

Bouw een demoproef

In het eerstejaars vak *Design Engineering* voor fysici van Technische Natuurkunde Delft bouwen groepjes studenten voor hun eindopdracht een demonstratieproef die een natuurkundig fenomeen laat zien. Het belangrijkste leerdoel is het in de praktijk leren brengen van natuurkundige kennis via een aangeleerd, gestructureerd ontwerpproces. Veel van de activiteiten uit het vak zijn bruikbaar in en interessant voor het vo.

Design Engineering voor Fysici (DEF) is een relatief nieuw vak binnen de Delftse Bachelor opleiding Technische Natuurkunde. In dit vak werken studenten naar een groot eindproject toe: het bouwen van een demonstratieproef die bruikbaar is voor hun voormalige natuurkundedocent. Voorafgaand aan deze eindopdracht zijn er zes ontwerp-/maakopdrachten (zie kader) waarbij de studenten verschillende ontwerpstrategieën verkennen: van een ontwerp dat in één keer goed moet zijn tot snel iteratief, cyclisch ontwerpen. Per ontwerpopdracht zijn er zogenaamde 'sanity-checks' ingebouwd. Dit zijn momenten in het proces waarop de studenten hun ideeën, berekeningen en/of schetsen laten controleren. Dit zorgt ervoor dat door tijdig 'ingrijpen' op een later moment delen van het ontwerp niet opnieuw uitgevoerd moeten worden omdat ze onmogelijk blijken te zijn. De checks zorgen er ook voor dat er tijdslimieten zijn waardoor de snelheid van het ontwerpproces gemonitord en gereguleerd wordt.

FREEK POLS werkt als practicum coördinator bij de opleiding Technische Natuurkunde aan de TU Delft. Hij is in de afrondende fase van zijn onderzoek naar practicumdidactiek. c.f.j.pols@tudelft.nl

ROLF HUT is de MacGyver assistant professor van de TU Delft. Hij verzorgt meerdere ontwerpvakken.

MARJOLEIN VAN BRAAK, LEANNE OOSTERLAAN & FLOOR COLLENTEUR zijn tweedejaars natuurkunde studenten en dit jaar alle drie betrokken bij het eerstejaarspracticum als student-assistent.

1. Ontwerp, bouw en gebruik een testopstelling om een sensor naar keuze te kalibreren.
2. Ontwerp en bouw een sensor die gebruik maakt van verandering in capaciteit.
3. Ontwerp een *Field Effect Transistor* (FET) die gebruikt kan worden als analoge versterker of digitale invertor. De transistor wordt daadwerkelijk gemaakt.
4. Ontwerp en test een algoritme om de locatie en oriëntatie van een object te bepalen op basis van echo.
5. Ontwerp, bouw en test een opstelling die een gevoelig instrument vrij van trillingen kan isoleren.
6. Ontwerp en bouw een microscoop waarmee het mogelijk is om je geprinte FET te bestuderen.

Eindproject

Al tijdens de workshop rondes werden we vanwege de coronamaatregelen gedwongen de laatste workshops op een andere manier in te richten (Hut, Pols & Verschuur, 2020). Ook het eindproject 'maak een demonstratie van een natuurkundig fenomeen' moest daarmee flink herzien worden. De *science fair* die normaal gehouden wordt, waar de oudnatuurkundedocenten van onze studenten voor worden uitgenodigd, kon niet doorgaan. We hebben dezelfde ontwerpprincipes toegepast die we onze studenten leren, om zo alsnog een mooi eindproject neer te zetten.

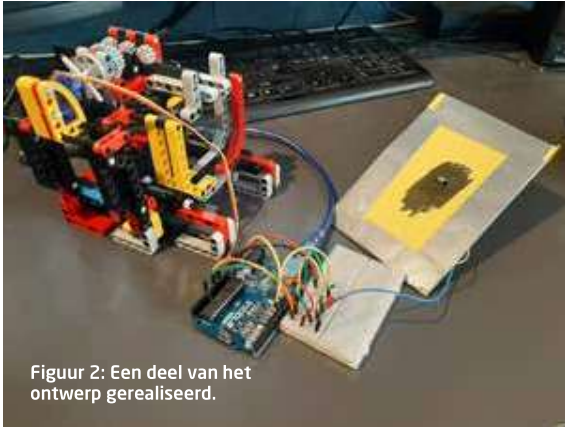


Figuur 1: Thuis ontwerpen vraagt wat aanpassingen...

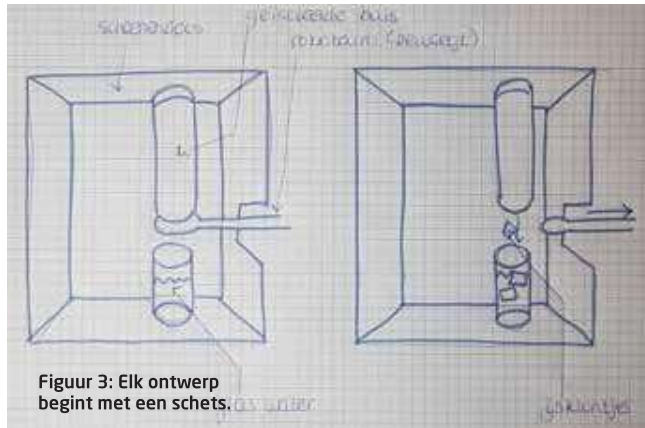
De nieuwe opdracht luidde: "Maak een demonstratie van een natuurkundig fenomeen waarbij jouw demonstratie start door een signaal dat je via internet ontvangt en aan het einde van de demonstratie doorstuurt aan de volgende groep." Op deze manier ging het 'signaal' door alle studentenkamers om uiteindelijk terug te keren bij de docent, waar de schemerlamp aangeschakeld werd door het eindsignaal. De *science fair* is omgebouwd tot een zogenaamde Rube Goldberg-machine, met menig oud docent die mee zat te kijken op de livestream (zie rolfhut.nl/rube of scan de QR code). Alhoewel de leerdoelen gelijk bleven, zaten er wel wat haken en ogen aan de fabricage, en werden de studenten echt uitgedaagd om te laten zien dat ze een ingenieursopleiding volgen, zie figuur 1. Hier drie verhalen van ontwerpers en hun ontwerpen. De realisaties van hun projecten kunnen dienen als inspiratie voor zowel docent als leerling om zelf meer te ontwerpen en bouwen in de klas.

Ontwerp Leanne

Nadat we het onlinesein ontvingen, ging bij ons een elektromotor werken die een paar ijsklontjes (met kleurstof voor extra effect) in een glas water gooide. Als het water voldoende was afgekoeld, gaf de temperatuursensor in het water via de laptop door dat de demonstratie was afgelopen en dat het tonen van afkoeling is gelukt. Dat klinkt als een erg simpel concept, en dat was ook onze bedoeling. Wij hadden ondertussen al wel bij



Figuur 2: Een deel van het ontwerp gerealiseerd.



Figuur 3: Elk ontwerp begint met een schets.

het vak *DEF* geleerd dat ontwerpen die heel simpel beginnen, toch snel ingewikkelder – en dus interessanter worden.

Om deze demonstratie te realiseren is een aantal technieken toegepast: we hebben met behulp van de programma's *Arduino* en *Python* de temperatuursensor gekalibreerd. Met behulp van diverse boeken en YouTube-filmpjes hebben we de *heat equation* opgelost, die het gedrag beschrijft van water dat wordt opgewarmd of afgekoeld. Daarnaast zijn er proeven uitgevoerd om te beslissen of we de ijsklontjes beter alleen konden laten vallen of ook moesten roeren in het glas. Gaandeweg moesten er diverse ontwerpbeslissingen genomen worden. Van het ontwerpen hebben we veel geleerd: als je begint met een idee voor een ontwerp heb je nog geen idee hoeveel beslissingen je nog gaat maken, die komen allemaal als je het ontwerp verder uitwerkt. Als alles dan is gerealiseerd kun je genieten van het eindresultaat, zie $t = 13.18$ in het filmpje. En dat is ontzettend leuk.

Ontwerp Marjolein

In ons project wilden we een uitgebreide kettingreactie bouwen, waarbij een relatief eenvoudig natuurkundig principe wordt geïllustreerd: Energieomzetting. Bij de start laat een servomotortje een knikker rollen (potentiële/kinetische/rotatie energie). Deze botst tegen het handvat van een kraan. Het stromende water (kinetische energie) zet een waterrad (rotatie energie) in beweging,

dat op zijn beurt een fietsdynamo aandrijft. Daarbij wordt een elektrisch signaal (elektrische energie) opgewekt, dat een servomotortje triggert dat op de spatiebalk drukt en het signaal aan de volgende groep doorgeeft. Aan al deze energieomzettingen deden we berekeningen om ons ontwerp exacter te maken en te kijken of onze fietsdynamo uiteindelijk een signaal zou opwekken dat groot genoeg was om gedetecteerd te worden door de Arduino.

Het maken van een kettingreactie is een groot project. Vooraf heb je werkelijk geen idee hoe je het ooit voor elkaar gaat krijgen. Maar toch kom je in twee maanden van brainstormen, onderzoek doen, schetsen, berekenen, doelen stellen, programmeren, proberen, schakelingen bouwen en verschillende prototypes weggooien, stap voor stap dichterbij de eindstreep. En als dan uiteindelijk alles werkt? Dan zit je vol trots achter je laptop te juichen als een paar honderd mensen er getuige van zijn dat jouw opstelling werkt en heeft geholpen om het lampje bij Rolf thuis aan te zetten, zie $t = 7:08$ in het filmpje.

Ontwerp Floor

Wij hebben een elektromotor ontworpen en gebouwd om de werking van de Lorentzkracht te demonstreren. Zowel op de middelbare school als in het eerstejaars vak *inleiding elektriciteit en magnetisme* is dit fenomeen behandeld waardoor de eerste versie snel op papier stond. Na het doorbladeren van wat oude aantekeningen,

het gesprek met onze mentor Rolf Hut en literatuuronderzoek, is een aantal kwantitatieve berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen hebben wij gebruikt om te bepalen hoeveel windingen de elektromotor nodig had, welke afmetingen elk onderdeel het best kon hebben, hoeveel koppel de elektromotor zou moeten en kunnen leveren, hoeveel stroom er daartoe door de draden moest lopen en nog vele andere aspecten. Kleine veranderingen van het ontwerp waren nodig, waarna we de benodigde materialen bestelden die, doordat we niet meer naar de campus mochten, bij ons thuis werden afgeleverd. De voornaamste taken (elektromotor maken, karretje en schakeling maken, signaal doorgeven naar de volgende groep) werden verdeeld. We keken vol spanning naar de eerste check en uiteindelijk naar de livestream. Wat ik vooral heel gaaf vond om te zien was dat ik door dit project pas echt ben gaan zien hoeveel kennis ik al heb, en dat ik die kennis kan inzetten. Het is leuk om te zien dat kennis over natuurkunde, programmeren en ontwerpen leidt tot een zelfgemaakte elektromotor die gewoon hard kan draaien en een karretje vooruit trekt, zie $t = 5.05$ in het filmpje... ●



BRON

Hut, R., Pols, C., & Verschuur, D. (2020). Teaching a hands-on course during corona lockdown: from problems to opportunities. *Physics education*, 55(6), 065022.