonstreerd worden en kan de exponentiële afval van intensiteit als functie van de scheiding van de prisma's over enkele orden van grootte gemeten worden. Met bovengenoemde kennis van typische misconcepties van leerlingen bij de interpretatie van deze demonstratie, kon nu een effectieve demonstratie worden ontwikkeld die ook in 2 koffertjes beschikbaar wordt gesteld voor uitleen aan scholen.

SAMEN LEREN

De regelmatige bijeenkomsten van de betrokken docenten waren echte leerbijeenkomsten. Het samen praten over quantumbegrippen is ontzettend belangrijk voor de ontwikkeling van ons eigen docentbegrip en dat vertaalt zich in betere lessen. De volgende docenten maakten deel uit van de IMPULS Natuurkunde groep: Jeroen Grijsen (Etty Hillesum Lyceum, Deventer), Aernout van Rossum (Gerrit Komrij College, Winterswijk), Timo Bomhof (Carmel College, Raalte), Sander Wenderich (Twickel College, Hengelo), Hajo Brandt (Bataafs Lyceum en student leraar UT, Hengelo), Imre van Velthoven (student leraar UT). Ondersteuning werd verleend door technici Henk van Dijk en John Kooiker van UT. Luiza Vilarta-Rodriguez evalueerde aspecten van IMPULS in haar Master thesis. Lerarenopleiding studenten Erik Dietrich, Pascal Sleutel, Florian Bruijnes, Pim Wijands & Imre van Veldhoven deden hun Onderzoek van Onderwijs projecten over aspecten van quantumonderwijs.

LESMATERIAAL

Berg, E. van den, Grijsen, J., Rossum, A. van & Bomhof, T., (2018). Les(sen) over dualiteit met single photon interferentie in een koffer. Rossum, A. van, Berg, E. van den, Bomhof, T. & Grijsen, J. (2018). Les(sen) over tunneling.



PUBLICATIES

- Berg, E. van den, Grijsen, J., Rossum, A. van, Bomhof, T., Veldhoven, I. van (2018). Quantumwereld experimenten 1: single foton interferentie. NVOX, 43(8), 432-433.
- Berg, E. van den, Grijsen, J., Rossum, A. van, Bomhof, T., Veldhoven, I. van (2019). Tunneling demonstratie, Quantumwereld demonstraties 2. NVOX, 44(1), 28-29.
- Bruijnes, F. (2016) Kwantumtunneling zichtbaar gemaakt. Afstudeerverslag.
- Krijtenburg-Lewerissa¹, K., Pol, H.J., Brinkman, A. & Joolingen, W.R. van (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. Physical Review Physics Education Research(13). DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109.
- Krijtenburg-Lewerissa¹, K., Pol, H. J., Brinkman, A. & Joolingen, W.R. van (2018): Key topics for quantum mechanics at secondary schools: a Delphi study into expert opinions, International Journal of Science Education, DOI: 10.1080/09500693.2018.1550273
- Luiten, W. (2019). Ervaringen met een practicum voor de bepaling van de constante van Planck.
- Sleutel, P., Dietrich, E., Veen, J.T. van der & Joolingen, W.R. van (2016). Bouncing droplets: a classroom experiment to visualize wave-particle duality on the macroscopic level. European Journal of Physics (37), doi:10.1088/0143-0807/37/5/055706
- Veldhoven, I.C.W.T.A. van (2018) Onderzoek voor Onderwijs: kwantumverstrengeling op het voortgezet onderwijs. Afstudeerverslag.
- Vilarta Rodriguez, L. (2018). Teaching the wave-particle duality to secondary school students : an analysis of the Dutch context. Thesis, University of Twente, <https://essay.utwente.nl/77064/>
- Wijnands, P. (2017) Het ontwerpen van een middelbareschoolexperiment voor quantumtunneling. Afstudeerverslag.
- In voorbereiding voor NVOX: a) Quantumwereld demonstraties 3: deeltjes en kleuren in dozen en b) Quantumwereld demonstraties 4: Leerlingen praten over quantum.

CONFERENTIEBIJDRAGEN

- Timo Bomhof, T., Grijsen, J. & Veen, J.T. van der (2017). Twents Meesterschap 2017 – Quantumdidactiek workshop, 25 januari 2017, Universiteit Twente.
- Coenders, F., Van der Veen, J. , Wietsma, J., IMPULS: leren van concepten uit researchcontexten Workshop at ECENT Conferentie Utrecht 19 mei 2017.
- Grijsen, J., Rossum, A. van, Bomhof, T., Wenderich, S., (2017). Lesideeën Quantumwereld golf-deeltjes dualiteit en tunneling. Workshop WND Conferentie, Noordwijkerhout 14 -15 december 2017. (2x25 deelnemers).
- Pol, H.J., Berg, E. van den, Rossum, A. van & Grijsen, J. (2018). Netwerkbijeenkomst natuurkundedocenten workshop 21 juni 2018, Universiteit Twente.
- Rossum, A. van, Berg, E. van den, Pol, H., Grijsen, J. (2018). Particle-wave duality, single photon interference in a suitcase in the secondary school. Poster presented at the Annual GIREP Conference, San Sebastian (Spain), 9 – 13 July 2018.
- Berg, E van den, Grijsen, J. Rossum, A. Van, Veen, J. van der (2018). Teaching wave-particle duality and tunneling in Dutch secondary schools. Paper presented at the Annual GIREP Conference, San Sebastian (Spain), 9 – 13 July 2018.
- Berg, E. van den, Rossum, A. van, Sonneveld, W., Laan, E. van der (2018). Dualiteit demonstreren: Interferentie van fotonen met zichzelf in een uitleenkoffer. Workshop

SCHEIKUNDE DEELPROJECT: MOLECULAR NANOFABRICATION

TALITHA VISSER EN SUSAN MCKENNEY

DOELSTELLING

Voor scheikunde geldt dat de Commissie Vernieuwing Scheikunde HAVO en VWO in 2003 advies heeft uitgebracht over de hoofdlijnen van de gewenste aard en inhoud van schoolscheikunde om het scheikundeonderwijs te moderniseren. De commissie stelt voor om contexten te gebruiken 'als aanzet tot het leren denken in concepten' (Driessen & Meinema, 2003) en dit wordt door docenten gesteund (Coenders, Terlouw, & Dijkstra, 2008; Van Driel, 2003). Onderzoek naar deze Context-Concept Benadering (CCB) laat zien dat leerlingen het motiverender vinden (King, Bellocchi, & Ritchie, 2008) en dat ze meer leren over de aard van de natuurwetenschappen (Çam & Geban, 2011), maar tot nu toe leidt dit niet tot betere leerresultaten (Bennett, Hogarth, & Lubben, 2003; Bennett & Lubben, 2006). Eén van de redenen hiervoor zou kunnen zijn dat de gebruikte contexten onvoldoende relevant waren voor de leerlingen, of onvoldoende verbonden waren aan specifieke leerdoelen. Mogelijk is dit op te lossen door het leren te verbinden aan het oplossen van actuele maatschappelijke vraagstukken (Gilbert, Bulte & Pilot, 2011).

Het doel van IMPULS is versterking van bètadidactiek m.b.t. het leren van begrippen die belangrijk zijn bij het oplossen van maatschappelijke problemen door de hedendaagse wetenschap. CCB vraagt om kennis over zowel vakdidactiek als hedendaagse toepassingen, en om leertrajecten en activiteiten die daarbij aansluiten. Er zijn nauwelijks leermiddelen waarbij leerlingen concepten leren uitgaande van hedendaags wetenschappelijk onderzoek, terwijl dit voor VWO leerlingen inspirerend kan zijn (Gilbert, 2006). Onderzoek is nodig om *vakdidactische* kennis in relatie tot onderwijs in de context van actueel wetenschappelijk onderzoek te ontwikkelen, articuleren en toe te passen in samenhangende *leermiddelen*.

Doel van dit project is om vakdidactiek te laten ontwikkelen, expliciteren en toepassen in nieuwe CCB leermiddelen die gebruikt kunnen worden door alle VWO scheikundedocenten. Actueel wetenschappelijk onderzoek binnen de nanochemie dient als context. Om dit doel te bereiken, stonden twee activiteiten centraal:

1. Het ontwikkelen van educatieve en bruikbare CCB leermiddelen voor nanochemie, die ook als voorbeeld kunnen dienen voor andere CCB lessenreeksen.
2. Het ontwikkelen van vakdidactische inzichten die belangrijk zijn bij de nanochemie.

WERKWIJZE

Het IMPULS team scheikunde kent leden met diverse expertises:

- Vakdidactisch: *Jeannette Brouwer, Fer Coenders, Tim van Dulmen, Gavin Kronig, Talitha Visser, Wil Gradussen*
- Onderwijskundig: *Eline Wientjens, Miriam Knoef, Jaelle Klink, Susan McKenney*
- Inhoudelijk: *MnF: Jurriaan Huskens, Jacopo Movilli*
- Bètadidactiek: *Birgit Pepin*
- Docentontwikkelteam: 8-10 eerstegraads scheikunde docenten en vakdidactici (aantal leden verschilt per academisch jaar)

NB: Schuinedgedrukte leden maakten deel uit van het kernteam.

Het kernteam kwam eens in de twee weken bij elkaar om de voortgang van beide activiteiten te bespreken. Daarnaast waren er regelmatige bijeenkomsten met de bovenstaande betrokken. Veel van deze bijeenkomsten waren echte leerbijeenkomsten. Het samen discussiëren, uitdenken en ontwerpen van CCB leermiddelen voor nanochemie heeft er niet alleen toe geleid dat educatieve en bruikbare leermiddelen tot stand kwamen, maar het leidde ook tot nieuwe of beter gearticuleerde vakdidactische inzichten.

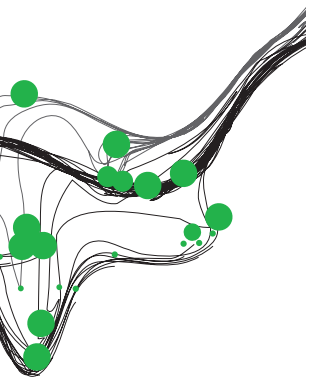
PRAKTISCHE OPBRENGSTEN

Lessenreeksen:

- Vroege Kanker Diagnose
- Solar to Fuel

Samenwerking met het onderwijsveld:

- Docentontwikkelteam waarin beide modules zijn geanalyseerd en besproken
- 5 vwo leerlingen: Solar to Fuel
- 3 vwo leerlingen: Vroege Kanker Diagnose
- 4 vwo leerlingen: Vroege Kanker Diagnose



CONFERENTIEBIJDAGEN

- Benes, N, Chair of the Films in Fluids group. Lecture at the symposium Motiverend Chemie onderwijs 6 juli 2018, Enschede.
- Coenders, F., Gradussen, W. , Lesmateriaal ontwikkelen vanuit chemie-onderzoek, Workshop at the symposium Motiverend Chemie onderwijs 6 juli 2018, Enschede.
- Coenders, F., Van der Veen, J. , Wietsma, J., IMPULS: leren van concepten uit researchcontexten Workshop at ECENT Conferentie Utrecht 19 mei 2017.
- Coenders, F., Gradussen, W. , Contexten als het paard van Troje? Workshop at Woudschoten Chemie Conferentie 6 november 2017.
- Dulmen, T.H.H. van (2019). Nanochemie, lesactiviteiten in de klas. Workshop at the Studiedag voor scheikundedocenten en TOA's HAVO/VWO 2 april 2019, Nijmegen.
- Huskens, J, Chair of the Molecular nanofabrication group (MnF) Lecture at the symposium Motiverend Chemie onderwijs 6 juli 2018, Enschede.

WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES

- Dulmen, T.H.H. van, Coenders, F.G.M., Visser, T.C. & McKenney, S. (submission in progress). A systematic literature review on Pedagogical Content Knowledge for Redox and Chemical Bonding.
- Dulmen, T.H.H. van, Visser, T.C. & McKenney, S. (2019). Materials to Support Teacher Professional Growth in the Context of Cutting Edge Chemistry Research. Poster session presented at the DUDOC Tweedaagse 2019, Nijmegen, The Netherlands
- Klink, J. (manuscript in ontwikkeling). Motivation and student engagement in context-based chemistry lessons. Unpublished Master's Thesis. Enschede: University of Twente.
- Knoef, M. (2017). Attending to the knowledge, skills, and attitudes of teachers and students: Guidelines for context-based chemistry curricula. Master's Thesis. Enschede: University of Twente, <https://essay.utwente.nl/72976/>
- Kronig, G., Brouwer, J., Knoef, M., Wientjens, E., Coenders, F. & McKenney, S. (2016). Capturing and applying PCK for developing concept-concept approaches to learning nanochemistry. Poster session presented at the DUDOC inservice meeting, the Netherlands.

LITERATUUR

- Bennett, J., & Lubben, F. (2006). Context-based Chemistry: The Salters approach. *International Journal of Science Education*, 28(9), 999 - 1015.
- Bennett, J., Hogarth, S., & Lubben, F. (2003). A systematic review of the effects of context-based and Science-Technology-Society (STS) approaches in the teaching of secondary science. London: EPPI-Centre, SSRU, Institute of Education.
- Çam, A., & Geban, Ö. (2011). Effectiveness of Case-Based Learning Instruction on Epistemological Beliefs and Attitudes Toward Chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 20(1), 26-32. doi: 10.1007/s10956-010-9231-x.
- Coenders, F., Terlouw, C., & Dijkstra, S. (2008). Assessing teachers' beliefs to facilitate the transition to a new chemistry curriculum: What do the teachers want? *Journal of Science Teacher Education*, 19(4), 317-335.
- Driel, J. van (2003). Opvattingen van docenten scheikunde over het scheikundecurriculum. *NVOX*, 28(8), 375- 377.
- Driessen, H. P. W., & Meinema, H. A. (2003). Chemie tussen context en concept. Ontwerpen voor vernieuwing. [Chemistry between context and concept. Design for renewal.]. Enschede: SLO.
- Gilbert, J. K. (2006). On the Nature of "Context" in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.
- Gilbert, J. K., Bulte, A. M. W., & Pilot, A. (2011). Concept Development and Transfer in Context-Based Science Education. *International Journal of Science Education*, 33(6), 817-837. doi: 10.1080/09500693.2010.493185.
- King, D., Bellocchi, A., & Ritchie, S. (2008). Making Connections: Learning and Teaching Chemistry in Context. *Research in Science Education*, 38(3), 365-384. doi: 10.1007/s11165-007-9070-9

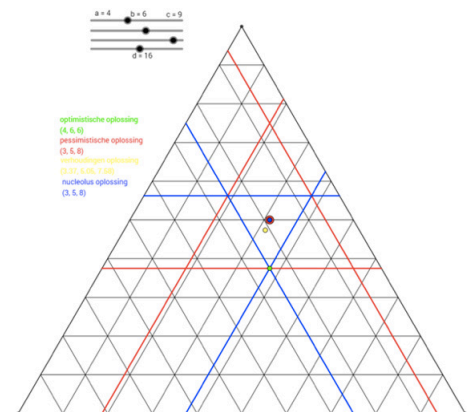
WISKUNDIG DEELPROJECT: SPELTHEORIE IN DE CONTEXT VAN LESSON STUDY

NELLIE VERHOEF EN TOM COENEN

DOELSTELLING

De wiskundecomponent binnen IMPULS spitst zich toe op 'Speltheorie, brug van voortgezet naar wetenschappelijk onderwijs' met het doel lesmateriaal, aansluitend bij het Zebra-boekje 'Spelen en delen' (Thuijsman, 2005), te ontwikkelen voor vwo-leerlingen wiskunde D. Het doel van de operationele samenwerking tussen wiskundige en vakdidactische onderzoekers is de ontwikkeling en uitvoering van lesmateriaal dat wiskunde D-leerlingen in contact brengt met wetenschappelijk wiskundig onderzoek. Het advies van de commissie DeltaplanWiskunde.NL (PWN, 2016) was richtinggevend voor deze keuze: een meer vakinhoudelijke insteek in de vakdidactiek. Het onderwerp sluit aan bij de leerstoel van Boucherie, en bij het vakdidactisch modelleren (Drijvers, 2015; Hemerik, Van Nes, & Van de Pol, 2014; Scheffer, Van Nes, Holmgren, & Hughes, 2008). De bèta-didactische uitdaging zit vooral in de keuze van de onderwerpen, het destilleren van de kern van de context, en het op een voor vo-leerlingen aansprekende manier vertalen naar het niveau van het vo.

De wiskundecomponent binnen IMPULS gaat in op samenwerkend onderzoeken in een wetenschappelijk verantwoorde wiskundige context (Guardiola, Meca & Timmer, 2007; Meca, Timmer, García-Jurado & Borm, 2004). Vwo-leerlingen maken voorzichtig kennis met wiskunde als wetenschappelijke discipline: funderend, dragend, kleinschalig en zelden direct zichtbaar maar overal aanwezig. Juist dat laatste aspect - inzicht in de brede toepassingen van wiskunde - is essentieel voor aankomend jong talent. Het lesmateriaal doet een beroep op het adequaat gebruik van reeds bestaande wiskundige kennis en vaardigheden.



Wiskunde D-leerlingen worden uitgedaagd zelf op onderzoek uit te gaan, kritisch naar elkaar te luisteren en op de juiste momenten de juiste beslissingen te nemen.

Qua implementatie van het lesmateriaal wordt aangesloten bij reeds bestaande Lesson Study-onderzoekservaringen van de Universiteit Twente. Vanaf 2009 ontwerpen en implementeren vo-docenten lesmateriaal over verschillende bovenbouwonderwerpen in een Lesson Study-team. De docenten bereiden samen één (of meer lessen) in detail voor. De les - de onderzoeksles - wordt vervolgens uitgevoerd waarbij zoveel mogelijk leden van het Lesson Study-team, aangevuld met collega's van de eigen school en leden van het management, de leerlingen live observeren. Na afloop wordt de les direct op de school met de observanten nabesproken met het oog op het leren van leerlingen. Het Lesson Study-team stelt de les bij op basis van de discussies in de nabespreking. De basis van de herziening is het leren van de leerling.

Hoewel Lesson Study wordt geassocieerd met betere prestaties en internationaal steeds bekender wordt, ontbreekt het aan bewijs voor de werkelijke opbrengsten (Dudley, 2013). Er zijn dan ook enkele punten van kritiek op deze aanpak (Lewis, Perry, & Murata, 2006). Eén van deze punten is het gebrek aan een eenduidig kader voor het observeren van het leren van leerlingen en docenten binnen Lesson Study-onderzoek. Het Lesson Study-team van ELAN - Universiteit Twente heeft over diverse onderwerpen in diverse nationale en internationale tijdschriften gepubliceerd (Coenen, Hof & Verhoef, 2018; Coenders & Verhoef, 2018; Verhoef, Coenders, Van Smaalen & Tall, 2013; Verhoef, Coenders, Van Smaalen, Pieters & Tall, 2014)

WERKWIJZE

Aan de ontwikkeling en uitvoering van het lesmateriaal – dat in een Lesson Study-context is beproefd - namen vo-docentcoördinatoren, medewerkers van de afdeling Toegepaste Wiskunde, vakdidactici van het instituut ELAN, en een wiskundeleraar in onderzoek deel, te weten:

- Vakdidactisch: *Tom Coenen, Nellie Verhoef*
- Inhoudelijk: *Judith Timmer, Richard Boucherie*
- Docentontwikkelteam: *Ronnie Koolenbrander, Annelies van der Veen*
- Docentonderzoeker: *Aafke Elschot*

NB: Schuingedrukte leden maakten deel uit van het kernteam.

Het kernteam kwam eens in de drie weken bij elkaar om literatuur te bespreken en ideeën uit te wisselen en uit te werken om de lessenserie theoretisch verantwoord voor te kunnen bereiden. Leeractiviteiten vormden daarbij een speerpunt vanwege de leerlingobservaties tijdens de les. Daarnaast waren er regelmatige bijeenkomsten tussen betrokkenen onderling. Het samen ontwerpen en herontwerpen van leermiddelen over dit voor het voortgezet onderwijs nieuwe onderdeel speltheorie heeft geleid tot educatieve en bruikbare leermiddelen. Daarnaast ontstonden nieuwe vakdidactische inzichten op het gebied van speltheorie in het voortgezet onderwijs.

PRAKTISCHE OPBRENGSTEN

Een onderwijsmodule is ontwikkeld van vier lessen over speltheorie, te gebruiken bij Wiskunde D maar ook als projectopzet met de vakken economie, maatschappijleer en levensbeschouwing. Het lesmateriaal bestaat uit een leerlingenboekje en een docentenhandleiding inclusief PowerPoint-presentaties voor het geven van de lessen. In de docentenhandleiding is ook een kort voorstel beschreven voor mogelijke toepassing bij een wiskundeprojectdag.

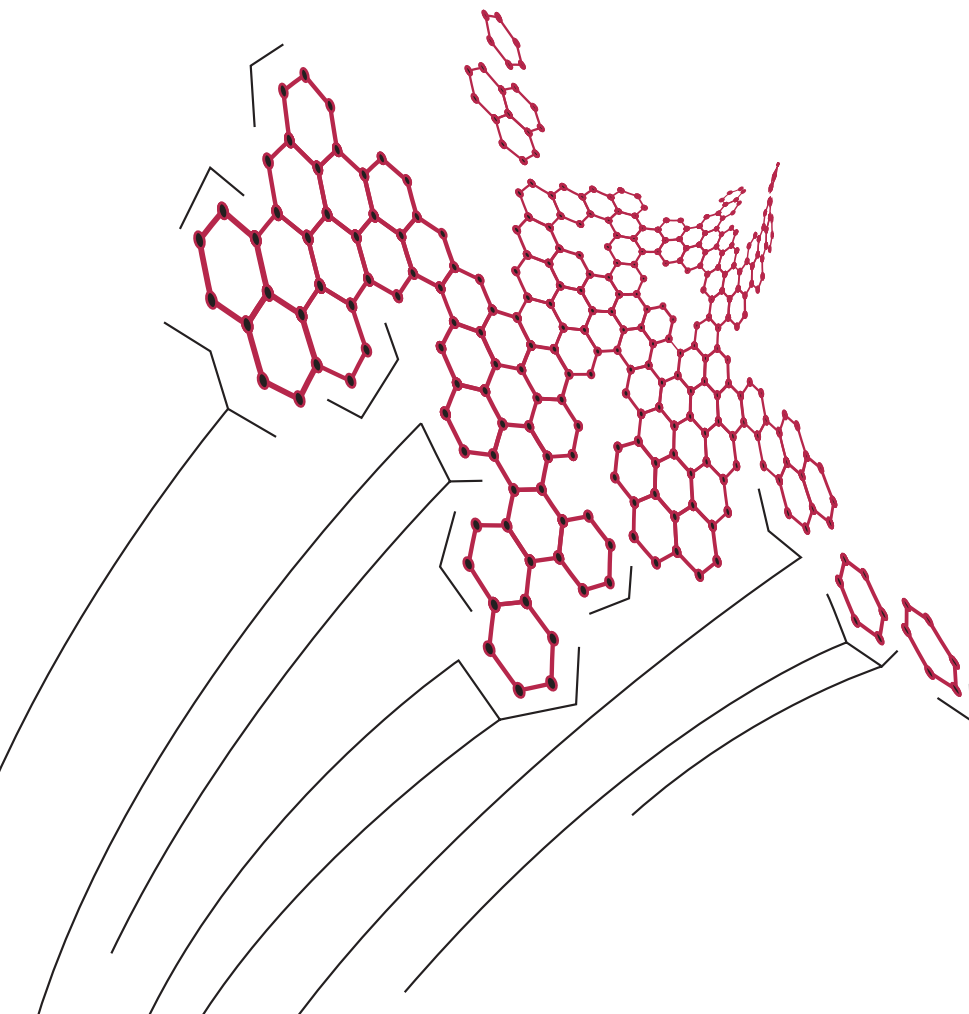
VOORTZETTING LESSON STUDY

Het LessonStudy team bij dit project heeft data verzameld over hun eigen professionele ontwikkeling (enquêtes) waaruit bleek welke stappen in het LS proces het meest hebben opgeleverd. Hieruit bleek dat vooral de observaties van aanpakken die niet werkten en de discussies met de groep veel inzicht hebben verschaft. Na afloop van het project gaven alle docenten aan dat ze in hun lespraktijk nu anders aan het werk gaan, niet alleen bij de lessen ontwikkeld voor dit project, maar ook in alle andere lessen die zij verzorgen. Deze inzichten hebben er mede toe geleid dat de Universiteit Twente (UT), ook naar aanleiding van eerder succes van het gebruik van de Lesson Study (LS) methode, het curriculum van de lerarenopleiding heeft aangepast om dit aspect mee te nemen bij de opleiding van nieuwe docenten. De professionele ontwikkeling van docenten wordt ondersteund door de praktische aanpak die dicht bij de lespraktijk ligt. Hierdoor wordt de aanpak ook als zeer motiverend en inspirerend ontvangen door de docenten in opleiding.

Deze trend is landelijk merkbaar, wat ondersteund wordt in de samenwerking in het landelijke consortium Lesson Study NL (www.lessonstudynl.nl) door meerdere Nederlandse universiteiten en hogescholen, waaronder de UT. De uitkomsten van dit project zijn ook gepresenteerd op de landelijke conferentie van het consortium.

CONFERENTIEBIJDAGEN

- Workshop 'Spelen met wiskunde' op de conferentie Twents Meesterschap, 25-01-2017
- Voorbereiding Lesson Study NL-conferentie aan de hand van een artikel 'Bridging secondary and scientific education: Lesson Study and game theoretic modelling' met promovendi, 08-05-2017
- Workshop Lesson Study NL-conferentie 'Wat is een eerlijke verdeling?', 09-05-2017



LITERATUUR

- Coenders, F. G. M., & Verhoef, N. C. (2018). Lesson Study: professional development (PD) for beginning and experienced teachers. *Professional development in education*. DOI: 10.1080/19415257.2018.1430050
- Coenen, T. J. M., Hof, F., & Verhoef, N. C. (2018). Combinatorial reasoning to solve problems. In: Hart, E., Sandefur, J. (eds). *Teaching and Learning Discrete Mathematics Worldwide: Curriculum and Research, ICME-13 Monographs*. Springer, Cham.
- Drijvers, P. (2015). *Denken over wiskunde, onderwijs en ICT*. Oratie. Freudenthal Instituut, Universiteit Utrecht.
- Dudley, P. (2013). Teacher learning in Lesson Study: What interaction-level discourse analysis revealed about how teachers utilised imagination, tacit knowledge of teaching and fresh evidence of pupils learning, to develop practice knowledge and so enhance their pupils' learning. *Teaching and Teacher Education*, 34, 107-121.
- Guardiola, L. A., Meca, A., & Timmer, J. (2007). Cooperation and profit allocation in distribution chains. *Decision Support Systems*, 44 (1), 17-27.
- Hemerik, L., Nes, E. van, & Pol, T. J. van de (2014). Kantelpunten en alternatieve evenwichten. *Zebra*, 40, Epsilon.
- Lewis, C., Perry, R., & Murata, A. (2006). How Should Research Contribute to Instructional Improvement? The Case of Lesson Study. *Educational Researcher*, 35 (3), 3-14. doi:10.3102/0013189X035003003
- Meca, A., Timmer, J., García-Jurado, I., & Borm, P. (2004). Inventory games. *European Journal of Operational Research*, 156 (1), 127-139.
- PWN (2016). Een Deltaplan voor de Nederlandse wiskunde. Opgehaald van NWO: <http://www.nwo.nl/actueel/nieuws/2016/nederlandse-wiskunde-krijgt-nieuwe-impuls-met-deltaplan.html>
- Scheffer, M., Nes, E. H. van, Holmgren, T. P., & Hughes, T. J. (2008) Pulse-driven loss of top-down control: The critical rate hypothesis. *Ecosystems*, 11, 226-237.
- Thuijsman, F. (2005). *Spelen en Delen*. Utrecht: Epsilon Uitgaven.
- Verhoef, N. C., Coenders, F. G. M., Van Smaalen, D., & Tall, D. O. (2013). The Complexities of Lesson Study in a European situation. *International Journal of Science and Mathematics Education*. DOI:10.1007/s10763-013-9436-6.
- Verhoef, N. C., Coenders, F. G. M., Smaalen, D. van, Pieters, J. M., & Tall, D. O. (2014). Professional development through lesson study: teaching the derivative using GeoGebra. *Professional Development in Education*. DOI:10.1080/19415257.2014.886285

INFORMATICA DEELPROJECT: SOCIALE ROBOTICA

INGRID BREYMANN

Voor informatica hebben we onderzocht hoe we sociale robotica als onderwerp een plek konden geven in het vo onderwijs. In overleg met de vakgroep Human Machine Interaction van de UT (HMI) in juni 2016 werd gekozen voor twee onderwerpen: emotieherkenning en sociale robotica in de ouderenzorg. Op beide onderwerpen waren onderzoekers actief die expertise en relevante literatuur beschikbaar stelden.

Op het gebied van de sociale robotica in de ouderenzorg werd gekozen voor een ontwerpopdracht voor leerlingen. Zij moeten een sociale robot ontwerpen die hun opa of oma kan helpen als deze minder mobiel worden. Gedurende ca. 8 weken doorlopen de leerlingen de hele ontwerpcyclus van gebruikersonderzoek, state of the art, ontwerpen van een prototype en evaluatie.

Met de lesmodule *Gezichtsuitdrukkingen* ontwikkelen leerlingen een "robot" gezicht waarvan de gezichtsuitdrukking verandert op basis van het sentiment van een twitter feed. Daarvoor ontwerpen leerlingen eerst een model voor het weergeven van gezichtsuitdrukkingen en testen dit aan de hand van paper prototyping. Vervolgens leren ze de sentiment parameter gebruiken om een gezicht te programmeren. Vervolgens wordt het sentiment van een zin bepaald en kunnen de leerlingen met een koppeling met Twitter de emotie van een Twitter-feed weergeven.

Beide modules zijn bij een pilot-school getest. De module *Gezichtsuitdrukkingen* bleek technisch zo moeilijk voor de leerlingen dat deze niet verder werd ontwikkeld. De module *Sociale Robotica* in de *Ouderenzorg* werd doorontwikkeld voor het domein 'User Experience' van het nieuwe examenprogramma informatica dat per september 2019 is ingevoerd. Er werd een aanvullende theorie-module ontwikkeld die bedoeld is om voorafgaand aan de ontwerpopdracht te behandelen. Hierbij leren leerlingen belangrijke concepten over User Experience.



Het materiaal werd ontwikkeld binnen een ontwikkelgroep van 3 vo-docenten en een vakdidacticus. In de verschillende fases werd de groep ondersteund door experts van de vakgroep HMI van de Universiteit Twente en later een lector User-centered design van de Hanzehogeschool Groningen, een onderwijsassistent en meerdere studenten van de lerarenopleiding informatica van de UT en studenten van de Hanzehogeschool.

Vanaf 2017 werd het ontwikkelde lesmateriaal regelmatig in scholen getest en tijdens workshops aan vo-docenten gepresenteerd. Suggesties voor wijzigingen werden vervolgens verwerkt. Een laatste testronde is in het schooljaar 2018/2019 afgerond. De bevindingen zijn vervolgens verwerkt en certificering van de module is toegekend voor

het nieuwe examenprogramma informatica, thema user experience. Zo is in relatief korte tijd een actueel onderzoeksonderwerp in een geschikte vorm beschikbaar gekomen voor het VO.

PRESENTATIES EN WORKSHOPS

Breyman, L.E.I. (2017). Onderzoek naar effectiviteit van de lesmodule 'Sociale Robots in de Ouderenzorg'. Landelijke vakdidactiekdagen informatica, 12-12-2017

Breyman, L.E.I., Klooster, J.W.J.R. van 't (2017). Vernieuwend lesmateriaal op gebied van sociale Robotica. I&I praktijkdag.

Bijdrage aan ECENT workshop IMPULS: leren van concepten uit researchcontexten, 19 mei 2017

- Breymann, L.E.I., Klooster, J.W.J.R. van 't (2017). Vernieuwing examenprogramma, User Experience. SLO Kick-off bijeenkomst 20-9-2017.
- Breymann, L.E.I., Klooster, J.W.J.R. van 't (2018). Informatica VO vernieuwd, Keuzedomein User Experience. NIOC Leeuwarden.
- Klooster, J.W.J.R. van 't, Breymann, L.E.I., (2018). Informatica VO vernieuwd, Keuzedomein User Experience. SLO Kick 'further' bijeenkomst, 11-6-2018.
- Degens, D.M., Breymann, L.E.I. (2019). De gebruiker centraal: nieuw lesmateriaal 'User Experience'. Twents Meesterschap lerarenconferentie, Enschede.
- Poppe, D. van de, Wilde, G. de (2018). Keuzemodule: User Experience. I&I praktijkdag, Utrecht.
- Klooster, J.W.J.R. van 't, Wilde, G. de (2019). Keuzemodule User Experience. Trainingsdag rondom het nieuwe examenprogramma, 3 juni 2019, CiscoNederland.

AFSTUDEERVERSLAGEN (ONDERZOEK VAN ONDERWIJS)

- Breymann, Dr. L.E.I. (2018) Informatica vernieuwd: effecten van de lesmodule 'Sociale Robots in de Ouderenzorg'.
- Overink, F.J. (2018) Domein P: user experience : een nieuwe lesmodule.
- De Vries, L.R. (forthcoming 2019) Lesmodule Sociale Robotica – Gezichtsuitdrukkingen.

LEERMATERIALEN

- Lesmodule Sociale Robotica – Gezichtsuitdrukkingen. Leerlingen- en docentenmateriaal.
- Sociale Robots in de Ouderenzorg. Leerlingen- en docentenmateriaal voor thema User Experience. Leerlingenmateriaal en docentenmateriaal.

OVERIGE

- Excursie 'Sociale Robotica' van twee schoolklassen (5vwo, 6vwo) van het Bonhoeffer College naar het Designlab, Universiteit Twente.
- Nominatie Jan-Willem van't Klooster voor NRO verbindingsprijs voor leraren 2018.
- Studiejaar 2019/2020: certificering voor het nieuwe examenprogramma informatica, keuzemodule van de 'User Experience'.

BETROKKEN STUDENTEN

- Matthijs Koridon: als studentassistent lesmateriaal 'Sociale Robots in de ouderenzorg' uitgeschreven.
- Ingrid Breymann: Binnen Onderzoek van Onderwijs de pilot van 'Sociale Robots in de ouderenzorg' geëvalueerd, msc sec afgerond door de lesmodule sociale robotica te evalueren.
- Leon de Vries: concept lesmateriaal 'Emotieherkenning' ontwikkeld en pilot uitgevoerd op stageschool.
- Floris-Jan Overink: binnen OvO en als SA theoretisch kader ontwikkeld.
- Binnen betadidactiek/vakdidactiek2: de masterstudenten hebben de modules geëvalueerd.

BETROKKEN SCHOLEN EN EXPERTS

- Bonhoeffer College Enschede, Stedelijk Lyceum Enschede, Bataafs Lyceum Hengelo.
- Vakgroep HMI, Universiteit Twente: Dennis Reidsma, Bob Schadenberg & Jered Vroon.
- Lector Hanzehogeschool: Nick Degens.

LITERATUUR

- Hmelo-Silver, C.E., Duncan, R.G., & Chinn, C.A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
- Peffer, K., Tuunainen, T., Rothenberger, M.A., & Chatterjee, S. (2007-2008). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24 (3), 45-78.
- Janet L. Kolodner, Paul J. Camp, David Crismond, Barbara Fasse, Jackie Gray, Jennifer Holbrook, Sadhana Puntambekar & Mike Ryan (2003) Problem-Based Learning Meets Case-Based Reasoning in the Middle-School Science Classroom: Putting Learning by Design(tm) Into Practice, *The Journal of the Learning Sciences*, 12:4, 495-547, DOI: 10.1207/ S15327809JLS1204_2

NLT DEELPROJECT: LAB ON A CHIP

JAN JAAP WIETSMA²

INTRODUCTIE

Het deelproject Lab on a Chip heeft voortgebouwd op de in 2013 gepubliceerde module Lab on a Chip, voor gebruik bij het vak NLT (Natuur, Leven en Technologie) op het VWO. Deze module is tot stand gekomen in nauwe samenwerking van de vakgroep BIOS van Prof. Dr. ir. Albert van den Berg. De context Lab on a Chip ligt in de focus van het wetenschappelijk onderzoek, en heeft zeer uitgebreide toepassingen in de biomedische research. Bij meer dan de helft van de wetenschappelijke researchprojecten in het onderzoeksinstituut MIRA blijkt Lab on a Chip gebruikt te worden als hulpmiddel.



Lab on a chip maken en testen tijdens de workshop op de ASE conferentie 2018 in Liverpool

WAT IS LAB ON A CHIP?

Een laboratorium op microformaat, is de ondertitel van de NLT module Lab on a chip voor vwo en een beknopte beschrijving wat het is. Via een paar stappen worden ze deze voor hen onbekende wereld in geleid. Ze leren zo'n microlab kennen door een device te bekijken en te tekenen (de Lithiumchip). Daarna maken ze zelf een minilab met schaar of snijmachine. Tenslotte ontwerpen ze een eigen lab on a chip voor een mogelijke toepassing. Technisch ontwerpen en het leren van natuurwetenschappelijke concepten komen hier samen.

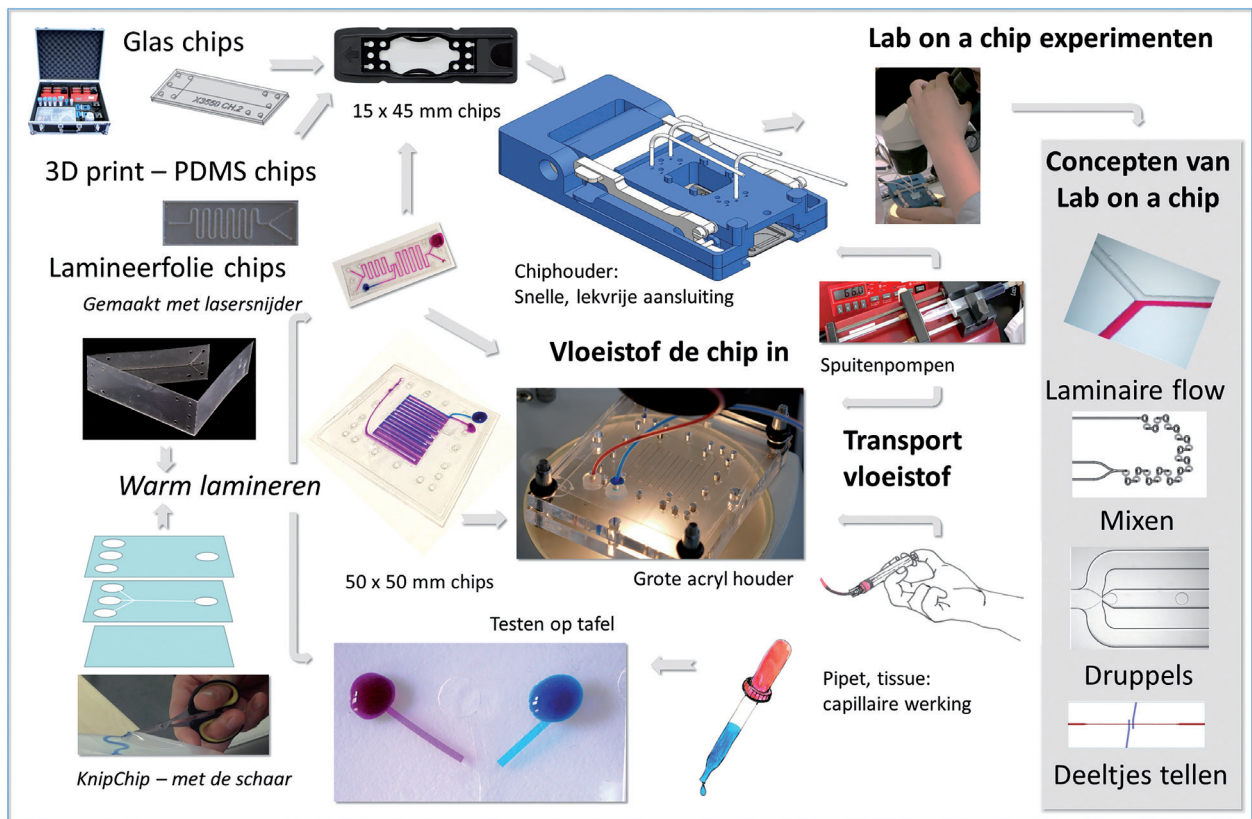
Elektronische chips zijn overal in onze omgeving te vinden. In zulke chips stromen elektronen via metaalpaadjes. Een Lab on a chip (of fluidische chip) heeft holle kanaaltjes waardoor vloeistoffen stromen. Zo'n chip kan bijvoorbeeld een chemische reactie uitvoeren, metingen doen of als kweekkamertje voor cellen dienen. Kleinere volumes, snelle reacties en nauwkeurige metingen zijn kenmerken van zulke microlabs. Klein en draagbaar maakt het ook mogelijk om thuis metingen te doen die anders in het ziekenhuislab moeten gebeuren.

Een Lab on a chip kan met verschillende, meestal doorzichtige materialen gemaakt worden. Glas of siliconenrubber (PDMS) worden vaak toegepast. Harde kunststoffen en transparante folie vormen geschikt materiaal om snelle prototypes te maken. Ook voor toepassingen in het onderwijs is zulk materiaal heel geschikt.

Een Lab on a chip opstelling, waarin vloeistoffen stromen en reageren, bestaat in het algemeen uit een chip met kanaaltjes, een houder om de chip te verbinden met tubing (dunne slangen), die gevoed worden met vloeistof uit spuitjes en pompen. De afdichting tussen de chip en de slangen moet bestand zijn tegen druk, omdat de vloeistof niet gemakkelijk door de kanaaltjes stroomt.

² Illustraties Lab on a Chip op voorpagina en in dit hoofdstuk

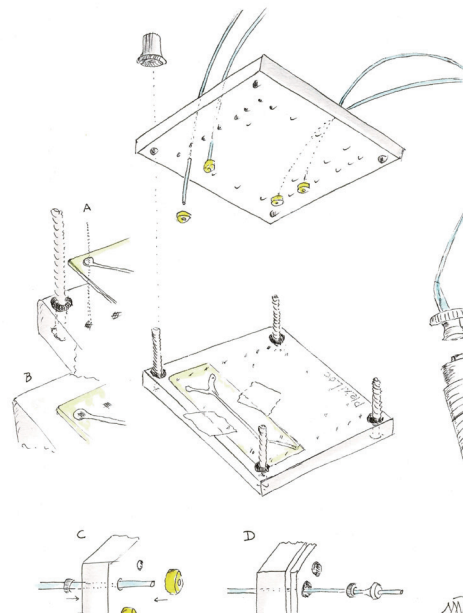
Grafisch overzicht van materialen en concepten die in het lesmateriaal over Lab on a chip aan de orde komen (gepubliceerd in de nieuwste versies van de modules voor havo en vwo).



De chips kunnen ook met capillaire werking gevuld worden, terwijl pipetspeentjes of tissue de vloeistofstroom op gang houden. Simpele demonstraties van capillaire werking en laminaire stroming zijn hiermee mogelijk.

Grafisch overzicht van materialen en concepten die in het lesmateriaal over Lab on a chip aan de orde komen (gepubliceerd in de nieuwste versies van de modules voor havo en vwo).

Voor gebruik op school is tien jaar geleden gestart met de ontwikkeling van een leskoffer met microfluidische chips, houders en pompen en bijbehorende NLT-module. Hiermee kunnen leerlingen op school experimenten doen om laminaire flow, mixing en druppelvorming te bestuderen. De professionele materialen in de leskoffer zijn kostbaar, waardoor de beschikbaarheid op school beperkt is. Bovendien is een belangrijke doelstelling van het onderwijs in Lab on a chip dat leerlingen zelf nadenken over toepassingen en het ontwerp van de chips die daarvoor nodig zijn. Tot nu toe ontbrak een eenvoudig toepasbare methode om leerlingen zelf prototypes van hun ontwerpen te laten maken en testen.



Schema van de PlexiLoC houder en bevestiging van tubing en chip.

Het IMPULS project maakte het mogelijk om ontwikkelwerk te doen aan eenvoudiger methoden en materialen om dezelfde principes van Lab on a chip helder te maken. Een belangrijke eis is dat de methodes bruikbaar moeten zijn als practicum op school. De benodigde apparatuur moet betaalbaar en goed verkrijgbaar zijn en de procedures moeten door leerlingen tamelijk eenvoudig uit te voeren zijn. Het onderzoek dat in het project is uitgevoerd heeft geresulteerd in een betaalbaar systeem voor het uitvoeren van experimenten. Zo wordt het mogelijk dat leerlingen hun eigen chips fabriceren en uitproberen. Met de methodiek zijn de microfluidische principes die met de originele leskoffer uitgevoerd kunnen worden nu met zelf te maken chips te onderzoeken. Het gaat dan om laminaire flow, meerdere typen mixing en verschillende methoden voor druppelvorming.

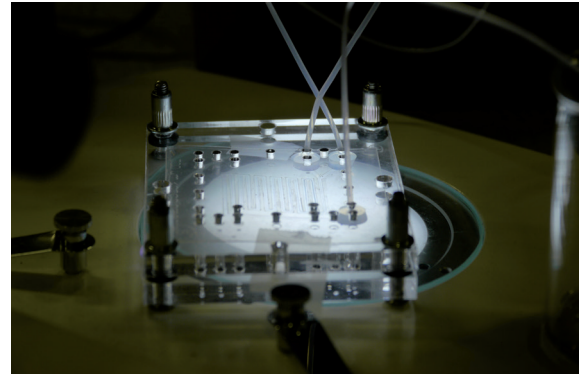


foto van een experiment met kleine Y reactor (vouwchip) en laminaire flow.

Bij het project zijn andere onderzoeksgroepen betrokken: Optical Sciences (dr. Sonia Garcia Blanco), Tissue Engineering – Organ on Chip (prof dr. Marcel Karperien, dr. Andries van der Meer). Ook de bedrijven Micronit Microtechnologies (engineering), Tide Microfluidics (microbubbles for ultrasound imaging), Medimate (Lithiumchip) en LioniX International (photonic devices) hebben in diverse stadia van het project hun medewerking verleend. Deze bijdragen van R&D collega's van de UT en genoemde bedrijven aan de module zijn van grote waarde geweest. Het heeft geleid tot diverse nieuwe mogelijkheden in het onderwijs rond Lab on a Chip.

Het ontwikkelwerk is voor een belangrijk deel gedaan door nauwe samenwerking van de docent-onderzoeker met vakgroepen, docenten en toa's van de scholen die de module Lab on a Chip verzorgen en het uitproberen van nieuwe materialen en procedures in het Pre-U leerlingenlab, tijdens workshops met leerlingen, docenten en toa's of voor een algemener publiek tijdens conferenties.

STUDENTENPROJECTEN

Internationale student (Gus Lawry) bij vakgroep Optical Sciences: onderzoek aan goede methode om nano-goud deeltjes te produceren. Heeft geresulteerd in het identificeren van een methode (Hirtado R.B., et.al, 2016) om nano-goud deeltjes te produceren bij kamertemperatuur. Deze procedure maakt het mogelijk om het experiment met eenvoudige hulpmiddelen in zelfgemaakte foliechips uit te voeren. Hierdoor is het experiment binnen het bereik gekomen van scholen/leerlingen en konden we het toevoegen aan de reeks experimenten bij de module Lab on a Chip. Het blijkt dat de reactie goud nanodeeltjes oplevert die in de chip achterblijven als een blauw spoor. Dit spoor laat zien op welke manier de stoffen in de chip door diffusie en turbulentie bij elkaar kunnen komen. Hiermee is een methode ontdekt om de mix-eigenschappen van een chip te kunnen vaststellen. Het levert tegelijk een mooi resultaat, wanneer de blauwe verkleuring in de chip aan de buitenzijde goudglanzend blijkt te zijn. Goud in de klas.

Educatieve master natuurkunde bij vakgroep ELAN: zoeken naar een goede methode om experimenten met druppelvorming in Lab on a Chip (Rogier ter Bogt). Dit blijkt een lastig onderdeel in de module. Enerzijds is het praktisch gezien een experiment dat niet altijd het gehoopte resultaat oplevert. Anderzijds omdat het experiment beperkt ingebed is in een context die voor leerlingen inzicht geeft in de toepassing van zulke chips. Er is

een onderzoek gedaan om te werken met druppels alginaat, die model staan voor het verpakken van cellen in een geleï.

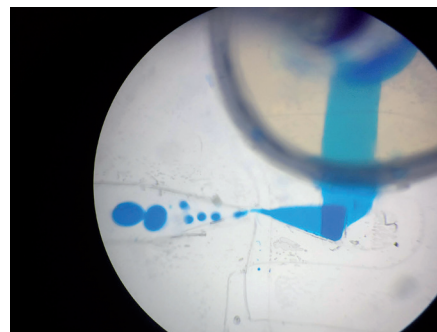
Studenten, werkzaam bij Pre-U Leerlingenlab hebben een belangrijke rol gespeeld in de **ontwikkeling en uitvoering** van de activiteiten. Hierdoor zijn zij in contact gekomen met een onderwijsproject, leerlingen en docenten / toa's tijdens workshops en in trainingen, zoals:

- Workshops in het leerlingenlab van de Universiteit Twente: voor leerlingen en hun docenten een groot aantal activiteiten waarin de experimenten met de PlexiLoC, knipchip, foliechip, snijmachine, synthese van goud nanodeeltjes en het bloedvat-op-chip zijn getest. Dit waren studenten Technische Geneeskunde, Biomedische Technologie, Scheikundige Technologie, Natuurkunde en Werktuigbouwkunde die als Pre-U student assistentie verleenden.
- Ontwerp en productie van de PlexiLoC en bijbehorende foliechips (drie studenten Industrieel Ontwerpen)
- Testen van experimenten in verschillende stadia van ontwikkeling
- Instructie van docenten en toa's op scholen
- Assistentie bij workshops op de verschillende conferenties
- Deelname aan ontwikkelsessies met docenten en toa's
- Instructie van docenten en toa's voor gebruik van het practicummateriaal op school

In totaal zijn bij dit project 20 studenten meer of minder intensief betrokken geweest.

DOCENTEN EN TECHNISCH ONDERWIJS ASSISTENTEN (TOA'S)

Werken aan methoden om zelf Lab on a Chip devices te kunnen maken. In de projectperiode is verder gewerkt aan het verfijnen van de methode Lasersnijden. Het blijkt dat deze methode erg gevoelig is voor veranderingen: fabricaat van de folie, de lasersnijder, instellingen van de machine, het gebruikte ontwerp. Overdraagbaarheid naar scholen is daardoor beperkt. Door de gevoeligheid van het productieproces voor allerlei variaties bleek dat geproduceerde foliechips lang niet altijd goed werken. In het bijzonder verstoppingen bij de in/uitgang van kanalen bleken vaak op te treden en niet eenvoudig te vermijden door een aanpassing in de procedure.



Foliechips uit de snijplotter. Focused flow druppelchip (2018), Swirl mixer met vorming nanogoud (2018), Model vaatvernauwing (atherosclerose) op chip (2019) met turbulentie, zichtbaar via nanogoud (boven) en kleurstoffen (onder; turbulentie is paars) in PlexiLoC, ca 40x vergroot.

Parallel hieraan is uitgezocht of het lukt om met een snijplotter bruikbare foliechips te produceren. Dit bleek een uitstekende methode, die ook goed in te zetten is op de school zelf. Gedurende de projectperiode is het gelukt om ieder basisprincipe van de Lab on a Chip, zoals die in de lesmodule aan de orde komt, te demonstreren met behulp van gesneden foliechips. Het gaat dan om het laten zien van laminaire flow, verschillende methoden van mixen op chip en het vormen van microdruppels. Daarnaast is het gelukt om chips te maken naar voorbeeld van een model dat is ontwikkeld binnen een onderzoekproject rond vernauwing van bloedvaten (atherosclerose). Deze foliechips blijken vergelijkbare resultaten op te leveren als in de 'echte' Lab on a Chip. Hiermee is het praktische materiaal ontwikkeld om de context 'bloedvatvernauwing' en 'orgaan op een chip' te introduceren in de module Lab on a Chip.

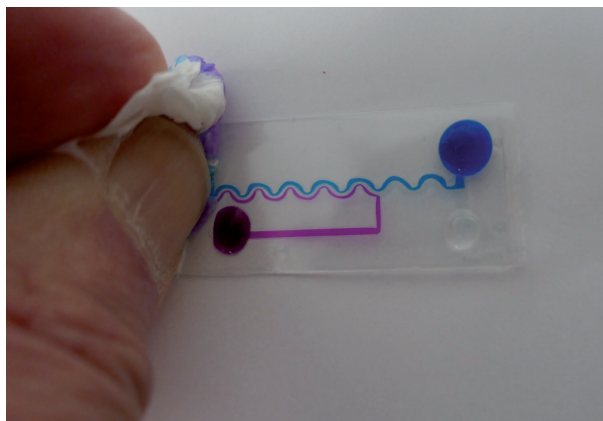
Leerlingen hebben in het kader van een afsluitend project rond dit thema gewerkt aan een model van een vernauwd bloedvat. Ze verdiepten zich zo in bloedvatvernauwing en konden dit met een zelf met folie en schaar gemaakte Lab on a Chip onderzoeken.

HET GEBRUIK VAN WETENSCHAPPELIJKE CONTEXTEN BIJ LEERLINGPROJECTEN.

In de module Lab on a Chip komt een groot aantal concepten aan de orde, zoals cohesie, adhesie, laminaire stroming, capillaire werking, druppelvorming, getal van Reynolds, turbulentie, relatie kanaaldiameter en turbulentie, design van mixers en microreactoren. Binnen de onderzoekcontext Lab on a Chip vormen deze concepten een begrippenkader om uit te kunnen leggen wat er in een microchip gebeurt. De concepten worden gekoppeld aan voorbeelden, die weer als nieuwe contexten dienen voor verschijnselen als laminaire flow, turbulentie, mixing en druppelvorming. De vraag is gesteld of het lukt om deze concepten te koppelen aan een wetenschappelijke onderzoekcontext, en zo de verbinding te leggen tussen een onderzoeksproject en het gekozen concept. Rond ieder van de concepten zijn wetenschappelijke artikelen (engelstalig) geselecteerd uit onderzoekprojecten.

1. Atherosclerose op chip (laminaire flow, turbulentie), orgaan op chip (Westein et al. 2013)
2. Het inpakken van kraakbeencellen in gel (druppelvorming), tissue engineering. (Kamperman et al. 2014)
3. Het ontwerpen van een goede micromixer (laminaire flow, turbulentie, mixing) (meerdere refs)
4. Het produceren van microbubbles (druppelvorming), als contrastvloeistof voor ultrasound (Van Hove et al. 2011) .
5. Technieken van productie van Lab on a Chip, als inspiratie voor het zelf ontwerpen van devices (meerdere refs onder engineering).

De materialen hiervoor zijn voorgelegd aan docenten. Het bleek dat docenten het bijzonder lastig vinden om een idee te krijgen waar het onderzoek over gaat. De vertaalslag naar (eenvoudige) opdrachten voor leerlingen konden zij met deze aanpak niet zelf maken.



Deze bevinding maakt het onwaarschijnlijk dat leerlingen wel met zulke artikelen aan de slag kunnen. Het is noodzakelijk om een vereenvoudiging aan te brengen in het materiaal dat aan de leerlingen wordt voorgelegd.

Bij deze aanpak blijkt het belangrijk te zijn om de principes te kunnen illustreren met praktisch werk. Wanneer leerlingen ook variatie kunnen aanbrengen in de chips kan dat een interessant eindproduct opleveren. Daarvoor was de tussenstap noodzakelijk om zélf een werkende Lab on a Chip te kunnen produceren en het ontwerp daarvan te kunnen aanpassen. Bovendien zijn experimenten waarmee chemische neerslagen of (levende) cellen in Lab on a Chips terecht komen niet geschikt om met herbruikbare glazen chips uit te voeren. Vandaar dat het noodzakelijk is gebleken veel energie te steken in het ontwikkelen van procedures waarmee op een reproduceerbare manier zelf ontworpen of zelf aangepaste Lab on a Chips kunnen worden gemaakt.

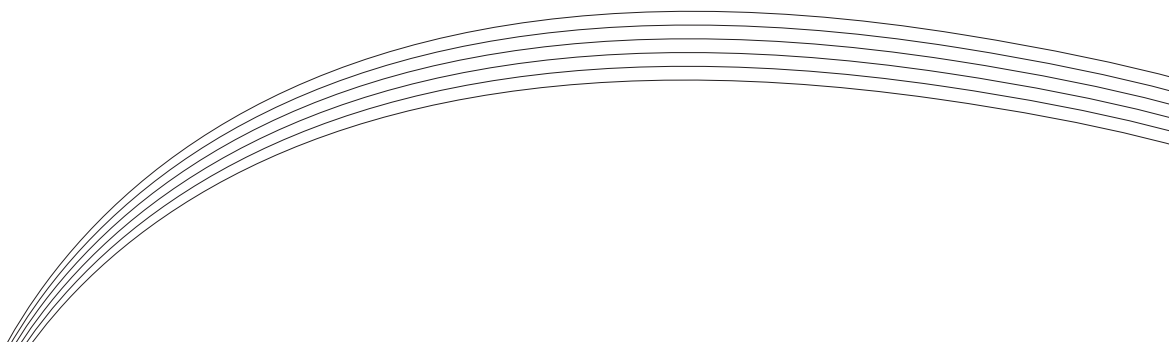
Voor ieder van de beschreven contexten is nu een goed werkende en bruikbare foliechip beschikbaar. Bij het vervolg van dit onderzoek zal de koppeling met de beschreven wetenschappelijke contexten gebruikt gaan worden om interessante leerlingprojecten met Lab on a Chip te formuleren. In het kader van dit project is hiertoe een veelbelovende aanpak ontwikkeld en gepubliceerd.

LEERMATERIALEN

- NLT module Lab on a chip voor havo (certificering)
- NLT module Lab on a chip voor vwo (update en hercertificering)
- Voorschriften productie foliechips, nano-goud experiment, werken met snijmachine, verbeterde voorschriften om foliechips te ontwerpen en produceren. Tijdens de sessies is gekeken hoe de deelnemers werken, hoeveel tijd de activiteiten kosten en of instructies en praktisch materiaal in de praktijk naar behoren functioneren. Na afloop is feedback verzameld voor de evaluatie en documentatie ten behoeve van publicaties.
- Serie workshops (drie niveau's) en Masterclass Pre-U leerlingenlab, ontwikkeld in samenwerking met studenten van Pre-U.

SCHOLEN EN LERARENCONFERENTIES

- Lesmaterialen modules Lab on a chip uitgebreid met mogelijkheden om lab on a chip devices zelf te maken. Materiaal is getest en de modules zijn (opnieuw) gecertificeerd voor gebruik in de lessen NLT.
- Scholing bij het gebruik van de praktische lesmaterialen, die tegelijk gediend hebben om bruikbaarheid en praktische problemen te onderzoeken wanneer niet-ervaren gebruikers met de materialen werken.
- Uitprobeersessies met docenten: scholingsworkshops, netwerkbijeenkomst van module-gebruikers, scholingssessies bij het Pre-U leerlingenlab Universiteit Twente.
- Nieuwe voorschriften en practicum is getest in workshops in het Pre-U leerlingenlab, tijdens workshops voor docenten en workshops op scholen.
- De materialen zijn internationaal gepresenteerd op de ASE conferentie 2018 (Liverpool) en tijdens de International Conference on Contamination Control 2018 (Den Haag). Tijdens alle presentaties hebben deelnemers zelf Lab on a chip devices kunnen maken, en is het maken van Nano-goud deeltjes in chip gedemonstreerd of door deelnemers uitgevoerd.



PUBLICATIES

Wietsma, J. J., van der Veen, J. T., Buesink, W., van den Berg, A., Odijk, M., Veen, J. T. van der & Odijk, M. (2018). Lab-on-a-Chip: Frontier Science in the Classroom. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 267–275. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00506>.

Abstracts voor:

Woudschoten Chemie 2017

Chemie conferentie Nijmegen 2018

NLT conferentie 2018

ASE conferentie 2018

COMMUNICATIE VIA WEBSITES

- <https://fr-fr.facebook.com/Micronit/photos/lab-on-a-chip-voor-basisscholenvandaag-bezocht-groep-78-van-de-joppeschool-ns-h/1794781477218727/>
- <https://www.nationaleonderwijsgids.nl/basisonderwijs/nieuws/42289-kinderen-maken-lab-on-a-chip-bij-universiteit-twente.html>
- <https://www.deingenieur.nl/artikel/lab-on-a-chip-voor-basisscholen>

CONFERENTIEBIJDRAGEN EN WORKSHOPS

- International conference on Contamination Control, september 2018, Den Haag (workshops): medewerkers bedrijven en instellingen rond cleanroomtechnologie.
- NLT conferentie 2018 (workshops) – docenten, toa's NLT
- Workshop voor basisschool bij Micronit Microtechnologies – leerlingen (en leerkrachten) groep 7 en 8, januari 2018.
- Docentendag scheikunde, Radboud Universiteit Nijmegen 2018 (workshops) docenten en toa's chemie.
- Association of Science Education, annual conference 2018, Liverpool UK (workshop): docenten, technici, opleiders en onderzoekers uit de natuurwetenschappen, wereldwijd.
- Woudschoten Chemie 2017 (lezing, workshops) chemici, docenten chemie, toa's
- Micro-Nano conference, Amsterdam, december 2016 (demonstration table, leskoffer en nieuwe materialen Lab on a chip praktisch werk).
- Photonics NL annual conference, Amsterdam NL (november 2016), lezing en demonstratietafel leskoffer Lab on a chip.

LITERATUUR PER DEELONDERWERP

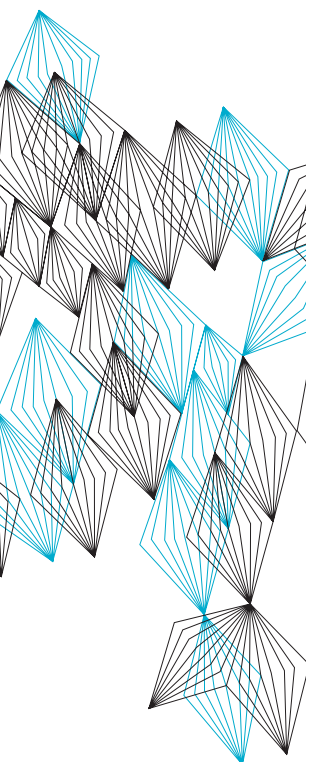
Goud nanodeeltjes synthese

R. Britto Hurtado, M. Cortez-Valadez, L.P. Ramírez-Rodríguez, Eduardo Larios-Rodriguez, Ramón A.B. Alvarez, O. Rocha-Rocha, Y. Delgado-Beleño, C.E. Martinez-Nuñez, H. Arizpe-Chávez, A.R. Hernández-Martínez, M. Flores-Acosta (2016). Instant synthesis of gold nanoparticles at room temperature and SERS applications, *Physics Letters A*, Volume 380, Issue 34, 2016, Pages 2658-2663, ISSN 0375-9601, <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2016.05.052>.

Kraakbeencellen in druppels

Kamperman, T., Henke, S., van den Berg, A., Shin, S. R., Tamayol, A., Khademhosseini, A., ... Leijten, J. (2017). Single Cell Microgel Based Modular Bioinks for Uncoupled Cellular Micro- and Macroenvironments. *Advanced Healthcare Materials*, 6(3). <http://doi.org/10.1002/adhm.201600913>

Kamperman, T., Leijten, J. C., Henke, S. J., & Karperien, M. (2014). Producing artificial chondrons for improved cartilage repair. *Osteoarthritis and Cartilage*, 22(2014), S485–S486. <http://doi.org/10.1016/j.joca.2014.02.921>



Undergraduate Lab (on-a-Chip): Probing Single Cell Mechanics on a Microfluidic Platform, 3(3), 319–330. <http://doi.org/10.1007/s12195-010-0124-0>

Atherosclerose op chip

Westein, E., van der Meer, A. D., Kuijpers, M. J. E., Frimat, J.-P., van den Berg, A., & Heemskerk, J. W. M. (2013). Atherosclerotic geometries exacerbate pathological thrombus formation poststenosis in a von Willebrand factor-dependent manner. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(4), 1357–1362. <http://doi.org/10.1073/pnas.1209905110>

Engineering

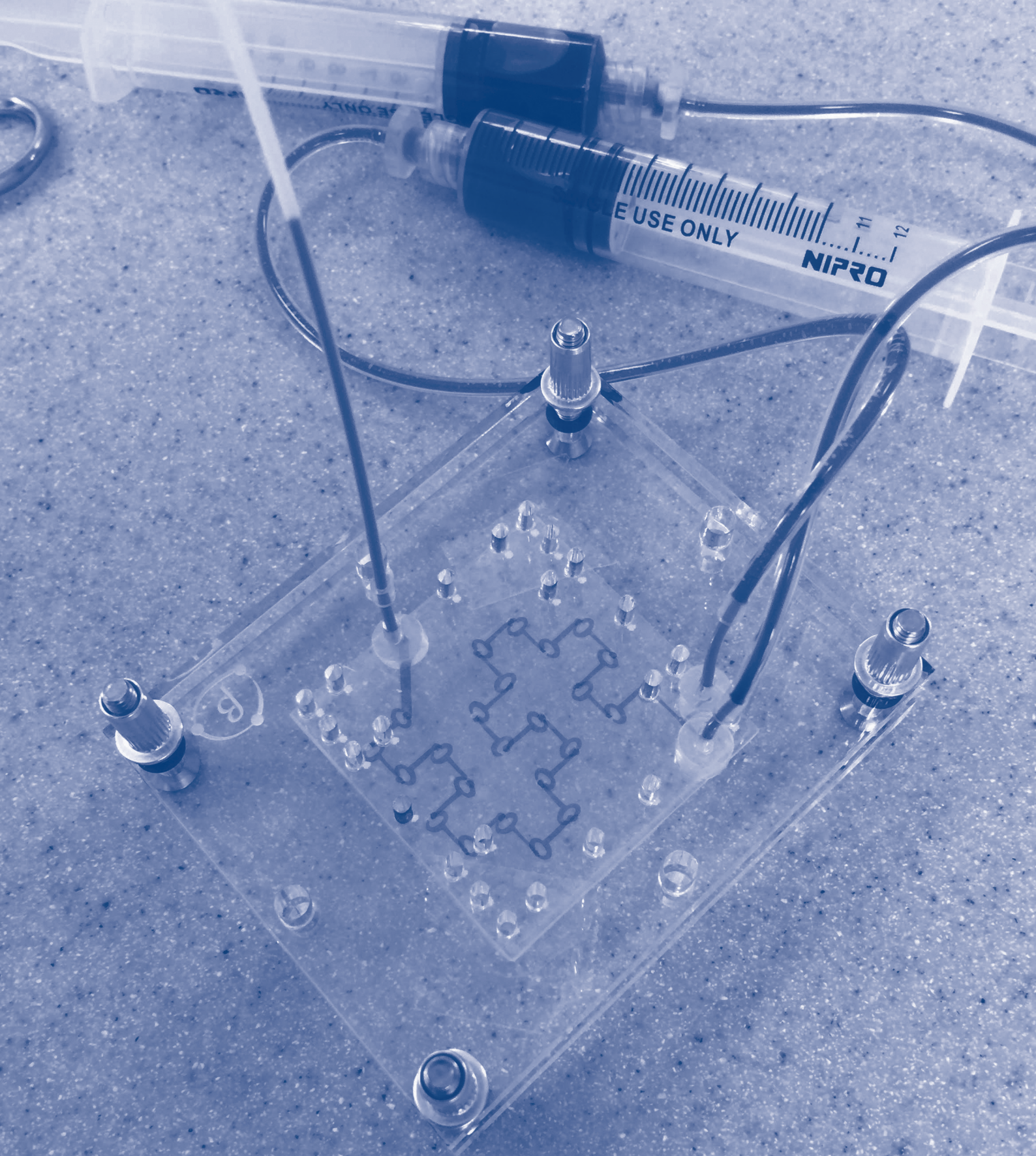
- Wang, B., Lin, Z., & Wang, M. (2015). Fabrication of a Paper-Based Micro fluidic Device To Readily Determine Nitrite Ion Concentration by Simple Colorimetric Assay. *Journal of Chemical Education*, 92(4). <http://doi.org/10.1021/ed500644m>
- Yuen, P. K., & Goral, V. N. (2012). Low-cost rapid prototyping of whole-glass microfluidic devices. *Journal of Chemical Education*, 89(10), 1288–1292. <http://doi.org/10.1021/ed3000292>
- Lisowski, P., & Zarzycki, P. K. (2013). Microfluidic paper-based analytical devices (μ PADs) and micro total analysis systems (μ TAS): Development, applications and future trends. *Chromatographia*, 76(19–20), 1201–1214. <http://doi.org/10.1007/s10337-013-2413-y>
- Greener, J., Tumarkin, E., Debono, M., Dicks, A. P., & Kumacheva, E. (2012). Education: a microfluidic platform for university-level analytical chemistry laboratories. *Lab on a Chip*, 12(4), 696–701. <http://doi.org/10.1039/c2lc20951a>
- Focke, M., Kosse, D., Müller, C., Reinecke, H., Zengerle, R., & von Stetten, F. (2010). Lab-on-a-Foil: microfluidics on thin and flexible films. *Lab on a Chip*, 10(11), 1365–1386. <http://doi.org/10.1039/c001195a>
- Rhee, M., & Burns, M. A. (2008). Microfluidic assembly blocks. *Lab on a Chip*, 8(8), 1365. <http://doi.org/10.1039/b805137b>

Mixing

- Su, Y., Chen, G., & Yuan, Q. (2011). Ideal micromixing performance in packed microchannels. *Chemical Engineering Science*, 66(13), 2912–2919. <http://doi.org/10.1016/j.ces.2011.03.024>
- Bown, M., Macinnes, J., Vikhansky, A., Allen, R., & Blom, M. (2004). Reynolds and Péclet Number Effects in Folding Flow Mixers. *Most*, 2. https://1drv.ms/b/s!AIG6N_3CsHWEmqwWAvm55U_KsAN7TA
- Nimafar, M., Viktorov, V., & Martinelli, M. (2012). Experimental comparative mixing performance of passive micromixers with H-shaped sub-channels. *Chemical Engineering Science*, 76, 37–44. <http://doi.org/10.1016/j.ces.2012.03.036>
- Ansari, M. a., Kim, K. Y., Anwar, K., & Kim, S. M. (2012). Vortex micro T-mixer with non-aligned inputs. *Chemical Engineering Journal*, 181–182, 846–850. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.113>

Foliechips uit lamineerfolie

- Martínez-Hernández, K. J., Rovira-figueroa, N. D., & Ontiveros, F. (2016). Implementation and Assessment of Student-Made Microfluidic Devices in the General Chemistry Laboratory. 8(xx). <https://doi.org/10.1166/jne.2016.1097>
- Levis, M., Kumar, N., Apakian, E., Moreno, C., Hernandez, U., Olivares, A., ... Zartman, J. J. (2019). Microfluidics on the fly: Inexpensive rapid fabrication of thermally laminated microfluidic devices for live imaging and multimodal perturbations of multicellular systems. *Biomicrofluidics*, 13(2). <https://doi.org/10.1063/1.5086671>



University of Twente
Drienerlolaan 5
7522 NB Enschede

P.O.Box 217
7500 AE Enschede

+31 (0)53 489 9111

info@utwente.nl
www.utwente.nl