

Laura Tamassia
Goele Cornelissen
Fien Depaepe
Maarten Simons
Thomas Storme
Kristof Van de Keere
Stephanie Vervaet

Handleiding Solvay Conferentie 1927

Voor leerkrachten



Onderzoek in Beweging

Handleiding Solvay Conferentie 1927

Voor leerkrachten



Beste leerkracht en leerkracht-in-opleiding

In deze handleiding kan je de nodige informatie, didactische suggesties en concrete tips vinden om in je eigen praktijk aan de slag te gaan met de digitale leeromgeving *Onderzoek in Beweging*.

Onderzoek in Beweging is direct bruikbaar in de klas in het lager en secundair onderwijs.

Het algemene doel van *Onderzoek in Beweging* is om de onderzoekspraktijk te ontsluiten voor jonge mensen. Het uitgangspunt is dat jonge mensen op school niet alleen onderzoekscompetenties verwerven, maar ook de kans krijgen om door de fascinerende, dynamische en complexe wereld van het onderzoek aangesproken te worden. Zo kunnen ze interesse voor onderzoek als iets van de wereld ontwikkelen, en dit in het kader van een brede wetenschappelijke vorming voor alle leerlingen.

De ontwikkelde digitale leermaterialen en het didactisch concept van *Onderzoek in Beweging* zijn een antwoord op de volgende vraag:

Hoe kunnen leerlingen een *authentiek* beeld krijgen van wat onderzoek is en wat een onderzoeker doet?

De didactische scenario's van *Onderzoek in Beweging* zijn Black Boxen van onderzoek die leerlingen kunnen openen. Uitgangspunt is dat de praktijk van onderzoek vaak onzichtbaar blijft. Daarin kunnen leerlingen de praktijk van onderzoek exploreren vertrekkend vanuit authentiek materiaal (onderzoeksartefacten) zoals artikels, foto's en video's van onderzoekers, instrumenten en labo's, aankondigingen van ontdekkingen en prijzen, interviews, e-mails en brieven van onderzoekers en kaarten met de locaties van onderzoek.

De leermaterialen die exemplarisch werden ontwikkeld, zijn in de eerste plaats bruikbaar voor de vakken wereldoriëntatie in het lager onderwijs en fysica, gedragswetenschappen en wetenschappelijk werk in het secundair onderwijs. Het didactisch concept van *Onderzoek in Beweging* is echter generiek en laat toe ook bijkomende leermaterialen en didactische scenario's te bedenken.

Ten slotte, kan je in de White Boxen meer informatie vinden over de ideeën en de auteurs die ons hebben geïnspireerd. We hopen dat je daardoor ook geïnspireerd kan worden om te streven naar interessevorming voor en door onderzoek in je klaspraktijk.

Inhoudstafel

1. Wat is Onderzoek in Beweging?	5
1.1 De wereld van onderzoek ontsluiten voor jonge mensen	5
WhiteBox 1: INTERESSEVORMING	9
1.2 Onderzoekresultaten als Black Boxen	10
WhiteBox 2: BLACK BOX	13
1.3 Focus op de praktijk van het onderzoek	14
WhiteBox 3: DIVERSITEIT	15
1.4 Authenticiteit: aandacht voor onderzoeksartefacten	16
WhiteBox 4: DINGEN DIE ER TOE DOEN	17
1.5 Visualiseren en multidimensionaliteit	18
WhiteBox 5: COMPLEXITEIT VISUALISEREN	20
2. Hoe werken met Onderzoek in Beweging?	21
2.1 Black Boxen, oefeningen en taken	21
2.2 Exploratietoefeningen	22
WhiteBox 6: VERBINDINGEN	23
2.3 Ideeën die jonge mensen hebben over onderzoek, worden bespreekbaar	24
2.4 Tips om interessevorming voor onderzoek concreet te realiseren in je klas	26
2.4.1 Klassetting en keuze van de digitale middelen	26
2.4.2 Organisatie en tijd	27
2.4.3 Beginnen, ondersteunen, eindigen	29
2.4.4 Aandacht voor taalgebruik inzake onderzoek	31
3. Black Box Solvay Conferentie 1927	32
3.1 Inleiding	32
3.2 Algemene informatie, met doelgroep en link met eindtermen en leerplannen	32
3.3. Oefeningen met voorbeeldantwoorden en tips	33
3.3.1 Conferentiedebat	33
3.3.2 Conferentietijd	40
3.3.3 Conferentiehandelingen	46
3.3.4 Conferentiescene	49
3.4. Suggesties voor inhoudelijke koppeling en verbreding	50

1. Wat is Onderzoek in Beweging?

1.1 De wereld van onderzoek ontsluiten voor jonge mensen

We leven in een samenleving waarin onderzoek in toenemende mate doordringt tot het leven van iedereen. Tegen die achtergrond wordt de school vandaag verondersteld voor de uitdaging te staan om leerlingen de nodige kennis, vaardigheden en attitudes mee te geven die iemand nodig heeft om met een onderzoekende houding in het leven te staan en/of om aan onderzoek te doen.

Dit project gaat ervan uit dat het van belang is dat jonge mensen, in het kader van een brede wetenschappelijke vorming voor alle leerlingen, op school niet alleen onderzoekscompetenties verwerven, maar ook de kans krijgen om door de fascinerende, dynamische en complexe wereld van het onderzoek aangesproken te worden. Vooral wanneer onderzoek een *authentieke leerinhoud* wordt, kunnen jonge mensen geïnteresseerd geraken in onderzoek en op deze manier door onderzoek gevormd worden. Meer over het concept 'vorming' vind je in WhiteBox 1.

Hoewel onderzoek, met onderzoekend leren en leren onderzoeken, de laatste jaren aan belang heeft gewonnen in het Vlaamse onderwijs, stelt men vast dat de aandacht voor de gehele, veelzijdige context van de *onderzoekspraktijk* veelal ontbreekt.¹

Daarom heeft het project Onderzoek als Authentieke Leerinhoud de digitale leeromgeving *Onderzoek in Beweging* (<http://www.onderzoekinbeweging.be>) ontwikkeld. Deze leeromgeving omvat didactische scenario's die direct bruikbaar zijn in de klas.

De term 'onderzoek' is op een bepaalde manier deel gaan uitmaken van het denken en spreken over het onderwijscurriculum van de 21^{ste} eeuw. De belangrijkste reden daarvoor is dat 'kunnen onderzoeken' tegenwoordig beschouwd wordt als één van de transversale vaardigheden die cruciaal zijn om in het leven te kunnen staan en te kunnen werken.² Bijgevolg, heeft de 'leerlijn leren onderzoeken'³ vorm gekregen in de Vlaamse eindtermen en leerplannen, met als sluitstuk de invoering van de decretale verplichting i.v.m. het behalen van de onderzoekscompetentie op het einde van de 3^{de} graad ASO, in uitwerking sinds schooljaar 2005-2006.

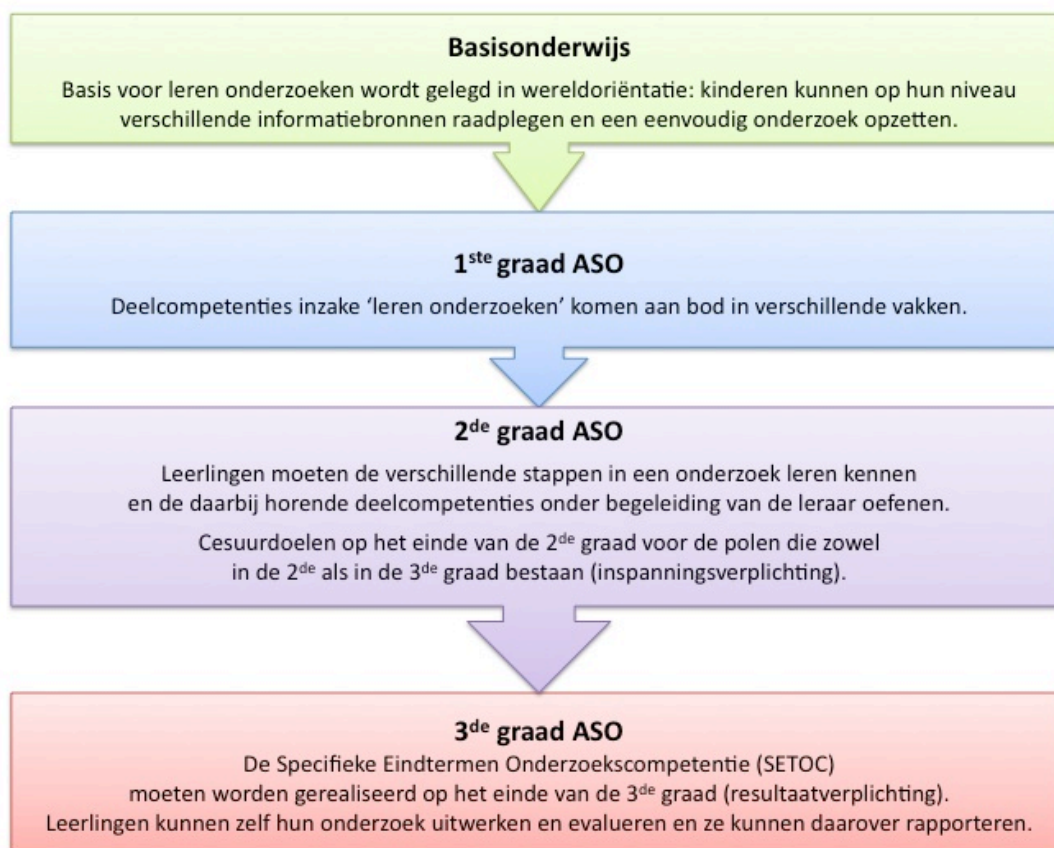
Het is van belang te beseffen dat onderzoek in de schoolpraktijk niet alleen een zaak is van leerkrachten in de 3^{de} graad van het ASO. De leerlijn leren onderzoeken begint

¹ Zie G. Cornelissen, L. Tamassia, S. Vervaeke, F. Depaepe, K. Van De Keere, M. Simons, Tijd voor onderzoek als authentieke leerinhoud: een verkenning van eindtermen en leerplannen, Impuls 45/2 (2014).

² Zie bv. <http://edglossary.org/21st-century-skills/>

³ Zie bv. de volgende documenten van pedagogische begeleidingsdiensten: PB Mechelen-Brussel (2010) Werken aan de onderzoekscompetentie in het aso - Hoe (goed) zijn we al bezig? Vicariaat Onderwijs, Mechelen-Brussel, 27 mei; Pedagogische Begeleidingsdienst GO! (2013) Onderzoekscompetentie 1e graad A-stroom, 2e en 3e graad aso. Informatiebrochure. Brussel, april; VVKSO (2008) Onderzoekscompetentie in leerplannen van de derde graad aso. Brussel, 26 juni.

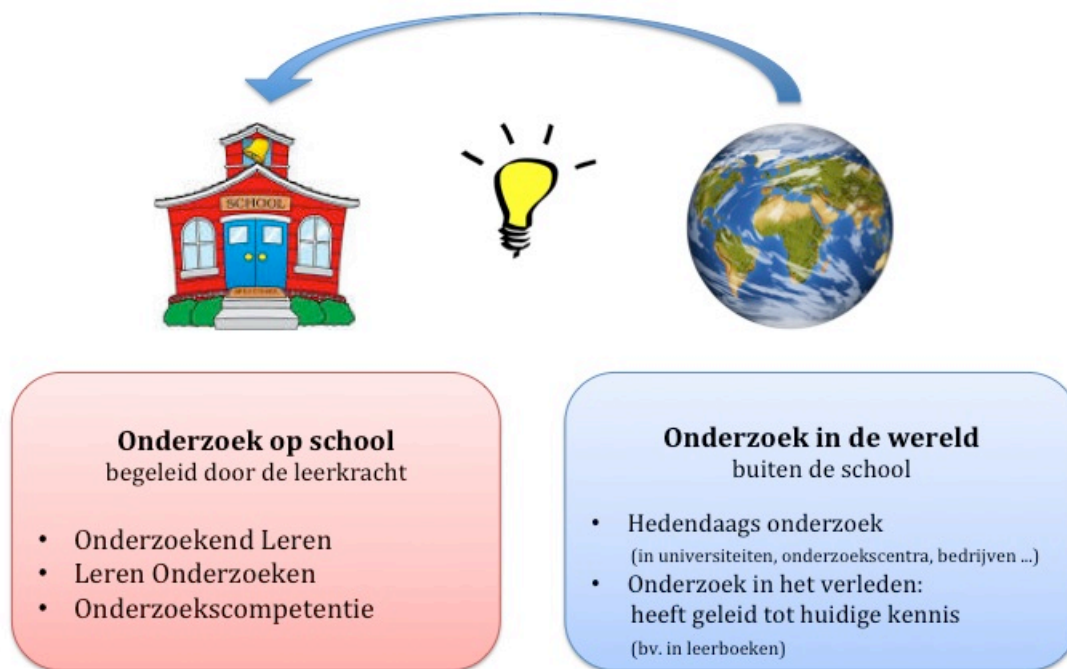
immers reeds in het basisonderwijs, in de vorm van onderzoekend leren. Dit is een didactische werkvorm waarbij het leren van vakinhouden gekoppeld wordt aan het inoefenen van specifieke onderzoeksvaardigheden en aan het stimuleren van bepaalde (onderzoeks-)houdingen. De basis van (leren) onderzoeken wordt dus via onderzoekend leren in het basisonderwijs gelegd en loopt verder door het hele secundair onderwijs, met een verschuiving van onderzoekend leren naar leren onderzoeken, waar onderzoeksvaardigheden en houdingen centraal komen te staan. Onderzoek is dus transversaal aanwezig in het schoolcurriculum, zie figuur 1.



Figuur 1: Leerlijn leren onderzoeken in het Vlaams onderwijs. Alleen voor het ASO zijn er decretale verplichtingen inzake onderzoekscompetentie. In verschillende TSO richtingen komen de deelcompetenties i.v.m. onderzoek echter ook aan bod.

Terwijl onderzoek vandaag op deze manier deel uitmaakt van het onderwijscurriculum, is het onderzoek ook een concrete maatschappelijke praktijk, die dagelijks plaatsvindt en waarbinnen dagelijks tal van mensen werkzaam zijn. We spreken hier niet enkel over het hedendaagse onderzoek, waarmee leerlingen heel vaak geconfronteerd worden via de media en waarbinnen ze zelf in de toekomst misschien aan de slag zullen gaan, maar ook over het onderzoek in het verleden, dat ook mee vorm heeft gegeven aan de kennis die leerlingen terugvinden in hun leerboeken (zie figuur 2).

Onderzoek in Beweging



Figuur 2: Onderzoek op school versus onderzoek in de wereld. *Onderzoek in Beweging* wil onderzoek zoals een praktijk die bestaat in de wereld, ook in het schoolcurriculum brengen.

Het feit dat onderzoek vaak aan bod komt op school betekent echter nog niet dat de wereld van onderzoek ook als (authentieke) *leerinhoud* aan bod komt. Zoals het duidelijk zichtbaar is in het schema van figuur 1, komt onderzoek vandaag op school vooral aan bod als een methodiek voor het verwerven van onderzoeksvaardigheden/competenties. Het gaat immers over het volgen van de stappen van de zogenoemde onderzoekscyclus, het nauwkeurig verzamelen van data, het correct vermelden van bronnen ... Onderzoek staat hier echter steeds in dienst van iets anders (verwerven van kennis, vaardigheden en attitudes) en kan bijgevolg heel moeilijk verschijnen als leerinhoud. Op die manier is er het risico dat aan leerlingen geen inkijk wordt geboden in de wereld van het onderzoek zelf en in de zeer diverse, complexe en fascinerende praktijken die, zowel vandaag als in het verleden, met die wereld verbonden zijn. Dit zorgt er niet alleen voor – en hierover bestaat heel wat internationale literatuur⁴ – dat leerlingen allerlei misconcepties ontwikkelen over wat onderzoek doen werkelijk is. Het zorgt er vooral ook voor dat jongeren zich geen authentiek beeld kunnen vormen van de wereld van onderzoek of dat ze daar geen betekenis aan kunnen geven. Daarom biedt *Onderzoek in Beweging* didactisch materiaal en een pedagogisch-didactisch concept aan om de onderzoekspraktijk zelf ook zichtbaar te maken op school.

⁴ Zie bv. D. Hodson, Science Fiction: the continuing misrepresentation of science in the school curriculum, Curriculum Studies, Vol. 6, No. 2, 1998 en verder (sectie 2.3).

Onderzoek in Beweging is bedoeld als een *verrijking* van de huidige didactiek van onderzoek in de klas en wil deze in geen geval vervangen. Integendeel, het werken met de materialen van *Onderzoek in Beweging* wordt best *gecombineerd* met de activiteiten die normaal plaatsvinden i.v.m. onderzoek in de klas. Er kunnen verschillende paden gevolgd worden om leerlingen en studenten van de lerarenopleiding een inkijk te geven in de wereld van onderzoek.

Hier wordt gekozen voor een digitale leeromgeving, gebaseerd op authentieke materialen die de wereld van onderzoek binnenbrengen in de klas. Met *Onderzoek in Beweging* kunnen leerlingen deze wereld digitaal exploreren zonder de klas te moeten verlaten. Op deze manier wordt de digitale leeromgeving een venster op de wereld van onderzoek die leerlingen zelf kunnen ontdekken.

Andere mogelijkheden om jonge mensen in contact te brengen met de wereld van onderzoek zijn bijvoorbeeld:

- *leerlingen/studenten fysiek naar de 'wereld van het onderzoek' brengen via bezoeken aan en samenwerking met onderzoekers in onderzoeksinstellingen*
- *onderzoekers in de klas uitnodigen in het kader van wetenschapsweek, studiedagen enz.*
- *vakinhoudelijk contact zoeken met hedendaags onderzoek, bv. door verbanden tussen leerstof en onderzoeksactualiteit te leggen in de les, door oefeningen te gebruiken gebaseerd op echte onderzoeksdata, door het onderzoek van het verleden achter de leerinhouden in de leerplannen terug tot leven te brengen, bijvoorbeeld door samen die oude publicaties te lezen en te bespreken.*

De digitale leeromgeving kan eenvoudig gecombineerd worden met deze of andere mogelijkheden.

WhiteBox 1: INTERESSEVORMING

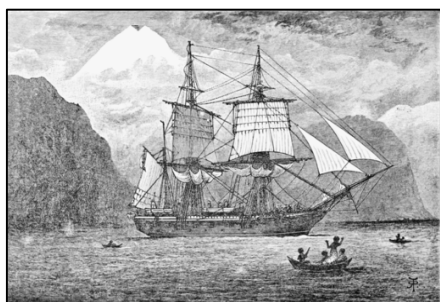
“Certainly, I never learned anything unless I left, nor taught someone else without inviting him to leave his nest.”

“The voyage of children, that is the naked meaning of the Greek word *pedagogy*. Learning launches wandering.”

Michel Serres

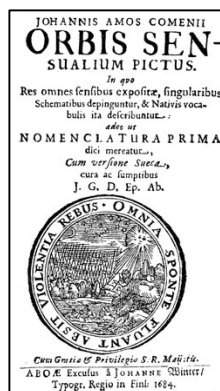
The troubadour of knowledge. Ann Arbor: The University of Michigan Press (1997)

Onderzoek komt op verschillende manieren aan bod in het onderwijs: onderzoekend leren, kennismaken met de onderzoeksproces, onderzoekscompetenties verwerven. Dit is allemaal erg belangrijk, maar misschien ontbreekt hier nog iets. Laten we dit als een vraag formuleren: is er voldoende gelegenheid om onderzoek-doen op zo’n manier tot leven te wekken dat leerlingen als het ware in de wereld van het onderzoek worden getrokken? We gaan er vanuit dat dit nu al



te vaak – en ondanks alle goede bedoelingen – tussen de mazen van het net valt. En waarom is het toch belangrijk om dit een plaats te geven in het onderwijs? De reden is eigenlijk eenvoudig: we gaan er vanuit dat jonge mensen pas echt een interesse voor wetenschap en onderzoek kunnen ontwikkelen indien ze ook blootgesteld worden aan die wereld. Waar het hier om gaat is interessevorming. Eenvoudig gezegd: aan jonge mensen de kans geven dat iets buiten hun vertrouwde wereld plots hun interesse opwekt, dus interessant wordt en hen uitdaagt om die vreemde

wereld van onderzoek verder te verkennen. Hiervoor reserveren we de term interesse-vorming, en we gaan er vanuit dat leerlingen niet enkel iets van, over en door onderzoek moeten leren, maar dat ze minstens de kans krijgen om erdoor gevormd te worden. Terwijl ‘leren’ verwijst naar het verwerven van kennis, vaardigheden of houdingen, gebruiken we de term ‘vorming’ om te verwijzen naar een verandering in de manier waarop jonge mensen zich verhouden tot een wereld die voor hen nieuw is (en zich dus ook plots anders ten opzichte van zichzelf moeten verhouden). Eenvoudigweg: vele jonge mensen leren rekenen en leren een vreemde taal, maar het zijn maar enkele leerlingen die door de wiskunde of het Frans gevormd worden. Dit laatste wil zeggen: voor wie die wiskunde of het Frans plots een centrale(re) plaats opeist in hun (leef)wereld en echt betekenisvol wordt. Het heeft hen gegrepen, het interesseert hen, het laat hen niet meer los. We gaan er niet vanuit dat iedereen door de wereld van taal, wiskunde of onderzoek wordt gegrepen, maar wel dat iedereen daartoe de kans krijgt. En dat betekent dat we best proberen om ‘onderzoek’ ook op zo’n manier binnen te brengen in het onderwijs dat het die interesse kan opwekken. We kunnen jongeren meenemen naar een onderzoekscentrum of laboratorium en ze op deze manier direct onderdompelen in de wereld van onderzoek. Dit is heel waardevol en gaat de nieuwsgierigheid van leerlingen wekken, maar te vaak krijgt die onderzoekspraktijk geen diepe aandacht meer in de klas waardoor het bezoek niet kan leiden tot een vormende ervaring voor leerlingen. Om interessevorming mogelijk te maken, is het belangrijk om de wereld of het onderzoek – we spreken liever van ‘onderzoek in beweging’ of de ‘praktijk van onderzoek’ – in de klas te presenteren. Mits de juiste oefeningen en afbeeldingen moet het mogelijk zijn om leerlingen aandachtig te maken voor wat onderzoekers doen, wat hen allemaal bezighoudt en dus ook wat onderzoek doen dagdagelijks inhoudt. Op die manier geven we jonge mensen de kans om hun vertrouwde leefwereld te verlaten en om geïnteresseerd te geraken in wat we vandaag nog vaak de ivoren toren van de universiteit en de wetenschap noemen. Onbekend is onbemind.



1.2 Onderzoekresultaten als Black Boxen

Het basisconcept van *Onderzoek in Beweging* is de black box waarin onderzoek vaak is gehuld. Deze term en de achterliggende idee ontleen we aan de filosoof Bruno Latour, meer hierover vind je in WhiteBox 2. Heel veel van de praktijk van het onderzoek zit in een soort van zwarte doos, en is bijgevolg niet zichtbaar.

Wat bedoelen we hiermee?



Hebben je leerlingen zich ooit afgevraagd waar de ‘wetenschappelijke feiten’ of ‘kennis’ in de leerboeken vandaan komen?

Ze zijn het resultaat van onderzoek!

Maar hoe dat onderzoek allemaal verlopen is, wordt snel vergeten, of al te schematisch vertaald naar een formeel schema, zoals de onderzoekscyclus.

Hoe zijn die feiten, feiten geworden? Was men het hier steeds over eens? Zal men het hierover eens blijven? Wat deden onderzoekers concreet om dit te onderzoeken? Wie waren ze? Waar vertoefden ze?

Een inkijk in de complexe, maar boeiende onderzoekspraktijk wordt op die manier vergeten of zelfs verhinderd; de praktijk van het onderzoek wordt als het ware opgesloten in een ‘zwarte doos’.

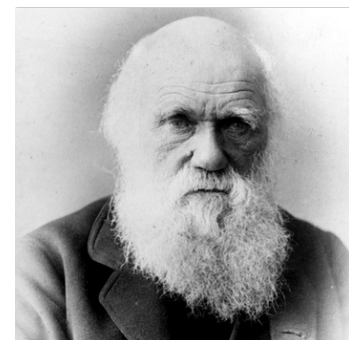
Bekende onderzoekers worden soms zelf een black box! Hun naam wordt op een theorie ‘geplakt’, of op een ziekte, een verschijnsel, een instrument, maar we weten weinig van hen, en in het bijzonder weten we niet precies hoe ze verbonden zijn aan de kennis of ding dat hun naam draagt. Denk bijvoorbeeld aan het Cartesiaans assenstelsel, de dieselmotor, het syndroom van Down, de wet van Ohm, het Higgsboson Deze namen en dingen zijn misschien heel erg bekend, maar wat er precies achter die namen schuilgaat, lijkt goed verborgen te zitten in een zwarte doos.

Alle didactische scenario’s van *Onderzoek in Beweging* zijn ontworpen vertrekkend vanuit een black box. Het doel van de didactische scenario’s die we aanreiken is om jonge mensen de kans te geven om deze black box terug te openen, en te exploreren wat er in de concrete onderzoekspraktijk allemaal gebeurt.

We hebben de volgende black boxen gekozen:

1. Darwin de onderzoeker

Darwin is onlosmakelijk verbonden met de evolutietheorie en ook het omgekeerde geldt. Hij wordt vaak geciteerd in natuurdocumentaires, maar ook in veel andere contexten waarin een ‘natuurlijke selectie’ zou plaatsvinden. Darwin is een ‘bekend figuur’, ook voor leerlingen. Maar dat Darwin een onderzoeker is geweest, wat hij concreet gedaan heeft, met wie hij communiceerde en waar zich dat allemaal afspeelde, weten we vaak niet. Darwin is heel bekend, maar Darwin de onderzoeker is voor ons een zwarte doos.



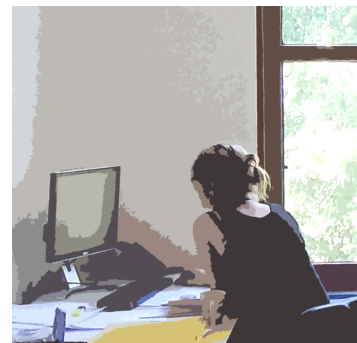
2. Nobelprijs Fysica 2013

In 2013 wordt de Nobelprijs fysica toegekend aan Englert en Higgs voor de theoretische voorspelling van een mechanisme en van een deeltje, nadat dit deeltje in 2012 werd ontdekt door de experimenten in CERN. Deze wetenschappelijke prijs is een erkenning van het bestaan van een deeltje, van het 'correct zijn' van een model en – uiteraard - van de onderzoekers die de onderliggende theorie hebben ontwikkeld. Maar wat is er allemaal aan vooraf gegaan? Wat is er allemaal gebeurd dat die twee mensen in 2013 die prijs hebben mogen ontvangen? Wat en wie was betrokken bij het onderzoek dat geleid heeft tot de toekenning van die prijs? De Nobelprijs kennen we waarschijnlijk allemaal, die is heel erg zichtbaar, maar alles wat eraan voorafgaat blijft heel vaak een zwarte doos.



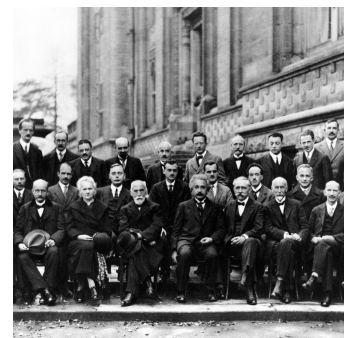
3. Proefschrift Pedagogische Wetenschappen

Het moment waarop jonge onderzoekers hun doctoraat verdedigen is een soort afsluiter van een intensieve, en vaak zeer complexe zoektocht die hen in vele richtingen heeft doen zoeken. Die zoektocht wordt als het ware ingepakt in een boek of een bundeling van wetenschappelijke artikelen: een proefschrift. Keurig geschreven, mooi gestructureerd en geordend, geen woord te veel of te weinig, hier en nu voor een publiek gepresenteerd. Op dat moment worden alles zijsporen, alle afwijkingen en verplaatsingen, de probeersels en de vele interacties met andere onderzoekers aan het oog onttrokken. Het proefschrift is heel tastbaar en zichtbaar, maar alles wat daaraan vooraf gaat en alles wat ertoe bijgedragen heeft, wordt heel vaak aan het zicht onttrokken. We kennen de input (de onderzoeker) en we kennen ook de output (het proefschrift), maar het doctoraatsonderzoek blijft vaak een zwarte doos.



4. Solvay Conferentie 1927

In 1927 vond de 5^{de} Solvay Conferentie in de fysica plaats in Brussel. Deze conferentie wordt beschouwd als een mijlpaal in de geschiedenis van wetenschap en wordt vaak aangeduid als het moment wanneer de kwantummechanica vorm gekregen heeft. Van de conferentie is vooral de intrigerende zwart-wit groepsfoto beroemd geworden: drie rijen van serieus kijkende wetenschappers van wie de meerderheid Nobelprijswinnaar was of is geworden. Maar wat is er eigenlijk gebeurd tijdens de conferentie? Wat hebben de onderzoekers die je op de foto ziet, gedaan en gezegd? Hoe is de conferentie tot stand gekomen en wat is daarna gebeurd met de onderzoekers en hun theorieën? Leeft de onderzoekspraktijk van die oude conferentie nog door in de conferenties van vandaag?



De groepsfoto met de namen van de aanwezige wetenschappers en hun biografie kunnen we gemakkelijk vinden via google, maar wat er achter die foto schuilgaat, blijft voor ons een zwarte doos.

5. Onderzoek in Bedrijf

Jytte werkt als onderzoekster in het bedrijf Mirion Technologies in Olen. Als we Jytte opzoeken op het internet, kunnen we gemakkelijk vinden dat ze de functie heeft van 'Detector Scientist - Technical Sales Support PIPS Detectors' in het bedrijf.

Maar wat doet Jytte precies in haar werkdag? Met wie interageert ze? Waarmee werkt ze? Terwijl we de officiële functiebenaming van Jytte gemakkelijk kunnen achterhalen, blijft de concrete, dagelijkse onderzoekspraktijk van Jytte in het bedrijf voor ons een black box.



6. Onderzoek in Beweging

Onderzoek in Beweging is ook het resultaat van onderzoek! Maar voor jullie leerkrachten is wat er achter de scenario's, de didactiek en deze handleiding schuil gaat een black box: jullie weten niet hoe deze materialen vorm gekregen hebben door onderzoek. Daarom willen we jullie de kans geven om de black box van *Onderzoek in Beweging* terug te openen (via 'Over Ons' op de website). Zo kunnen jullie ontdekken hoe het onderzoeksteam van *Onderzoek in Beweging* is gekomen tot een pedagogisch concept, hoe dit vertaald werd naar concrete didactische materialen, hoe deze materialen ontworpen, getest en verfijnd werden om uiteindelijk de finale versie te worden die jullie in de klas kunnen gebruiken. Wat zichtbaar zal worden is dat onderzoek doen geen lineair proces is, maar dat ook wij omwegen hebben gemaakt, andere paden hebben bewandeld, maar hopelijk is dit het resultaat precies ten goede gekomen.



WhiteBox 2: BLACK BOX

“The word **black box** is used by cyberneticians whenever a piece of machinery or a set of commands is too complex. In its place they draw a little box about which they need to know nothing but its input and output.”

“We will enter facts and machines while they are in the making; we will carry with us no preconceptions of what constitutes knowledge; we will watch the closure of the black boxes and be careful to distinguish between two contradictory explanations, one uttered when it is finished, the other while it is being attempted.”

“We go from final products to production, from ‘cold’ stable objects to ‘warmer’ and unstable ones.”

Bruno Latour

Science in Action, Harvard University Press (1987)



Filosoof Bruno Latour is pionier geweest in het anders kijken naar de wereld van wetenschappelijk onderzoek. Hij heeft onderzoekers en onderzoeksleiders gevolgd in hun dagelijkse praktijk zoals een schaduw, en heeft terug gekeken naar het onderzoek van het verleden met nieuwe ogen. Latour heeft beseft dat de wereld van wetenschap en technologie twee gezichten heeft, zoals de Romeinse mythische figuur Janus, wiens uitspraken tegenstrijdig zijn.

Het eerste Janus-gezicht is het ene dat ons altijd gepresenteerd wordt, in de

leerboeken en in de media, en dat ook gepresenteerd wordt aan jonge mensen: een verzameling van stabiele, objectieve wetenschappelijke feiten, betrouwbare instrumenten en methodes, die vaak de naam dragen van één onderzoeker die deze ontdekt of ontwikkeld heeft. Dit is wetenschap en technologie als eindproduct: een ‘koude’ verzameling van black boxen. Het tweede Janus-gezicht is het gezicht van onderzoek terwijl het gemaakt wordt, in actie. Daar zien we ideeën die niet stabiel zijn en instrumenten in ontwikkeling die (nog) niet betrouwbaar zijn: samen met Latour openen we de black box en penetreren we een warme, menselijke en minder objectieve wereld waar onderzoekers samenwerken, ook tegen elkaar strijden met publicaties, verder ook lobbyen en strategieën ontwikkelen om hun onderzoek te laten overleven, en dus zowel bezig zijn met inhoudelijke als met financiële zaken. En waar veel meer actoren – mensen en dingen - betrokken zijn dan de weinige onderzoekers die uiteindelijk hun naam verbinden met een wetenschappelijke ‘ontdekking’ of een instrument.

In Onderzoek in Beweging volgen wij Latour in de idee dat de school ook slechts één Janus-gezicht van het onderzoek laat zien: het eenvoudige en geordende gezicht dat onderzoek heeft wanneer het al ‘gemaakt’ is. We laten leerlingen black boxen openen om te zorgen dat zij ook het andere, intrigerende Janus-gezicht van onderzoek kunnen ontdekken: onderzoek in beweging.



1.3 Focus op de praktijk van het onderzoek

Een sluitende definitie van ‘het onderzoek’ is moeilijk te vinden in de wereld van het onderzoek zelf. De manier waarop onderzoekers zelf het eigen onderzoek ervaren en beschrijven, blijkt immers zeer *divers* te zijn. En deze diversiteit kan niet eenduidig in verband gebracht worden met de diversiteit aan onderzoeksdomeinen, zoals verder besproken in WhiteBox 3.

Daarom hebben we ervoor gekozen om niet te vertrekken vanuit een abstracte definitie of model van onderzoek, bijvoorbeeld de bekende onderzoekscyclus. Dit zou de concrete praktijk van het doen van onderzoek niet weerspiegelen.

Het is het onderzoek als menselijke *praktijk*, en juist zijn diversiteit en complexiteit, die centraal staat in dit project. Precies omdat we de onderzoekspraktijk willen zichtbaar maken, vertrekken we vanuit specifieke casussen, onze black boxen.

Afhankelijk van de specifieke Black Box die we willen openen, gaan we met een verschillende ‘lens’ naar de onderzoekspraktijk kijken.

In de **Black Box Darwin de onderzoeker** wordt er focust op de manier waarop Darwin als onderzoeker in relatie stond met de wereld. Vertrekkend vanuit zijn *activiteiten* als onderzoeker - observeren, lezen, reizen, verzamelen en interageren met anderen - wordt de onderzoekspraktijk van Darwin tot leven gebracht voor jongere kinderen.

In de **Black Box Nobelprijs Fysica 2013** wordt er vanuit de Nobelprijs uitgezoomd naar de *collectieve en maatschappelijke dimensie* van het achterliggende onderzoek. Er wordt hier scherp gesteld op de verscheidenheid van gebeurtenissen en actoren achter die Nobelprijs en op de ingewikkelde en niet lineaire processen in het verloop van het achterliggende onderzoek.

In de **Black Box Proefschrift Pedagogische Wetenschappen** wordt er eerst diep ingezoomd op de *dagelijkse praktijk* van *één* jonge onderzoeker. Daarmee wordt er op de erg concrete onderzoeksplaatsen, haar contacten, de gebruikte instrumenten en artefacten en ook de specifieke onderzoekshandelingen van deze onderzoeker scherp gesteld. Op deze manier ontdekt men dat de onderzoeker deel uitmaakt van een heel netwerk van mensen, locaties en dingen en dat ze, door haar handelingen en dagelijkse activiteiten, verbonden is met een heleboel andere menselijke actoren en zogenaamde niet menselijke actoren (zoals de computer, boeken, etc.).

In de **Black Box Solvay Conferentie 1927** wordt het debat tijdens de conferentie tot leven gewekt en de onenigheid tussen onderzoekers wordt zichtbaar, samen met de verschillende paden die in het onderzoek bewandeld werden. Daarna wordt vanuit de conferentie uitgezoomd, en leerlingen ontdekken hoe dat onderzoek in haar historische context was ingebed. Conferenties zijn een centraal element van de hedendaagse onderzoekspraktijk. Met deze black box ontdekken leerlingen ook de diverse activiteiten en handelingen van onderzoekers tijdens een conferentie.

In de **Black Box Onderzoek in Bedrijf** wordt er ingezoomd op één werkdag van één onderzoekster *in een bedrijf*. Door deze werkdag in detail te volgen, wordt de diversiteit en de complexiteit van de onderzoekspraktijk in het bedrijf tot leven gebracht. De verscheidenheid aan activiteiten, mensen en instrumenten in één werkdag van één persoon, is verbazingwekkend. De manier waarop activiteiten, mensen en dingen met

elkaar verstrengeld zijn in de onderzoekspraktijk, is verwonderlijk. Met deze black box krijgen leerlingen de kans om in de fascinerende onderzoekspraktijk van een hoogtechnologisch bedrijf in Vlaanderen te gluren!

Ten slotte, met de **Black Box Onderzoek in Beweging** krijgt de gebruiker de kans om de bewegingen van onze eigen onderzoekspraktijk van dichtbij te bekijken. Vertrekkend vanuit onze concrete agenda, met vergaderingen, afspraken en deadlines, ontdekt men hoe Onderzoek in Beweging resultaat is van een onderzoeksproject waaraan veel actoren binnen en buiten de onderwijswereld bijgedragen hebben.

WhiteBox 3: DIVERSITEIT

“Researchers know what research is. This is almost a truism.”

“When a process of inquiry is talked about or engaged in, what is said and done is dependent upon underlying conceptions about the nature of research.”

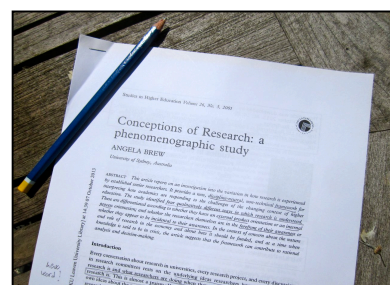
“Throughout the painstaking analysis of the data, there was an attempt to look beyond ways in which research is traditionally differentiated: such as by disciplinary differences, whether the research is perceived as pure or applied, and differences in methodology.”

Angela Brew

Conceptions of Research: a phenomenographic study, Studies in Higher Education Vol. 26, No. 3, 2001

Onderzoek wordt steeds belangrijker in onze maatschappij en als gevolg hebben beslissingen inzake onderzoeksbeleid een steeds grotere impact op de samenleving. Telkens als beslissingen worden genomen die te maken hebben met onderzoek, speelt de *onderliggende opvatting van onderzoek* echter een rol. Dit is in het bijzonder ook het geval wanneer beslissingen worden genomen inzake onderzoek op school.

In deze brede context heeft Angela Brew willen nagaan hoe onderzoekers hun onderzoek ervaren. Ze was geïnteresseerd in de *variatie* in hun opvatting van onderzoek en heeft deze in kaart gebracht. Aangezien er een verwachting is dat de perceptie van onderzoek verbonden zou moeten zijn met het onderzoeks domein, heeft Angela Brew onderzoekers betrokken uit de drie grote domeinen: natuurwetenschappen & technologie, sociale wetenschappen, humane wetenschappen & kunsten.



Ze heeft vier categorieën kunnen onderscheiden:

- *Domino*: onderzoek als een proces waar verschillende elementen gelinkt worden op een lineaire wijze, om problemen op te lossen en vragen te beantwoorden of te stellen.
- *Handel*: onderzoek als een sociale markt waar het uitwisselen van ‘producten’ plaatsvindt, zoals bv. publicaties of citaties.
- *Lagen*: onderzoek als een proces van ontdekken, onthullen of creëren van onderliggende betekenis.
- *Reis*: onderzoek als een persoonlijke ontdekkingsreis, die mogelijk naar transformatie van de persoon leidt.

Haar studie heeft aangetoond dat deze categorieën over de domeinen heen voorkomen. Bovendien, zijn er onderzoekers wiens opvatting van onderzoek transversaal ligt over twee of zelfs drie categorieën. Om deze diversiteit te respecteren, hebben we in ons project gekozen om niet te vertrekken vanuit een specifieke conceptie - of ‘definitie’ - van onderzoek. Angela Brew verwijst naar het feit dat onderzoeksbeleid het bestaan van de verschillende

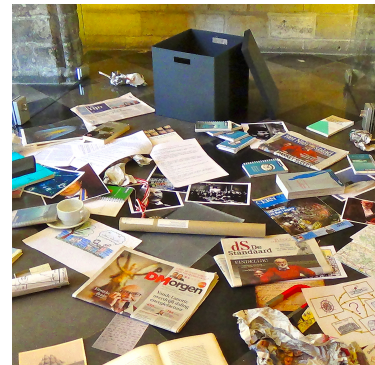
onderzoeksdomeinen erkent, maar is het ook zo voor de verschillende *concepties* van onderzoek? Men zou dezelfde vraag kunnen stellen i.v.m. het beleid inzake onderzoek op school: houdt men rekening met de verschillende categoriën van opvattingen over wat onderzoek doen betekent? Deze reflectie laten we aan de lezer, samen met de oefening om onderzoek zoals het nu aan bod komt op school, te kaderen binnen de categorieën geïdentificeerd door Angela Brew.

1.4 Authenticiteit: aandacht voor onderzoeksartefacten

Hoe kan men de onderzoekspraktijk zichtbaar maken? Door activiteiten, personen maar ook ‘dingen’ te laten zien die tijdens het onderzoeksproces een rol spelen. Meer over hoe dingen belangrijk kunnen zijn in onderzoek, vind je in WhiteBox 4.

Om het openen van onze black boxen mogelijk te maken voor leerlingen, zijn we eerst zelf in de praktijk van onderzoek gedoken, op zoek naar deze activiteiten, personen, ‘dingen’

We hebben veel artefacten verzameld die verwijzen naar deze componenten van onderzoek, bijvoorbeeld:



- academische artikels en abstracts
- aankondigingen van ontdekkingen
- aankondigingen van het uitreiken van prijzen
- websites van wetenschappelijke associaties
- foto's en video's van onderzoekers
- beelden van onderzoeksinstrumenten, onderzoeksproducten en onderzoekslocaties
- interviews, e-mails en brieven van onderzoekers
- kaarten met locaties waar onderzoek plaatsgevonden heeft
- tekeningen, grafieken en andere visualisaties gemaakt in het kader van onderzoek
- agenda's, verslagen, projectaanvragen

Deze onderzoeksartefacten zijn de basis van onze didactiek geworden.

De oefeningen van *Onderzoek in Beweging* zijn opgebouwd om de aandacht van leerlingen te leiden naar deze afzonderlijke ‘dingen’, om na te gaan welke rol ze spelen en daarmee de onderzoekspraktijk als een complex geheel te zien. Dingen kunnen soms ook sprekend zijn en we gaan ervan uit dat sommige artefacten leerlingen ook kunnen aanspreken en interesseren voor onderzoek.

De onderzoeksartefacten die gebruikt worden in *Onderzoek in Beweging* bevatten soms specifiek vakjargon. Het is echter niet altijd nodig om deze woorden op te zoeken of uit te klaren om verder te kunnen in de oefeningen. Het kan volstaan dat leerlingen zien dat onderzoek samen gaat met een bepaald taalgebruik. Het doel van de opdrachten is immers altijd om iets te ontdekken over onderzoek – de onderzoekspraktijk wordt leerinhoud - en niet om specifieke inhouden te leren binnen een vakdomein, hoewel dit natuurlijk niet uitgesloten is. De leerkracht kan kiezen om de activiteiten van *Onderzoek in Beweging* eventueel te combineren met leeractiviteiten die de inhoudelijke doelstellingen van een vakdomein realiseren.

WhiteBox 4: DINGEN DIE ER TOE DOEN

“As I see it, things are unfairly accused of being just ‘things’.”

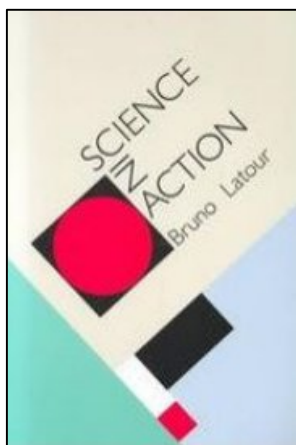
“Early this morning, I was in a bad mood and decided to break a law and start my car without buckling my seat belt. My car usually does not want to start before I buckle the belt. It first flashes a red light “FASTEN YOUR SEAT BELT!,” then an alarm sounds; it is so high pitched, so relentless, so repetitive, that I cannot stand it. After ten seconds I swear and put on the belt. This time, I stood the alarm for twenty seconds and then gave in. My mood had worsened quite a bit, but I was at peace with the law—at least with that law. I wished to break it, but I could not.”

Bruno Latour

-2000. When things strike back: a possible contribution of ‘science studies’ to the social sciences. *British Journal of Sociology*, 51(1), pp. 107–123.

-1992. “Where Are the Missing Masses? The Sociology of a Few Mundane Artifacts”. In: Wiebe E. Bijker and John Law (eds.), *Shaping Technology/Building Society: Studies in Sociotechnical Change* (pp. 225–258). Cambridge, Mass.: MIT Press.

-1987. *Science in Action*. Harvard University Press.



Wat is onderzoek precies? Voor een antwoord op deze vraag gaan we vaak kijken naar wat de onderzoeker allemaal doet. En we kijken dan vooral naar wat er zich precies in haar hoofd of in haar laboratorium afspeelt. Maar de praktijk van onderzoek bestaat uit zo veel meer elementen. Neem een ander voorbeeld om dit duidelijk te maken: autorijden. Autorijden is meer dan enkel de bestuurder die zich met de auto op de weg begeeft. Die auto is immers geassembleerd en bestaat dus uit heel veel componenten die allemaal zorgvuldig zijn ontworpen door ingenieurs en vervolgens zijn vervaardigd door verschillende bedrijven. Maar om auto te kunnen rijden, zijn er ook wegen nodig, en verkeersborden, regels ook. Je hebt



een rijbewijs nodig, en dus een training en examen. Niet te vergeten zijn de brandstof, en dus benzinestations en dan komen we ook uit bij de raffinaderijen. Dit is nog maar het topje van de ijsberg. Bedenk zelf eens wat allemaal nodig is om met de auto te kunnen rijden. Het is vaak wanneer er één element ontbreekt of stuk is, dat we pas beseffen wat allemaal nodig is om auto te kunnen rijden. Al die (kleine) dingen en al die (andere) personen doen er echt toe. Meer nog: die kleine dingen bepalen mee wat we doen en wat we niet (kunnen of willen) doen. Hetzelfde geldt ook voor onderzoek, en dit heeft de socioloog Bruno Latour heel mooi uit de doeken gedaan. Hij laat zien dat naast de onderzoeker heel veel andere personen belangrijk zijn, maar ook tal van dingen een rol spelen. Denk aan de laborant en technische assistenten om de apparaten te bedienen, maar ook allerlei instrumenten gaande van microscopen, computers, bibliotheken tot printers en een archief. Email is noodzakelijk en tijdschriften waarin de onderzoeksresultaten gepubliceerd en conferenties waar ze gepresenteerd kunnen worden. Bedenk eens uit hoeveel componenten een deeltjesversneller bestaat, of wat er voor iemand als Darwin nodig was om al zijn reizen te kunnen maken. Bedenk ook wat dat schip allemaal mogelijk heeft gemaakt voor Darwin, maar natuurlijk ook wat daardoor niet mogelijk is. Daarnaast mogen we de heel eenvoudige zaken nodig zoals pen en papier zeker niet vergeten. Je kan natuurlijk zeggen: “Al die dingen zijn niet

zo belangrijk, het is de onderzoeker die telt." Maar zou je dat ook zeggen over autorijden? Je kan toch moeilijk zeggen: "Alleen de bestuurder telt; de auto, de wegen, benzine, het reservewiel en de richtingaanwijzer zijn minder belangrijk." Dus als het over onderzoek gaat, is het belangrijk om het bredere plaatje te bekijken: er zijn heel veel dingen – vaak hele kleine dingen – die er echt wel toe doen.

("Kloecker-Primeur" by Ingo Klöcker. Licensed under CC BY-SA 3.0 de via Wikimedia Commons - <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kloecker-Primeur.jpg#/media/File:Kloecker-Primeur.jpg>)

1.5 Visualiseren en multidimensionaliteit

Hoe kan men een diverse en complexe praktijk ontsluiten voor jonge mensen?

Dit lijkt op het eerste zicht een probleem omdat didactiek vaak gezien wordt als een proces van systematische vereenvoudiging, waar complexe inhouden 'gedemonteerd' worden in geïsoleerde stukjes die door leerlingen apart verteerd kunnen worden. Wij willen echter teruggaan naar de oorspronkelijke betekenis van *didactiek als 'het laten zien'*. Het gaat hier over het laten zien van de diversiteit en complexiteit van de onderzoekspraktijk.

We tonen de onderzoekspraktijk aan door deze te *visualiseren*.

We kijken eerst vanuit verschillende invalshoeken, of dimensies: Waar? Wanneer? Wie? en Wat? Door de vele verbindingen te ontdekken over dimensies heen, krijgen we een globale ervaring waar diversiteit en complexiteit in het geheel zichtbaar worden. We zetten op deze manier de *multidimensionaliteit* van de onderzoekspraktijk in de verf.

Deze aanpak is geïnspireerd door de visualisaties van controverses in controversy mapping. Hierover vind je meer in WhiteBox 5.

Zo gebruiken we bijvoorbeeld een aangeklede tijdlijn, waar gebeurtenissen die met elkaar verbonden zijn door een specifiek onderzoek in eerste instantie chronologisch geordend worden (organisatie volgens de dimensie: Wanneer?). Dit doen we bijvoorbeeld voor het onderzoek dat geleid heeft tot de Nobelprijs Fysica 2013 en voor de werkdag van een onderzoekster in een bedrijf. Door de tijdlijn zelf af te breken en anders te ordenen kunnen leerlingen verschillende structuren ontdekken in het verloop van dat specifieke onderzoek.

Een ander voorbeeld is een aangeklede kaart waar de vele locaties van een onderzoek gevisualiseerd worden (organisatie volgens de dimensie: Waar?). Dit gebruiken we bv. om de onderzoeksreis van Darwin met de Beagle te visualiseren en ook om de vele locaties van het onderzoek in een doctoraat in de Pedagogische Wetenschappen met elkaar te verbinden.

Hoewel een specifieke visualisatie de informatie in eerste instantie organiseert volgens één dimensie, zijn andere dimensies ook aanwezig. De verschillende dimensies zijn immers met elkaar verbonden in de onderzoekspraktijk. Bijvoorbeeld ziet men in een aangeklede kaart ook hoe verschillende instellingen, onderzoeksgroepen en mensen verbonden zijn in een specifieke onderzoekspraktijk (dimensie Wie?) en mogelijk ook wanneer de onderzoeker op een bepaalde locatie is geweest (dimensie Wanneer?) en wat hij of zij daar gedaan heeft (dimensie Wat?).

De volgende tabel geeft een samenvatting van de verschillende visualisaties die worden gebruikt in Onderzoek in Beweging:

Dimensie	Visualisatie	Black Box
Waar?	exploereerbare kaart (google map)	Darwin, Proefschrift, Onderzoek in Beweging
	kaart	Nobelprijs
Wanneer?	exploereerbare tijdlijn	Nobelprijs, Proefschrift, Solvay, Bedrijf, Darwin
	gesplitste tijdlijnen met verbindingen	Nobelprijs
	projectagenda	Onderzoek in Beweging
	tijdspad van project	Onderzoek in Beweging
Wie?	video's van onderzoekers	Nobelprijs, Solvay, Darwin
	brieven van onderzoekers	Darwin, Solvay
	e-mails van een onderzoeker	Proefschrift, Bedrijf
	geluidsfragmenten van een onderzoeker	Darwin
	auteurslijst op artikels	Nobelprijs
	exploereerbare groepsfoto	Solvay
	exploereerbaar netwerk	Bedrijf
Wat?	verzameling beelden van onderzoeksinstrumenten en onderzoeksobjecten	Proefschrift, Bedrijf, Darwin
	verzameling van conferentiewebsites en affiches	Solvay
	glossarium	Solvay, Onderzoek in Beweging

WhiteBox 5: COMPLEXITEIT VISUALISEREN

“No exploration without representation.”

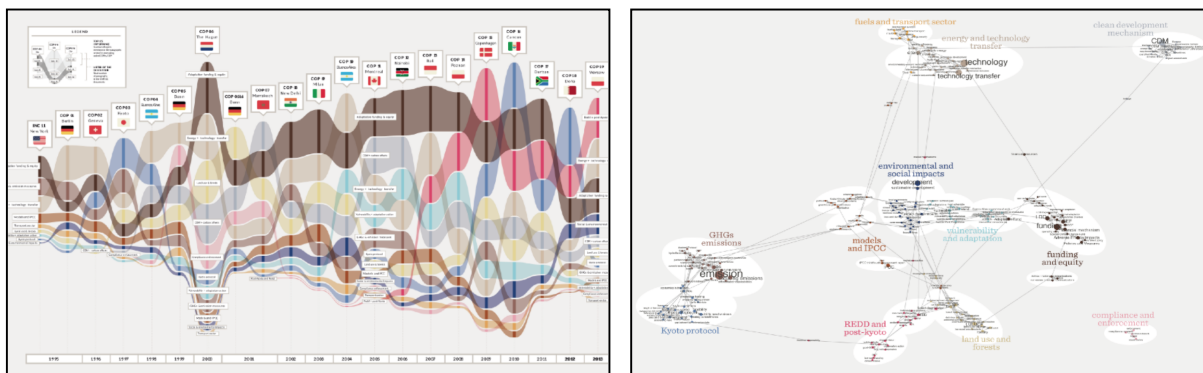
“The task of *unfolding the complexity* of controversies should never be separated from the task of *ordering such complexity*.”

“The word ‘controversy’ refers here to every bit of science and technology which is not yet stabilized, closed or ‘black boxed’; it does not mean that there is a fierce dispute nor that it has been politicized; we use it as a general term to describe *shared uncertainty*.”

“The key for drawing effective representations is drawing many of them: each one dedicated to a different aspect of the phenomenon. Even if each map fails in capturing the richness of the disputes, all together they may do the trick.”

Tommaso Venturini

Building on Faults – How to represent controversies with digital methods (Public Understanding of Science October 2012 vol. 21 no. 7 796-812); Diving in Magma – How to explore Controversies with Actor-Network Theory (Public Understanding of Science May 2010 vol. 19 no. 3 258-273)



Figuur: Twee kaarten in controversy mapping: een aangeklede tijdlijn en een netwerk van verbindingen (Venturini, Baya-laffite, Cointet, Gray, Zabban, & De Pryck, Three Maps and Three Misunderstandings (Big Data and Society, 2014, 1(1))

In het onderzoeksgebied Controversy Mapping (cartografie van de controverses), wordt onderzoek ‘in actie’ bestudeerd in zijn geheel, in volledige interactie met de maatschappij. Alle betrokken actoren, menselijk en niet menselijk, worden gehoord. Het in kaart brengen van actoren en argumenten, van hun verbanden en hoe deze met de tijd evolueren, gebeurt tegelijkertijd met het visueel representeren van de controverse.

Het resultaat zijn echte kaarten die elk een bepaald aspect – of dimensie – van de controverse in de verf zetten. Om de rijkdom van de controverse, zijn complexiteit, te kunnen laten zien moet de controverse vanuit verschillende invalshoeken benaderd worden en dus moeten er verschillende kaarten gemaakt en gecombineerd worden.

De visualisaties van *Onderzoek in Beweging* en veel van onze oefeningen zijn geïnspireerd door het werk van Tommaso Venturini met zijn studenten (zie <http://controverses.sciences-po.fr/archiveindex/>).

2. Hoe werken met Onderzoek in Beweging?

2.1 Black Boxen, oefeningen en taken

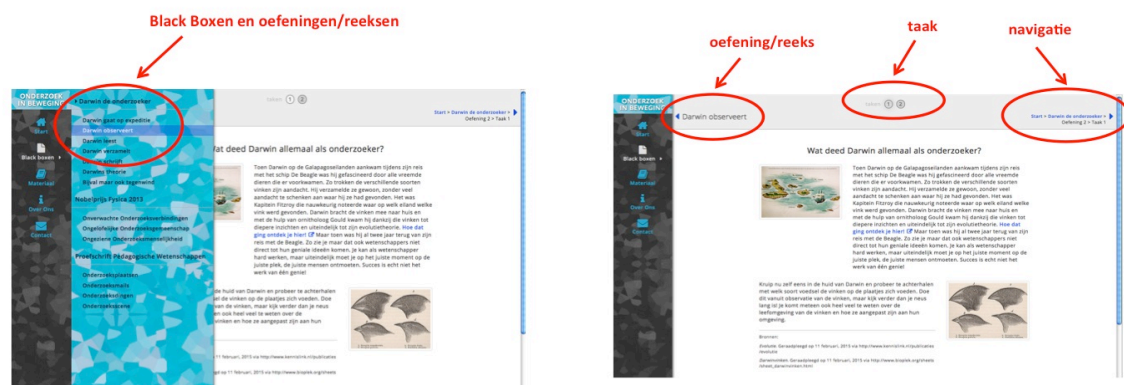
De didactische scenario's van *Onderzoek in Beweging*, de Black Boxen, zijn opgebouwd uit verschillende oefeningen die onafhankelijk van elkaar gebruikt kunnen worden. Deze oefeningen kunnen ook worden gecombineerd voor een complexer en rijker traject. De oefeningen benaderen de onderzoekspraktijk immers vanuit verschillende invalshoeken en laten verschillende dimensies van de onderzoekspraktijk zien: Waar? Wanneer? Wie? Wat? Daarom is het interessant om meerdere oefeningen te combineren bij voldoende tijd. Dit kan ook gebeuren in het kader van verschillende lessen, bv. gekoppeld aan passende inhoud of onderzoeksopdrachten. In sectie 2.4.2 geven we meer suggesties, maar je kan je eigen combinaties maken zodat die goed passen bij je klaspraktijk. De organisatie van *Onderzoek in Beweging* is samengevat in de volgende tabel:

Black Box	Reeks	Oefening	Vak en doelgroep
Darwin de onderzoeker		Darwin observeert	Wero 3 ^{de} graad BaO WW 1 ^{ste} graad SO
		Darwin leest	
		Darwin gaat op expeditie	
		Darwin verzamelt	
		Darwin schrijft	
		Bijval maar ook tegenwind	
		Darwins theorie	
Nobelprijs Fysica 2013	Onverwachte Onderzoeks-verbindingen	Theorie en experiment	FY 3 ^{de} graad SO
		Lage en hoge energie	FY 3 ^{de} graad SO
	Ongelofelijke Onderzoeks-gemeenschap	Ongelofelijke Onderzoeks-gemeenschap	FY 3 ^{de} (ev. 2 ^{de}) graad SO
	Ongeziene Onderzoeks-menselijkheid	Anders praten over onderzoek	FY 3 ^{de} (ev. 2 ^{de}) graad SO
		Vertrouwen en erkenning	FY 3 ^{de} graad SO
		Controverses	FY 3 ^{de} (ev. 2 ^{de}) graad SO
Proefschrift Pedagogische Wetenschappen		Onderzoeksplaatsen	GW 3 ^{de} graad SO
		Onderzoeksemails	
		Onderzoeksdingen	
		Onderzoeksscene	
Solvay Conferentie 1927		Conferentiedebat	FY en CW 3 ^{de} graad SO
		Conferentietijd	
		Conferentiehandelingen	
		Conferentiescene	
Onderzoek in Bedrijf		Werkdag	FY 3 ^{de} graad SO (STEM)
		Werkcontacten	
		Werkdingen	
		Werkverbeelden	

Onderzoek in Beweging		Projectplaatsen en projectmensen	vooral bedoeld voor de lerarenopleiding
		Projectactiviteiten	
		Projecttijd	

Sommige oefeningen zijn verder gesplitst in taken, die logisch met elkaar verbonden zijn, maar soms ook afzonderlijk uitgevoerd kunnen worden.

De structuur met Black Boxen, reeksen/oefeningen en taken is gemakkelijk te volgen op de website zoals getoond in figuur 3.



Figuur 3: Elementen van het navigatiesysteem van de website *Onderzoek in Beweging*

2.2 Exploratietoefeningen

De oefeningen van *Onderzoek in Beweging* zijn *exploratietoefeningen*, waarbij leerlingen op basis van een gericht zoeken in een relatief grote hoeveelheid informatie een antwoord formuleren op open vragen.

Zo moeten leerlingen bijvoorbeeld zoeken in de rijk gevulde mailbox van een jonge onderzoeker, of in de vele gebeurtenissen verbonden met de Nobelprijs Fysica 2013.

Veelal is er geen 'juist antwoord' op de vragen en staat de interactie van leerlingen met authentiek onderzoeksmateriaal centraal. De oefeningen maken het immers mogelijk om verschillende aspecten van de onderzoekspraktijk eerst te ontdekken en dan met elkaar te *verbinden*.

Op deze manier wordt het mogelijk voor leerlingen om de complexiteit van de onderzoekspraktijk te verkennen.

Exploratietoefeningen zijn in het bijzonder geschikt voor het werken in groepjes waar de nadruk ligt op discussies en waarbij de resultaten achteraf kunnen besproken worden met de hele klas, zodat de ervaringen gedeeld worden.

WhiteBox 6: VERBINDINGEN

“Sembra che per i mutanti, al contrario, la scintilla dell'esperienza scocchi nel veloce passaggio che traccia tra cose differenti la linea di un disegno.”

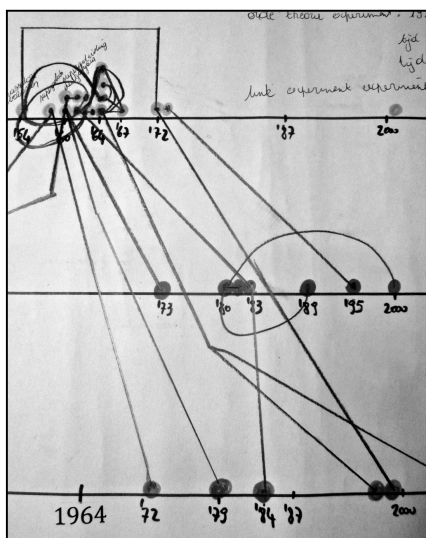
“Kennelijk geldt voor de mutanten daarentegen dat de vonk van de ervaring overspringt in de snelle overgang die de lijn van een tekening trekt tussen verschillende dingen.”

Alessandro Baricco

De Barbaren – Essay over de mutatie, 2006. Nederlandstalige editie: De Bezige Bij, 2010.

Als leerkracht interageer je elke dag met de nieuwe generatie: je bereidt jonge mensen voor om aan de wereld van de toekomst mee vorm te kunnen geven. In een wereld die voortdurend verandert, is elke nieuwe generatie in je klas altijd een beetje verschillend dan de vorige. Maar heb je soms het gevoel dat de generatie van nu op een diepere, verregaande manier verschillend lijkt te zijn dan de vorige? En is dit waar? Zijn deze leerlingen al bewoners van een nieuwe wereld?

Google werd gelanceerd in 1997 en wordt nu, in 2015, 18 jaar oud, precies zoals de leerlingen die de middelbare school binnenkort zullen verlaten. Wat betekent, voor deze zogenoemde Google-generatie, *ervaring* opdoen? Wat is voor deze leerlingen *betekenisvol*? Alessandro Baricco zoekt, in zijn boek De Barbaren, een antwoord. Hij komt tot de conclusie dat betekenis voor hen *horizontaal* te vinden is, in de breedte dus en niet in de diepte, en dat ervaring iets te maken heeft met de snelle beweging die verschillende dingen verbindt ‘op het oppervlak van het bestaande’.



Met Onderzoek in Beweging hebben we willen experimenteren met inhoud en didactiek, en dit juist om te zorgen dat de school vandaag, voor de Google-leerlingen, nog tijd kan creëren voor interesse in de wereld. Aansluitend bij de gedachten van Baricco, hebben we ook oefeningen bedacht die ‘horizontaal’ zijn in plaats van ‘verticaal’: leerlingen bewegen zich tussen veel informatie, zoeken - en op deze manier ontdekken - *verbindingen* tussen verschillende aspecten van het onderzoek. Kijk naar je leerlingen en verwonder je terwijl zij klikken, zoeken, verbinden! Volgens Baricco hebben ze al kleine kieuwen en vertrekken ze binnenkort in de zee, terwijl wij op het land gebonden zijn.

2.3 Ideeën die jonge mensen hebben over onderzoek, worden bespreekbaar

Leerlingen hebben bepaalde voorstellingen van de wereld van onderzoek en in het bijzonder van onderzoekers. Onderzoek komt vaak aan bod in de media en in films en sommige leerlingen kennen onderzoekers in de familie of binnen hun vriendenkring. De wijze waarop onderzoek aan bod komt op school, namelijk als een methodiek (onderzoekend leren) of als een vaardigheid of competentie (leren onderzoeken en het verwerven van de onderzoekscompetenties), heeft echter ook een invloed op het beeld van leerlingen over onderzoek.

In de vakdidactische literatuur is dit probleem bekend⁵. Daar wordt benadrukt dat het reduceren van onderzoek op school tot een methodiek (onderzoekend leren) en/of tot een vaardigheid of competentie (leren onderzoeken, meestal verbonden met het 'correct' kunnen doorlopen van de onderzoekscyclus) misconcepties over onderzoek kan introduceren. De volgende stellingen worden bijvoorbeeld onder de 'mythes over onderzoek' opgelijst:

- a. Wetenschappelijk onderzoek is een eenvoudig, algoritmisch proces.
- b. De zogenoemde wetenschappelijke attitudes⁶ zijn essentieel voor een doeltreffende wetenschappelijke praktijk.
- c. Wetenschappelijk onderzoekers bezitten deze attitudes.

Punt (a) verwijst naar de resultaten van observaties van het verloop van onderzoek in de praktijk voor specifieke casussen, waar het bleek dat het schema van de 'natuurwetenschappelijke methode' of 'onderzoekscyclus' weinig te maken heeft met de manier onderzoekers aan de slag gaan. De leeractiviteiten i.v.m. leren onderzoeken kunnen leerlingen er toe leiden te geloven dat echte onderzoekers, precies zoals hen, in hun dagelijkse onderzoekspraktijk nauwkeurig een vooraf vastgelegde reeks van stappen moeten volgen. Punten (b) en (c) verwijzen naar studies over wetenschappers waar het bleek dat ze als personen erg divers zijn en niet overeen komen met een 'model' van onderzoeker met specifieke attitudes. Het succes van een onderzoeker blijkt ook niet bepaald te worden door het al dan niet 'bezitten' van die typische attitudes. I.v.m. het laatste punt wordt er in het bijzonder gesproken over de mythe van 'the emotionally-detached, disinterested impartiality of the scientist', kortom: onderzoekers zijn koudafstandelijk en moeten in elk geval een koele, afstandelijke blik blijven behouden t.o.v. hun onderzoek. Dit blijkt niet het geval te zijn in de praktijk, maar deze boodschap kan wel worden doorgegeven aan kinderen indien er een beperking is tot leeractiviteiten die het ontwikkelen van deze attitudes beogen.

De oefeningen van *Onderzoek in Beweging* hebben niet als doel het bijstellen van (mis)concepties, maar zorgen wel voor een breder en hopelijk authentieker kader i.v.m. onderzoek. Daardoor confronteren de oefeningen leerlingen soms wellicht met hun

⁵ Zie bv. D. Hodson, Science Fiction: the continuing misrepresentation of science in the school curriculum, Curriculum Studies, Vol. 6, No. 2, 1998.

⁶ Hodson geeft de volgende lijst van eigenschappen en attitudes die typisch geassocieerd worden met wetenschappelijk onderzoekers: hogere intelligentie, objectiviteit, rationaliteit, openheid voor nieuwe ideeën, bereidheid om de beoordeling uit te stellen, intellectuele integriteit en gemeenschapszin.

eigen ‘opvattingen’ van onderzoek. Deze positieve confrontatie is echter alleen mogelijk wanneer de leerkracht ook steeds blijft bij de specifieke praktijken die in de black boxen worden getoond, en niet veralgemeent naar “hoe *het* onderzoek is en moet zijn” of naar abstracte modellen van onderzoek.

Andere oefeningen hebben precies het doel om *de grenzen te verleggen van wat in de klas denkbaar en zegbaar is over onderzoek*.

In de oefening ‘Anders praten over onderzoek’ van de Black Box Nobelprijs fysica, bijvoorbeeld, worden leerlingen gevraagd om woorden te vinden die hen, in die context, verbazen. Leerlingen vertellen dan aan de hele klas waarom die specifieke woorden hen hebben verbaasd. In deze bespreking kan het gebeuren dat leerlingen, terwijl ze bepaalde dingen *zeggen*, tegelijkertijd ook beseffen dat ze zelf al bepaalde dingen over onderzoek *dachten*. De leerlingen beseffen eventueel dat het idee dat ze al hebben niet klopt met wat ze in de onderzoeksartefacten hebben gevonden.

Soms onthullen deze besprekingen echte vooroordelen over onderzoekers en de wereld van het onderzoek. Zo is er het voorbeeld van een leerling die verbaasd is over ‘het sociale leven’ van de onderzoeker. Hij zegt: ‘ik dacht dat die onderzoekers geen sociaal leven hadden, dat ze 100% gefocust moesten zijn op hun onderzoek (en maakt en gebaar met zijn twee handen, alsof zijn hoofd in een tunnel zat)’. Dit is een voorbeeld van ‘idee’ over onderzoekers dat geen echte ‘misconceptie’ is, maar het is zeker niet van toepassing op alle onderzoekers en tegelijk heeft het een grote invloed op de manier waarop jonge mensen zich gaan verhouden t.o.v. de wereld van onderzoek. De oefening creëert een ruimte waar over deze opvattingen en voorstellingen gesproken kan worden door leerlingen en de hele klas kan daarbij even stilstaan.

Uit de try-outs blijkt dat leerlingen bv. ook hevig reageren op de woorden die verwijzen naar gevoelens van onderzoekers t.o.v. hun onderzoek. Ze zeggen dat ze dachten dat onderzoekers koel en afstandelijk moesten zijn (en op deze manier bevestigen ze dat ook zij geloven in de ‘mythe’ zoals die besproken werd door Hodson).

Op een analoge manier hebben leerlingen tijdens de try-out van de Black Box Proefschrift Pedagogische Wetenschappen gezegd dat ze er vanuit gingen dat onderzoek doen in de pedagogische wetenschappen ‘saai’ is, dat onderzoekers meestal alleen werken en dat het onderzoekswerk vooral over het lezen van boeken en artikels ging. De exploratie van de mailbox van een onderzoeker heeft hen laten zien dat doctoraatsonderzoek heel divers is, dat de onderzoeker deel uitmaakt van een gemeenschap, en dus niet eenzaam en alleen werkt.

In een andere oefening worden leerlingen gevraagd om het onderzoek dat geleid heeft tot de Nobelprijs fysica 2013 te vergelijken met een specifieke onderzoeksopdracht die ze zelf hebben gedaan in de les. Daarmee wordt er in de les vrije tijd gemaakt om ook over de eigen onderzoekservaringen van de leerlingen te spreken.

Zo haalt een leerling bijvoorbeeld aan: “het is zo verschillend, want *in de klas weten we altijd wat we moeten uitkomen*, maar die onderzoekers wisten het niet!”.

Deze eerlijke reacties van leerlingen zijn niet alleen waardevol voor de leerlingen zelf, maar ook voor de leerkracht, die op deze manier inzicht kan krijgen in de eigen onderwijspraktijk en mogelijk kan beslissen om deze bij te sturen.

2.4 Tips om interessevorming voor onderzoek concreet te realiseren in je klas

Onderzoek in Beweging wil jonge mensen de kans geven om geïnteresseerd te worden in de praktijk van het doen van onderzoek en om op deze manier door onderzoek gevormd worden.

Belangrijk voor deze **vorming** zijn de **concrete handelingen** van de leerkracht in de klas. De cruciale rol van de leerkracht in *Onderzoek in Beweging* is tweeledig: enerzijds richt de leerkracht de aandacht van leerlingen naar de onderzoeksartefacten en stimuleert discussie en reflectie over de onderzoekspraktijk; anderzijds kiest de leerkracht hoe de vormingsactiviteiten van *Onderzoek in Beweging* in te bedden in het curriculum en te verbinden met de leeractiviteiten die bijvoorbeeld gericht zijn op het realiseren van de vakinhoudelijke doelstellingen of van de onderzoekscompetentie.

In het volgende geven we concrete suggesties over hoe je aan de slag kan gaan met *Onderzoek in Beweging* in je klaspraktijk. Deze suggesties zijn onze didactische vertaling van het pedagogisch concept van dit project, maar reflecteren ook onze specifieke ervaring in de testfase van de materialen. We bespreken hier de elementen die relevant zijn voor alle scenario's en we focussen vooral op de concrete handelingen en organisatie in de klas. Specifieke suggesties i.v.m. de afzonderlijke black boxes worden samen met suggesties voor een mogelijke koppeling met de vakinhoudelijke eindtermen gegeven in hoofdstuk 3.

2.4.1 Klassetting en keuze van de digitale middelen

Onderzoek in Beweging is een digitale leeromgeving, die vooral geschikt is voor groepswork met gerichte ondersteuning door de leerkracht. Terwijl sommige opdrachten in principe klassikaal gemaakt kunnen worden (onderwijsleergesprek) en dus slechts één computer vereisen (die van de leerkracht) met projectie vooraan, is het voor de meeste opdrachten wel de bedoeling dat leerlingen in groepjes aan de slag gaan en dat de leerkracht rondloopt om hen te ondersteunen. Dit betekent dat de begeleider moet beschikken over tablets, laptops, of over een computerlokaal of vaklokaal met computerhoekjes, en uiteraard over internetverbinding. Een andere optie is om te werken met smartphones (of een ander digitaal medium) die leerlingen zelf meebrengen ('bring your own device'). De website van *Onderzoek in Beweging* is adaptief, wat betekent dat de inhoud van vensters zich automatisch aanpast aan hun afmetingen, en draait op alle digitale tools. Bij sommige opdrachten zijn ook werkbladen beschikbaar gesteld die vooraf door de leerkracht gedownload en afgedrukt kunnen worden. Hoewel de verschillende opties voor de digitale middelen allemaal mogelijk zijn en goed kunnen werken, is er op basis van de observaties tijdens de try-outs een lichte voorkeur voor de configuratie met tablets t.o.v. vaste computers in een computerlokaal en t.o.v. smartphones.

Een computerlokaal zoals in de foto hiernaast, waar elke leerling in principe kan kijken op een eigen groot scherm en waar het scherm – ook wanneer gedeeld – veel aandacht op zich trekt, kan de interactie en discussie, die we beogen, mogelijk verhinderen. In deze klasconfiguratie kan de leerkracht dus bijzondere aandacht geven aan het

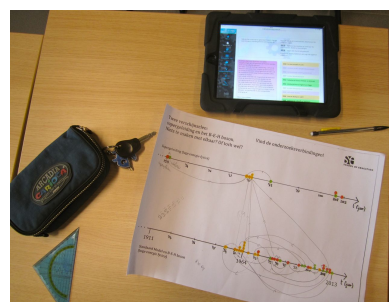


stimuleren van de interactie tussen leerlingen.

Het scherm van een smartphone is erg klein en dus minder geschikt om samen te kijken en te zoeken. Leerlingen zoeken dan vooral individueel.

De setting met tablets lijkt vanuit onze beperkte tests de discussie en samenwerking te bevorderen. Bovendien, blijkt de combinatie met papier (zoeken op tablet en tekenen/noteren op een blad) beter te werken: zie beelden hiernaast.

Een projectie vooraan in de klas kan nuttig zijn om de verschillende opdrachten klassikaal in te leiden en eventueel ook om specifieke interessante elementen die door bepaalde leerlingen naar voor gebracht worden, binnen te brengen in de discussie en aan iedereen in de klas te laten zien.



2.4.2 Organisatie en tijd

Elke leerkracht heeft een eigen lespraktijk/stijl en het is cruciaal om *Onderzoek in Beweging* naar de eigen praktijk te kunnen vertalen. Veel leerkrachten voelen echter dat ze weinig tijd hebben in de klas voor activiteiten specifiek gericht op interessevorming zoals *Onderzoek in Beweging*. De tijdsdruk is immers vaak groot om alle leerdoelstellingen in de leerplannen te realiseren. Hoewel dit voor een deel afhankelijk is van de specifieke vakken, leerjaren en scholen, lijkt het toch ook een vrij algemeen probleem te zijn.

We willen hier enkele concrete tips geven om de mogelijkheden geboden door *Onderzoek in Beweging* op verschillende manieren te integreren in de klaspraktijk en mogelijk binnen een beperkte tijd. Meer specifieke suggesties voor de Black Boxen worden in hoofdstuk 3 gegeven.

1. Klas splitsen, parallel werken aan *verschillende oefeningen*, ervaringen delen en samen reflecteren

Binnen elke Black Box vindt men verschillende oefeningen, en elk is nog onderverdeeld in taken. Voor sommige leerkrachten kan dit te veel lijken te zijn.

Maar het kan zeker om alleen bepaalde oefeningen te gebruiken, en om daarin zich eventueel te beperken tot een deel van de taken, die toch genoeg diversiteit en complexiteit laten zien.

In het volgende wordt een misschien meer interessante manier voorgesteld om met de tijdsbeperking om te gaan, waarmee de ervaring van leerlingen gemaximaliseerd kan worden zonder dat elke leerling alle oefeningen moet maken.

Neem bv. de Black Box Nobelprijs Fysica en de twee opdrachten Theorie en Experiment en Lage en Hoge Energie. De klas kan in twee gesplitst worden en leerlingen kunnen parallel in groepjes werken aan de twee opdrachten. De bespreking kan dan voor alle groepen samen gedaan worden: de leerlingen van de eerste helft vertellen aan de anderen wat ze ontdekt hebben, en omgekeerd. Ze kunnen dan samen reflecteren over

de eigen praktijk (laatste taak): hoe verschilt een onderzoekje dat ze gedaan hebben in de klas met het onderzoek dat geleid heeft naar de Nobelprijs?

Deze werkvorm kan ook met andere Black Boxen. In de Black Box Darwin de onderzoeker, bijvoorbeeld, zijn er vijf opdrachten die gericht zijn op de verschillende activiteiten van Darwin als onderzoeker. De leerkracht kan beslissen dat groepjes leerlingen zich concentreren op één van deze activiteiten en hun bevindingen dan samen bespreken.

De rol van de leerkracht is hier cruciaal om te zorgen dat de bespreking wel een collectieve dimensie krijgt en dat de klas als geheel de diversiteit en complexiteit van de onderzoekspraktijk ziet.

2. Klas splitsen, *binnen dezelfde oefening* artefacten verdelen, ervaringen delen en samen reflecteren

In sommige opdrachten, bv. binnen de Black Boxen Proefschrift Pedagogische Wetenschappen en Nobelprijs Fysica, moeten leerlingen een relatief groot database exploreren: de vele e-mails in de mailbox van een onderzoeker of de gebeurtenissen verbonden met de Nobelprijs.

Voor sommige leerkrachten kan de hoeveelheid materiaal in de database overkomen als te groot voor de tijd waarover ze beschikken.

Hoewel het heel interessant is om leerlingen vrij te laten zoeken in de volledige database, kan de leerkracht eventueel ook beslissen om het materiaal onder de leerlingen te verdelen, bv. op basis van de datum van de gebeurtenis of e-mail. In het geval van de mailbox, kan deze verdeling ook alleen indicatief zijn om te zorgen dat de klas als geheel de volledige database ontdekt en om te vermijden dat iedereen kijkt naar e-mails van dezelfde periode.

3. Voorbereiding *thuis*, in de klas ervaring delen en samen reflecteren

Bij beperkte tijd in de klas kan ook een eerste verkenning thuis gebeuren, als huiswerk. Bv. kan in de Black Box Nobelprijs Fysica, voor de opdracht 'Anders praten over onderzoek', de zoektocht naar 'onverwachte woorden' thuis gebeuren, nadat de teksten van de gebeurtenissen door de leerkracht zijn verdeeld zoals in punt 2 hierboven. Men doet dan alleen de bespreking en reflectie in de klas, en hiervoor kunnen 10-15 min genoeg zijn.

4. Niet noodzakelijk zien als één groot project: stukjes koppelen bv. aan deelcompetenties om deze te kaderen, en *verspreiden* over het schooljaar

Hoewel Onderzoek in Beweging opzet werd als een één geïntegreerd project, hoeft het niet zo te zijn voor de leerkracht! Neem bv. de Black Box Darwin de onderzoeker. De leerkracht kan voor of na een activiteit in onderzoekend leren met nadruk op 'observeren', de opdracht 'Darwin observeert' gebruiken. Hiermee kunnen kinderen ontdekken hoe hun werk in de klas verbonden is met het werk van een grote onderzoeker uit het verleden. Later in het jaar, wil de leerkracht leerlingen misschien de kans geven om te reflecteren over hun eigen samenwerking en de rol van anderen in het kader van onderzoekend leren. Hiervoor kan men de opdracht 'Darwin schrijft' gebruiken. Men kan dus doorheen het schooljaar verschillende opdrachten inzetten om het onderzoek van leerlingen breder te kaderen.

2.4.3 Beginnen, ondersteunen, eindigen

De oefeningen van Onderzoek in Beweging zijn specifiek ontworpen voor interessevorming en dus niet zozeer voor het leren van specifieke vakinhouden of voor het verwerven van bepaalde vaardigheden of competenties.

Daarom zijn de oefeningen op een heel specifieke manier opgebouwd. Het gaat over exploreren en leerlingen gaan dus op een andere manier aan de slag in vergelijking met de situatie waar het leren van specifieke inhouden of het inoefenen van vaardigheden centraal staan. Dit betekent ook dat sommige taken geen ‘juist’ antwoord hebben en dat de blootstelling aan het geheel van veel verscheidene elementen centraal staat. Het materiaal zelf is ook bewust anders gestructureerd in vergelijking met de boeken en werkbundels waarmee leerlingen meestal geconfronteerd worden. Het materiaal is meestal *niet lineair* gestructureerd.

Dit is allemaal bedoeld om een maximale blootstelling en ervaring mogelijk te maken i.v.m. de diversiteit en complexiteit van onderzoek.

Deze ‘vormingsgerichte’ manier van werken is misschien niet voor iedereen evident. Daarom vind je hieronder enkele tips.

1. Hoe inleiden: het verschil duidelijk maken

Wanneer men voor de eerste keer werkt met *Onderzoek in Beweging* in een klas, kan het helpen om de doelstellingen van de activiteit transparant mee te delen.

Bv. kan men beginnen met de gekozen Black Box van onderzoek en hierover een paar vragen stellen. Bijvoorbeeld, voor de Black Box Proefschrift Pedagogische Wetenschappen: Weten jullie wat een proefschrift is? En wat een doctoraat is? Hebben jullie een idee van wat een doctorandus in de pedagogische wetenschappen in zijn dagelijkse onderzoekspraktijk doet?

Men kan duidelijk maken dat het doel van de activiteit is om te kijken naar wat zich achter dat proefschrift (de Black Box) allemaal afspeelt. En om daarmee iets te ontdekken over *onderzoek* zoals het voorkomt in de ‘echte’ wereld. Het gaat dus niet om het opdoen van kennis en vaardigheden die verbonden zijn met het specifieke doctoraatsonderzoek dat wordt voorgesteld in de oefening.

Men kan ook aankondigen dat het materiaal waarmee leerlingen aan de slag gaan, authentiek is. Het gaat over een verscheidenheid van echte documenten, foto's en e-mails die juist verzameld werden om aan leerlingen de kans te geven om in die specifieke wereld van het onderzoek te kunnen duiken. Zoals reeds vermeld in sectie 1.4, moeten leerlingen zich dus zeker geen zorgen maken als ze in de teksten soms technische woorden (vakjargon in onderzoek) vinden die ze niet kennen.

Soms kan het ook helpen, zeker bij een klasgroep die altijd op een bepaalde manier werkt in de klas, om de fysieke organisatie te veranderen in het klaslokaal. Bv. zou de leerkracht de banken van tevoren kunnen verplaatsen om kleine groepjes te vormen en de tablets en eventueel werkbundels daar al klaar te zetten. Als de leerlingen binnenkomen is het dan direct duidelijk dat men vandaag anders aan de slag zal gaan.

2. Hoe ondersteunen: aandacht richten naar de wereld van onderzoek

De leeromgeving *Onderzoek in Beweging* bevat geen concrete regels die kant en klaar zijn voor gebruik en waarmee vervolgens door de oefeningen kan worden gegaan. Wat daar wel klaar staat, zijn vele rijke ‘stukjes’ van een wereld, die samen ontdekt kunnen worden en die leerlingen samen met elkaar kunnen verbinden om op die manier de praktijk van het onderzoek ‘tot leven te wekken’.

Als leerlingen aarzelen, kan men ze terug richten naar bepaalde artefacten en hen zo uitnodigen om even in die wereld van onderzoek ‘te stappen’. Wat men ook kan doen is om de discussie tussen leerlingen te stimuleren: zorgen dat ze aan elkaar tonen en vertellen wat ze allemaal gezien en gevonden hebben.

En als de leerkracht ziet dat bepaalde leerlingen aarzelen omdat ze zich zorgen maken om een ‘fout antwoord’ te geven, kan duidelijk gemaakt worden dat het hier niet echt over ‘juist’ of ‘fout’ gaat, maar om iets nieuws te ontdekken en erbij stil te staan. Dat gebeurde ook in de try-out bv. met de Black Nobelprijs Fysica, waar sommige leerlingen - maar ook leerkrachten - aarzelenden om verbindingen tussen gebeurtenissen op het werkblad te tekenen. Ze wilden eerst alles gelezen hebben en op een bepaalde manier alles ‘onder controle’ hebben, om zeker te zijn om ‘geen foute verbinding’ te tekenen. Het is echter vooral de globaliteit van alle verbindingen samen die de praktijk van het onderzoek ‘tot spreken’ zal brengen, en men kan dus gerust gebeurtenissen beginnen te verbinden zonder op voorhand alles in detail uit te zoeken. Bovendien kunnen groepjes leerlingen elkaar aanvullen.

Bij vele oefeningen is het inderdaad zo dat het uiteindelijke antwoord van de hele klas komt, dus collectief, waarbij de verschillende leerlingen of groepjes bijgedragen hebben elk vanuit hun eigen ontdekkingen.

3. Hoe eindigen: tijd vrijmaken voor het beseffen

In *Onderzoek in Beweging* zijn er taken, of zelfs volledige oefeningen, die gericht zijn om even stil te staan bij wat men allemaal met de oefening(en) ontdekt heeft. Deze taken maken het mogelijk dat de blootstelling van de leerling aan de wereld van onderzoek nog verdiept kan worden. Het is dus de moeite waard om ook wat tijd vrij te maken voor deze eindtaken. Het einddoel van *Onderzoek in Beweging* is immers niet dat leerlingen specifieke artefacten hebben gelezen of een bepaalde visualisatie hebben bekeken of mee-geconstrueerd, maar dat ze daarmee ten slotte zelf betekenis kunnen geven aan de wereld van onderzoek.

De leerkracht kan ook zelf een eigen eindtaak bedenken die een sluitstuk kan worden voor het traject dat hij zelf samengesteld heeft met de oefeningen van *Onderzoek in Beweging*.

Om een voorbeeld te geven van zo een sluitstuk, bouwen leerlingen in de Black Box Proefschrift Pedagogische Wetenschappen op het einde zelf een ‘scène’ waarmee ze de verschillende aspecten van de dagelijkse onderzoekspraktijk, die ze daarvoor ontdekt hebben, met elkaar verbinden en op een eigen manier verwerken. In de Black Box Nobelprijs Fysica zetten leerlingen de praktijk van het onderzoek naar het Brout-Englert-Higgs boson naast hun eigen onderzoekje in de klas.

2.4.4 Aandacht voor taalgebruik inzake onderzoek

“Zie je? Eerst komt alle theorie, en dan het *onderzoek!*” (leraar fysica)

“Er zijn verschillende soorten *onderzoekers* in deeltjesfysica: de theoretici die vooral theorieën schrijven om de interactie tussen de deeltjes te beschrijven, en de experimentatoren die echt gaan *onderzoeken* hoe de deeltjes zich gedragen.”
(student lerarenopleiding fysica)

Het is vooral door aandacht te besteden aan het eigen taalgebruik inzake onderzoek, dat men kan vermijden om zelf op voorhand bepaalde opvattingen over onderzoek te introduceren. Dit is belangrijk in het kader van de ondersteuning van het werk van leerlingen met de Black Boxen.

In de twee citaten hierboven (uit onze try-out), ziet men een voorbeeld van hoe een leerkracht via het eigen taalgebruik een bepaalde boodschap inzake onderzoek doorgeeft aan leerlingen. In dit geval, door de term ‘onderzoek’ feitelijk als synoniem voor ‘experiment’ te gebruiken, geeft men eigenlijk de boodschap dat theorievorming niet deel uitmaakt van onderzoek en, breder gezien, dat onderzoek hetzelfde is als experimenten doen.

We weten niet altijd goed hoe we aan leerlingen onze eigen opvatting van onderzoek communiceren – en voor een stuk valt dat ook niet te vermijden natuurlijk. Maar precies daarom is het ongetwijfeld interessant om de ‘dingen’, de onderzoeksartefacten van *Onderzoek in Beweging*, zoveel mogelijk zelf te laten ‘spreken’ over onderzoek. Dit kan men bereiken door, in de ondersteuning bij een bepaalde tekst of geluidsfragment, vooral te proberen dezelfde woorden te gebruiken die in de tekst zelf voorkomen. Dit kan een hulpmiddel zijn om de aandacht van leerlingen op een eerder neutrale manier terug te richten naar de materialen zelf, en bij de materialen stil te staan.

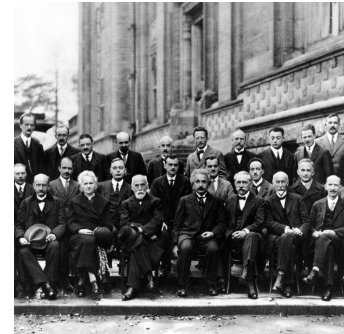
3. Black Box Solvay Conferentie 1927

3.1 Inleiding

In oktober 1927 vond de 5^{de} Solvay Conferentie in de fysica plaats in Brussel.

29 onderzoekers geïnteresseerd in elektronen en fotonen - het thema van de conferentie - kwamen samen om recente experimentele en theoretische resultaten te presenteren en te bespreken.

Van de conferentie is vooral de intrigerende zwart-wit groepsfoto bekend. Maar wat hebben de onderzoekers gedaan en gezegd tijdens de conferentie? Hoe is de conferentie tot stand gekomen en wat is daarna gebeurd met de onderzoekers en hun theorieën?



Van de Solvay Conferentie 1927 kunnen we gemakkelijk de 'input' vinden – de 29 wetenschappers – en ook wat beschouwd wordt als de 'output' – de theorie van de kwantummechanica – maar wat er concreet gebeurd is tijdens de conferentie, welke paden hebben de onderzoekers voor en na de conferentie bewandeld, dat blijft voor ons een black box.

3.2 Algemene informatie, met doelgroep en link met eindtermen en leerplannen



Doel: de black box van de Solvay Conferentie 1927 terug openen en meerdere aspecten van de onderzoekspraktijk van conferenties ontdekken, samen met de inbedding van onderzoek in de historische context.



ASO, **vak fysica** 3^{de} graad.

ASO, **vak cultuurwetenschappen** binnen Humane Wetenschappen 3^{de} graad, 1^{ste} leerjaar.

Lerarenopleiding BaSO fysica en SLO natuurwetenschappen optie fysica⁷.

SLO gedrags- en cultuurwetenschappen.



Link met eindtermen en leerplannen:

- Specifieke Eindtermen Wetenschappen:

Natuurwetenschap en Maatschappij

(Dimensies: Wetenschap en Cultuur, Wetenschap en Techniek, Wetenschap en Samenleving)

- Specifieke Eindtermen Humane Wetenschappen:

Samenhang en Wisselwerking - Cultuurwetenschappen: bestuderen de samenhang tussen cultuurverschijnselen en de onderlinge beïnvloeding van wetenschap, techniek en samenleving.

- Contextualiseren van de Specifieke Eindtermen Onderzoekscompetentie

⁷ Om de leesbaarheid van de tekst te vergemakkelijken wordt telkens gesproken over 'leerlingen' i.p.v. 'studenten / leerlingen'.

Mogelijke inhoudelijke koppeling met leerplannen:

- vak fysica:

keuzemodule kwantummechanica/kwantumfysica;
verbindingen met kernfysica en met keuzemodule medische fysica/medische beeldvorming.

- vak cultuurwetenschappen:

Leerplan VVKSO:

Denken over... (denken over wetenschap en techniek, over goed en kwaad).

Leerplan GO:

Betekenis en rol van wetenschap als dimensie van cultuur ('Zijn onze wiskunde en fysica denkbaar zonder oneindig en continu ruimte- en tijdsbegrip?');

Ontwikkelingsaspecten van de wetenschap als dimensie van cultuur ('afbraak van het Newtoniaans wereldbeeld: kwantummechanica'; 'van Kant tot Derrida: over onzekerheidsprincipes en paradoxen')

Interdisciplinaire elementen:

Geschiedenis: 1^{ste} en 2^{de} wereldoorlog, interbellum

Nederlands: creatief schrijven van een toneelstuk

Engels: link met toneelstuk Copenhagen van Michael Frayn

3.3. Oefeningen met voorbeeldantwoorden en tips

3.3.1 Conferentiedebat



Doel: het kwantumdebat tijdens de Solvay Conferentie 1927 verkennen. Ontdekken dat er onenigheid was tussen onderzoekers en dat er verschillende theorieën op dat moment bestonden voor de beschrijving van de kwantumwereld. Verschillende soorten verbanden tussen onderzoekers in de onderzoekspraktijk leren kennen.



Ingeschatte tijd: 30 min.



Werkvorm en materiaal

Leerlingen werken in groepjes van 2-3 met een tablet, laptop of computer per groepje. Ze noteren hun bevindingen op een blad. De leerkracht moedigt de groepjes aan en ondersteunt hen door vragen te stellen en tips te geven als ze vastzitten, met de bedoeling om hun aandacht telkens terug te brengen naar de exploratie van de groepsfoto.

De oefening bestaat uit twee taken. Na elke taak worden de bevindingen van de verschillende groepen samen besproken.

In de eerste taak gebruiken leerlingen de **exploereerbare groepsfoto** van de conferentie. Als ze klikken op het gezicht van een wetenschapper, verschijnt meer informatie onderaan:

- **Naam en nationaliteit(en)** van de onderzoeker: men ziet hier de internationale dimensie van de conferentie⁸
- **Rol in de conferentie:** heeft de onderzoeker een presentatie gegeven? Alleen of met iemand anders? Was deze onderzoeker lid van het wetenschappelijke comité (dat thema, presentaties, sprekers en deelnemers van de conferentie kiest?) Enz.
- **Verbindingen** met andere aanwezige wetenschappers, indien van toepassing. Het gaat hier over relaties die belangrijk zijn in de onderzoekspraktijk: bij wie heeft een onderzoeker gestudeerd of gedoctoreerd? Is de onderzoeker naar het buitenland gegaan om met een andere onderzoeker samen te werken? Met wie heeft de onderzoeker gepubliceerd? Wiens onderzoek heeft de onderzoeker geciteerd? Enz.
- **Authentieke citaten:** voor 12 geselecteerde wetenschappers (de meest actief in de discussie tijdens de conferentie) verschijnen ook **citaten** uit het boek van de proceedings⁹ met standpunten en vragen van de wetenschapper in het kwantumdebat.



In de tweede taak gebruiken leerlingen een applicatie met **12 'sleepbare' wetenschappers:** deze kunnen gegroepeerd worden op het scherm om de structuur van het kwantumdebat tijdens de conferentie te visualiseren. Leerlingen reconstrueren op deze manier het debat tijdens de conferentie vertrekkend vanuit de informatie en de citaten in de exploreerbare groepsfoto. De groepsfoto is onderaan nog beschikbaar, dus hoeven leerlingen niet terug naar de vorige taak om deze weer te bekijken. Als ze klaar zijn, trekken ze een schermafdruck of foto van het resultaat¹⁰.



Het is interessant om deze oefening in te leiden met enkele vragen voor de leerlingen, bv.: Weten jullie wat de Solvay Conferenties zijn? Weten jullie iets over de kwantummechanica? (voor leerlingen die de module kwantummechanica niet

⁸ De informatie over de emigratie van wetenschappers in de jaren '30 en '40 is nodig voor oefening 2, zie verder.

⁹ Het boek van de proceedings van de conferentie, dat samen met de teksten van alle presentaties ook de volledige transcripten bevat van de discussies na elke presentatie en van de algemene discussie op het einde, is gepubliceerd in het Engels binnen: G. Bacciagaluppi, A. Valentini, 'Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference', Cambridge University Press (2009). Een volledige draft van het boek is beschikbaar via deze URL: <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0609184v2.pdf>

¹⁰ In oefening 2 wordt een gelijkaardige oefening gedaan met dezelfde wetenschappers, maar later in de tijd. Er wordt dan aan leerlingen gevraagd om de nieuwe configuratie van wetenschappers te vergelijken met de configuratie tijdens de conferentie. Daarom moeten leerlingen de schermafdruck of foto bewaren.

gevolgd hebben).

Het is normaal dat de meeste leerlingen nog niet gehoord hebben van de Solvay Conferenties, hoewel deze vandaag nog plaatsvinden in Brussel en heel belangrijk en prestigieus zijn voor de fysica en de chemie. Men kan de officiële website van de conferenties gebruiken om hier een paar woorden over te zeggen:

<http://www.solvayinstitutes.be/html/solvayconference.html>

Men kan ook kort iets zeggen om de Solvay Conferentie 1927 in te leiden. Deze conferentie in de fysica wordt geassocieerd met de geboorte van de kwantummechanica. Als men de conferentie zoekt op het internet, vindt men snel de mooie groepsfoto, met de namen en soms ook een korte biografie van de aanwezige wetenschappers, zoals bv. in:

<http://rarehistoricalphotos.com/solvay-conference-probably-intelligent-picture-ever-taken-1927/>

Deze informatie zegt echter niets over wat concreet tijdens de conferentie is gebeurd. Om dit te ontdekken, gaan we kijken naar de authentieke bronnen die van deze conferentie bewaard zijn gebleven. Naast de groepsfoto zelf, is dat het boek van de proceedings waarin we de transcripten van alle presentaties en discussies terugvinden. Ook bestaat er nog een korte video die werd opgenomen met een van de allereerste home-camera's. Steunend op deze bronnen, gaan we verkennen wat er achter deze groepsfoto schuil gaat.



Men kan op een positieve, uitdagende manier aankondigen dat de leerlingen aan de slag zullen gaan met de **authentieke woorden** die de wetenschappers tijdens de discussies in de conferentie hebben uitgesproken. Wat de wetenschappers zeggen is misschien ingewikkeld, maar tegelijk heel fascinerend. Het is de moeite waard om hier bij stil te staan.

Beschrijving van de taken met voorbeeldantwoorden, aandachtspunten en tips:

Taak 1: Onenigheid

In de Solvay conferentie 1927 in Brussel kwamen onderzoekers samen om nieuwe ideeën te presenteren en te bespreken voor het thema 'Elektronen en Fotonen'.

Recentelijk waren immers verschillende kwantumtheorieën gepubliceerd die experimentele resultaten i.v.m. elektronen en fotonen, onbegrijpbaar volgens de reeds bestaande theorieën, probeerden te verklaren.

Klik op de wetenschappers en ontdek het kwantumdebat!

Wie zegt wat? Bespreek en noteer je bevindingen.



In deze taak moeten leerlingen hun weg vinden in ingewikkelde en soms mysterieus klinkende citaten. Hoe kunnen ze uit deze teksten iets halen?

Hieronder enkele tips:

- (a) voor de verschillende wetenschappers **sleutelwoorden** noteren i.v.m. de inhoud van de citaten

- (b) kijken of er naar andere deelnemers wordt verwezen en hoe precies (akkoord, niet akkoord, waarom?)
- (c) de andere informatie over de wetenschapper (puntsgewijs gegeven voor de citaten) ook in rekening brengen, bv.: heeft de wetenschapper gepresenteerd op de conferentie? Alleen of met iemand anders? (Als je met iemand anders één presentatie geeft, ga je met die persoon eerder akkoord of niet?) Wat was de titel van de presentatie? Had de wetenschapper met andere deelnemers eerder samengewerkt?



Bij gebrek aan tijd, of als de leerkracht de leerlingen vanaf het begin gericht wil laten zoeken in taak 1, kan men bij de inleiding van de oefening al aankondigen wat men in taak 2 zal moeten doen (12 wetenschappers groeperen op basis van hun mening in het kwantumdebat). Dit zorgt ervoor dat leerlingen efficiënter aan de slag gaan, maar anderzijds kan dit bij sommige leerlingen leiden tot minder diepgang (aandacht alleen schenken aan zinnen over het al dan niet akkoord gaan met iemand).



Hieronder vind je voor elke wetenschapper een voorbeeldlijst van relevante elementen en begrippen. Uiteraard gaan leerlingen ook andere dingen noteren... De lijst hieronder is bedoeld om de leerkracht te helpen leerlingen te ondersteunen, en niet als 'het juiste antwoord'.

Lorentz

- een beeld kunnen vormen¹¹
- ruimte, tijd, baan, determinisme

Schrödinger

- spreker 'golfmecanica'
- golf (geen deeltje, 'storing')
- heeft probleem met fysische interpretatie theorie Heisenberg

Dirac

- determinisme niet houdbaar
- observeren, experimentator, keuze (door de natuur)
- verwijst naar Bohr (akkoord)

Einstein

- verwijst naar golf Schrödinger (gedeeltelijk akkoord)
- golf + deeltje: verwijst naar de Broglie (akkoord met zijn aanpak)

Marie Curie

- verwijst naar Compton (dat is een experimentele presentatie, geen kwantumtheorie)
- biologische effecten, levend weefsel, röntgenstralentherapie
- bètastralen, radioactieve lichamen

¹¹ Het gaat hier over een vorm van *aanschouwelijkheidsprincipe* (zoals in didactiek!). Het woord 'aanschouwelijkheid' wordt veel gebruikt tijdens de algemene discussie van de Solvay conferentie, maar de wetenschappers gaan niet akkoord over welke theorie of voorstelling al dan niet 'aanschouwelijk' is!

- ➔ *niet betrokken bij kwantumdebat, vooral geïnteresseerd in medische toepassingen en verbanden met kernfysica.*

Brillouin

- *verdedigt de Broglie*
- *spreekt over 'banen van de Broglie'*

de Broglie

- *spreker 'nieuwe dynamica van kwanta'*
- *reageert op kritiek Kramers*
- *baan van fotonen*
- *foton: materieel punt met positie en snelheid (-> deeltje)*

Kramers

- *niet akkoord met baan (tegen de Broglie)*
- *beschrijven van experimenten*
- *doctoraatstudent van Bohr*

Bohr

- *experimenten beschrijven*
- *strikte golftheorie kan niet (-> tegen Schrödinger)*
- *causale ruimtetijd weg, ruimtetijd is een abstractie (-> tegen Lorentz)*
- *observaties, statistische kwestie (-> waarschijnlijkheid)*

Heisenberg

- *spreker samen met Born*
- *verbonden met Pauli en Bohr*
- *deeltje, discrete toestanden*
- *observatie, keuze (waarnemer vs. natuur (reactie op Dirac))*

Born

- *spreker samen met Heisenberg*
- *werkte met Pauli en Heisenberg (eerder met Planck en Einstein)*
- *tegen baan van de Broglie*
- *tegen Schrödinger (locatie van elektron wel meetbaar -> deeltje)*
- *vermeldt probleem beschreven door Einstein (experiment)*
- *verwijst naar Heisenberg om dit probleem op te lossen*
 - ➔ *akkoord met Heisenberg, niet echt met Einstein*

Pauli

- *akkoord met Bohr*
- *beschrijving in ruimte en tijd kan niet*

Taak 2: Onenigheidskaart

Groeppeer de wetenschappers hieronder:

Wie gaat akkoord met wie? Wie heeft met wie samengewerkt?

Bij twijfel kan je de info in de groepsfoto onderaan raadplegen.

Trek een schermafdruck of foto van het resultaat.



Hieronder vindt men een beschrijving van de groepering van de mensen zoals we dit zien. Deze configuratie is niet te beschouwen als een exacte oplossing, maar eerder als een trend. Het antwoord op deze vraag is immers niet 'zwart-wit', en er zullen zeker elementen zijn in de antwoorden van leerlingen die verschillen en die besproken en verantwoord kunnen worden. Het is vooral de bespreking van de antwoorden, eerst binnen de groepjes leerlingen en daarna met de hele klas samen, die belangrijk is om de doelstellingen van deze activiteit i.v.m. de onderzoekspraktijk te realiseren, zie hiervoor enkele ideeën op de volgende pagina.

- **Lorentz, de Broglie, Einstein, Brillouin:** staan achter een beschrijving in ruimte en tijd, waar een deeltje nog een baan heeft. Dit is verbonden met het willen behouden van een vorm van determinisme: het deeltje is op een bepaald moment in een bepaalde plaats, heeft een bepaalde snelheid.
Uit de opmerking van Einstein, ziet men dat de 'nieuwe dynamica van kwanta' van de Broglie de beschrijvingen als golf en als deeltje probeert te verzoenen.
- **Schrödinger:** wil een theorie met alleen golven, zonder puntvormige deeltjes. Wat beweegt zijn geen deeltjes maar 'storingen', ten minste van de orde van enkele golflengtes.
- **Born, Heisenberg, Kramers, Bohr, Dirac, Pauli:** beschrijving met deeltjes, maar geen beschrijving in ruimtetijd met baan, tegen determinisme (statistische interpretatie, waarschijnlijkheid), ze focussen op het kunnen beschrijven van observaties en experimenten¹². Binnen deze groep is er nog discussie, bv. men ziet dat bij Dirac en Pauli.
- **Marie Curie:** ze doet niet mee aan de discussie rond de kwantumtheorie, ze is geïnteresseerd in mogelijke toepassingen.

¹² Het gaat hier over het idee van *operationalisme* in de fysica: de fysische theorie dient alleen om de resultaten van experimenten te beschrijven en alleen door een meetmethode aan te geven kan men aan een concept betekenis geven. Maar duidelijk hebben niet alle wetenschappers in de Solvay conferentie dezelfde visie over wat de fysica is en moet doen!

Een schermafdruck van deze configuratie zou er zo kunnen uit zien:



Om de doelen van deze activiteit te realiseren, in de discussie van de bevindingen van leerlingen kan de leerkracht de nadruk leggen op volgende aspecten van het onderzoek 'in beweging' in relatie tot het thema onenigheid:

- *dat er tegelijk verschillende theorieën en zelfs verschillende opvattingen over wetenschap bestaan terwijl het onderzoek wordt gedaan*
- *dat de onderzoekers niet allemaal akkoord gaan, maar soms in groepen samenwerken en binnen die groepen hebben ze eerder dezelfde insteek*
- *dat binnen deze groepen toch ook verschillen en discussie kunnen plaatsvinden (bv. tussen Heisenberg en Dirac).*

Daarbij kunnen leerlingen andere elementen oppikken over de onderzoekspraktijk, verschillende manieren waarmee onderzoekers verbonden kunnen zijn:

- *in de leer gaan met, lessen gevolgd hebben van, doctoraatsstudent geweest zijn van*
- *zich verplaatsen om te kunnen werken met*
- *eigen onderzoeksresultaten presenteren en verdedigen, het werk van andere onderzoekers verdedigen.*

Leerlingen die in het vak fysica de module kwantummechanica hebben gevolgd, kunnen de discussie vanuit een inhoudelijk invalshoek beter volgen. Maar leerlingen die niets hebben gezien van de kwantummechanica, kunnen deze oefening ook doen, en de doelstellingen i.v.m. de onderzoekspraktijk kunnen met deze leerlingen even goed gerealiseerd worden. Veel leerlingen zullen sowieso verbaasd zijn en gefascineerd raken door de filosofische dimensie van het debat in de Solvay conferentie, die de vertrouwde context van de les fysica overschrijdt.

3.3.2 Conferentietijd



Doel: ontdekken hoe het onderzoek in de kwantummechanica ingebed was in haar historische context - hoe de betrokken onderzoekers binnen die context moesten functioneren, wat de impact van dat onderzoek op de samenleving is geweest en hoe de conferentie concreet tot stand is gekomen in een bepaalde periode. Reflecteren over de verandering in de alledaagse onderzoekspraktijk met de tijd.

In deze oefening wordt er uitgezoomd vanuit de conferentie: leerlingen verkennen wat er gebeurd is daarna (taken 1-3) en daarvoor (taken 4-5).

Leerlingen ontdekken wat er gebeurd is met de 12 wetenschappers in de periode rond de tweede wereldoorlog (taken 1 en 2), en welke toepassingen van de kwantummechanica zijn ontstaan na de conferentie (taak 3).

Ze reflecteren over het vele werk nodig om de conferentie te organiseren op die tijd, over de moeilijkheden met Duitse en Oostenrijkse wetenschappers na de eerste wereldoorlog, en over de veelheid van gesproken talen (taak 4); ze proberen de situatie te vergelijken met de organisatie van een conferentie van vandaag (taak 5).



Werkvorm en materiaal

Leerlingen werken in groepjes van 2-3 met een tablet, laptop of computer per groepje. Ze noteren hun bevindingen op een blad. De leerkracht moedigt de groepjes aan en ondersteunt hen door vragen te stellen en tips te geven als ze vastzitten, met de bedoeling om hun aandacht telkens terug te brengen naar de exploratie van de **tijdslijn**.

Deze tijdslijn bestaat uit 88 gebeurtenissen tussen 1905 en 2015. Als men op een gebeurtenis klikt, krijgt men meer informatie in de vorm van tekst, beeld en links.

In deze tijdslijn hebben we een kleurcode gebruikt. Deze code geven we hieronder voor de leerkracht:

- oranje: experimenteel onderzoek en resultaten
- geel: theoretische onderzoeksresultaten
- blauw: bijeenkomsten van onderzoekers
- paars: toepassingen
- groen: concrete organisatie van de Solvay conferentie, en daarna gebeurtenissen i.v.m. het leven van de deelnemers van de conferentie
- rood: historische gebeurtenissen (die niet vallen in een van de vorige categorieën).



Het is uiteraard een keuze, en niet altijd evident, om een kleur toe te kennen aan een gebeurtenis. Bv. je kan de atombommen op Japan als een historische gebeurtenis beschouwen, maar wij hebben er hier voor gekozen om het als een toepassing van wetenschap te zien, waardoor ze dus in het paars is weergegeven en niet in het rood. Een ander voorbeeld zijn de twee kernprojecten het Uraniumproject en het Manhattanproject: ze waren beide wetenschappelijke projecten met theoretische en

experimentele componenten. We hebben ten slotte gekozen om deze in het oranje weer te geven.

Het is interessant om deze kleurcode in het begin niet te onthullen voor leerlingen. Ze zullen de code leren kennen terwijl ze de tijdlijn gebruiken. Indien er een groepje leerlingen vastzit, kan de leerkracht als tip ev. verwijzen naar de kleurcode door hierover een vraag te stellen.

De oefening bestaat uit 5 taken. Na elke taak worden de bevindingen van de verschillende groepen samen besproken.



Oefening 2 is bedacht als gevolg van oefening 1: er wordt vergeleken met of gerefereerd naar wat men in oefening 1 heeft ontdekt.



Ingeschatte tijd: totaal 1 lesuur (50min), waarvan 30 min voor taken 1 en 2 samen.

Beschrijving van de taken met voorbeeldantwoorden, aandachtspunten en tips:

Taak 1: Vervolg – de mensen

In de Solvay Conferentie 1927 kwamen verschillende onderzoekers samen om hun theorieën en standpunten i.v.m. de kwantumfysica te bespreken.

Sommigen hadden eerder samenwerkt, sommigen gingen niet akkoord, maar ze hebben allemaal wel een bijdrage geleverd aan een gezamenlijk project: het bouwen van een theorie voor de kwantumwereld.

Wat is er gebeurd met deze onderzoekers in de jaren na de conferentie?

Waar zijn ze naartoe gegaan? Wat hebben ze gedaan?

Zoek informatie op in de tijdlijn en in de groepsfoto hieronder. Noteer en bespreek.



Zoals in oefening 1, kan de leerkracht er hier ev. ook voor kiezen om al bij de inleiding van taak 1 te laten zien wat men in taak 2 zal moeten doen (12 wetenschappers groeperen op basis van hun positie tijdens de wereldoorlog).



Hieronder de informatie over de wetenschappers die te vinden is in de tijdlijn en in de groepsfoto:

Lorentz sterft pas na conferentie (1928). Marie Curie, die over hem schreef in de proceedings van de conferentie, volgt hem enkele jaren daarna (1934).

Planck ontmoet Hitler i.v.m. de Duitse wetenschappers van Joodse afkomst, die het land moeten verlaten (1933).

In de groepsfoto vindt men dat de volgende wetenschappers emigreerden in de periode voor of bij het begin van de tweede wereldoorlog:

In 1933: Einstein (-> V.S.), Born (-> V.K.)

In 1940: Debye (-> V.S.), Pauli (-> V.S.), Brillouin (-> V.S.)

Einstein speelt, vanuit zijn wetenschappelijk gezag, een belangrijke (politieke) rol (zie 1933, 1939), terwijl hij wetenschappelijk nog actief blijft in het kwantumdebat (1935).

Heisenberg werkt mee aan het kernprogramma van Duitsland (zie 1939). Bohr is betrokken bij het Manhattanproject, het kernproject van V.S., V.K. en Canada (zie 1942). Bohr en Heisenberg ontmoeten elkaar in het toen door de Nazi's bezette Kopenhagen (1941).

Dirac voert ook kernonderzoek uit in zijn land (V.K.). (1940). Hij doet echter niet mee aan het Manhattanproject hoewel hij daarvoor uitgenodigd werd.

Kramers wordt gedwongen ontslag te nemen bij de wetenschappelijke instelling waarvoor hij werkte (1942). Pas in 1945 zal hij zijn functie terug kunnen opnemen.

Schrödinger verlaat Berlijn waar hij werkte (1933), krijgt een positie terug in zijn land, in Graz, maar moet vanuit Oostenrijk vluchten nadat hij ontslag heeft gekregen wegens zijn 'politieke onbetrouwbaarheid' (1938). Hij zal o.a. aan de Universiteit van Gent belanden als gastprofessor.

De Broglie blijft in Frankrijk, richt een wetenschappelijk centrum op en wordt adviseur van de Franse Commissie voor Atoomenergie (1945).

Taak 2: Vervolg – herschikking

Groeppeer de onderzoekers hieronder op basis van hun positie in de tweede wereldoorlog:

Hebben ze meegedaan aan een onderzoeksproject? Zijn ze geëmigreerd?

Trek een schermafdruk of foto van het resultaat.

Vergelijk deze nieuwe configuratie met wat je eerder gevonden hebt voor het debat tijdens de Solvay conferentie:

Zijn de onderzoekers nu anders gegroepeerd? Hoe komt dat? Wat denk je hiervan?

Zou dit vandaag nog kunnen gebeuren? Waarom denk je dat?



Op basis van de informatie verzameld in taak 1, kan men tot een configuratie komen zoals bv. in de schermafdruk op de volgende pagina. Men komt dus tot de conclusie dat Heisenberg alleen, onder de wetenschappers van de 5^e Solvay conferentie, aan het Duitse wetenschappelijke kernprogramma heeft meegewerkt en in Nazi Duitsland is gebleven.

De oude banden tussen de wetenschappers van de kwantummechanica zijn gebroken: Born, die met Heisenberg samengewerkt had en zelfs samen met hem had gepresenteerd op de conferentie, heeft Duitsland moeten verlaten. Born was van Duitse afkomst.

Bohr, die met de jongere Heisenberg een sterke band had, was ook van Joodse afkomst. Hij kwam in de problemen in bezet Kopenhagen en was betrokken het Manhattanproject.

De situatie van de verschillende wetenschappers in de grote groep links is niet identiek: sommige hebben moeten emigreren, anderen zijn in hun land gebleven, sommigen hebben onderzoek gedaan in de kernfysica (al dan niet gericht op het maken van kernwapens), anderen hebben een politieke rol opgenomen. Maar ze zaten wel allemaal 'aan dezelfde kant', en Heisenberg is de enige aan de andere kant. Zijn isolatie wou hij wel doorbreken door Bohr te gaan opzoeken in Kopenhagen. Wat in die ontmoeting werd gezegd, welke informatie werd doorgegeven, weten we echter niet.

Trek een schermafdruck of foto van het resultaat.

Vergelijk deze nieuwe configuratie met wat je eerder gevonden hebt voor het debat tijdens de Solvay conferentie:
Zijn de onderzoekers nu anders gegroepeerd? Hoe komt dat?
Wat denk je hiervan?

dit vandaag nog kunnen gebeuren? Waarom denk je dat?




Historische dimensie: het is absoluut niet de bedoeling van deze oefening om Heisenberg te snel te identificeren met 'het kwaad', integendeel. We hopen dat leerlingen juist voeling krijgen voor de complexiteit van de situatie met al die onderzoekers in die specifieke periode voor, tijdens en na de 2^{de} wereldoorlog.

Zouden leerlingen t.o.v. Heisenberg een 'zwart-wit' houding aannemen, dan is het interessant om hen via vraagstelling te laten twifelen. We weten immers niet veel over Heisenberg en zijn context. We weten ook niet wat hij aan Bohr in Kopenhagen heeft gezegd. En over de gevolgen van het Manhattanproject kan men ook discussiëren.



Wetenschappelijke projecten: het kernonderzoek voor en tijdens de wereldoorlog was ook wetenschappelijk onderzoek. Men vindt hier ook veel elementen terug van de onderzoekspraktijk: bv. is het colloquium in Los Alamos gefinancierd door het Manhattanproject (zie foto in tijdlijn, 1942) niet verschillend qua aard dan andere wetenschappelijke seminars en conferenties. Er werden wetenschappelijke artikels gepubliceerd (zie 1939), hoewel ze voor een deel intern bleven binnen een bepaalde collaboratie. Trinity Proef is een fysica-experiment geweest, en de atoombomaanval in Japan is ook een toepassing van de fysica. De kleurkeuze in de tijdlijn is dus bewust.

Taak 3: Vervolg – de wereld

In de Solvay Conferentie 1927 werden verschillende theorieën en standpunten i.v.m. de kwantumfysica besproken.

In de tijdlijn hieronder kan je zien wat er allemaal gebeurd is met de kwantumfysica na de Solvay Conferentie 1927 tot aan vandaag.

Heeft de kwantumfysica geleid tot concrete toepassingen? Welke?

In welke mate hebben deze toepassingen de wereld veranderd?

En wat is er gebeurd met het debat rond de kwantumtheorie? Is het af volgens jou?

Noteer en bespreek.



De toepassingen zijn in het paars aangegeven in de tijdlijn. De discussie over hoe deze toepassingen de wereld hebben veranderd, laten we open voor de leerlingen.

*Wat het debat rond de kwantumtheorie betreft, hebben we in de tijdlijn een kleine **selectie** gemaakt van onderzoeksresultaten die laten zien hoe het onderzoek naar de kwantummechanica zelf verder ging, terwijl er steeds meer toepassingen ervan werden ontwikkeld.*

- 1935: het artikel van Artikel Einstein, Podolsky en Rosen stelt de volledigheid van de kwantumtheorie in vraag en beschrijft een probleem in deze theorie, de 'spooky action at a distance', aan de hand van een paradox.
- 1952: Bohm bouwt verder op de theorie van de Broglie (die banen had voor de deeltjes), die na de Solvay Conferentie voor een periode aan de kant werd gezet.
- 1957: het werk van Everett introduceert een nieuwe, controversiële interpretatie van de kwantummechanica.
- 1967: Bell vertaalt de kwestie opgebracht door Einstein, Podolsky, Rosen naar een criterium waarmee de 'spooky action at a distance' experimenteel getest kan worden.
- 1972: een reeks van experimenten begint om het criterium van Bell te testen. De resultaten van deze experimenten zijn in overeenstemming met het bestaan van de 'spooky action at a distance' (maar blijken daarna een 'loophole' te hebben...).
- 1975: het werk van Hawking brengt de kwantummechanica in de studie van zwarte gaten. Dit opent een nieuwe 'onderzoekslijn' voor de kwantummechanica.
- 1983, 2011, 2012: de kwantummechanica wordt belangrijk in de kosmologie: men spreekt over kwantumkosmologie.
- 2015: een experiment over het verschijnsel 'kwantumverstrengeling' beweert de 'spooky action at a distance' eindelijk te hebben geverifieerd zonder loopholes in de experimentele opzet. We moeten echter wachten om te weten of dit het einde zal worden van het debat i.v.m. 'de spooky action at a distance'... Het onderzoek naar de kwantummechanica zal in elk geval verder gaan.



We hebben bewust ook enkele erg recente artikels en gebeurtenissen opgenomen, om leerlingen te laten zien dat het onderzoek naar de kwantummechanica en haar interpretatie vandaag nog erg actueel is, en ook in België leeft! We willen hiermee zeker niet de boodschap geven dat de lijst hieronder één onderzoekslijn voorstelt waar alle resultaten direct met elkaar verbonden zijn: ze zijn verbonden in de betekenis dat de kwantummechanica daar op verschillende manieren een belangrijke rol speelt. We willen ook benadrukken dat we een kleine selectie hebben gemaakt om leerlingen te interesseren, maar er zijn uiteraard veel meer recente onderzoeksresultaten i.v.m. de kwantummechanica die hier niet opgenomen zijn.

Taak 4: Organisatie

Wie heeft het werk gedaan om de Solvay Conferentie 1927 te organiseren?
 Wat moest concreet gedaan worden om dit event te realiseren en om het boek van de proceedings te publiceren?
 Welke hindernissen moesten overkomen worden?
 Zoek dit op in de tijdlijn hieronder. Noteer en bespreek.



Enkele ideeën worden hieronder gegeven met de jaren van de gebeurtenissen in de tijdlijn:

Concrete organisatie

Brieven en meeting wetenschappelijk comité (1926): wetenschappelijke invulling van conferentie (keuze thema, sprekers, deelnemers). Om deze keuzes te kunnen nemen, moet het wetenschappelijke comité op de hoogte zijn van recente wetenschappelijke ontwikkelingen. Concreet moesten er veel artikels gevonden en gelezen worden, veel brieven en uitnodigingen moesten gestuurd worden via de post. Sprekers moesten van tevoren de tekst van hun presentatie via de post bezorgen aan Lorentz (1927), deze teksten moesten ingetikt en gekopieerd en gestuurd worden aan alle deelnemers. Dit moest via een uitgeverij gebeuren of via een bureau van mimeograaf. De formules werden met de hand toegevoegd worden (door een student!). Tijdens de conferentie moesten de discussies ingetikt worden. Het samenstellen van de proceedings, die dan nagelezen moesten worden door deelnemers, was duidelijk ook een hele klus. Secretaris Verschaffelt had zeker veel werk om dit concreet op te volgen.

Men kan concluderen dat er enorm veel werk nodig was om de conferentie te organiseren, en dat grote wetenschappers zoals Lorentz en de andere leden van het wetenschappelijke comité hierin tijd hebben willen insteken. Een interessante vraag is: waarom hebben ze dit willen doen?

Hindernissen

- *Wetenschap in Duitsland en Oostenrijk bloeide en veel interessante nieuwe ideeën kwamen uit deze landen. Maar Duitse wetenschappers konden om historische redenen niet uitgenodigd worden in de periode van het interbellum. Het heeft veel moeite gekost om de Duitse wetenschappers terug te mogen uitnodigen voor de Solvay Conferentie 1927 (1919, 1921, 1924, 1926).*
- *Verscheidenheid aan talen: tijdens de conferentie zelf (1927) en bij het samenstellen van de proceedings (1928) was het vertalen cruciaal, maar niet evident. De conferentie wordt vergeleken met de Toren van Babel!*



Historische dimensie: om de situatie met de Duitse en Oostenrijkse wetenschappers te schetsen, worden historische documenten zoals het Manifest van 93 (1914) - met de handtekening van Planck - en brieven zoals die van Lorentz aan Solvay (1919) in de tijdlijn opgenomen. Dit brengt een risico mee, dat leerlingen op een niet genuanceerde manier zouden kunnen kijken naar de Duitsers in het algemeen of naar Planck¹³. In feite, weten we niet, bijvoorbeeld, in welke context Planck het Manifest van 93 heeft ondertekend.

¹³ Een gelijkaardig risico werd ook vermeld voor taak 2, in het geval van Heisenberg tijdens de tweede wereldoorlog.

Taak 5: Organisatie in 1927 en vandaag

Denk nu aan de organisatie van een internationale wetenschappelijke conferentie van vandaag.

Wat is veranderd in de organisatie van de conferentie volgens jou?

Wat is nog hetzelfde gebleven?

Noteer en bespreek.



Hoewel leerlingen weinig weten over de conferenties van vandaag, kunnen ze snel inzien dat de technologie (computers, internet, email, moderne kopieermachines ...) samen met het feit dat het Engels de taal van wetenschap is geworden, het werk om een conferentie te organiseren op een bepaalde manier heeft vereenvoudigd. Anderzijds, zien leerlingen ook dat gelijkaardige 'handelingen' nog steeds moeten gebeuren, maar dan via een andere technologie. Bijvoorbeeld is het werk van het wetenschappelijke comité nog nodig om de conferentie inhoudelijk in te vullen, en een secretariaat (of organisatiecomité) dat de concrete lokale organisatie van de conferentie opvolgt. Deze vraag is een ingangspoort tot oefening 3, waar leerlingen de concrete praktijk van (hedendaagse) conferenties verkennen.

3.3.3 Conferentiehandelingen



Doel: de onderzoekspraktijk van internationale conferenties verkennen, met zijn diversiteit en complexiteit. De veel verschillende handelingen van onderzoekers in conferenties ontdekken.



Werkvorm en materiaal

Leerlingen werken in groepjes van 2-3 met een tablet, laptop of computer per groepje. Ze noteren hun bevindingen op een blad. De leerkracht moedigt de groepjes aan en ondersteunt hen door vragen te stellen en tips te geven, met de bedoeling om hun aandacht telkens terug te brengen naar de bronnen:

- een kort **filmpje** opgenomen door wetenschapper Irving Langmuir tijdens de conferentie
- 8 **websites van internationale conferenties** die plaatsgevonden hebben in Leuven in 2015 en 2016
- een **glossarium** van typische termen van de wereld van conferenties.



Ingeschatte tijd: 30 min. Dit kan ev. verkort worden door de websites te verdelen onder de groepjes of door een deel thuis te laten voorbereiden (bv. één of meerdere website bekijken als huiswerk).

Beschrijving van de taken met voorbeeldantwoorden, aandachtspunten en tips:

Taak 1: Ruwe beelden

Van de Solvay Conferentie 1927 is er niet veel beeldmateriaal.

Maar de Amerikaanse wetenschapper Irving Langmuir, gekend en geliefd als de 'gadget man' uit het bedrijf General Electric, had zijn camera bij. Wat daarmee gefilmd werd, kan je zien hieronder.

Wat doen de onderzoekers in het filmpje? Waar zijn ze?

Noteer de handelingen en de locaties die je in het filmpje ziet.

(Tip: bekijk het filmpje opnieuw zonder audio.)



Hoewel dit filmpje spijtig genoeg niets laat zien van hoe de onderzoekers concreet interageerden tijdens de presentaties en de discussies, is het toch de moeite waard om de aandacht van leerlingen even te richten naar deze fascinerende oude beelden. Men kan de volgende elementen verwachten in de notities van leerlingen.

We zien de onderzoekers komen uit de deur van het gebouw (we denken dat dit het gebouw van de conferentie is). Ze praten met elkaar, ze glimlachen, ze blijven hangen, sommigen roken. Ze wandelen, de sfeer is ontspannen. Men ziet hen op verschillende locaties in Brussel, we herkennen het Grote Markt (maar de gebouwen zijn veel donkerder dan nu want de gevels werden nog niet gerestaureerd). Rond min 2:00 zien we heel kort de donkere binnenkant van het gebouw. We zien ook heel even twee onderzoekers die erg gefocust iets berekenen op papier.

Op het einde zien we alle deelnemers komen uit het gebouw van de conferentie. De sfeer is anders, ze praten niet met elkaar, ze gaan snel weg. De meesten glimlachen niet en sommigen hebben een boekje of papier in hun handen.

Taak 2: Conferentiewebsites

Hieronder kan je informatie vinden over verschillende conferenties die allemaal in Leuven plaatsgevonden hebben in 2015 en 2016. Als je op een beeld klikt, kan je de conferentiewebsite bezoeken.

Verken deze websites.

Welke begrippen vind je in verband met de wereld van conferenties? Met welke handelingen van onderzoekers zijn deze begrippen geassocieerd? Vind je elementen die je verbazen?

Noteer en bespreek.

Kies een onderwerp dat jij interessant vindt. Is er hierover ook ergens een conferentie? Zoek dit op het internet.



In de websites kunnen leerlingen veel verschillende begrippen en handelingen identificeren. We nemen hier als voorbeeld de eerste website, van de conferentie 'The String Theory Universe', en geven hiervoor enkele mogelijke begrippen en handelingen.

Scientific committee: bv. vergaderen om thema's en sprekers te kiezen
Organising committee: bv. vergaderen om gebouw en lokalen te selecteren
Speakers: (eigen werk) presenteren
Chairperson, convener: een sessie modereren
Discussion session: discussiëren, vragen stellen, eigen werk/standpunt verdedigen
Poster presentation: eigen werk presenteren aan de hand van een poster
Coffee break: pauze nemen, informeel praten

Hieronder enkele elementen in het programma van deze conferentie die leerlingen mogelijk verrassend zouden kunnen vinden:

- *Social Program*
 - *Gong Show*
 - *Women's lunch*
 - *Special event on 'Gender: work - life relation in our field'*
 - *Special event on careers, applications... 'Young researchers session: Life after Ph.D.'*
- Wanneer leerlingen verrassende elementen vermelden, het is interessant om te vragen waarom ze deze elementen verrassend vinden.*



Het is belangrijk dat leerlingen zich niet beperken tot de eerste pagina die ze vinden op de conferentiewebsite, maar dat ze doorklikken en de conferentiewebsite als geheel verkennen.

Taak 3: Woorden en handelingen

Hieronder vind je een glossarium met typische begrippen uit de wereld van internationale conferenties.

Met welke handelingen van onderzoekers zijn de begrippen in het glossarium geassocieerd? Noteer.

Had je deze begrippen - en handelingen - al gevonden op de websites?

Heb je daar elementen gevonden die niet in het glossarium staan?

Noteer en bespreek.



Als we terugkijken naar de begrippen die we gegeven hebben als voorbeeld voor de vorige taak, zien we dat we ze wel terugvinden in het glossarium. De geassocieerde handelingen vinden we ook terug in de beschrijving (voor 'organising committee' zijn we wel specifiek geweest). Enkele verrassende elementen vinden we niet direct terug, bv. de twee 'special events' i.v.m. gender en carrièremogelijkheden voor jonge onderzoekers. Deze elementen zijn dus niet typisch aanwezig in de meeste conferenties. Het is interessant om te vragen aan leerlingen waarom deze 'special events' georganiseerd worden volgens hen, en in welke soorten conferenties ze worden georganiseerd.

3.3.4 Conferentiescene



Doel: creatief de Solvay Conferentie (en mogelijk gebeurtenissen daarvoor en daarna) ensceneren.



Werkvorm en materiaal

In deze slotoefening wordt de creativiteit van leerlingen aangesproken. Ze worden uitgenodigd om samen een toneelstuk te schrijven en te spelen vertrekkend vanuit de Solvay Conferentie 1927.

Hiervoor worden fiches aangeboden voor de 12 wetenschappers, maar ook voor relevante objecten die een rol kunnen krijgen in de ontwikkeling van een scène. Een lege fiche wordt ook ter beschikking gesteld om personages en objecten toe te voegen. Deze **fiches** zijn een **didactische ondersteuning** voor de leraar om het werk in de klas te organiseren. Bijvoorbeeld kan de leerkracht de fiches afdrukken en deze allemaal op tafel leggen in een brainstormsessie. De leerlingen kunnen in een kring rond de tafel samen denken aan personages en objecten die ze willen gebruiken. De gekozen kaartjes kunnen gegeven worden aan leerlingen (of duo's) die verantwoordelijk zijn voor die rol of object. De kaartjes kunnen ten slotte ook gebruikt worden als ondersteuning tijdens het spelen.



Ingeschatte tijd: erg afhankelijk van de keuze van de leerkracht. Deze activiteit kan een lesuur in beslag nemen, maar kan ook een project voor een schooljaar worden.

Beschrijving van de taken

Toneelstuk

De Engelse toneelschrijver Michael Frayn heeft het stuk Kopenhagen geschreven, gebaseerd op de ontmoeting tussen de Deense natuurkundige Niels Bohr en de Duitse natuurkundige Werner Heisenberg in bezet Kopenhagen in 1941.

Met je klas kan je ook een toneelstuk schrijven en spelen vertrekkend vanuit de Solvay Conferentie 1927.

Voor het scenario kunnen jullie hieronder personages en objecten kiezen. De fiches kunnen jullie gebruiken als ondersteuning bij het schrijven en spelen. Zelf personages en objecten toevoegen kan zeker ook, hiervoor kan men de lege fiche gebruiken.



Er wordt hier eerst gerefereerd naar het bestaande toneelstuk van Michael Frayn om het duidelijk te maken voor leerlingen dat het geen vreemd idee om een toneelstuk te schrijven i.v.m. de fysica en haar geschiedenis. De fysica heeft immers verschillende toneelschrijvers geïnspireerd, bv. Bertolt Brecht (Het Leven van Galileï) en Friedrich Dürrenmatt (De Fysici). Vandaag is het nog zo, bv. heeft hedendaagse theatermaker Jan van den Berg uit Nederland het stuk Higgs recentelijk geschreven.

3.4. Suggesties voor inhoudelijke koppeling en verbreding



1. Fysica-inhoud

Voor leerkrachten fysica die de Black Box Solvay Conferentie 1927 willen gebruiken in combinatie met de leerstofmodule Kwantummechanica/Kwantumfysica, suggereren we de leerstations van het project Kwantum Spinoff als mogelijk leerboek:

<http://spinoff.vakdidactiek.be/>

De leerstations bespreken immers de basisideeën van de kwantumfysica in relatie tot het werk van wetenschappers van de Solvay Conferentie zoals Einstein en de Broglie. Bovendien bespreken de leerstations veel moderne toepassingen van de kwantumfysica die ook in de tijdlijn van oefening 2 zijn opgenomen.

Geïnteresseerden kunnen contact opnemen met Renaat Frans: renaat.frans@ucll.be.

Als standaardreferentie kan men het boek Natuurkunde van D. Giancoli (deel 2) gebruiken, hoofdstukken: Vroege kwantumtheorie en modellen van het atoom, Kwantummechanica.

2. Nature of Science

In de Black Box Solvay Conferentie 1927 komen ook veel elementen van Nature of Science aan bod. De dialogische didactiek en materialen van het project WetenschapsReflex kunnen met deze black box gecombineerd worden:

<http://www.wetenschapsreflex.be/>

Het is bijvoorbeeld mogelijk om als slutoefening i.p.v. oefening 4 een filosofisch gesprek te houden vertrekkend vanuit een vraag die leerlingen kiezen:

<http://www.wetenschapsreflex.be/content/nos-vragen-culturele-historische-context>
(men kiest aan de rechterkant een van de 10 vingers van Nature of Science, en krijgt hiervoor filosofische vragen die het startpunt kunnen worden van een dialoog)

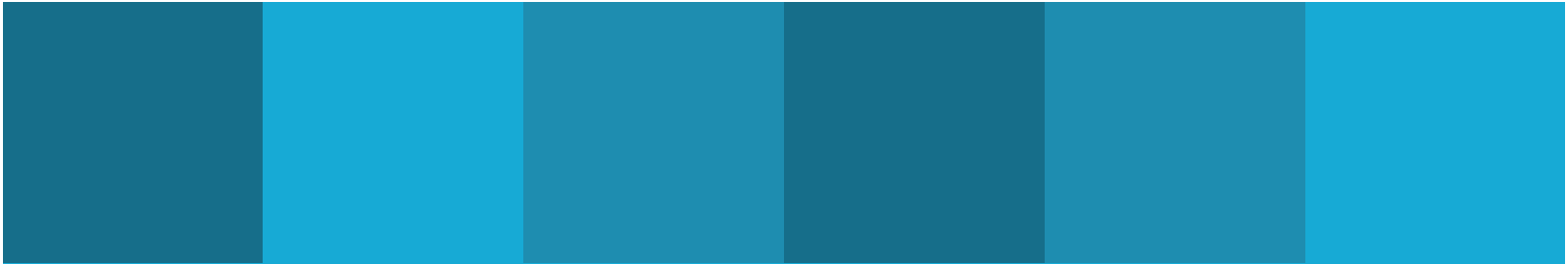
De leermaterialen voor het thema 'Materie' kunnen ook gecombineerd worden met oefeningen van deze black box:

<http://www.wetenschapsreflex.be/content/wetenschapsreflex-leermateriaal-materie>

3. Fysica en toneel

We zetten hier de reeds vermelde voorbeelden op een rij, voor leerlingen en leerkrachten met interesse in theater:

- Michael Frayn, Kopenhagen
Als oefening 4 gezien wordt als een korte slutoefening, is het zeker niet de bedoeling om het stuk van Frayn te lezen of te bekijken. Maar in het kader van een langer project, bv. in samenwerking met leerkrachten Engels en Nederlands, zou dit mooie werk ook een plaats kunnen krijgen.
- Friedrich Dürrenmatt, De Fysici
- Bertolt Brecht, Het Leven van Galileï
- Jan van den Berg, Higgs



De Black Box Solvay Conferentie 1927 is een project gerealiseerd met de steun van het Fonds Ernest Solvay, beheerd door de Koning Boudewijnstichting.

Onderzoek in Beweging is een realisatie van het project Onderzoek als Authentieke Leerinhoud van het expertisenetwerk School of Education Associatie KU Leuven.