

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

Handleiding Nobelprijs Fysica 2013

Voor leerkrachten



Onderzoek in Beweging

Handleiding Nobelprijs Fysica 2013

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 Onderzoeksresultaten 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 Nobelprijs Fysica 2013	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	35
3.3.1 Onverwachte Onderzoeksverbindingen	35
3.3.2 Ongelofelijke Onderzoeksgemeenschap	43
3.3.3 Ongeziene Onderzoeksmenselijkheid	47
3.4. Suggesties voor inhoudelijke koppeling en verbreding	56

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.

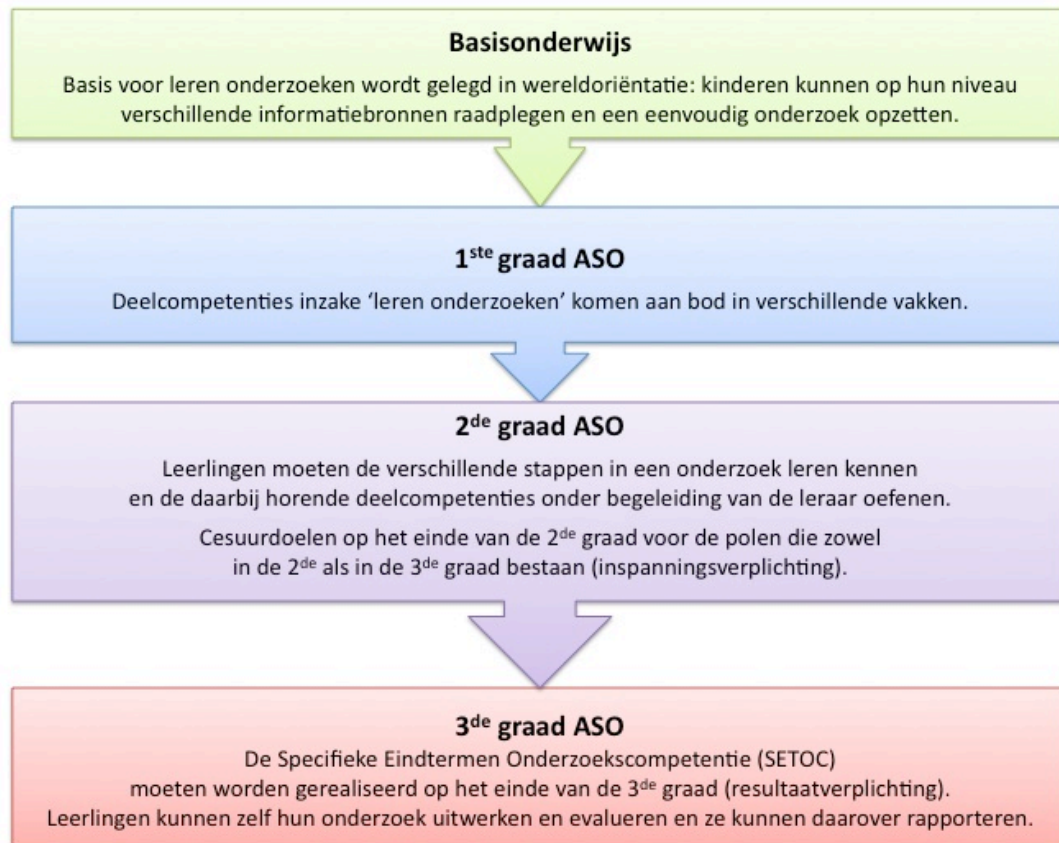
Het is van belang te beseffen dat onderzoek in de schoolpraktijk niet alleen een zaak is van leerkrachten in de 3^{de} graad van het ASO. De leerlijn leren onderzoeken begint

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.

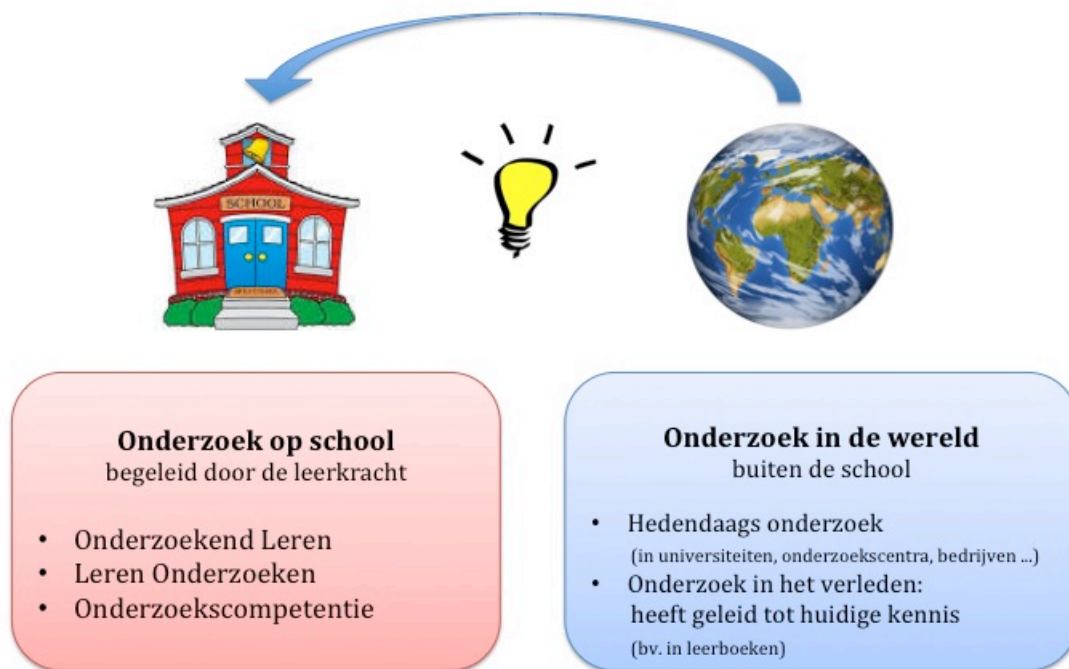
immers reeds in het basisonderwijs, in de vorm van onderzoekend leren. Dit is een didactische werkvorm waarbij het leren van vakinhouden gekoppeld wordt aan het inoefenen van specifieke onderzoeksvaardigheden en aan het stimuleren van bepaalde (onderzoeks-)houdingen. De basis van (leren) onderzoeken 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

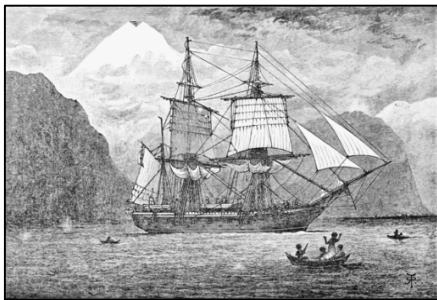
“Certainly, I never learned anything unless I left, nor taught someone else without inviting him to leave his nest.”

“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 onderzoeksacyclus, 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’.

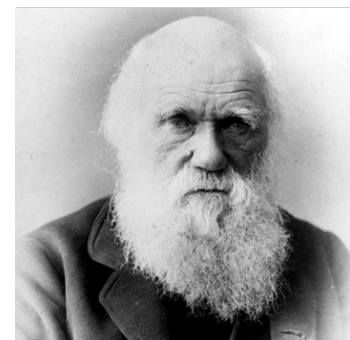
Bekende onderzoekers worden soms zelf een black box! Hun naam wordt op een theorie ‘geplakt’, of op een ziekte, een verschijnsel, een instrument, maar we weten weinig van hen, en in het bijzonder weten we niet precies hoe ze verbonden zijn aan de kennis of ding dat hun naam draagt. Denk bijvoorbeeld 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.



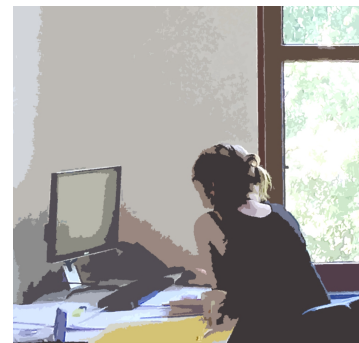
2. Nobelprijs Fysica 2013

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.



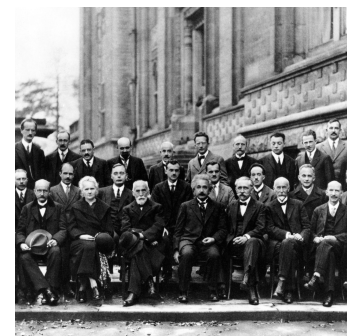
3. Proefschrift Pedagogische Wetenschappen

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

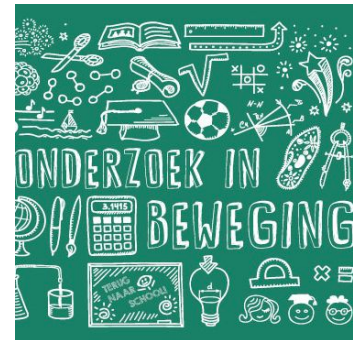
Jytte werkt als onderzoekster in het bedrijf Mirion Technologies in Olen. Als we Jytte opzoeken op het internet, kunnen we gemakkelijk vinden dat ze de functie heeft van 'Detector Scientist - Technical Sales Support PIPS Detectors' in het bedrijf.

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.”

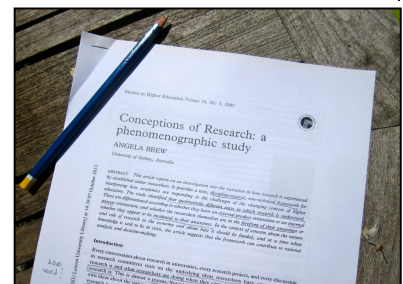
“Throughout the painstaking analysis of the data, there was an attempt to look beyond ways in which research is traditionally differentiated: such as by disciplinary differences, whether the research is perceived as pure or applied, and differences in methodology.”

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

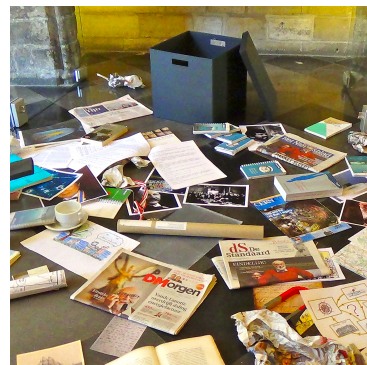
onderzoeksdomeinen erkent, maar is het ook zo voor de verschillende *concepties* van onderzoek? Men zou dezelfde vraag kunnen stellen i.v.m. het beleid inzake onderzoek op school: houdt men rekening met de verschillende categoriën van opvattingen over wat onderzoek doen betekent? Deze reflectie laten 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’.”

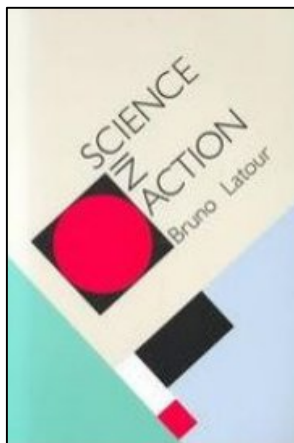
“Early this morning, I was in a bad mood and decided to break a law and start my car without buckling my seat belt. My car usually does not want to start before I buckle the belt. It first flashes a red light “FASTEN YOUR SEAT BELT!,” then an alarm sounds; it is so high pitched, so relentless, so repetitive, 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.”

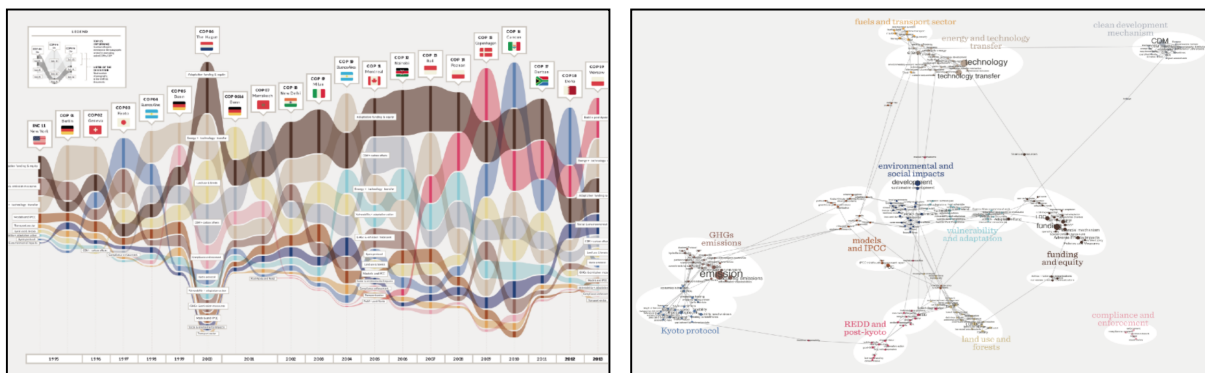
“The task of *unfolding the complexity* of controversies should never be separated from the task of *ordering such complexity*.”

“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

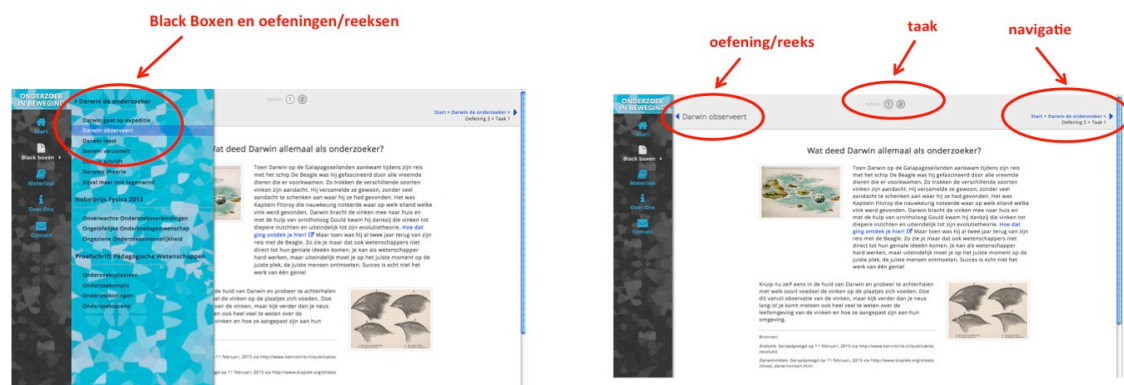
De didactische scenario's van *Onderzoek in Beweging*, de Black Boxen, zijn opgebouwd uit verschillende oefeningen die onafhankelijk van elkaar gebruikt kunnen worden. Deze oefeningen kunnen ook worden gecombineerd voor een complexer en rijker traject. De oefeningen benaderen de onderzoekspraktijk immers 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.”

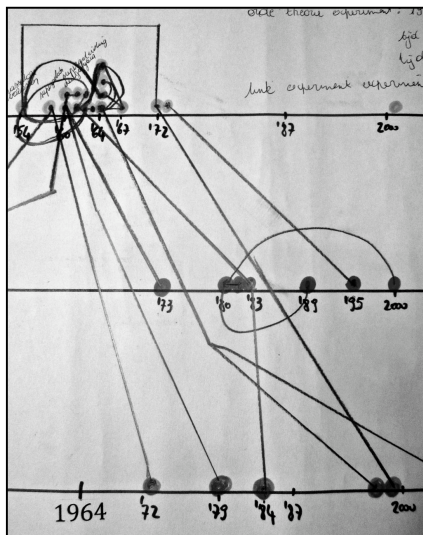
“Kennelijk geldt voor de mutanten daarentegen dat de vonk van de ervaring overspringt in de snelle overgang die de lijn van een tekening trekt tussen verschillende dingen.”

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

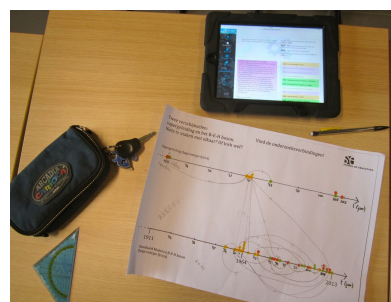
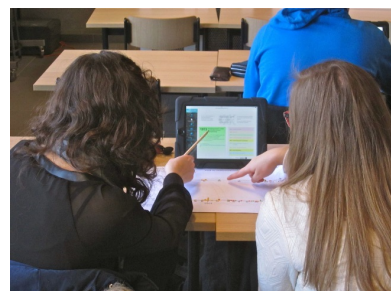


stimuleren van de interactie tussen leerlingen.

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 staan⁷. 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

⁷ Men zou misschien kunnen denken dat leren als tijd gepaard gaat met interessevorming. Maar dit blijkt niet het geval te zijn en specifieke aandacht voor vormingsdoelen is nodig. Zie bv. hoe de KU Leuven vanuit haar visie op onderwijs en leren ervoor gekozen heeft **naast leerresultaten ook vormingsdoelen** te formuleren: http://www.kuleuven.be/onderwijs/werken_op/leerresultaten/leerresultaten-en-vormingsdoelen

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 Nobelprijs Fysica 2013

3.1 Inleiding

In oktober 2013 werd de Nobelprijs fysica toegekend aan F. Englert en P. Higgs voor:

“de theoretische ontdekking van een mechanisme dat bijdraagt aan ons begrip van de oorsprong van de massa van subatomische deeltjes, en dat recentelijk bevestigd werd door de ontdekking van het voorspelde fundamenteel deeltje door de experimenten ATLAS en CMS in de Large Hadron Collider in CERN”.



Deze gebeurtenis heeft veel aandacht gekregen in de media en heeft de nieuwsgierigheid van veel Belgische jongeren gewekt. Maar kunnen jonge mensen aan deze Nobelprijs betekenis geven?

De Nobelprijs 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 is voor jonge mensen een black box.

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



Doel: de black box van de Nobelprijs Fysica 2013 terug openen en meerdere aspecten van het onderzoek dat geleid heeft tot die prijs ontdekken.



ASO, vak fysica 3^{de} graad⁸
TSO techniek-wetenschappen, vak toegepaste fysica 3^{de} graad
(ev. industriële wetenschappen⁹)
Lerarenopleiding BaSO fysica en SLO natuurwetenschappen optie fysica¹⁰.



Link met eindtermen en leerplannen:

- Eindtermen Wetenschap en Samenleving
- Contextualiseren van de Specifieke Eindtermen Onderzoekscompetentie

⁸ Ongelofelijke Onderzoeksgemeenschap en Anders praten over onderzoek en Controverses binnen Ongeziene Onderzoeksmenselijkheid zouden qua moeilijkheidsgraad in principe ook geschikt kunnen zijn voor gebruik in de 2^{de} graad ASO, maar de inhoudelijke koppeling is daar minder evident.

⁹ De inhoudelijke koppeling is minder evident in de 3^{de} graad industriële wetenschappen, wegens de verschillende focus van de leerplannen toegepaste fysica.

¹⁰ Om de leesbaarheid van de tekst te vergemakkelijken wordt telkens gesproken over ‘leerlingen’ i.p.v. ‘studenten / leerlingen’.

Mogelijke inhoudelijke koppeling:

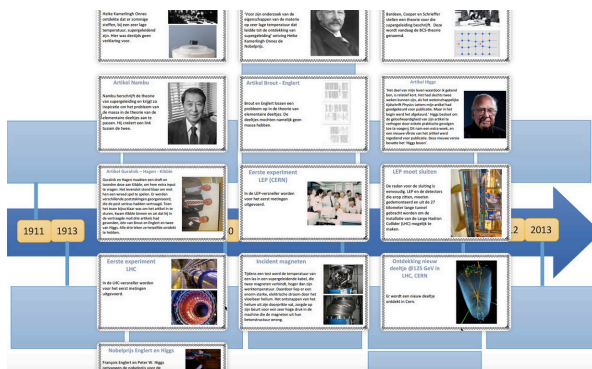
- Elektromagnetisme: Lorentzkracht -> deeltjesversnellers, elektromagneten
- module Elementaire Deeltjesfysica
- module Speciale Relativiteitstheorie



Materiaal

Het Nobelprijs Spel¹¹

Dit spel kan digitaal gespeeld worden op de website, maar kan ook gedownload en afgedrukt worden (spelbord en kaartjes).



Leerlingen in groepjes moeten 13 gebeurtenissen, verbonden met de Nobelprijs Fysica 2013, chronologisch ordenen.

Als men het spel opent op de website, verschijnen de 13 kaartjes in willekeurige orde. Men kan de kaartjes op het scherm slepen, en kan ze verkleinen en ook een beetje vergroten. Leerlingen moeten de kaartjes (verkleind) plaatsen bij het juiste jaar op de tijdlijn.

Op papier werkt het spel op dezelfde manier: leerlingen moeten de 13 kaartjes plaatsen op het tijdlijn-spelbord, die in A3-formaat afgedrukt moet worden.

De exploreerbare tijdlijn

De meeste taken binnen dit scenario zijn gebaseerd op de informatie verzameld in een digitale tijdlijn met 61 gebeurtenissen. De 13 gebeurtenissen uit het Nobelprijs Spel zijn daar ook terug te vinden.

De digitale tijdlijn ziet eruit zoals in de figuur in de volgende pagina.

Als men klikt op een gebeurtenis in het kader rechts, verschijnt meer informatie in het kader links. De gebeurtenis wordt dan grijs, maar blijft klikbaar.

¹¹ Het spel werd door UCLL-studenten Sanne Meuleneers en Marlies Vandeweyer (bachelor secundair onderwijs) ontwikkeld vertrekkend vanuit de exploreerbare tijdlijn.

De gebeurtenissen kunnen gesorteerd worden op jaartal, titel en kleurcode, door een keuze te maken onder het kader rechts. De kleurcode heeft een betekenis en wordt ontcijferd in de eerste taak van de reeks Onverwachte Onderzoeksverbindingen (zie verder).

De informatie in het kader links komt in de vorm van een authentieke tekst met bijhorende links naar websites, video's enz. Soms staan onder de tekst ook foto's van onderzoekers en onderzoeksartefacten.



2013 Tau-probleem opgelost: stralingsschade

"Toen we terug gingen kijken, zagen we dat er stralingsschade was in enkele van onze detectors. Voor maanden dacht ik dat we iets nieuws zouden vinden, en ik was totaal fout. Met meer data begon alles te convergeren naar het platte, oude, vervelende Higgs. Ik ging door een depressie toen we het Higgs begonnen te zien."

Phil, jonge onderzoeker in de tau-groep van de CMS collaboratie

Bron: [CERN People - Tau Trouble](#)
(Nederlandse ondertiteling beschikbaar via settings onderaan rechts)

2013 Nobelprijs Englert en Higgs

2013 Tau-probleem opgelost

2012 Artikels nieuw deeltje @LHC

2012 Ontdekking nieuw deeltje @LHC

2012 Tau-probleem

2011 25ste Solvay Conferentie

2011 Brout overleden

2010 Sakuraprijs Brout Englert Higgs en meer

2010 Start onderzoeksprogramma LHC

2008 Nobelprijs Nambu + Kobayashi en Maskawa

Sorteer: jaartal



De teksten en materialen in de tijdlijn zijn authentiek in de betekenis dat ze allemaal uit websites, artikels, interviews zijn gehaald die behoren tot de wereld van onderzoek. De teksten zijn zo letterlijk mogelijk vertaald naar het Nederlands en 'moeilijke onderzoekswaarden' zijn niet vervangen of verwijderd. Het is belangrijk om dit te expliciteren naar leerlingen en studenten: ze gaan aan de slag met authentieke materialen en dus is het normaal dat er soms technische woorden in staan. Het is belangrijk dat ze niet geblokkeerd geraken door deze woorden.

De tijdlijn bevat veel materiaal. Dit is een bewuste keuze.

Voor het gebruik van de Black Box in schoolonderwijs, maakt de hoeveelheid gebeurtenissen het ook mogelijk voor leerlingen om structuren te ontdekken. Dat betekent dat gebeurtenissen niet alleen afzonderlijk interessant kunnen zijn, maar soms ook als groep, zoals bv. al de theoretische artikels in het begin van de jaren '60. De kleurcode maakt deze structuren zichtbaar voor leerlingen.

Voor het gebruik van de Black Box in de lerarenopleiding, laat de rijkdom van de tijdlijn toe om nieuwe oefeningen te ontwerpen gebaseerd op het reeds bestaande materiaal, die andere aspecten van de onderzoekspraktijk zichtbaar kunnen maken.

De leerkracht kan ook eigen oefeningen ontwerpen gebaseerd op de tijdlijn, die ook afzonderlijk beschikbaar is op onze website onder 'materiaal'.

Naast de tijdlijn, worden in sommige oefeningen extra artefacten gebruikt: een video, een grafiek, een kaart. Ten slotte, werken de oefeningen in de eerste reeks met een A3-werkblad, dat op de website bij de inleiding van de oefening zelf en ook onder 'materiaal' kan gedownload en geprint worden.

3.3. Oefeningen met voorbeeldantwoorden en tips

De oefeningen van de Black Box Nobelprijs Fysica 2013 zijn georganiseerd volgens de drie conceptuele lijnen in de figuur hieronder:



Onverwachte Onderzoeksverbindingen en Ongeziene Onderzoeksmenselijkheid bevatten meerdere oefeningen, terwijl Ongelofelijke Onderzoeksgemeenschap één oefening bevat.

De oefeningen zijn in principe onafhankelijk van elkaar en kunnen dus apart gebruikt worden.



Oefening 1 binnen Onverwachte Onderzoeksverbindingen, Nobelprijs Spel, is bedacht als een inleidende opdracht waar veel aspecten van het scenario al aan bod komen. Bij gebrek aan tijd kan men alleen deze oefening doen.

Wanneer de tijd het toelaat, is het echter interessant dat elke leerling/student ten minste aan één oefening voor elke conceptuele lijn (mee)werkt. Op deze manier kunnen leerlingen de onderzoekspraktijk verkennen vanuit verschillende invalshoeken.

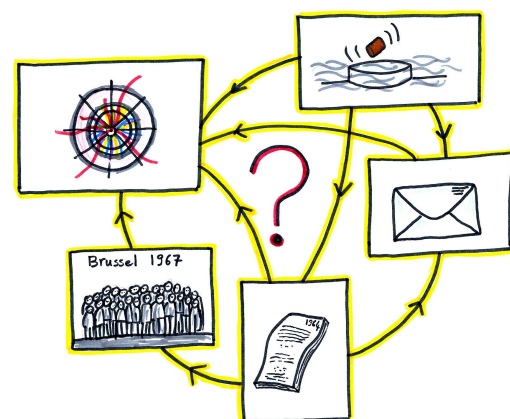
3.3.1 Onverwachte Onderzoeksverbindingen



Doel: de onverwachte en complexe wegen ontdekken die tot de Nobelprijs Fysica 2013 hebben geleid. Deze complexiteit exploreren door aandacht te geven aan verbindingen.

Deze reeks bestaat uit drie oefeningen:

1. Nobelprijs Spel
 - 1A: Theorie en experiment
 - 1B: Lage en hoge-energiefysica



Met oefening 1 kunnen leerlingen ontdekken hoe de volgorde tussen theorie, experiment en erkenning niet altijd dezelfde is in het verloop van onderzoek. Deze oefening laat ook zien hoe verschillende onderzoekslijnen elkaar kunnen 'helpen'. Ten

slotte kunnen leerlingen hier zien hoe toeval en de maatschappelijke dimensie van onderzoek ook belangrijk zijn.

1A maakt het mogelijk om de verbanden te visualiseren tussen theorie en experiment in het onderzoek naar het Brout-Englert-Higgs (B-E-H) boson en om hierover te reflecteren.

1B maakt het mogelijk om de verbanden te visualiseren tussen het onderzoek naar supergeleiding (lage-energiefysica) en het onderzoek naar elementaire deeltjes (hoge-energiefysica) in de zoektocht naar het B-E-H boson en om hierover te reflecteren.

Oefeningen 1A en 1B zijn gelijkaardig qua werkvorm, maar complementair qua inhoud. De moeilijkheidsgraad van 1B is iets hoger dan 1A want de gebeurtenissen zijn in 1B meer gemengd.



Men kan de klas verdelen in twee en, wanneer het mogelijk is om te differentiëren, oefening 1B geven aan de sterkere leerlingen. De helft van de klas voert oefening 1A uit en de andere helft voert oefening 1B uit, in groepjes van 2-3 leerlingen. Tijdens de bespreking kunnen leerlingen aan elkaar uitleggen wat ze hebben ontdekt. De laatste (reflectie)vraag is gelijk in 1A en 1B en kan samen beantwoord worden.



Ingeschatte tijd: 20-25 min voor oefening 1 met bespreking. 1 lesuur totaal (50 min) als men na oefening 1 ook oefening 1A of 1B doet, met bespreking.



Werkvorm en materiaal

Voor oefening 1 gebruikt men **kaartjes en spelbord**, in digitale of papieren versie. Daarbij kan het eventueel zinvol zijn om leerlingen hun redeneringen en discussies kort te laten noteren op een blad. Waarom hebben ze een bepaald kaartje voor of na een ander kaartje geplaatst?

Oefeningen 1A en 1B combineren het opzoeken van informatie in de digitale tijdlijn (op tablet, computer of ev. ook smartphone) met het tekenen van verbindingen op een A3 werkblad.

Dit **werkblad** wordt van tevoren gedownload en afgedrukt door de leerkracht (zie prototype ingevuld tijdens onze try-out in de figuur in de volgende pagina). Het werkblad vind je op de beginpagina van de reeks en ook onder 'Materiaal'. Leerlingen bouwen hiermee zelf een visualisatie van het verloop van het onderzoek naar het B-E-H boson, die ze daarna analyseren begeleid door een reeks van vragen.

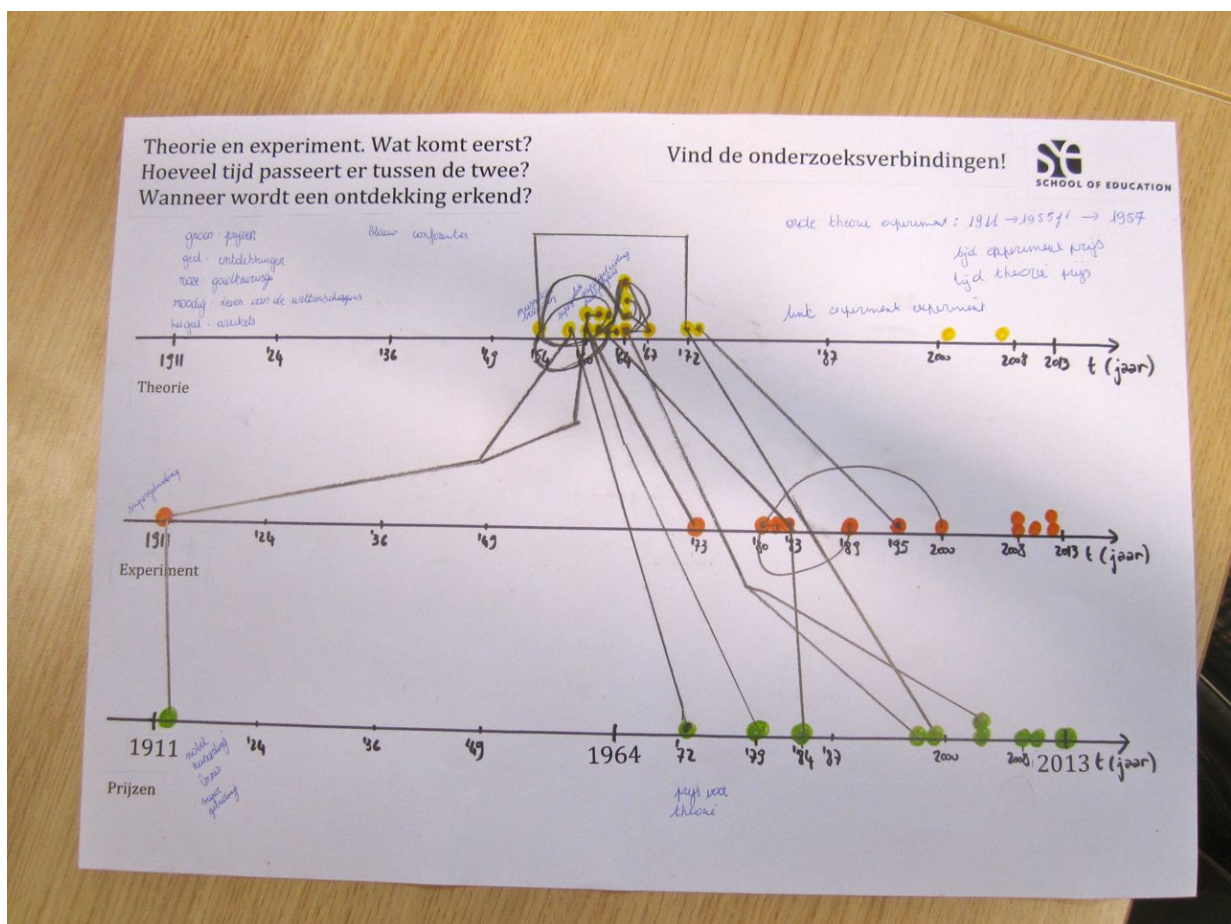
Op het werkblad, tekenen leerlingen verbindingen tussen gekleurde bolletjes die de verschillende gebeurtenissen in de tijdlijn representeren. De bolletjes bevinden zich op verschillende parallelle tijdsassen: voor 1A de assen van theorie, experiment en prijzen; voor 1B de assen van supergeleiding en deeltjesfysica. De digitale tijdlijn wordt op deze manier 'opengetrokken' op het werkblad.

Leerlingen mogen verbindingen tekenen op dezelfde as (bv. theorie met theorie of supergeleiding met supergeleiding) of tussen verschillende assen (bv. theorie met experiment of supergeleiding met deeltjesfysica). Ze mogen een bolletje verbinden met meerdere bolletjes.

Het ingevulde werkblad is een instrument om iets te kunnen zien en geen eindproduct. Het tekenen van verbindingen op het werkblad is dus geen doel per se, maar een didactische strategie om de aandacht van leerlingen op een specifieke manier te richten naar de informatie in de tijdlijn, namelijk op zoek naar verbindingen (en niet naar geïsoleerde feiten). De werkbladen ingevuld door verschillend groepjes hoeven dus ook niet identiek te zijn, groepjes vullen elkaar aan tijdens de bespreking.



Om te vermijden dat leerlingen in het begin twijfelen om verbindingen te tekenen want ze weten niet precies wat ze moeten doen, is het nuttig om kort een reeds ingevuld werkblad te laten zien bij de inleiding. Je kan bv. de volgende foto van een ingevulde werkblad even projecteren.



Beschrijving van de taken met voorbeeldantwoorden, aandachtspunten en tips:

1: Oktober 2013: de Nobelprijs fysica wordt toegekend aan de Belg François Englert en de Brit Peter Higgs. Maar wat is er allemaal aan vooraf gegaan?
 Reconstrueer zelf het verloop van het onderzoek dat achter deze Nobelprijs schuilt!
 Plaats de kaartjes binnen de tijdlijn.
 Versleep de beelden; verklein of vergroot ze indien nodig.
 Waarom denk je dat het onderzoek zo verlopen is? Bespreek.



Dit is de echte volgorde van de 13 gebeurtenissen:

1911 Ontdekking supergeleiding
 1913 Nobelprijs Kamerlingh-Onnes
 1957 Artikel Bardeen-Cooper-Schrieffer
 1960 Artikel Nambu
 1964 Artikel Higgs
 Artikel Brout-Englert
 Artikel Guralnik-Hagen-Kibble
 1989 Eerste experiment LEP (CERN)
 2000 LEP moet sluiten
 2008 Eerste experiment LHC
 Incident magneten
 2012 Ontdekking nieuw deeltje @125 GeV in LHC, CERN
 2013 Nobelprijs Englert en Higgs

De **bespreking in de klas** van de hypothesen van de leerlingen over het verloop van dit onderzoek is cruciaal. In feite kan men niet 100% zeker zijn van de volgorde van de gebeurtenissen op basis van de informatie op de kaartjes, maar het is vooral erg interessant om te horen hoe de leerlingen hebben geredeneerd, en om samen te kijken naar hoe het in de werkelijkheid is gegaan met dit onderzoek. Waarom dachten leerlingen dat het op een bepaalde manier was gegaan?

Hieronder geven we een aantal elementen die interessant kunnen zijn voor deze bespreking:

- Voor supergeleiding kwam de experimentele ontdekking eerst, dan kwam de erkenning met de Nobelprijs (zonder dat er theorie of model was om het verschijnsel te verklaren!) en ten slotte, veel jaren daarna, kwam de theorie.
 In de eerste graad, waar we deze oefening hebben uitgetest, was het problematisch voor sommige leerlingen om de kaartjes in de juiste volgorde te plaatsen, hoewel ze vermoedden dat het zo moest zijn. 'Dat mag niet, mevrouw, het experiment voor de theorie!', zei een leerling.
 Bij groepjes die deze kaartjes in een andere volgorde hebben geplaatst, is het interessant om te vragen op basis van welke redenering ze de kaartjes zo geplaatst hebben, en om groepjes met elkaar te laten discussiëren.
- Voor het B-E-H boson is de volgorde anders: eerst de theorie, dan het experiment, ten slotte de prijs. Dit vinden leerlingen veelal 'normaal'. Waarom?

- *Het artikel van Nambu komt voor de artikels over het B-E-H boson. Hij creëerde een link tussen de theorie van supergeleiding en de theorie van elementaire deeltjes. Dankzij zijn werk, konden Brout en Englert het probleem van de ontbrekende massa van deeltjes uiteindelijk oplossen. Deze redenering is niet evident, maar zeker interessant om achteraf te bespreken.*
- *Er worden drie onafhankelijke artikels i.v.m. het B-E-H boson geschreven in hetzelfde jaar 1964, maar slechts twee van de drie collaboraties ontvangen in 2013 de Nobelprijs. Hoe komt dat?*
- *Wat is de rol van supergeleiding in het verhaal van het B-E-H boson? Een interessante vraag voor de leerlingen! Het is een dubbele rol, aan de kant van de theorie en aan de kant van het experiment!*

Er zijn ook nog vragen die men kan stellen om dieper in te gaan in de maatschappelijke dimensie van dit onderzoek, bijvoorbeeld:

- *LEP moet sluiten om plaats te maken voor de LHC. Alles wordt gedemonteerd en weggebracht. Wat zouden de onderzoekers van LEP hiervan gedacht hebben?*
- *De LHC is juist gestart... en binnen hetzelfde jaar is hij al 'kapot'! Hoe zou de wereld hierop gereageerd hebben? Het heeft dan nog verschillende jaren geduurd voordat het gezochte boson eindelijk werd ontdekt!*



Aangezien de 13 gebeurtenissen van het Nobelprijs Spel ook aanwezig zijn in de exploreerbare tijdlijn, is het mogelijk om het antwoord van het spel te laten zoeken in de digitale tijdlijn. Het is echter belangrijk om het zoeken in de digitale tijdlijn pas achteraf te doen, wanneer de leerlingen klaar zijn met het plaatsen van de kaartjes en de bespreking van hun hypothesen al gebeurd is.

1A.1 of 1B.1: In de tijdlijn hieronder wordt een kleurcode gebruikt met zes verschillende kleuren. Waarvoor staan deze kleuren? Ontcijfer de code.



Hieronder geven we de kleurcode zoals we deze bedacht hebben, maar andere antwoorden van leerlingen zijn zeker bespreekbaar. We geven hiervoor ook enkele suggesties van vragen die je kan gebruiken om leerlingen verder te helpen bij het zoeken:

- *Groen: prijzen.*
Leerlingen zien dat er, naast de Nobelprijs, ook andere wetenschappelijke prijzen bestaan.
- *Blauw: bijeenkomsten van onderzoekers, conferenties e.d.*
- *Oranje: experiment*
Leerlingen geven mogelijk op het eerste zicht het antwoord 'alles over CERN'. Je kan dan vragen om verder te zoeken of alle oranje gebeurtenissen iets met CERN te maken hebben.
- *Geel: theorie, of theorieartikels. Leerlingen kunnen soms 'artikels' antwoorden. Je kan dan vragen om te gaan kijken of er ook artikels zijn 'van een andere kleur'.*
- *Rood: persoonlijke aspecten*

- *Paars: situatie waar het beleid een rol gespeeld heeft, beslissingen. Controverses, problemen, discussie zijn ook een aanvaardbaar antwoord, maar vraag dan eventueel of er ook problemen zijn die 'niet paars' zijn en wat het verschil is met de paarse gebeurtenissen.*



Verdeel de A3-werkbladen pas nadat deze eerste taak is afgewerkt en besproken, want op het werkblad 1A staat een deel van het antwoord!

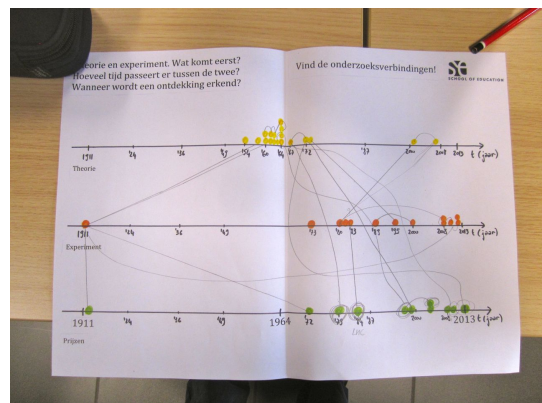
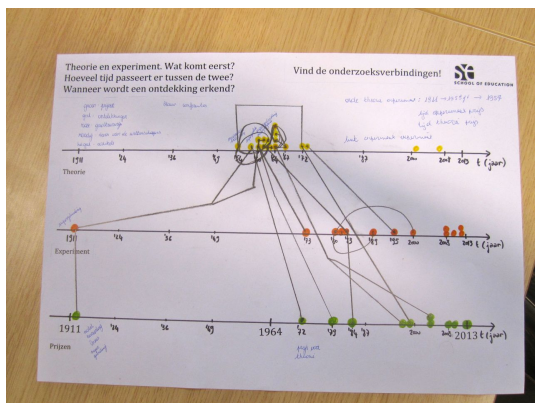
1A: Hoe zijn theorie, experiment en prijzen met elkaar verbonden? Wat heeft geleid tot wat? Er zijn heel wat verbindingen. Je kan de tijdlijn gebruiken om deze verbindingen te exploreren. Visualiseer elke verbinding op het werkblad met een lijn tussen twee bolletjes.

1B: Zijn de 'onderzoekslijnen' in supergeleiding en in deeltjesfysica met elkaar verbonden? Hoe precies? Je kan de tijdlijn gebruiken om deze verbindingen te exploreren. Visualiseer elke verbinding op het werkblad met een lijn tussen twee bolletjes.

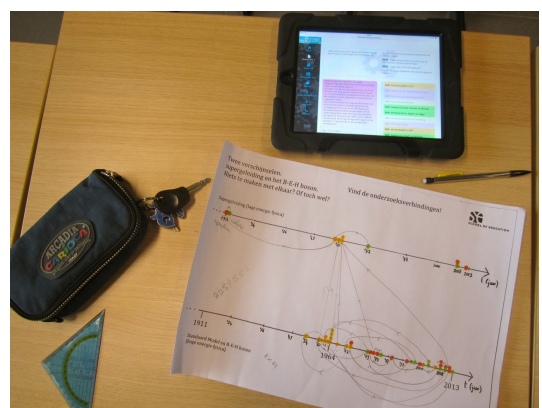
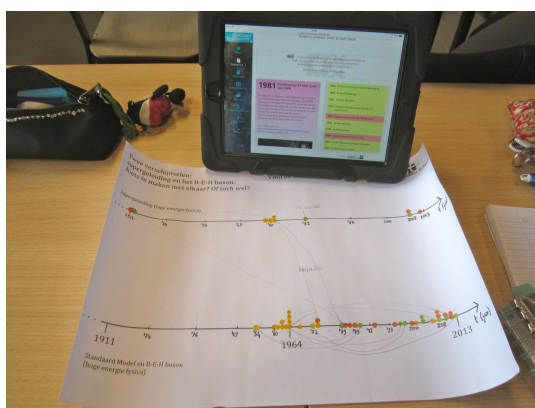


In de foto's hieronder zie je voorbeelden van ingevulde prototype-werkbladen voor de twee oefeningen. Men ziet duidelijk dat de uitwerking niet identiek is, maar dat bepaalde structuren terug te vinden zijn in beide werkbladen.

1A:



1B:



Kijk naar het schema dat je gemaakt hebt en beantwoord de volgende vragen:

- 1A.2:** Is de orde tussen theorie en experiment altijd dezelfde? Geef voorbeelden.
1A.3: Heeft een theorie soms geleid tot een nieuwe theorie? Geef voorbeelden.
1A.4: Heeft een oud experiment een nieuw experiment mogelijk gemaakt? Geef voorbeelden.
1A.5: Hoe verandert de afstand tussen gebeurtenis en erkenning (prijs) met de tijd? Hoe komt dat?
1B.2: Zijn de twee onderzoekslijnen met elkaar verbonden? Hoe precies?
1B.3: Welke persoon is cruciaal geweest om deze verbinding voor de eerste keer te maken? Voeg zijn naam toe op de juiste plaats van het schema.
1B.4: Hoe komt het volgens jou dat deze persoon dit heeft kunnen doen?
1B.5: Waarom is dit zo belangrijk geweest voor de toekomst van deeltjesfysica?



In de volgende pagina geven we typische antwoorden die je kan verwachten. Deze zijn niet altijd te beschouwen als 'het juiste antwoord'. Als leerlingen iets anders hebben gevonden of bedacht, geef hen de kans om hun antwoord uit te leggen.

1A.2 "Nee. Bijvoorbeeld werd supergeleiding eerst ontdekt met het experiment en alleen daarna verklaard met een theorie, terwijl de bosonen Z, W en B-E-H werden eerst voorspeld door de theorie en daarna gevonden in een experiment".

1A.3 "Ja, bijvoorbeeld heeft de theorie van supergeleiding geleid tot de theorie van het B-E-H boson", "Ja, bijvoorbeeld heeft de theorie van Yang en Mills geleid tot de theorie van het B-E-H boson"

1A.4 "Ja, bijvoorbeeld heeft het oorspronkelijk experiment voor supergeleiding veel later het experiment LHC in CERN mogelijk gemaakt"

1A.5 Bv. "de afstand wordt in het algemeen groter, want de experimenten worden steeds ingewikkelder" of "de afstand wordt groter, want het wordt steeds moeilijker om iets te ontdekken". Men kan op deze reacties inpijken en een discussie starten bij voldoende tijd! Leerlingen die gekozen hebben om gebeurtenissen met rechte lijnen te verbinden, zullen deze vraag gemakkelijker beantwoorden, want de helling van de lijnen naar de as van de prijzen wordt groter.

1B.2 "Ja. Enerzijds heeft de theorie van supergeleiding de ontwikkeling van de theorie van het Brout-Englert-Higgs boson geïnspireerd, anderzijds heeft supergeleiding de ontdekking van het Brout-Englert-Higgs boson mogelijk gemaakt met de supergeleidende magneten van de deeltjesversneller LHC."

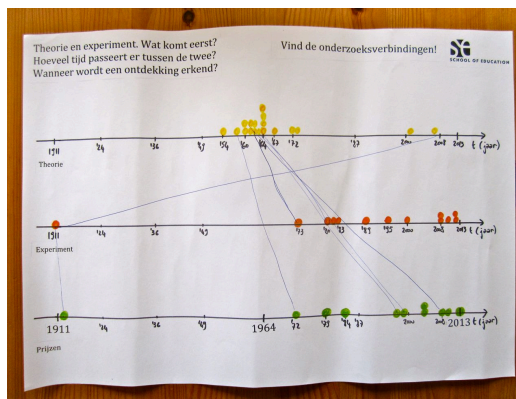
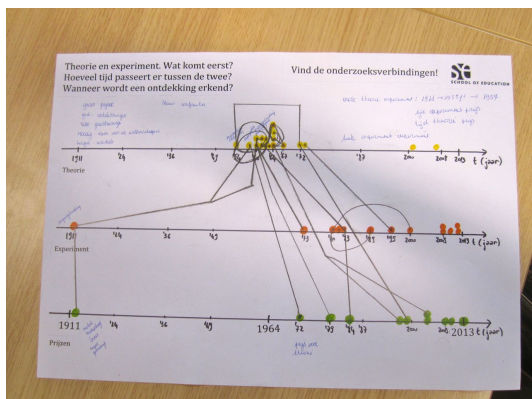
1B.3 "Nambu" (dit is wel het enige juiste antwoord voor deze vraag - van een andere orde dus t.o.v. de andere antwoorden)

1B.4 "Omdat hij beide onderzoeksdomeinen volgde", of "Omdat hij supergeleiding én deeltjesfysica kende".

Deze vraag is niet eenvoudig. Indien leerlingen niet direct kunnen antwoorden, kan je ev. de volgende hulpvragen gebruiken: ‘Kon een onderzoeker die slechts één van de twee onderzoekslijnen volgde, doen wat Nambu heeft gedaan? Waarom?’.

1B.5 Bv.: “omdat men anders misschien nog geblokkeerd was met het probleem van de theorie van Yang en Mills”, of “omdat de verbinding gemaakt door Nambu de theorie van Brout-Englert en Higgs heeft geïnspireerd”

Om te begrijpen hoe de antwoorden verbonden zijn aan de getekende verbindingen op het werkblad, is het interessant om de twee ingevulde bladen hieronder te bekijken:



Het groepje links heeft de structuren die de experimentele ontdekking van supergeleiding verbinden met de theorievorming, ontrafeld maar het groepje rechts niet. Het groepje rechts heeft de directe verbinding tussen de experimentele ontdekking van supergeleiding en de experimentele ontdekking van het B-E-H boson gezien, maar het groepje links niet.

Dit heeft gevolgen voor hun antwoorden op de vragen.

Op vraag 1A.2 antwoordt het groepje rechts ‘Ja’: ze hebben het geval van supergeleiding, waar het experiment voor de theorie is gekomen, gemist.

Op vraag 1A.4 antwoordt het groepje links ‘Ja’, en refereert naar de verbindingen tussen experimenten in CERN, bv. van LEP naar LHC. Maar de verbinding via supergeleiding hebben ze niet gezien.

In de bespreking, krijgen leerlingen de kans om hun antwoorden aan te passen nadat ze de bevindingen van de andere groepjes hebben gehoord. Op deze manier wordt een complex beeld van het verloop van het onderzoek door de hele klas samen gevormd.

1A-B.6 Denk terug aan een onderzoeksopdracht die je hebt gedaan in de klas. Vergelijk met het onderzoek naar het Brout-Englert-Higgs boson.



Het is hier cruciaal dat leerlingen terugdenken aan een specifieke, concrete onderzoeksopdracht die ze zelf hebben uitgevoerd, en niet in het algemeen, op basis van de natuurwetenschappelijke methode of onderzoekscyclus.



Mogelijke antwoorden kunnen hier heel verschillend en onverwacht zijn, en we geven dus geen lijst. Tijdens onze try-out hebben bijvoorbeeld van een leerling gehoord: “dit is zo verschillend van het onderzoek dat we doen in de klas, want zij wisten niet wat ze moesten uitkomen en wij weten het altijd!”. Deze eerlijke reacties van leerlingen kunnen ons aanzetten tot denken i.v.m. onze klaspraktijk inzake onderzoek.



Als je geen tijd meer hebt in de les voor vraag 6, kan je deze als huiswerk geven (aan elke leerling die individueel een korte reflectie noteert) en kan je het begin van de volgende les gebruiken om de reflecties van leerlingen te bespreken. Het zou immers spijtig zijn om deze vraag te laten vallen, want leerlingen kunnen hiermee hun onderzoekservaring in de klas contextualiseren ten opzichte van onderzoek in de wereld buiten de klas.

3.3.2 Ongelofelijke Onderzoeksgemeenschap



Doel: de fascinerende onderzoeksgemeenschap achter de Nobelprijs fysica 2013 leren kennen, met aandacht voor alle betrokken actoren¹².



Werkvorm en materiaal



De oefening is gebaseerd op:

- extracten uit de documentaire ‘Higgs - Naar het hart van de verbeelding’ van Hannie van den Berg en Jan van den Bergh
- specifieke gebeurtenissen in de tijdlijn (i.v.m. ingenieurswetenschappen en industrie)
- de auteurslijsten in de originele publicaties van de theoretische voorspelling en experimentele ontdekking van het Brout-Englert-Higgs boson (ook te bereiken via de tijdlijn)
- wereldkaart met bijdragen van de verschillende landen aan het onderzoek in CERN.

¹² Een element dat hier nog ontbreekt is het (onderzoeks)beleid met de financiering van onderzoek: Wie heeft beslist? Wie heeft betaald? En hoe is dat gebeurd? Meer aandacht aan dit aspect wordt gegeven in de oefening Controverses binnen de reeks Ongeziene Onderzoeksmenselijkheid, zie verder.

Je kan kiezen om leerlingen te laten werken in groepjes aan de volledige oefening met een tablet of computer per groep (ev. smartphone), en de bespreking van alle vragen op het einde doen. Je kan ook kiezen om de taken een videofragmenten vooraan te projecteren en telkens klassikaal in te leiden, leerlingen kort per twee te laten discussiëren en hun antwoorden direct te bespreken. Deze tweede optie neemt normaal minder tijd in beslag. Bij vragen waar leerlingen iets moeten zoeken in de tijdlijn, kan je dan via vraagstelling werken en zelf scrollen op de tijdlijn (zie suggesties bij de taken).

Voor deze oefening is er geen werkblad, leerlingen noteren de antwoorden op een blad.



Ingeschatte tijd: afhankelijk van je keuze voor de organisatie in de klas (klassikaal werken met projectie vooraan vs. groepjes die onafhankelijk werken met digitaal middel) kan de volledige oefening tussen 25 en 50 min in beslag nemen.

Beschrijving van de taken met voorbeeldantwoorden, aandachtspunten en tips:

2.1 Welke mensen hebben een bijdrage gegeven aan het onderzoek naar het Brout-Englert-Higgs boson? Probeer breed te denken. Noteer.



De term 'breed' in deze vraag is, bedoeld, een beetje vaag, om leerlingen vrij te laten denken. Typisch denken ze 'verticaal' binnen het vak. Ze gaan mogelijk terug in het verleden naar Einstein en Newton en beseffen, correct, dat wetenschap verder bouwt op oudere onderzoeksresultaten. Vaak missen leerlingen echter de 'horizontale' dimensie: technici, ingenieurs, industrie, maar ook de vele jonge onderzoekers (master en doctoraatsstudenten) die niet bekend zijn maar ook een belangrijke bijdrage geven aan onderzoek. Het is bij deze openingsvraag niet nodig om leerlingen direct te wijzen naar de vergeten actoren: ze gaan deze actoren immers ontdekken in de rest van de oefening.

Bekijk de fragmenten van de documentaire hieronder, waar mensen werken aan het experiment ATLAS van de LHC in CERN.

(Minuten: **2.2:** 08:28 - 09:15; **2.3:** 11:00 - 12:05; **2.4:** 20:27 - 21:38; **2.5:** 37:48 - 40:42; **2.6:** 45:58 - 47:26; **2.7:** 51:11 - 52:35)

Voor elk fragment probeer de mensen kort te beschrijven.

Noteer bv.: jong/oud, man/vrouw, fysicus/ingenieur/technicus, ...?

Professor, doctoraatsstudent, masterstudent? Komen ze uit verschillende landen?

Je kan uiteraard niet zeker zijn. Noteer wat je denkt.

2.8 Hebben deze mensen ook een bijdrage gegeven aan het onderzoek naar het B-E-H boson? Geef de redenen voor je antwoord.



In de fragmenten is er een grote diversiteit aan mensen en activiteiten zichtbaar: leeftijd, geslacht, nationaliteit (taal), maar ook werkkledij en werkactiviteiten wijzen naar deze diversiteit. Het doel is dat leerlingen dit inzien, en dat ze stilstaan bij hoe deze mensen – allemaal samen – de experimentele zoektocht naar het B-E-H boson mogelijk maken.



Het is vaak niet duidelijk of een bepaalde onderzoeker fysicus of ingenieur is, of gaat het misschien om een technicus? Het is interessant dat leerlingen hierover twijfelen, want die onderscheiding is op het eerste zicht niet evident. Sommige leerlingen hebben de neiging om snel te concluderen dat iemand met een helm die een instrument aan het monteren is, ingenieur moet zijn, en dat fysici vooral bovengronds werken, aan het bord of aan de computer. Dit is niet altijd waar. Veel experimentele fysici zijn immers zelf betrokken bij design, montage en controle van instrumenten, maar vergaderen ook, discussiëren aan het bord en bestuderen data met de computer. Bovendien vindt men in CERN ook onderzoekers met een dubbele diploma: fysicus én ingenieur! Je kan inspelen op de antwoorden van leerlingen om hierover discussie te stimuleren over STEM.¹³

2.9 Zoek in de tijdlijn hieronder een situatie waar ingenieurs een grote rol hebben gespeeld. Noteer.

2.10 Op welke andere manieren geven ingenieurs volgens jou een bijdrage aan het onderzoek in CERN? Noteer enkele voorbeelden.

2.11 Zoek in de tijdlijn een situatie waar een bedrijf een belangrijke rol heeft gespeeld. Noteer.

2.12 Op welke andere manieren geven bedrijven volgens jou een bijdrage aan het onderzoek in CERN? Noteer enkele voorbeelden.



2.9 De meeste leerlingen vinden de graafwerken van de LEP tunnel (1885-1988), 'Europa's grootste project in de burgerlijke ingenieurswetenschappen voor de Kanaaltunnel'. Maar in principe zijn er andere mogelijkheden (zie volgend antwoord en ook antwoord 2.12).

2.10 In feite geven ingenieurs een enorm grote bijdrage aan onderzoek in CERN. Enkele voorbeelden: naar de 'cavern' brengen van de detector ATLAS en meer in het algemeen vervoer en plaatsen van zware apparatuur, planning, design en controle van de industriële productie van de nodige materialen (bv. de supergeleidende magneten), aspecten van industriële thermodynamica (bv. i.v.m. het vloeibaar helium), energetische aspecten in CERN...

2.11 Het eerste prototype van supergeleidende magneet voor de LHC werd door het bedrijf Ansaldo Componenti gemaakt (1988).

2.12 Denk bijvoorbeeld aan alle elementen van de 'blauwe buizen' van de LHC tunnel, aan alle kabels, aan de productie van het vloeibaar helium en van de machines nodig voor zijn

¹³ Science, Technology, Engineering and Mathematics. Het onderzoek naar het B-E-H boson is een uitstekend voorbeeld van het samenspel tussen deze disciplines.

koeling, aan de specifieke materialen of onderdelen die besteld worden voor de detectors (bv. halfgeleiders) ...

Kijk nu naar het volgende fragment: minuten 9:15 – 10:17. Beantwoord de volgende vragen:

2.13: Die Higgs... Hoeveel mensen zitten er 'bovenop', volgens Prof. Stan Bentvelsen van het Nationaal Instituut voor subatomaire fysica Nikhef in Nederland?

2.14: De onderzoekers van Nikhef leveren een bijdrage aan het ATLAS experiment van CERN. Waarom zal het nooit gezegd kunnen worden dat Nikhef het Brout-Englert-Higgs boson heeft ontdekt? Leg kort uit met eigen woorden.



2.13: Er zijn 1800 mensen die op zoek zijn naar het B-E-H boson.

2.14: Onderzoekers gebruiken en bouwen verder op resultaten van anderen binnen de collaboratie (bv. computercodes, simulaties, detectoronderdelen,...). De meeste onderzoekers werken aan slechts één of enkele 'stukjes' die allemaal samen de ontdekkingen van de collaboratie mogelijk maken. Dus kan een onderzoeksgroep zoals die van Nikhef nooit beweren dat zij het B-E-H boson ontdekt hebben, ook in het geval dat de groep als eerst het deeltje in de data had geïsoleerd.

2.15: Zoek de theoretische artikels van Brout-Englert en van Higgs in de tijdlijn hieronder en bekijk ze. Waar staan de auteurs?

2.16: Zoek de experimentele artikels i.v.m. de ontdekking van het Brout-Englert-Higgs boson door de ATLAS en CMS collaboraties in de tijdlijn en vind daar ook de auteurs. Wat valt op in vergelijking met de theoretische artikels?



2.15: Men vindt eerst de gebeurtenissen: 1964 Artikel Brout-Englert en 1964 Artikels Higgs. Als men erop klikt, vindt men, onder de tekst, de links naar de wetenschappelijke artikels die geopend kunnen worden. De auteurs staan onder de titel, met hun affiliatie.

2.16: Men vindt eerst de gebeurtenis: 2012 Artikels nieuw deeltje @LHC. Als men erop klikt, vindt men, onder de tekst, de links naar de wetenschappelijke artikels. Neem bv. de eerste link voor beide ATLAS en CMS (website van het tijdschrift). Je ziet dat de auteur van het artikel de hele collaboratie is. Om de volledige (heel lange) lijst van auteurs en instellingen te kunnen zien, moet je klikken op 'show more' e.d.. Het is de moeite waard om leerlingen de tijd te geven om de lange lijst van onderzoekers met hun instellingen te bekijken, en om zich te verwonderen van de hoeveelheid mensen en landen!

Een opvallend verschil tussen de theoretische en experimentele artikels is dus dat de theoretische artikels een erg beperkt aantal auteurs hebben, terwijl bij de experimentele artikels ondertekent de hele collaboratie het artikel. Dit verschil individueel-collectief heeft uiteraard ook gevolgen voor de erkenning. Het is interessant dat binnen hetzelfde vakdomein – de hoge energie fysica – de manier van werken, interageren en publiceren van theoretici en experimentatoren heel anders is: dit maakt ook deel uit de diversiteit van de onderzoekspraktijk!

Benieuwd over wie auteur mag zijn van een artikel van de collaboratie? Zoek dan op of je een draft van de ‘CMS Constitution’ op het internet kan vinden, waar alle regels van de CMS collaboratie opgelijst zijn...



Het vinden van de gebeurtenissen in 2.15 en 2.16 gaat snel als de leerlingen eerst even nadenken over de periode waar ze moeten zoeken. Wanneer is het deeltje ontdekt? Wanneer kunnen de experimentele artikels over die ontdekking dan gepubliceerd zijn? Wanneer hebben Brout, Englert en Higgs hun theoretisch werk gedaan? Was het veel vroeger dan de experimentele ontdekking? Deze voorbeeldvragen kan je ook gebruiken wanneer je werkt met projectie vooraan: je scrolt dan zelf in de tijdlijn totdat de leerlingen de relevante gebeurtenissen identificeren.

Op de kaart hieronder zie je met welke landen CERN allemaal samenwerkt.

2.17: Zijn de onderzoekers die ‘bovenop het Brout-Englert-Higgs boson zitten’ allemaal aangesteld in CERN?

2.18: Waar wordt het onderzoek naar het Brout-Englert-Higgs boson dan gedaan?



2.17: Nee, de meeste onderzoekers hebben een affiliatie bij een andere onderzoeksinstelling, vaak een universiteit in een ander land, en gebruiken ze de faciliteiten van CERN.

2.18: Het onderzoek naar het Brout-Englert-Higgs boson wordt feitelijk overal in de wereld gedaan.

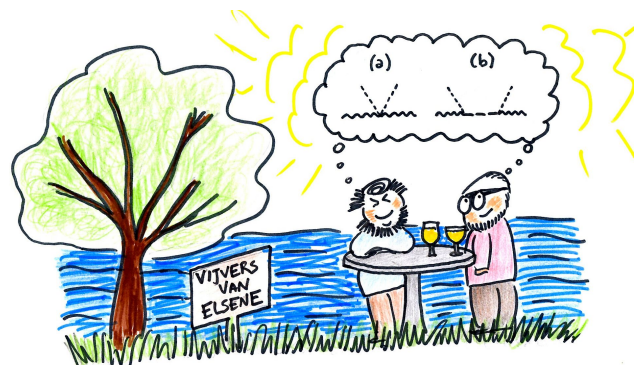
3.3.3 Ongeziene Onderzoeksmenselijkheid



Doel: het onderzoek achter de Nobelprijs Fysica 2013 plaatsen in een breder ‘menselijk kader’: ontdekken hoe dit onderzoek gemaakt werd binnen het menselijke leven, en hoe andere mensen zicht tot dit onderzoek hebben verhouden binnen en buiten de onderzoeksgemeenschap.

Deze reeks bestaat uit drie oefeningen die apart of in combinatie gebruikt kunnen worden:

- 3A. Anders praten over onderzoek
- 3B. Vertrouwen en erkenning
- 3C. Controverses





Werkvorm en materiaal

Alle drie oefeningen combineren het zoeken in de tijdlijn met bespreking en reflectie. Oefening 3B gebruikt ook een extra grafiek die direct bij de taak beschikbaar is. Leerlingen kunnen werken in groepjes met tablet, computer of ev. smartphone.



Als je weinig tijd hebt, maar je zou toch alle drie oefeningen willen zien met je klas, vind je hier een suggestie voor een mogelijke organisatie.

Je kan de klas splitsen in twee en oefeningen 3B en 3C parallel laten uitvoeren in groepjes. Als je wil differentiëren, geef dan oefening 3B aan de sterkere leerlingen. De bespreking doe je dan samen. Wat oefening 3A betreft, kan je de voorbereiding thuis laten gebeuren als huiswerk. De bespreking van de bevindingen kan je dan in het begin van de volgende les doen (zie verder bij oefening 3A).

3A. Anders praten over onderzoek



Doel: het zichtbaar en bespreekbaar maken dat menselijke aspecten zoals gevoelens, karakter van personen, persoonlijke keuzes in het leven, ontmoetingen maar ook bv. toeval en onvoorspelbare gebeurtenissen, ook een belangrijke rol hebben gespeeld in het onderzoek naar het B-E-H boson.



Werkvorm en materiaal

In deze oefening lezen leerlingen de teksten in de tijdlijn op zoek naar onverwachte woorden. Ze vertellen daarna waarom ze deze specifieke woorden onverwacht vinden. Op deze manier ontdekken ze menselijke aspecten in onderzoek en tegelijk worden ze geconfronteerd met de eigen opvattingen over de wereld van onderzoek.

Aangezien de teksten in de tijdlijn veel zijn, kan je de gebeurtenissen ev. volgens het jaartal verdelen onder de leerlingen. Zoals reeds gezegd, kan het lezen een zoeken naar de onverwachte woorden ook thuis gebeuren.

De teksten kunnen gelezen worden op een digitaal middel, maar ook op papier als de leerkracht ze van tevoren afgedrukt heeft (de verzameling van alle teksten in de tijdlijn vind je immers ook als pdf-bestand op de website onder 'materiaal'). Leerlingen noteren hun onverwachte woorden met commentaar, ev. op de afgedrukte tekst zelf.

Het is interessant dat meerdere leerlingen dezelfde tekst lezen, want ze vinden misschien niet allemaal dezelfde woorden verbazend.

De bespreking van de woorden in de klas is belangrijk en het zou heel spijtig zijn om dit te laten vallen. Het is immers juist door het uitleggen waarom een bepaald woord voor hen 'onverwacht' was, dat leerlingen op een diepere manier beseffen dat zij bepaalde dingen over de wereld van onderzoek dachten.



Ingeschatte tijd: sterk afhankelijk van de organisatie (lezen van de teksten als huiswerk of in de klas, aantal te lezen teksten per leerling). In de optie met lezen als huiswerk: 15 min bespreking in de klas.



In onze try-out hebben we gezien dat enkele leerlingen als onverwachte woorden vooral 'moeilijke' of technische woorden hebben geselecteerd die ze niet volledig konden begrijpen, maar dit is niet de bedoeling van deze oefening. Om dit probleem te vermijden, kan je in het begin duidelijk maken dat het hier niet gaat over moeilijke of technische woorden, maar over woorden die ze op die plaats, in die context, niet hadden verwacht om te vinden. Men zou eventueel ook kunnen overwegen, bij leerlingen die de open vraag nog onduidelijk vinden, om een voorbeeld te geven vanuit de lijst bij de sleutel hieronder, bv. een woord dat refereert naar gevoelens van onderzoekers. Het is echter wel zo dat men op deze manier ook riskeert dat sommige leerlingen zich vooral gaan richten naar woorden die bij die specifieke categorie – gevoelens – passen, waardoor dit alleen aan te raden is wanneer bepaalde leerlingen echt niet kunnen beginnen aan de oefening.

Beschrijving van de taken met voorbeeldantwoorden, aandachtspunten en tips:

3A.1 Exploreer de tijdlijn op zoek naar woorden die je, in de context van onderzoek, verbazen. Noteer deze 'onverwachte' woorden.

3A.2 Waarom vond je deze woorden onverwacht? Leg uit.



Er zijn veel mogelijke woorden in de tijdlijn die leerlingen onverwacht kunnen vinden. Hieronder vind je enkele voorbeelden uit onze try-out, met daaronder enkele elementen uit de bespreking:

- Woorden die verwijzen naar emoties en gevoelens van onderzoekers, zoals: passie, depressie, gefrustreerd, blij, hoop verloren, 'ik hoop dat het fout is', 'vervelend massaloos boson', dromen.

Bij sommige leerlingen was er een verwachting dat onderzoekers 'koud' zouden moeten zijn.

- Woorden die verwijzen naar het sociaal gedrag van onderzoekers, zoals: vrienden, vriendschap, sociaal level, persoonlijke relaties, vieren met een drankje.

Bij sommige leerlingen was er een verwachting dat onderzoekers 100% op hun onderzoek gefocust zouden moeten zijn, en als gevolg sociaal geïsoleerd. Vriendschap onder onderzoekers leek ook geen optie te zijn.

- Woorden die verwijzen naar andere activiteiten en interesses van onderzoekers, zoals: muzikant, dichter, tuinierliefhebber, verbondenheid met de natuur.

Onverwacht voor dezelfde reden als boven, de focus op onderzoek die het niet toelaat om andere interesses te hebben. Bovendien lijkt de 'scheiding' tussen wetenschap van de

'levende' en van de 'niet levende' natuur voor sommige leerlingen verre implicaties te hebben...

- Woorden die verwijzen naar esthetische aspecten in onderzoek, zoals:

mooie melodie (voor een wetenschappelijke theorie), mooie artikels, we zochten schoonheid.

De meeste leerlingen lijken wetenschappelijk onderzoek te identificeren met het 'objectief' testen, waar er geen ruimte meer is voor esthetische beschouwingen. Dit is ook een vorm van 'scheiding', tussen kunst en wetenschap, die bij leerlingen veel meer dan bij wetenschappers aanwezig lijkt te zijn.

- Woorden waarmee onderzoekers beschrijven hoe het voelt voor hen om onderzoek te doen, zoals:

avontuur, samen spelen.

Een leerling vroeg zich expliciet af: "hoe kan berekeningen doen in de fysica een avontuur zijn?", "hoe kan berekeningen doen in de fysica 'samenspelen' zijn?".

- Gewone woorden die metaforisch gebruikt worden om aspecten van de onderzoekpraktijk te beschrijven, zoals: ingrediënt, rijke oogst.

Bij het tweede was het interessant om via vraagstelling de andere leerlingen ook te betrekken bij het ontcijferen van het vreemd gebruik van dit woord. Het werd dan duidelijk dat het over een menselijke verwachting gaat, dat men, na veel onderzoeksinspanningen, op een bepaald moment wel ontdekkingen zal beginnen te maken.

Woorden die verwijzen naar toeval, onverwachte omstandigheden, zoals: poststakingen.

Dat poststakingen een rol hebben gespeeld bij wie de Nobelprijs uiteindelijk heeft gewonnen, was bij leerlingen - uiteraard - een verrassing.

3B. Vertrouwen en erkenning



Doel: stilstaan bij de manier waarop de onderzoeksgemeenschap reageert op nieuwe ideeën, vertrouwen in deze ideeën ontwikkelt en de waarde ervan erkent. Reflecteren over de rol van het experimenteel testen in het verhogen van vertrouwen in wetenschappelijke theorieën.



Werkvorm en materiaal

Begeleid door een reeks van zoekvragen, ontdekken leerlingen elementen in de tijdlijn die de houding van de onderzoeksgemeenschap t.o.v. het onderzoek van Brout, Englert en Higgs in verschillende periodes zichtbaar maken. Bij elke taak moeten leerlingen telkens ook reflectievragen beantwoorden die hen helpen de verandering in de tijd te zien. Een grafiek van de citaties van het artikel van Brout en Englert als functie van de tijd wordt ook gebruikt als visualisatie van deze verandering.

Leerlingen zoeken in groepjes in de tijdlijn, op computer, tablet of ev. smartphone. Hun antwoorden noteren ze gewoon op een blad.



Ingeschatte tijd: 25 min

Beschrijving van de taken met voorbeeldantwoorden, aandachtspunten en tips:

3B.1 Zoek in de tijdlijn wat er gebeurde toen Higgs zijn artikel voor de eerste keer naar het wetenschappelijke tijdschrift Physics Letters stuurde voor publicatie. Waarom is dit gebeurd volgens jou? Bespreek.

3B.2: Zoek in de tijdlijn de prijzen die Brout, Englert en Higgs al ontvangen hadden voor de experimentele ontdekking van 'hun' boson. Noteer.

3B.3: Hoe komt het dat de onderzoeksgemeenschap dan wel vertrouwen had in de hypothese van Brout, Englert en Higgs, en zonder experimentele verificatie de prijzen toch heeft willen geven?



*3B.1 Het artikel van Higgs werd niet aanvaard voor publicatie. Higgs voelde dan dat hij de **geloofwaardigheid** van zijn werk moest verhogen en voegde in de tweede versie fysische gevolgen toe: het bestaan van het 'Higgs' deeltje.*

(Gebeurtenis: 1964 Artikels Higgs)

Waarom werd het artikel van Higgs niet aanvaard? Enkele mogelijke reacties:

Misschien was zijn idee op die tijd te 'nieuw'? Of was dat soort onderzoek op die tijd niet belangrijk? Of was het artikel te wiskundig, of niet duidelijk genoeg? Of wist de evaluator niet genoeg over dat onderzoeksgebied om het belang en de verregaande gevolgen van het werk van Higgs te kunnen inzien? Eén ding is zeker: een artikel waarvoor er veel jaren later een Nobelprijs toegekend zal worden, werd toen afgekeurd!

3B.2 Leerlingen kunnen de volgende 3 prijzen vinden (en de lijst is zelfs niet volledig!): Sakuraprijs (2010), Wolfprijs (2004), European Physical Society Prijs (1997).

3B.3 Deze vraag is op dit moment zeer open en leerlingen hebben (te) weinig informatie om deze te beantwoorden. De bedoeling van de vraag is vooral dat leerlingen stilstaan bij het feit dat de houding van de onderzoeksgemeenschap ten opzichte van de theoretische resultaten van Brout, Englert en Higgs erg veranderd is tussen 1964 en 1997. Er moet iets gebeurd zijn in die jaren. Maar wat precies? Dit gaan leerlingen ontdekken met de volgende vragen.

Kijk naar de grafiek hieronder.

Hier zie je hoeveel verschillende artikels naar het artikel van Brout en Englert hebben verwezen in de loop der jaren. Je ziet dus het aantal citaties en hoe deze geëvolueerd zijn.

3B.4: In welke jaren begonnen de citaties van het artikel van Brout en Englert te stijgen? Noteer.

3B.5: Waarom juist die jaren? Wat is er dan gebeurd? Zoek dit op in de tijdlijn.

3B.6 Heeft dit iets te maken met het vertrouwen in de hypothese van Brout, Englert en Higgs, die het laatste stukje heeft toegevoegd aan het Standaard Model van elementaire deeltjes? Bespreek.



3B.4 In het begin van de jaren '70.

3B.5 In die jaren is de eerste experimentele verificatie van het Standaard Model van elementaire deeltjes gekomen, in 1973.

(Gebeurtenis: 1973 ontdekking zwakke neutrale stromen)

3B.6 Het Standaard Model is het theoretisch kader waarin de artikels van Brout, Englert en Higgs zich plaatsen. In 1964 had dit kader nog geen experimentele verificatie gevonden, maar vanaf het begin van de jaren '70 wordt dit kader steeds steviger experimenteel onderbouwd. Hoewel het stukje toegevoegd door Brout, Englert, Higgs nog niet geverifieerd is, wordt de rest van het Model wel tussen 1973 en 1995 stukje na stukje geverifieerd door de experimenten. Dit verhoogt het vertrouwen in het laatste stukje toegevoegd door Brout, Englert en Higgs.

3B.7: Het mechanisme dat is ontdekt door Brout, Englert en Higgs lost een probleem op met de theorie van Yang en Mills. Welk? Zoek dit op in de tijdlijn.

3B.8: De theorie van Yang en Mills leek in het begin helemaal niet te stroken met de werkelijkheid. Waarom werd de theorie door Yang en enkele andere onderzoekers niet direct verworpen?

3B.9: Is dit volgens jou, naast het experiment, ook een aanvaardbare manier om een wetenschappelijke theorie of hypothese te evalueren? Bespreek.



3B.7 Het gaat over het probleem van de massaloze vectorbosonen die niet waargenomen worden. (Gebeurtenis: 1954 Artikel Yang en Mills). Deze deeltjes krijgen via het mechanisme van Brout, Englert en Higgs wel een massa. (Gebeurtenissen: 1964 Artikel Brout-Englert, 2013 Nobelprijs Englert en Higgs).

3B.8 'Omdat de theorie te mooi was om weg te gooien'. (Gebeurtenis: 1954 Artikel Yang en Mills). Het gaat hier over de rol van esthetische beschouwingen die cruciaal zijn geweest om een theorie, die in de oorspronkelijke vorm niet consistent was met observatie, te 'redden'. Enkele onderzoekers vonden immers dat de theorie betekenisvol moest zijn, omdat zij zo elegant was, en in plaats van deze volledig te verwerpen hebben ze dus een manier gezocht om de theorie aan te passen opdat deze consistent kon zijn met observatie. Dit is wat het mechanisme van Brout, Englert en Higgs uiteindelijk doet.

3B.9 Je kan hierover een gesprekje houden. Is de schoonheid ook een maatstaaf in wetenschap?

(Hoewel er binnen de fysicagemeenschap verschillende houdingen zijn t.o.v. het gebruik van andere maatstaven dan het experiment, is het een feit dat esthetische beschouwingen gebruikt werden, en worden, in de fysica.)

3C. Controverses



Doel: de inbedding van onderzoek in de maatschappij ontdekken en hierover reflecteren op drie niveaus:

- (a) onderzoeksbeleid en financiering van onderzoek
- (b) impact en mogelijke risico's van onderzoek op het leven van iedereen
- (c) wetenschapscommunicatie die de informatiebrug vormt tussen onderzoek en maatschappij.



Werkvorm en materiaal

Om de link tussen onderzoek en maatschappij zichtbaar te maken voor leerlingen worden controverses gebruikt. Controverses zijn immers situaties waar bepaalde aspecten van de interactie onderzoek-maatschappij zichtbaar en bespreekbaar worden. Hoewel deze aspecten ook in niet controversiële situatie belangrijk zijn, zijn ze dan minder 'toegankelijk'. Leerlingen zoeken in groepjes de controverses op in de tijdlijn, op computer, tablet of ev. smartphone. Hun antwoorden noteren ze gewoon op een blad. Daarna leggen ze uit waarom deze gebeurtenissen voor hen controverses zijn en bespreken ze wat met deze controverses gebeurd is en nog zou kunnen gebeuren.



Indien er een leerling zou vragen wat een controversie is, is het interessant om leerlingen hierover onder elkaar even te laten discussiëren.

Met een controversie refereren wij naar een spanning, discussie of debat die het wetenschappelijke overstijgt en het maatschappelijke op een bepaalde manier raakt.



Ingeschatte tijd: 20-25 min

Beschrijving van de taken met voorbeeldantwoorden, aandachtspunten en tips:

3C.1 Exploreer de tijdlijn op zoek naar 'controverses'. Noteer je bevindingen.

3C.2 Waarom zijn deze gebeurtenissen controverses? Leg uit.

Beantwoord de volgende vragen voor elk van de vier controverses:

3C.3: Denk je dat de controversie nu volledig is opgelost?

3C.4: Indien wel, hoe is het gebeurd? Indien niet, welke problemen zijn nog niet opgelost of kunnen terugkomen?



Er zijn vier controverses expliciet te vinden in de tijdlijn. De aparte groepjes hoeven deze niet allemaal te vinden, maar het is interessant dat de vier controverses allemaal besproken worden in de klas. Indien er controverses 'ontbreken' bij de bespreking, kan je leerlingen via vraagstelling stimuleren om verder te zoeken.

1. Sluiting LEP

Onderzoekers protesteren tegen de sluiting van 'hun' experiment: de geplande sluiting komt immers juist wanneer ze dachten mogelijk in het spoor te zijn van een nieuw deeltje. De data waren op dat moment echter niet genoeg om een conclusie te kunnen trekken waardoor onderzoekers meer data wouden verzamelen.

De sluiting van LEP was gepland om plaats te maken voor de bouw van de LHC, die in dezelfde tunnel geplaatst zou moeten worden. Hiervoor had CERN al een engagement gemaakt met bedrijven. Het verder verschuiven van de begindatum van de werken voor de LHC zou aan CERN veel geld kosten in de vorm van schulden te betalen aan deze bedrijven. De redenen om LEP op dat moment te sluiten waren dus niet wetenschappelijk maar economisch.

Nu dat we, dankzij de LHC, de massa van het B-E-H boson kennen (rond 125 GeV) is, is het duidelijk geworden dat de afwijking toen gezien door LEP (rond 115 GeV) geen B-E-H boson was. Bovendien zijn er op die energie geen andere nieuwe deeltjes ontdekt. (Gebeurtenis: 2008 LEP moet sluiten)

2. Zwarte gaten @LHC

Een vereniging van burgers organiseert een wettelijke verzetting tegen de LHC die mogelijk zwarte gaten en andere gevaarlijke objecten zou kunnen produceren. Dit als gevolg van wetenschappelijke artikels van beroemde fysici die deze mogelijkheden theoretisch voorspelden. Het nieuws krijgt veel aandacht in de media wereldwijd. CERN moet een veiligheidscommissie opstellen, die de mogelijke risico's heeft kunnen uitsluiten. De redenering voor het veilig verklaren van het experiment is gebaseerd op botsingen van gelijkaardige energie van de LHC die op natuurlijke wijze plaatsvinden in de buurt van de aarde en andere hemelobjecten, en die duidelijk de gevreesde problemen niet veroorzaken. Bij toekomstige experimenten van een hogere energie zou de discussie echter terug open gesteld kunnen worden.

(Gebeurtenissen: 2008 Antwoord LHC veiligheidscommissie, 2008 Gerechtszaak zwarte gaten@LHC, 2007 Artikel Meade-Randall, 2001 Artikel Dimopoulos en Landsberg)

3. Incident aan de magneten van de LHC

Slechts na een week van de start van de LHC, veroorzaakt een lokaal probleem met de koeling een ravage waardoor verschillende supergeleidende magneten in de LHC-tunnel zijn beschadigd en moeten vervangen worden. Dit zorgt voor vertraging en extra kosten. Dit is niet alleen erg moeilijk voor de onderzoekers die opnieuw lang moeten wachten om data te kunnen verzamelen, maar krijgt ook veel aandacht in de media en wekt maatschappelijke discussie op i.v.m. met het publiek geld dat besteed wordt aan kostbare experimenten in fundamenteel onderzoek.

De magneten zijn nu intussen vervangen, de machine heeft kunnen draaien en heeft geleid tot de ontdekking van het B-E-H boson.

(Gebeurtenis: 2008 Incident magneten LHC, extra kosten)

4. Tau-probleem

Terwijl vier onderzoeksgroepen van het experiment CMS van de LHC het B-E-H boson 'zien', 'ziet' de tau-groep niets. Dit zorgt voor spanningen tussen de tau-groep en de andere CMS groepen.

Op de dag van de aankondiging van de ontdekking, wordt het negatieve resultaat van de tau-groep wel vermeld tijdens de presentatie van de CMS-collaboratie, maar dit deel van de presentatie wordt weggelaten door de media.

De tau-groep had hoop om speciale eigenschappen van het boson te hebben ontdekt, maar het bleek achteraf dat ze een probleem hadden van stralingsschade in enkele van hun detectors. Met de nodige correctie aan de data, werd het boson ook zichtbaar in hun data en met dezelfde massa van de andere groepen.

(Gebeurtenissen: 2013 Tau-probleem opgelost, 2012 Ontdekking nieuw deeltje @LHC, 2012 Tau-probleem)

Het kan zijn dat bepaalde leerlingen dit niet identificeren als een controverse.

Het is dan wel een interessante discussie waarom men dit geval al dan niet zou beschouwen als controverse, d.w.z. of deze spanning een maatschappelijk element heeft. Onze keuze om deze gebeurtenis op te nemen als controverse is verbonden met de rol gespeeld door wetenschapscommunicatie, die een brug maakt tussen de onderzoeksgemeenschap en de maatschappij. Er werd hier immers een duidelijke keuze gemaakt om de 'anomalie' in de data van de tau-groep niet breed te communiceren.

3.4. Suggesties voor inhoudelijke koppeling en verbreding



In onze try-out met leerlingen hebben we de activiteiten met deze Black Box gekoppeld aan inhoudelijke activiteiten rond de Nobelprijs - met elementen van elektromagnetisme, elementaire deeltjesfysica, speciale relativiteitstheorie - in een gevarieerd traject van 4 lessen¹⁴.

In de volgende pagina vind je een korte samenvatting van de inhoudelijke elementen met daarbij een korte lijst van nuttige bronnen. Daarna vind je nog een lijst van mogelijke bronnen voor verbreding

- *Inleiding over CERN en de LHC*

Animaties:

<https://www.youtube.com/watch?v=GQn808brMZo>

<http://www.youtube.com/watch?v=AHT9RTlCqjQ>

<http://www.youtube.com/watch?v=YKtPqh-P8lo>

Google street view voor de LHC:

<https://www.google.com/maps/views/streetview/cern?gl=us>

- Elektromagnetisme en de LHC:

(a) Lorentzkracht en cirkelvormige deeltjesversnellers

(b) verhogen van de energie met dezelfde tunnel en gebruik van supergeleidende magneten (Joule effect, eigenschappen van supergeleidende materialen, supergeleidende magneten modelleren als lange rechte spoelen).

Artikels waarop authentieke oefeningen gebaseerd kunnen worden (het eerste bevat relevante data):

<http://home.web.cern.ch/about/engineering/pulling-together-superconducting-electromagnets>

<http://www.nature.com/news/2008/081017/full/4551015a.html>

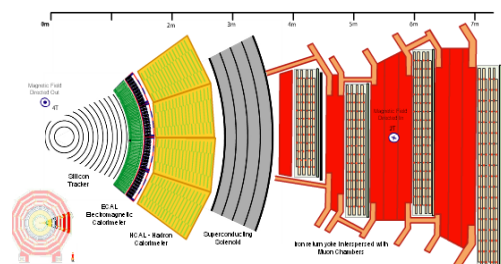
- *Elementen van elementaire deeltjesfysica via onderzoekend leren met echte data van de LHC*

CMS doorsnede (animatie):

http://www.i2u2.org/elab/cms/graphics/CMS_Slice_elab.swf

ispy tool waarmee echte CMS-data gevisualiseerd en bestudeerd kunnen worden:

<http://www.i2u2.org/elab/cms/event-display/>

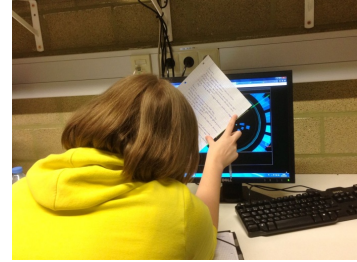


¹⁴ Voor meer informatie i.v.m. met de inhoudelijke koppeling contacteer:
laura.tamassia@ucll.be

Inleiding over de CMS masterclass, met informatie i.v.m. het didactisch gebruik van de ispy tool:

<http://cms.physicsmasterclasses.org/pages/cmsintro.nl.html>

- **Evolutie van het concept ‘massa’: van Newton naar Brout, Englert en Higgs**



Twee artikels van Nobelprijswinnaar Frank Wilczek over de oorsprong van de massa:

<http://arXiv.org/pdf/1206.7114.pdf>

http://www.frankwilczek.com/Wilczek_Easy_Pieces/342_Origin_of_Mass.pdf

Interessante bronnen voor verbreding:

Documentaire Higgs - Naar het hart van de verbeelding:

http://www.npo.nl/holland-doc/04-07-2012/VPWON_1184913

Reeks van korte documentaires CERN People:

<https://www.youtube.com/user/CERNPeople>

Documentaire Particle Fever:

<http://particlefever.com/>

Boek: The infinity Puzzle, Frank Close, zie bv:

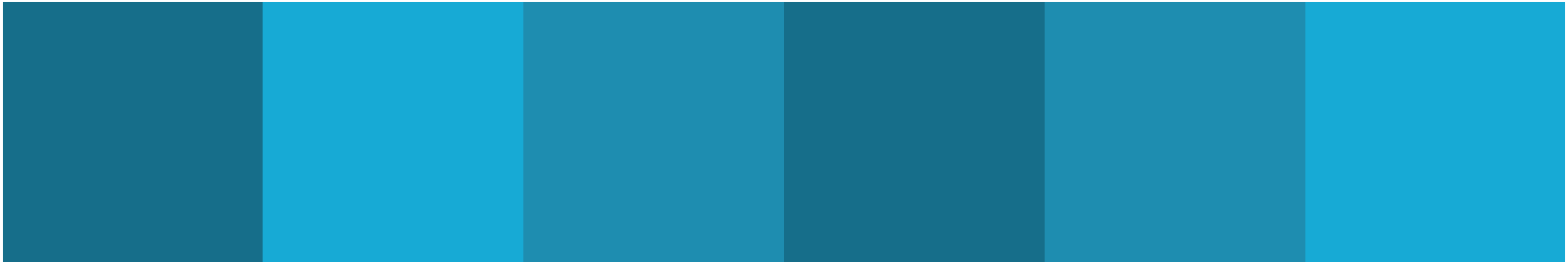
<http://www.amazon.co.uk/The-Infinity-Puzzle-personalities-extraordinary-ebook/dp/B005ZEV40C>

CERN timelines:

<http://timeline.web.cern.ch/>

Engineering in CERN:

<http://home.web.cern.ch/about/engineering>



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