

# ‘Wat je kunt verzinnen, kun je ook maken!’

3D-printen op basisscholen in Almere



Foto: Carla Sijmons

LECTORAAT LEIDERSCHAP IN ONDERWIJS EN OPVOEDING

*Hanno van Keulen en  
Saskia van Oenen*

**‘Wat je kunt *verzinnen*,  
kun je ook maken!’**

3D-printen op basisscholen in Almere

# Inhoudsopgave

<b>Inleiding</b>	3
<b>DEEL I – Vragen: waarom, wat en hoe?</b>	6
- Waarom 3D-printen op de basisschool?	7
- Wat is 3D-printen eigenlijk?	10
- 3D-printen op de basisschool: hoe dan?	15
<b>DEEL II – Pilot</b>	19
- Opzet van de pilot	20
- Onderwijsontwerp	23
- Aanpassingen tijdens de uitvoering	27
<b>DEEL III – Uitkomsten van observaties en interviews</b>	31
- Attitude voor wetenschap en technologie	33
- Creativiteit, probleemoplossend en kritisch denken	44
- Programmeren en ICT-geletterdheid	51
- Rekenen/wiskunde	55
- Taal, sociale vaardigheden en executieve functies	58
- Participatie in de samenleving en aansluiting bij de arbeidsmarkt	62
<b>DEEL IV – Conclusies en discussie</b>	66
<b>Literatuur</b>	71

# Inleiding

Vandaag staat het in de krant: 'Een schildpad raakte gewond door een botsing met de schroef van een boot. Het beestje kreeg een nieuwe kaak, gemaakt met een 3D-printer. Met zijn nieuwe bek van titanium kan de schildpad weer goed eten. En binnenkort wordt hij weer in zee uitgezet' (*Trouw*, 4 juni 2015).

**P**rachtig, toch? Dit is de wereld waarin de kinderen van nu opgroeien. Het is de wereld van 'het nieuwe maken'. Alles wat je verzint kun je maken! Niet langer krijg je te horen dat iets 'niet bestaat', of niet gemaakt kan worden, of dat je er een grote fabriek voor nodig hebt. Als het er niet is, dan maak je het gewoon zelf met je eigen 3D-printer.

Maar gaat dat echt gebeuren? Gaan de kinderen van nu hier later hun beroep van maken? Gaan we kleine en grote bedrijven zien die unieke voorwerpen ontwerpen, maken en verkopen? Staat de 3D-printer straks in iedere keuken naast de stoomoven en de schoonmaakrobot?

Dat zal wel niet vanzelf gaan. Wie nooit van 3D-printen gehoord heeft komt niet op het idee. Wie op de basisschool niet op een plezierige manier in aanraking is gekomen met deze en andere vormen van moderne technologie, zal minder snel geneigd zijn hier opleidingen in te volgen, er werk in te zoeken of creëren. Dus volle kracht vooruit met 3D-printen, robotica en programmeren op de

basisschool? Ook dat zal wel niet vanzelf gaan. Het klinkt leuk, maar is het ook realiseerbaar? Wat komt er allemaal bij kijken? Alle reden dus om 3D-printen in de praktijk van het basisonderwijs te onderzoeken.

*In dit rapport* wordt verslag gedaan van een onderzoek naar een pilot met lessen rond 3D-printen op twee basisscholen in Almere, Digitalis en Het Palet. De pilot, uitgevoerd in januari tot en met juni 2015, is een initiatief van FabLab Flevoland en kreeg financiële steun van de gemeente Almere, het Expertisecentrum Wetenschap & Technologie Noord-Holland/Flevoland (EWT), en de Almeerse Scholen Groep (ASG). Het onderzoek is uitgevoerd door het lectoraat Leiderschap in Onderwijs en Opvoeding van Hogeschool Windesheim Flevoland, met steun van het Expertisecentrum Techniek-onderwijs TechYourFuture in Deventer.

In het kader van dit onderzoek woonden we enkele besprekingen bij tijdens de initiatiefase en het ontwerpen van het lesmateriaal. We spraken met de initiatiefnemers van FabLab Flevoland, met de instructeurs, met de bestuurders van ASG, en met ambtenaren van de afdeling Economische Zaken van de gemeente Almere. We namen startinterviews af met de leraren. We observeerden een aantal lessen, op elk van beide scholen ongeveer acht, verspreid over de hele lessenserie. Ook interviewden we tegen het eind van de lessenserie een aantal leerlingen. We keken terug op de pilot met de leraren en de directeurs van de beide scholen.

In dit rapport beschrijven we observaties en ervaringen met de ontwikkeling, uitvoering, bijstelling en evaluatie van het onderwijsontwerp. We zoeken naar antwoorden op allerlei grote en kleine vragen, zoals wat het effect is van deze lessenserie op de ontwikkeling van kennis, vaardigheden en attitude over en voor wetenschap & technologie en op de ontwikkeling van 'vaardigheden van de 21ste eeuw'. Onze data zijn impressies uit de eerste hand, maar we hebben niet de pretentie dat we alles gezien, gehoord en begrepen hebben, of dat onze ervaringen zich zonder meer laten generaliseren naar andere kinderen, leraren en scholen. We wilden vooral ontdekken en begrijpen waar de uitdagingen en problemen liggen, en wat de sterke punten en kansen zijn voor mogelijk te behalen leerresultaten, gezien de condities die hierbij een rol spelen.

De pilot en het onderzoek zijn mogelijk geworden door de inzet en betrokkenheid van velen. Onze dank gaat uit naar hen allen.

We noemen hier degenen wier lessen we mochten observeren en met wie we voor dit onderzoek gesprekken en interviews hielden:

- Leerlingen van de basisscholen Digitalis en Het Palet (te veel om op te noemen) van basisschool Digitalis voorts:
  - Monique Tapken en Astrid van Wees (onderbouwleraren)
  - Ingrid de Jong en Erwin Smit (bovenbouwleraren)
  - Monique van Zandwijk (directeur)
- van basisschool Het Palet voorts:
  - Carla Sijmons (onderbouwleraar)
  - Dea Soemowidjojo (bovenbouwleraar)
  - Hans van Alphen (directeur)
- FabLab Flevoland:
  - Peter Krol en Johan Vrielink
  - Anne Laout, Iren Nauta, Tim de Rijk (instructeurs tijdens de pilot)
- Almeerse Scholen Groep
  - Marten Muis en Hans Vleerboom (clusterdirecteuren)
- Gemeente Almere:
  - Najat Azogagh en Helen Leclair (beleidsadviseurs)

# Waarom 3D-printen op de basisschool?

In de inleiding is al een belangrijke reden genoemd om op de basisschool aan 3D-printen te doen. Het ziet er naar uit dat het een stukje van de samenleving van de toekomst is. En basisscholen hebben de opdracht om kinderen toe te rusten voor participatie in die samenleving, maatschappelijke en culturele verworvenheden over te dragen, en bij te dragen aan de persoonlijke ontwikkeling van kinderen (Kerndoelen Primair Onderwijs, 2006). Het 'Platform Onderwijs2032', dat in 2015 is ingesteld om de regering te adviseren over het onderwijscurriculum van de toekomst, schrijft: 'We leven in een tijd van snelle wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen die een groot beroep doen op het lerend vermogen van burgers en werknemers.'

([onsonderwijs2032.nl/hoe-kun-je-leren-om-te-leren](https://onsonderwijs2032.nl/hoe-kun-je-leren-om-te-leren)).

**3D**-printen is een vorm van digitale technologie, die automatisering mogelijk maakt in zich steeds vernieuwende vormen: van internet tot robotica om het maar kort te zeggen.

Johan Vrieling, oprichter van FabLab Flevoland en een van de initiatiefnemers van deze pilot, zegt het als volgt: 'Automatisering gaat doorzetten. Daarvoor hebben we mensen nodig met een hoog niveau in techniek. We maken een fout als we jonge kinderen de automatisering niet aanleren. Dan zal je zien dat ze niet ver genoeg kunnen komen in de wereld. Ook al leidt de basisschool niet direct op voor een bepaald bedrijf of beroep: automatisering zal een groot effect hebben op de werkgele-

genheid. Maar het imago van techniek is nu nog verkeerd. Mensen denken nog steeds dat het vies en zwaar is, terwijl de moderne technologie juist schoon en mooi is. Digitale techniek laat dat zien.'

Dat 3D-printen als 'stukje van de samenleving' inderdaad doorzet blijkt wel uit de nieuwsberichten. Zo bericht de NOS op 11 juni 2015:

'In het centrum van Amsterdam komt een stalen, in 3D-geprinte brug. De Nederlandse start-up MX3D gaat de brug maken, waar precies is nog niet bepaald. Waarschijnlijk komt hij ergens over een gracht of over een vijver in een park. MX3D heeft industriële robots zo aangepast dat ze metalen, kunststoffen en combinaties van materialen kunnen printen in vrijwel elke vorm. Ontwerper Joris Laarman zal de brug ontwerpen: 'Ik geloof sterk in de toekomst van digitale fabricage en lokale productie. Deze brug kan laten zien hoe 3D-printen eindelijk de wereld van grootschalige functionele objecten en duurzame materialen binnentreedt en tegelijkertijd een ongekende vormvrijheid mogelijk maakt.'

Deze start-up ontwerper Joris Laarman vond kennelijk zijn weg op de arbeidsmarkt, hoewel hij op de basisschool ongetwijfeld niet aan 3D-printen heeft gedaan. Kunnen we er op vertrouwen dat de kinderen van nu, ook zonder stimulans vanuit het onderwijs, zo hun eigen werk gaan creëren met 3D-printen of andere digitale technologie? Vrieling is hier niet gerust op: 'Het gaat ook niet om die enkeling die er toch wel komt; het is een grootschalige ontwikkeling waar andere landen wel vol op inzetten. We worden gemarginaliseerd als we deze ontwikkeling missen'. Hijzelf – inmiddels gepensioneerd – zette weliswaar een goed lopend bedrijf 'Flevobike' op, 'maar internationaal kon ik niet meekomen omdat ik nauwelijks Engels had geleerd'. Zo kom je er in deze wereld ook niet als je niet hebt leren programmeren; en hij constateert dat de meeste studenten die bij zijn bedrijf komen, daar nog veel te weinig van af weten.

We spraken hier ook over met Tim en Iren, twee van de instructeurs van FabLab Flevoland. Het maakproces heeft in hun ogen door de digitalisering een enorme verandering doorgemaakt. Het grote beroep op handvaardigheid en het bedienen van machines is vervangen door een beroep op verbeeldingskracht en het vermogen een computer aan te sturen. Computergestuurde apparaten kunnen met eindeloos geduld en veel grotere precisie dan de beste ambachtsman maken wat je in je hoofd hebt. Vandaar het grote belang van programmeren en programma's ('applicaties') waarmee je op een computer kunt werken, zoals 2D- en 3D-tekenprogramma's.

## VRAAGTEKENS

Moeten we dus al op de basisschool beginnen met digitale technologie, leren programmeren, en in het bijzonder 3D-printen? Voor bestuurders van basisscholen gaat het hier om vergaande beleidsvragen. Je wilt kinderen zo goed mogelijk voorbereiden op hun toekomst en daarbij aansluiten bij hun leefwereld. Dat pleit in elk geval voor veel meer aandacht voor wetenschap en techniek. Daar zijn de bestuurders van ASG het wel over eens.

Maar daarmee is nog niet de vraag beantwoord, wat voor de leerlingen op hun scholen het belang is van onderwijs in 3D-printen en digitale techniek. Hoe belangrijk is dit onderwerp in zichzelf, en in hoeverre is het ook belangrijk voor basisschoolleerlingen en vanaf welke leeftijdsgroep dan? Hoe geschikt is het als kapstok om andere leerdoelen te bereiken? Hoe makkelijk of moeilijk is het om deze 'kapstok' concreet te implementeren in de dagelijkse onderwijspraktijk? Wat zijn de kosten en zijn deze op te brengen? Daarbij gaat het niet alleen om geld maar ook om immateriële aspecten, zoals het imago van de school en het gevoel van eigenaarschap van de leraren. Met de volgende hoofdstukken proberen we wat meer licht op deze zaken te werpen.

# Wat is 3D-printen eigenlijk?

3D-printen is het trefwoord geworden dat iedereen gebruikt. Maar, zoals FabLab-oprichter Johan Vrieling benadrukt, je moet eigenlijk spreken over '*digitale techniek*' (of digitale technologie). Het gaat er vooral om dat je een idee voor een product uit je hoofd in de computer krijgt, in digitale vorm. Die computer stuurt vervolgens een of andere machine aan; in dit geval een 3D-printer, maar het kan bijvoorbeeld ook een lasersnijder zijn waarmee een product gemaakt wordt.

In industrieel jargon heet 3D-printen 'additive manufacturing'. Deze term benadrukt het kenmerk van alle vormen van 3D-printen, namelijk dat het maakproces bestaat uit het toevoegen van laagjes materiaal. De 3D-printer heeft een printerkop, die een dun laagje materiaal uitspuugt. Via bewegingen van de printerkop (vergelijkbaar met de arm van een industriële robot) stapelt dit materiaal zich laag voor laag op, net zoals je bijvoorbeeld met een slagroomspruit of een lijmpistool allerlei lagen en vormen kunt maken. Maar nu wordt die 'spuit' aangestuurd door een opdracht die je via de computer doorgeeft. Een 3D-printer moet dus gevoed worden met digitale informatie die je via een computerfile aanbiedt. Je kunt allerlei files van internet downloaden om door anderen gemaakte ontwerpen te printen. Als je een zelfbedacht ontwerp wilt printen, moet je eerst een gedigitaliseerde representatie daarvan - een 3D-tekening - in een computer zien te krijgen. Er is allerlei software beschikbaar om 3D-tekeningen te maken.

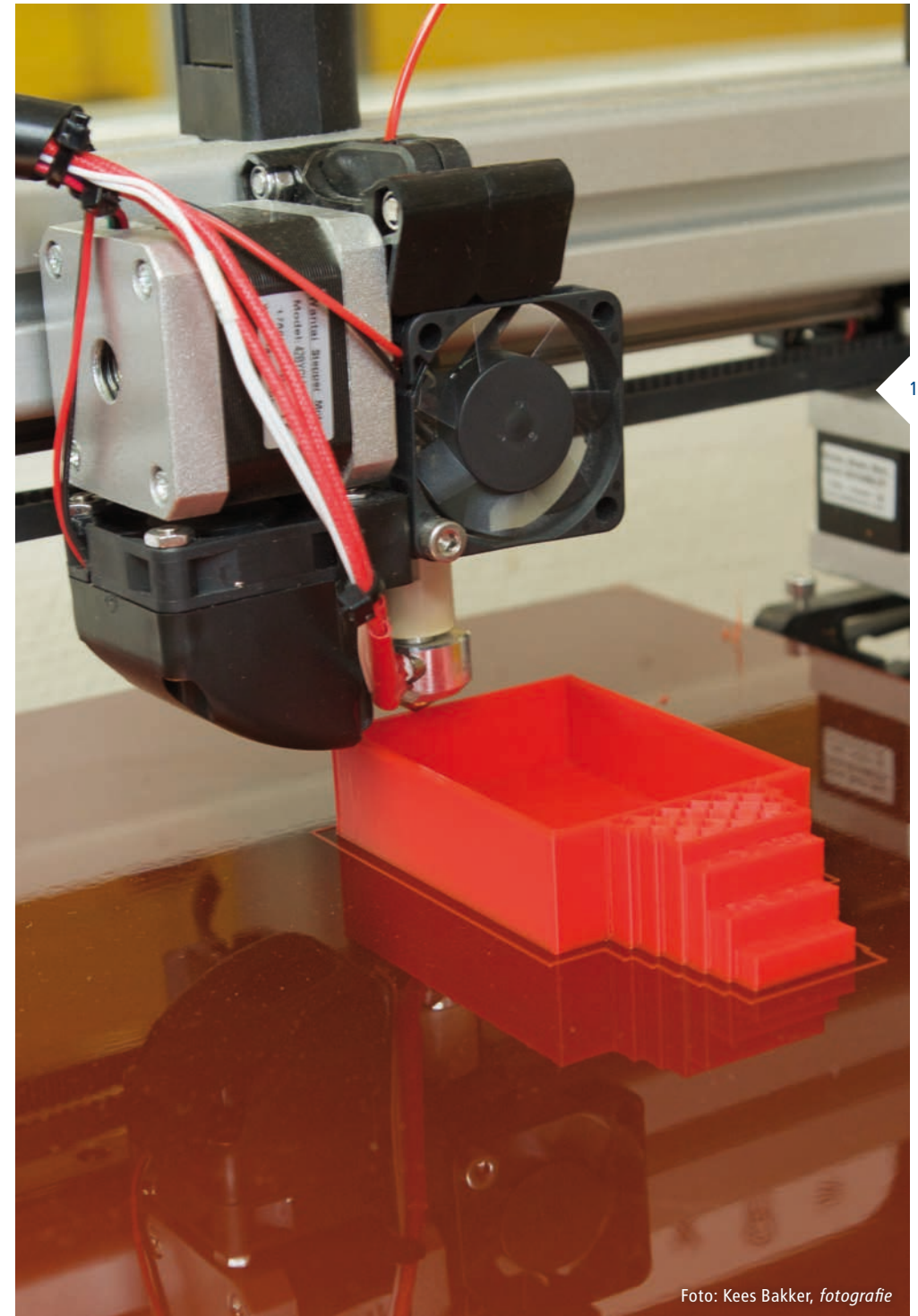


Foto: Kees Bakker, fotografie

Zo ga je van een idee langs digitale weg naar iets materieels, iets echts, en vaak ook naar iets dat uniek is. Dat is een kracht van 3D-printen ten opzichte van andere maakprocedures, zoals bijvoorbeeld kunststof persen in een mal: dat is heel geschikt voor grote aantallen producten, maar die zijn allemaal identiek. Met een 3D-printer kan elk exemplaar uniek worden door in het digitale ontwerp iets te veranderen.

## VARIANTEN, MOGELIJKHEDEN EN BEPERKINGEN

De 3D-printers die de meeste basisscholen in bereik kunnen hebben zijn van het type dat een thermoplastische kunststof in de printkop smelt en uitdrijft ('extrusie' heet deze techniek, met zijn gelijkenis aan de slagroom- of lijmspuit). De printer die de schildpad van een nieuwe bek voorzag printte overigens geen plastic maar titanium. Er zijn ook extrusieprinters voor beton en voor pasta: als het materiaal maar stroperig gemaakt kan worden, en snel genoeg hard wordt.

Andere 3D-printers maken gebruik van de energie van een laser die een patroon brandt in uitgestrooid poeder: ook dit gaat laagje voor laagje. Bij weer een andere techniek wordt een lichtgevoelige hars voor een deel uitgehard door belichting.

Al deze technieken hebben hun mogelijkheden en beperkingen. Je kunt tegenwoordig een huis printen met een 3D-printer, maar daar heb je wel een printer voor nodig zo groot als een huis. Een printer die een stalen brug print of een titanium bek is heel wat duurder dan een apparaat voor gesmolten plastic. Elke keer vraagt iemand zich weer af: 'Kan dat niet beter, of sneller, of goedkoper?', en komt met een nieuwe innovatie. De 3D-printer zelf is één brok inventieve technologie.

De 3D-printtechnologie heeft ook zijn beperkingen omdat niet elk digitaal ontwerp in het echt is te printen. In een digitale tekening van een huis blijft een uitstekende dakrand mooi zitten (zwevend boven de lege ruimte eronder), maar als het uit de printerkop komt valt het gewoon naar beneden. Omdat het product laagje voor laagje wordt opgebouwd, zal een deel dat ergens aan hangt tijdens het printen eerst ondersteund moeten worden. Daar moet je tijdens het digitaal ontwerpen dus terdege rekening mee houden. Zo zijn er meer dingen waar je aan moet denken. Bijvoorbeeld, één printerkop kan maar één kleur tegelijk printen. En: hoe groter het product, hoe langer het printen duurt. De printerkop beweegt met een bepaalde snelheid in de driedimensionale ruimte; twee keer zo groot betekent acht keer zo lang printen.

Door deze kenmerken heeft de 3D-printer op de commerciële markt een duidelijke plaats: je kunt er unieke voorwerpen mee maken die op een andere, klassieke manier niet, of met veel meer moeite en kosten te maken zijn. Zoals protheses of antieke onderdelen die niet meer in de handel zijn. Het wekt ook geen verwondering dat kunstenaars de 3D-printer omarmd hebben. Unieke sieraden, kledingstukken, meubels, servies: je wordt alleen tegengehouden door gebrek aan voorstellingsvermogen. Een ander voordeel is dat je geen voorraden hoeft aan te leggen of mee te nemen. Op de toekomstige reis naar Mars neem je een 3D-printer mee plus uitgangsmateriaal, in plaats van een groot assortiment reserveonderdelen. Bij 3D-printen heb je bovendien weinig tot geen afval: materiaal dat je overhoudt smelt je om en gebruik je opnieuw.

In de industrie wordt overigens al tientallen jaar gewerkt met 3D-printen. Vooral in vakgebieden als industrieel ontwerpen, waar vaak veel prototypes gemaakt worden voordat een product op de markt komt, brengt de techniek veel voordelen. Een oude benaming voor 3D-printen uit deze wereld is 'rapid prototyping': door in het digitale ontwerp iets te veranderen, wat op de computer gemakkelijk kan, kan snel een nieuwe variant uitgeteerd worden.

## 3D-TEKENEN: VARIANTEN IN SOFTWARE

Zonder digitalisering geen 3D-printer. De opdracht aan een computer bepaalt de bewegingen van de printer, waarmee alle details gerealiseerd worden. Daarom zijn de programma's waarmee op de computer gewerkt wordt van groot belang. Het is juist op dit gebied dat de laatste jaren veel vooruitgang is geboekt, omdat de rekenkracht van computers enorm is toegenomen. Een veel gebruikt programma is SketchUp, waarmee twee- en driedimensionale digitale tekeningen gemaakt kunnen worden en opgeslagen in een format (STL) waarmee de printer aangestuurd kan worden. Er zijn ook 3D-scanners in de handel waarmee een digitaal beeld van bestaande voorwerpen (of levende wezens) gemaakt kan worden. Dit kan zelfs ook met een smart phone: er zijn apps zoals 123D Catch die op basis van een stuk of twintig foto's die je zelf neemt een driedimensionaal digitaal beeld samenstellen, dat je vervolgens naar een computer of printer kunt sturen. Uiteraard geldt voor alles: hoe groter de precisie en de snelheid, hoe duurder de apparaten en de programma's zullen zijn. Maar alles wordt ook in snel tempo goedkoper, waardoor de 3D-printer nu daadwerkelijk binnen bereik is gekomen van burgers en basisscholen.



## GAAT DE BLACK BOX OPEN?

Een 3D-tekening bevat de informatie voor de bewegingen van de printerkop, net zoals een digitaal Word-document een gewone papierprinter aanstuurt. In werkelijk zijn hiervoor natuurlijk allerlei tussenstappen in programmering nodig: zoals het commando om een letter 'p' te printen meer vereist dan het aanslaan van een toets op een toetsenbord. Evenzo is voor het daadwerkelijk 3D-printen van een letter p meer nodig dan het verslepen van de muis bij het tekenen van een p met een 3D-tekenprogramma.

Voor de gewone computergebruiker zijn deze tussenstappen van programmering een black box. Dat is prettig want dan hoeft je er niet zelf over na te denken. Ontwerpers van apparaten willen graag dat de gebruiker het apparaat zo intuïtief mogelijk kan bedienen en verstoppen zo veel mogelijk tussenstappen. Gevolg is wel dat niemand meer begrijpt hoe een printer, een koffiezetapparaat of een autosleutel nu eigenlijk werkt.

Voor het onderwijs, ook het funderend onderwijs, is dit een ambivalente opgave. De school leidt niet alleen gebruikers op van techniek maar ook de ontwerpers. En wie kennis heeft van programmeren, heeft de mogelijkheid om deze black box open te maken. Om niet alleen 2D- en 3D-printers aan te sturen, maar in principe alle 'actuatoren' waar een microprocessor inzit. Actuatoren zijn volgens Wikipedia 'alle toestellen die invloed kunnen uitoefenen op hun omgeving'. De robotica is het terrein waar deze kennis voluit toegepast wordt.

Zoals dat zo vaak gaat met nieuwe technologie: het bouwt voort op bestaande techniek, heeft andere techniek nodig, en creëert nieuwe vragen waar weer nieuwe techniek het antwoord op is. In deze wereld leven we, en te veel mensen raken er het spoor in bijster.

Het is dus beslist niet vreemd om te zinnen op manieren om onderwijs te verrijken met 3D-printen en digitale techniek, met programmeren, elektronica en robotica. En zo bezien is een pilot met 3D-printen op de basisschool symbolisch voor een ingrijpende ontwikkeling.

# 3D-printen op de basisschool: hoe dan?

'Daar komen ze weer met iets nieuws'. Je kunt je deze verzuchting van leraren op de basisschool voorstellen, als reactie op een plan om aan 3D-printen en digitale techniek te gaan doen. Het wensenlijstje van de samenleving is groot: burgerschap, muziek, beweging, gezond eten, Engels, vaardigheden van de 21ste eeuw, en inderdaad, techniek. In het Techniekpact is afgesproken dat alle basisscholen in 2020 'goed techniekonderwijs' geven. Daar past 3D-printen prima in. Alleen: het programma van de meeste scholen is nu al overladen. Als er iets bijkomt moet er ook iets af, of het nieuwe onderwijs moet geïntegreerd worden in het bestaande.

Ondanks dat Nederland een prachtig kerndoel kent over techniek (Kerndoel 45: 'De leerlingen leren oplossingen voor technische problemen ontwerpen, uitvoeren en evalueren'), wordt hier weinig aandacht aan gegeven en voelen veel scholen en leraren zich ook niet goed in staat dit kerndoel te realiseren. Als er dan ook nog sprake is van een onbekende techniek, zoals 3D-printen voor de meeste leraren zal zijn, dan zal invoering zeker niet vanzelf gaan. Uitzonderingen, gebaseerd op intrinsieke motivatie en talent van een individuele leraar, zijn er zeker. Maar invoering op grote schaal vraagt om een strategie die hier niet van afhankelijk is.

## TECHNIEKLES UITBESTEDEN? VOOR- EN NADELEN

Eén zo'n strategie is om zaken die niet tot het repertoire van de leraar behoren uit te besteden.

Voor schoolzwemmen ga je naar een zwembad waar de kinderen leren zwemmen van een zweminstructeur. Er zijn veel lesbrieven ontwikkeld door bedrijven, soms gekoppeld aan een excursie; bedrijven in de technieksector hebben er immers belang bij dat kinderen op jonge leeftijd enthousiast gemaakt worden voor techniek. En ook ouders vinden het vaak leuk om over hun beroep te vertellen en een gastles te geven.

Deze strategie heeft als voordeel dat de school geen grote investeringen hoeft te doen in faciliteiten en deskundigheidsbevordering. Maar er kleven ook duidelijke nadelen aan.

In de eerste plaats is het lastig om op deze manier een onderwerp te integreren in de rest van het schoolplan en het curriculum. Dat is immers iets dat alleen de leraren zelf kunnen doen; van externe aanbieders van onderwijs valt dat niet te verwachten. Zij zullen niet anders kunnen dan 'stand alone' lessen ontwikkelen en dat betekent automatisch dat aandacht voor zo'n onderwerp 'er bovenop' komt. De ruimte hiervoor is uiteraard zeer beperkt, zodat er goed gekozen moet worden. Voor de ontwikkeling van een op zichzelf staande maar levensreddende vaardigheid als zwemmen wil een school nog wel structureel tijd inruimen, maar voor onderwerpen uit wereldoriëntatie en kunstzinnige oriëntatie rest meestal niet veel meer tijd dan voor een eenmalige of jaarlijkse excursie of gastles.

Een tweede nadeel is dat de leraren weinig betrokkenheid ontwikkelen bij lessen die door anderen van buiten gegeven worden. Zeker kun je proberen je eigen enthousiasme voor het onderwerp naar de kinderen toe uit te stralen. Maar het kan ook zijn dat de vrijkomende tijd benut wordt om bijvoorbeeld de eigen administratie te doen, en zo onbedoeld aan te geven dat leraren er zelf niets van af hoeven te weten. Dat is een tegenstrijdig signaal voor onderwijs dat leerlingen wil voorbereiden op participatie aan de samenleving. Bovendien leren de leraren op deze manier zelf weinig bij en blijven ze duurzaam afhankelijk van buitenstaanders.

## LERAAR DOET HET ZELF

Er is dus veel voor te zeggen om leraren in de regiefunctie te krijgen. Dan kunnen ze zelf de mogelijkheden voor integratie inschatten en benutten. Dan laten ze zien hoe belangrijk ze het onderwerp vinden. En krijgen ze volop de gelegenheid er steeds beter in te worden.

Daarmee is nog niet gezegd waar het onderwijs met 3D-printers moet plaatsvinden. Leren in de klas heeft veel voordelen. Er hoeft niet gereisd te worden. Het nieuwe onderwijs kan worden ingepast in de manier van werken van de school, wat deze werkwijze ook is. De leraar kan het zo in eigen hand houden. Daar staat tegenover dat voor 3D-printen en digitale techniek wel faciliteiten nodig zijn die niet stan-



daard in een klaslokaal aanwezig zijn. En ook is het de vraag of het klaslokaal een voldoende authentieke omgeving is voor 3D-printen. Het is geen bedrijf dat deze technologie nodig heeft om problemen op te lossen. Hier kun je weer tegen in brengen dat de school ook geen schouwburg of concertzaal of stadion is maar dat dit het succes van een schoolmusical of een korfbaltoernooi niet in de weg staat.

Het zal dus met digitale techniek en 3D-printen een kwestie zijn van het juiste midden te vinden. In deze pilot is gekozen voor een opzet waarbij basisschoollerares zelf het onderwijs verzorgen en dit doen in hun eigen klas.

## De opzet van de pilot

### SCHOOLCONTEXT

De pilot met digitale technologie / 3D-printen (zie hierover ook de informatie in de Inleiding) vond plaats op de basisscholen Digitalis en Het Palet. Dit zijn zogenaamde L4NT-scholen, 'Leren voor een nieuwe tijd'. Ze gebruiken iPads. 's Ochtends krijgen de kinderen les in de basisvaardigheden taal en rekenen, 's middags krijgen ze les in 'ateliers': projectachtig onderwijs over wereldoriëntatie, kunstzinnige vorming en beweging. De ateliers worden ontwikkeld door de leraren. Kinderen kunnen kiezen uit een aantal verschillende ateliers, die enkele weken duren en een geïntegreerd karakter hebben. Uiteraard wordt de iPad veel gebruikt.

In deze organisatiestructuur past een atelier over digitale techniek en 3D-printen heel goed. Rondom 3D-printen kan een rijke leeromgeving ontworpen worden, waar verschillende leerdoelen in samenhang nagestreefd kunnen worden en waar kinderen zich kunnen oriënteren op onderdelen van de hoogtechnologische wereld waarin zij opgroeien.

### SCHOLING VAN DE LERAREN

Om zelf les te kunnen geven over en met deze inhoud, volgden zes leraren een cursus Digitale Techniek bij FabLab Flevoland in Dronten, waarbij zij ook zelf een 3D-printer bouwden met een zelfbouwpakket van het merk 'Felix'. Zo raakten zij bekend en vertrouwd met de printer, en met de programma's die gebruikt kunnen worden om te digitaliseren, zoals SketchUp en (voor de jongere kinderen) Doodle3D. Een scholing in het achterliggende programmeren is overwogen maar bleek niet te passen in de beschikbare uren.



Foto: Kees Bakker, fotografie

De leraren vonden de scholing niet alleen nuttig maar ook heel inspirerend. Ze hebben er thuis veel mee moeten oefenen om een en ander in de vingers te krijgen: 'Je moet het steeds blijven doen, anders raak je het kwijt'. Achteraf bezien hadden ze bij de voorbereiding nog meer willen oefenen met het aansturen van de printer, want dat bleek hen in de praktijk nog wel eens tegen te vallen.

### SAMEN EEN ONDERWIJSAANBOD UITWERKEN

Het team van FabLab Flevoland had al eerder een onderwijsaanbod ontwikkeld in de vorm van twintig lessen van twee uur. Dit is als uitgangspunt gebruikt bij het gezamenlijk ontwerpen van een lessenserie die zoveel mogelijk moest passen bij de werkwijze van Digitalis en Het Palet. De leraren en de Fab-labinstructeurs hebben uitgebreid overlegd over het ontwerp van de lessenserie. Het idee om de kinderen een probleem te laten oplossen door iets te laten ontwerpen en dit vervolgens te maken met de 3D-printer werd door de leraren te open gevonden. Als je zelf de techniek niet kent voelt het veiliger om eerst met geprogrammeerde instructie te beginnen.

Het aldus van te voren gemaakte onderwijsontwerp hebben de leraren tijdens de uitvoering zelf op een aantal punten aangepast, op basis van hun ervaringen en groeiend inzicht: zie hieronder 'Het onderwijsontwerp' en 'Aanpassingen tijdens de uitvoering'.

### VOOR ONDER- EN BOVENBOUW; OMVANG VAN DE LESSENSERIE

De capaciteit van de pilot was niet groot genoeg om alle groepen te betrekken. Er is gekozen voor 'jong beginnen' – in de onderbouwgroepen 3-4; en voor 'straks naar het VO' – in de bovenbouwgroepen 7-8.

Zo werd voor elk van deze beide bouwen een lessenserie ontwikkeld van circa 13 weken (uit te voeren in de loop van ongeveer een half schooljaar). Daarbij kreeg de onderbouw wekelijks lessen van ongeveer een uur, de bovenbouw van één uur en drie kwartier.

Hierbij inbegrepen was de aanwezigheid van instructeurs van FabLab bij een aantal lessen, om te helpen met het bedienen van de apparatuur, en eventueel ook bij te springen met uitleg over de digitale programma's die bij het 3D-printen gebruikt worden.

# Het onderwijsontwerp

Hier volgt een beeld van de lessenseries voor de onderbouw en de bovenbouw, zoals die van tevoren door de leraren en Fablab-instructeurs samen waren ontwikkeld. *De aanpassingen die tijdens de uitvoering werden gemaakt, zijn – op hoofdzaken – in het hoofdstuk hierna beschreven.*

### DE LESSEN IN DE ONDERBOUW

De onderbouwlessen zijn opgezet als brede kennismaking met techniek; 3D-printen fungeerde hierbij als een van de onderdelen. Belangrijk doel is de woordenschatverrijking op technisch gebied. Daarom werd bij elke les globaal aangegeven welke begrippen er centraal staan.

In de eerste les wordt de 3D-printer wel meteen geïntroduceerd, via een filmpje, als nieuwe vorm van digitale technologie. Daarna volgen enkele lessen over *elektronica* en elektrische stroom. In deze lessen worden de kinderen via allerlei concrete voorbeelden gewezen op het fenomeen 'stroom', en hoe elektriciteit dingen in beweging kan zetten en bijvoorbeeld licht of geluid kan veroorzaken. Deze voorbeelden zijn gezocht in de eigen omgeving zoals de verlichting in het klaslokaal, en telefoons die op batterijen werken. De kinderen krijgen de opdracht om een over tafel lopend 'trilrobotje' en een deurbel te maken. Zo komt het begrip 'schakelingen', die trillingen of geluid aan en uit kunnen zetten, aan de orde. Ze experimenteren met het apparaatje 'Makey Makey' dat stroom geleidt en geluid produceert als je het aan bepaalde materialen koppelt. Zo krijgen kinderen meer zicht op stoffen die elektrische stroom kunnen geleiden.

Voor wie niet bekend is met de 'Makey Makey': dit is een printplaatje waarmee eenvoudig alles in een toetsenbord wordt veranderd. Je koppelt het apparaatje via een usb-kabel aan je computer en daarna verbind je het met dingen die je als toetsen wilt gebruiken. Dat kan van alles zijn: bananen, muntjes, klei of een bak met water. Met kabeltjes met krokodillenbek verbind je de nieuwe toetsen: zo kun je via de Makey Makey pianospelen met bananen, of een spelletje bedienen door in bakken water rond te lopen.'

([ictnieuws.nl/nieuws/recensie-makey-makey](http://ictnieuws.nl/nieuws/recensie-makey-makey)).

Met de Makey Makey kun je dus bananen gebruiken om geluid te maken ... oftewel: door de banaan aan te raken sluiten kinderen een stroomkring en lijkt de banaan het geluid dat uit de computer komt te veroorzaken. Grappig!

Daarna volgt een aantal lessen ter oriëntatie op het verschijnsel *programmeren*. De bedoeling is kinderen te laten inzien dat digitale apparaten je opdrachten alleen goed kunnen uitvoeren wanneer je die opdrachten in kleine, precieze stapjes onderverdeelt. Daarbij leren ze ook dat je die stapjes kunt verbeteren door fouten die je blijkt te maken, te herstellen (het begrip 'debuggen'). Voorbereidende opdrachten hierbij zijn bijvoorbeeld: stuur elkaar aan om een boterham te smeren en met hagelslag te bestrooien; of om op een bepaalde manier door de klas te lopen. Zo werkt ook het speelgoedrobotje Bee-bot, met het uiterlijk van een bij, dat je commando's kunt geven om zich over de vloer te bewegen.

De kinderen oefenen daarna op de iPad met programma's die jonge kinderen speels introduceren in digitale vormen van programmeren, zoals Scratch Junior en Code.org. 3D-tekenen oefenen ze op de iPad met Doodle3D en Blokify. Daarnaast spelen ze ook met blokken, lego en dergelijke om ook op andere manieren ervaring op te doen met vormen en vormgeving.

Via lessen met 2D- en 3D-tekenen werken ze aan een *eindopdracht*: een zelfbedacht bordspel waarvoor door henzelf ontworpen pionnen geprint worden.

### DE LESSEN IN DE BOVENBOUW

De bovenbouwlessen zijn toegespitst op een aantal vaardigheden die nodig zijn voor het proces van 3D-printen: *digitaal tekenen en ontwerpen*. Hoe de bijbehorende tools werken wordt onderwezen door werkblad- en leerkrachtgeleide geprogrammeerde instructie, waarbij leerlingen bijvoorbeeld stap voor stap met het programma SketchUp een sleutelhanger tekenen, deze opslaan als STL-file (de standaard extensie, die deze 3D-printers kunnen 'lezen') op een USB-stick, en printen.



Foto: Carla Sijmons

Er wordt toegewerkt naar een *eindproduct* waarin de digitaal gerealiseerde deelproducten zijn toegepast in een eigen ontwerp, gecombineerd met staaltjes van andere handvaardigheid: een zelf bedacht dorp of wijk, met huizen gemaakt van kartonnen dozen, waarin onderdelen (raam, deur) op dezelfde schaal verwerkt zijn die de kinderen zelf met de digitale programma's hebben ontworpen en laten printen. Daarbij wordt expliciet gewerkt aan een aantal doelen van rekenen/wiskunde (vooral meetkunde).

Na de introductieles met een filmpje over 3D-printen gaan de kinderen oefenen met het tekenprogramma SketchUp. Ze volgen het werkblad om te komen tot het ontwerp van een sleutelhanger met je eigen naam. Daarbij komt meteen het 'werken op schaal' kijken, met bijbehorende meetkundige aspecten.

Daarna werken de kinderen aan ontwerpen van raamkozijnen en deuren. Als die af zijn kunnen er ook andere dingen bij gemaakt zoals balkons, een zwembad of glijbaan. Tussendoor wordt er gewerkt met rekenen en ontwerpen op (ruitjes)papier met niet-digitale hulpmiddelen zoals liniaal, geodriehoek en stanleymes.

Halverwege de lessenserie kijken ze via Google Earth naar hun eigen schoolomgeving, om een idee te krijgen van zaken als plattegrond, straatinrichting en bijbehorende schaalaspecten. Hier komt ook de bijbehorende, meer en minder geavanceerde meetapparatuur ter sprake om groottes en afstanden te bepalen.

In de laatste lessen werken de kinderen door aan hun ontwerpen voor de raamkozijnen en dergelijke en aan hun (niet digitale) ontwerp van een wijk met huizen en toebehoren. Deze lessen zijn niet in detail ontworpen, maar kunnen naar bevind van zaken worden uitgevoerd. Het geheel wordt afgesloten met een presentatie van de 'wijk' met de huizen.

# Aanpassingen tijdens de uitvoering

Tijdens de uitvoering hebben de leraren het ontwerp van beide lessenseries in diverse opzichten aangepast. Dat gebeurde vanwege ervaringen met haperende materialen, apparatuur en software; en uit pedagogische-didactische overwegingen.

## HAPERINGEN

In de onderbouw bleken de gekozen materialen bij de opdrachten voor elektronica soms te lastig te hanteren voor de kinderen, ze gingen te snel kapot, of ze waren te duur om er voldoende van aan te schaffen. Bij beide bouwen bleken de geplande digitale programma's niet of moeizaam te werken op de iPads of de computers van de school. Een programma als SketchUp is gratis en bedoeld voor serieuze ontwerpers. Het kan veel, en ook kinderen kunnen er prima mee werken, maar het stelde (te) hoge eisen aan de snelheid van het netwerk en van de computers op de scholen. Zij investeerden niet in nieuwe computers omdat ze net waren overgegaan op tablets (de iPads), maar daar bleek Sketchup niet goed op te draaien. De nog aanwezige computers waren langzaam, er waren er te weinig, de kinderen konden er zelf geen programma's en dergelijke op installeren vanwege de beveiliging, de capaciteit van het netwerk schoot te kort, sommige laptops vielen direct uit zodra ze op de accu moesten werken. Het leverde een voortdurende stroom aan problemen op waar de leraren, af en toe bijgestaan door de Fablab instructeurs, als troubleshooters op moesten reageren.

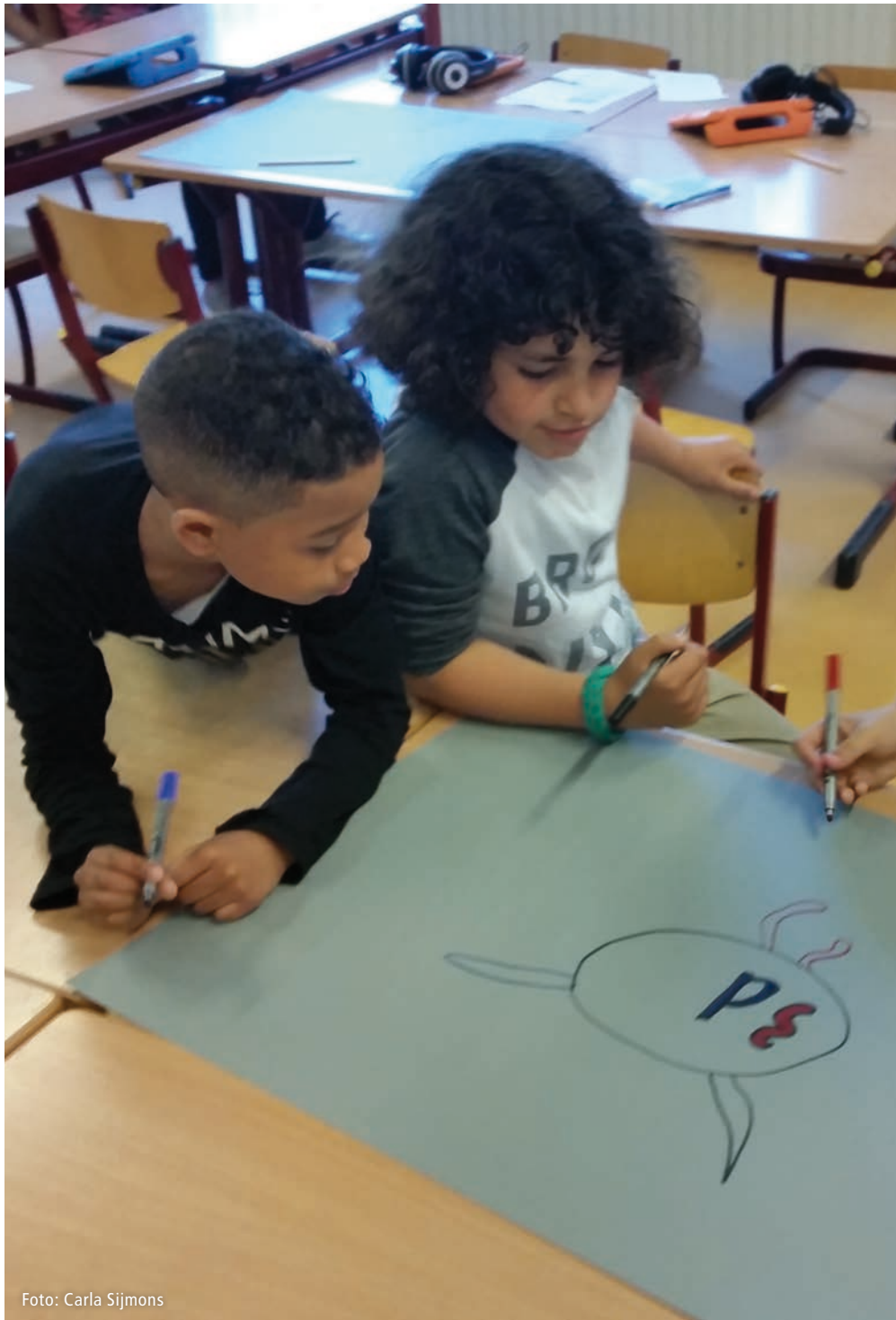


Foto: Carla Sijmons

Ook de 3D-printers haperden geregeld en moesten tijdens of tussen de lessen gerepareerd worden. Dit is in zekere zin normaal en te verwachten bij de eenvoudige zelfbouw-printers die voor een school te bekostigen zijn. Het voordeel daarvan is dat je veel kennis en ervaring opdoet door het zelf bouwen en repareren, maar de probleemloze en snelle werking van commerciële apparatuur wordt er niet mee benaderd.

Het was ook gecompliceerder en vooral tijdrovender dan voorzien om alle printopdrachten die kinderen maakten door te voeren naar de printer. Het duurt bijvoorbeeld twintig tot dertig minuten om een sleutelhanger te printen. Met dertig kinderen is dat meer dan tien uur volcontinu printen. Een bekend probleem: 3D-printers zijn fantastisch voor unieke producten maar minder geschikt voor grote oplages. Vaak moesten kinderen dus lang wachten voordat hun artefact uitgeprint was, en dus ook voor ze konden zien of dat resultaat overeenstemde met wat ze bij het bedenken in hun hoofd hadden.

#### PEDAGOGISCH-DIDACTISCHE VARIATIE

Dit alles maakte dat lessen of onderdelen ervan vertraagd werden, of dat een groter of kleiner deel van de kinderen tijdelijk niet echt aan de slag kon. De leraren moesten dan ter plekke andere opdrachten of activiteiten in gelasten.

Van deze nood maakten zij een deugd door meer variatie in didactiek en activiteiten aan te brengen, vergeleken met het oorspronkelijk sterk voorgeprogrammeerde lesontwerp. In de ontwerpfase hadden de leraren zelf behoefte aan zo'n voorgeprogrammeerde opzet, omdat het allemaal nieuw voor hen was. Maar zeker in de eerste helft van de lessenserie, zo merkten de leraren al doende, waren de leerlingen nu teveel passief aan het luisteren in plaats van zelf aan het doen. Voor sommigen bleek de standaardinstructie moeilijker dan voor andere kinderen. Dat frustreert, je hebt ook succeservaringen nodig, en leraren realiseerden zich steeds meer dat *differentiatie* belangrijk is.

In de *onderbouw* ging de leraren daarom na een aantal weken zogeheten circuitlessen invoegen. Ze zetten tafels klaar met verschillende taken en materialen, waar kinderen tussen kunnen rouleren. In verband met de beschikbare lestijd (een uur) bleken twee tafels per les het beste te voldoen. Bijvoorbeeld bouwen met houten blokken of constructies maken met clix, vormen maken van papier, een stroomkring maken met lego-materiaal, experimenteren met de Bee-Bot of de Makey-makey, ontwerpen tekenen met Doodle3D, stop-motionfilmpjes maken op de iPad. Bij elke tafel kregen de kinderen een startinstructie van de juf. Om deze praktische en inhoudelijke redenen lieten ze al met al de geplande volgorde van de lessen en daarmee ook de eindopdracht los.



In de *bovenbouw* bleken er grote verschillen te zijn in hoe snel kinderen hun opdrachten afkregen. Een flink aantal leerlingen was bijvoorbeeld in de tweede helft van de lessenserie nog bezig om het digitaal tekenen van een sleutelhanger (de eerste opdracht) onder de knie te krijgen, terwijl anderen intussen al met de ingewikkelder opdrachten voor deuren, ramen of andere attributen bezig waren. Sommige groepjes begonnen eerder en andere later aan het maken van huizen uit dozen, wat er mede van afhing of ze hun onderdelen al geprint konden krijgen. Intussen merkten de leraren ook dat een aantal aangereikte handleidingen en digitale instructieprogramma's minder geschikt waren voor hun leeftijdsgroepen. Een lerares heeft de handleiding voor het sleutelhanger-tekenen herschreven. Een andere leraar introduceerde een ander digitaal tekenprogramma dat hij geschikter vond (123D Design), en gaf leerlingen de keus om met het ene of het andere programma te werken.

In *beide bouwen* werd er dus in groepjes of individueel gewerkt aan verschillende opdrachten of waren leerlingen in verschillende fasen van die opdracht bezig. Dit lost een aantal klassenmanagementproblemen op want iedereen is aan het werk en in passend tempo. Het vraagt van de leraren, roulerend tussen de groepjes, wel de vaardigheid aandacht te spreiden en te kunnen differentiëren.

Bij een groepsgrootte van circa twintig leerlingen in de onderbouw tot soms wel dertig in de bovenbouw, was wel voorzien dat hier geregeld *extra begeleiding* bij gewenst zou zijn. De FabLab-instructeurs konden echter alleen periodiek komen, en waren er vooral voor de technische vragen. Soms wisten de leraren bij lessen *ouders of andere vrijwilligers* te regelen die hielpen bij het begeleiden van groepjes.

De inrichting van de *klassikale momenten* per les – inleidend, afsluitend, tussendoor – werd ook complexer, naarmate de leraar te maken kreeg met variatie in waar de leerlingen mee bezig zijn of aan toe zijn. Klassikale momenten zijn immers van belang om de blik en aandacht te richten op inhouden en vaardigheden die voor iedereen aan de orde zijn, of om samen terug te blikken op wat tot nu toe is geleerd, ontdekt, gemaakt, enzovoort. Elke leraar heeft geprobeerd hiervoor een eigen repertoire te ontwikkelen.

## DEEL III. UITKOMSTEN VAN OBSERVATIES EN INTERVIEWS

Op elk van beide scholen zijn ongeveer acht lessen geobserveerd (vier in elke bouw, per school), verspreid over de loop van de lessenserie. Ook is tegen het eind van de serie uit elke bouw een aantal kinderen geïnterviewd.

Hier volgt een indruk van de observaties, waarin de interviews zijn verwerkt, ingedeeld in globale (expertise)gebieden:

- attitude voor wetenschap & technologie;
- creativiteit, probleem oplossen en kritisch denken;
- programmeren en ICT-geletterdheid;
- rekenen/wiskunde;
- taal, sociale vaardigheden en executieve functies;
- participatie in de samenleving en aansluiting bij de arbeidsmarkt.

# Attitude voor wetenschap & technologie

33

Veel jongeren kiezen niet voor een opleiding of beroep in wetenschap & technologie omdat ze eenvoudig weg onbekend zijn met deze wereld. De basisschool speelt een sleutelrol: als hier het zaadje niet gezaaid wordt, is het vaak te laat. Kinderen beginnen vanaf een leeftijd van een jaar of tien mogelijkheden uit te sluiten. *Dragen deze lessen over 3D-printen (bovenbouw) en bredere techniekoriëntatie (onderbouw) bij aan de ontwikkeling van een positieve attitude voor wetenschap & technologie? Geeft het de kinderen oog voor de werking en impact van techniek in het leven om hen heen?*

Attitudes hebben cognitieve aspecten ('ik vind het interessant'; 'ik vind het belangrijk') en affectieve aspecten ('ik vind het leuk'; 'het geeft me een goed gevoel'); en ze beïnvloeden gedrag ('ik wil er wat mee doen'). Een attitude is een relatief duurzame eigenschap en laat zich niet zomaar 'aan of uit zetten' door enkele ervaringen in bepaalde lessen. Maar van een lessenserie die bijna een half jaar duurt, mogen we wel verwachten dat die een bijdrage levert aan de ontwikkeling.

Hieronder beschrijven we, *per bouw, onze observaties* omtrent het plezier, de interesse en het oog dat kinderen kregen voor techniek of technologie in bredere zin. *Daaraan voorafgaand* onze observatie over de vrijwel alomtegenwoordige fascinatie voor het 3D-printen. Deze fascinatie was



Foto: Carla Sijmons

niet het ultieme doel van de lessenserie, maar hierdoor lijken de meeste kinderen in elk geval het inzicht gekregen te hebben dat 3D-printen een spannende manier is om nieuwe dingen te maken.

### FASCINATIE VOOR 3D-PRINTEN

De 3D-printer blijkt voor zo ongeveer alle leerlingen in alle groepen een grote aantrekkingskracht te hebben. Ze vinden het heel bijzonder om zo'n ding in de klas te hebben, en ze zijn enorm trots op hun juf om meester. Ouders vallen bij wijze van spreken van hun stoel als ze uit de mond van hun kind horen: 'Mijn juf heeft een 3D-printer gebouwd en daar gaan wij mee werken!' Ze vinden het fascinerend om te kijken hoe die printer laagje op laagje legt en zo langzaam een voorwerp laat ontstaan. En ze hebben goed opgepiekt wat de leraren hen vertelden over het bijzondere van dit apparaat: dat je er iets unieks mee kan maken, iets dat je zelf hebt bedacht. Ze begrijpen ook dat je dat dan wel eerst via een digitale opdracht in de computer moet zien te krijgen.

De fascinatie voor de 3D-printer blijft van het begin tot het eind van de lessenserie bestaan. Bij de onderbouwers, hoewel ze pas aan het eind van de serie een eigen print konden krijgen, en dan nog lang niet allemaal. Bij de bovenbouwers, hoewel velen grote moeite hadden om het bijbehorende tekenprogramma onder de knie te krijgen. Op een van de scholen vroegen de bovenbouwleraren bij de afsluitingspresentatie onder andere, of kinderen thuis ook iets met de 3D-techniek deden. Een derde van de kinderen bleek het tekenen aan hun ouders geleerd te hebben. Maar tijdens de interviews kregen we ook vaak te horen: 'Thuis kan ik er niet mee doorgaan, want daar is geen computer, of geen iPad, geen internet'. En er was er één die zei: 'Als het kon had ik trouwens liever een Playstation – en uitslapen!'

### ONDERBOUW

De 3D-printer was in de onderbouw onderdeel van de introductieles. Vervolgens gingen de kinderen met andere dingen aan de slag. In deze lessen toonden de kinderen ook grote interesse in andere apparaten dan de 3D-printer, en in het werken met verschillende materialen.

Dat ging niet altijd zonder hobbels. We observeerden een les die duidelijk leed onder een langdurige appèl op klassikale aandacht. Kinderen willen maar wat graag overal aanzitten; belangrijk is dus een balans tussen de mogelijkheden om in actie te komen, en het geduld voor de nodige uitleg en instructie. Bij deze les – op het snijvlak van *elektronica en programmeren* – was het de bedoeling dat kinderen zelf een 'trilrobotje' in elkaar zetten (uit een afgekorte tandenborstel, een batterijtje en stroomdraadjes), en daardoor beter gaan begrijpen hoe het werkt.

Voor de kinderen is dit weliswaar uitdagend maar teveel gevraagd: de montage lukt eigenlijk alleen als de juf, of een hulpouder met voldoende technisch inzicht en pedagogische bekwaamheid er direct bij zit en helpt. Voor de juf en de hulpouders is er een handleiding, die de meeste hulpouders echter slechts met moeite doorgrondde. Zij gingen zelf alle robotjes in elkaar zetten omdat het anders niet afkwam. Alleen de juf en één hulp-vader gaven de kinderen aanwijzingen en uitleg: dit dient hiervoor, let op, wat er gebeurt er als je dit op dat aansluit? Dan keek en luisterde het kindergroepje aandachtig en kon het (soms) zelf gaan proberen. De andere kinderen zaten vooral geduldig te wachten tot hun robotje af was, vonden het geinig dat het dingetje zich over tafel kan voortbewegen, en minstens even interessant om te voelen hoe die trillende haartjes kietelen aan je wang: fysiek voelen is belangrijk. Omdat het in elkaar zetten lang duurde, was er nauwelijks tijd om, zoals was gepland, verder te experimenteren met de trilrobotjes. En ze konden niet mee naar huis, ze moesten weer door de juf gedemonteerd om de materialen in een volgende les te hergebruiken.

### Uit interviews met kinderen

Twee kinderen herinnerden zich de hele serie technieklessen als: 'Heel erg leuk', en 3D-printen het leukst van alles, ook al hadden ze geen van beiden een print van eigen ontwerp gekregen. Nuño herinnerde zich nog perfect de eerste kennismakingsles met de 3D-printer. Hij smachtte ernaar om 'als aandenken aan mijn schooltijd' het dingetje te krijgen dat juf toen liet zien als voorbeeld van een 3D-print product: een onaanzienlijk grijs golfje. Maar hij zier er van alles in – een letter M of W, een roltrap, maar ook een kikker of kangoeroe want: 'Kijk, je kunt het laten springen!'

Danea meldt dat 3D-printen 'met alles te maken heeft', maar vond ook het werken met allerlei verschillende materialen heel erg leuk. Achteraf gezien vond ze niets vervelend, maar soms wel heel moeilijk zoals het oefenen voor Doodle3D-tekenen. Zij en Nuño doen me voor 'huis met een kruis tekenen in één lijn', wat ze nog steeds niet echt lukt. Wat ze verder geleerd hebben? Over stroom, en dat je van een tandenborstel een trilrobotje kan maken. En filmpjes maken met Stop Motion! Ze doen het meteen voor: Danea maakt fotootjes met haar iPad terwijl Nuño zijn geliefde 3D-printgolfje in heel kleine stapjes verplaatst. Hierbij associëren ze meteen ook met wat ze geleerd hebben over voorwerpen bekijken van dichtbij (lijkt groot) en veraf (lijkt klein), en hoe je je handen 'ruitvorming' voor je oog kunt houden als zoeker.



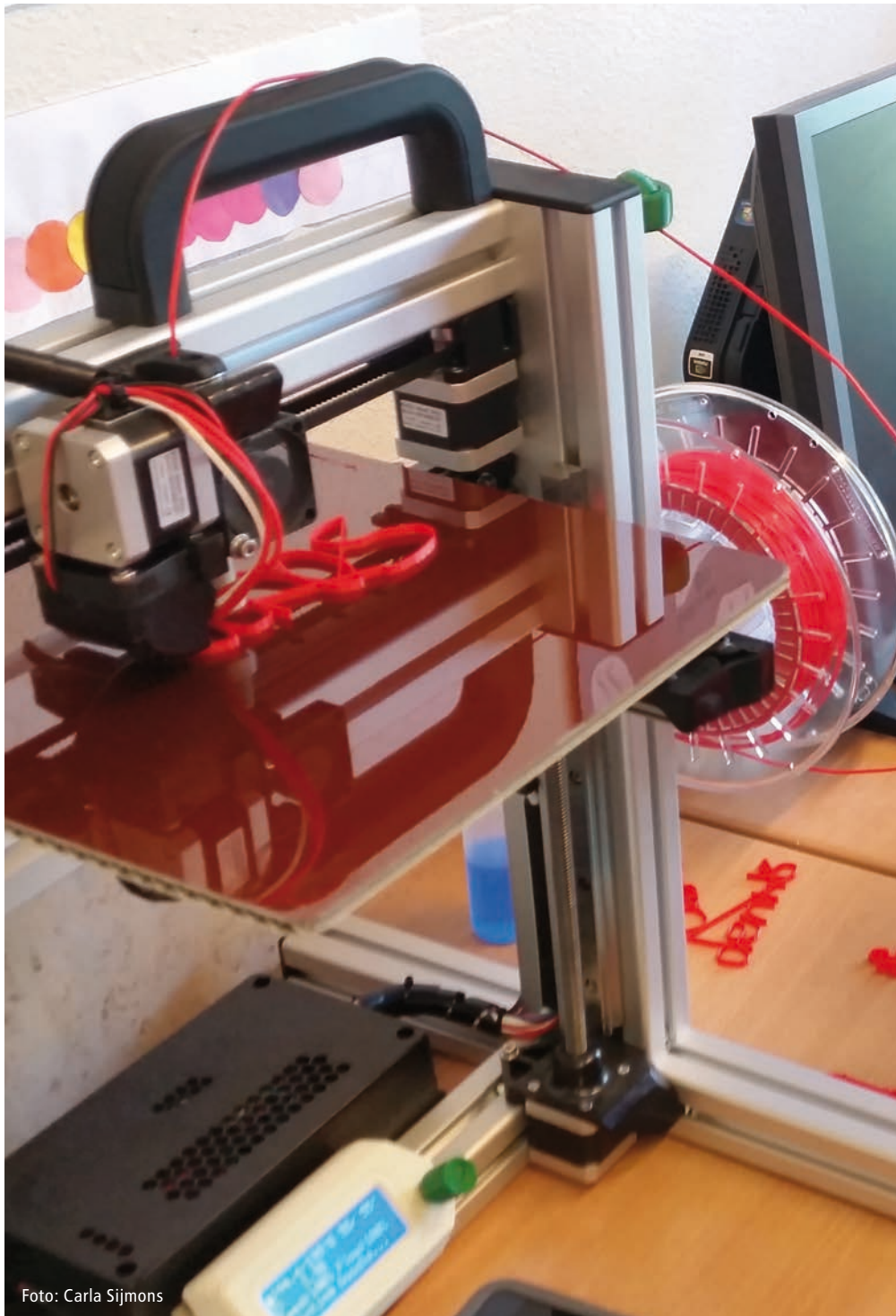


Foto: Carla Sijmons

In een les die in de vorm van een circuit georganiseerd was gingen de kinderen energiek *aan de slag met allerlei verschillende materialen*. Het was een 'herhalingsles' om extra te oefenen met dingen die ze al eerder gedaan hadden. Zoals een stroomkring bouwen, en dan kijken of het lichtje-eraan echt gaat branden. Bij de Makey Makey vonden kinderen het leuk en spannend om te experimenteren met het apparaatje: 'als je hierop drukt, gaat het daar piepen' – en dan dingen zoeken in de klas om uit te vinden of die wel of geen gepiep opleveren. Aan een andere tafel, bij het vouwen van 3D-vormen uit papier, ging het er zwijgzaam doch geconcentreerd aan toe. De juf, in haar eentje roulerend tussen de groepjes, bracht consequent de concepten onder woorden die kinderen bewust of onbewust toepasten: met vragen, uitleg en complimenteren. Daar gingen de meeste kinderen alert, oplettend, op in. Het was moeilijk te achterhalen of kinderen zonder haar begeleiding, al spelende, ook inzicht kregen in de werking der dingen. Als iets niet lukte gaven sommigen het gewoon op, anderen leken op het oog in het wilde weg te blijven prutsen. Soms deed een ander dan, al dan niet op verzoek, voor 'hoe het moet'. Een enkeling zocht gericht uit waarom bijvoorbeeld het lampje aan zijn stroomkring niet ging branden: zijn de legoblokjes in de kring wel goed aangedrukt? Maar toch – bij de klassikale inleiding en afsluiting leken alle kinderen zich als vanzelfsprekend vertrouwd te voelen met begrippen als elektriciteit, stroom, stroomkring, geleiding; en via vingers in de lucht kwamen er voorbeelden uit het dagelijks leven.

39

In de latere circuitles (in een andere groep) sloot de opdracht aan bij het schoolthema 'robots': *robots maken van een zelfgekozen materiaal, met inzet van wat je tot nu toe hebt geleerd*. Ook hier waren de kinderen de hele tijd geanimeerd aan het werk: met klei, blokken, clix, lego, en Doodle3D-tekenen op de iPad om een 3D-print te krijgen.

De robot als te programmeren apparaat was hierbij niet aan de orde; en ook overigens bleek de impact van het robot-thema gering. Bij elk materiaal was het resultaat een min of meer standaard poppetje met lijf, hoofd, armen en benen; en op onze vraag aan kinderen wat hun 'robot' nu speciaal zou moeten kunnen, bleek bijna niemand hier een idee over te hebben. Behalve twee jongens over hun legoproduct: 'Het is een politierobot, die kan mensen beschermen en boeven vangen'. Daarvoor had hij aan elke arm een legoblokje als schiettuig, en een zwart blokje als pet op zijn kop. De constructie kostte bij het ene materiaal meer hoofdbrekens kostte dan bij het andere. Twee clix-werkers slaagden er ondanks noest proberen niet in om de ledematen aan het lijf te krijgen, en gingen tot slot nog snel over op klei. De juf had haar handen vol aan het begeleiden van het Doodle3D-tekenen en bijbehorend printen. Kinderen gaven elkaar ook aanwijzingen voor het tekenen, en oefenden steeds op de hoofdvaardigheid 'je moet het in één lijn tekenen en je mag je vinger er niet bij loslaten'. Ze konden ook laten zien wat er anders misgaat, en dat je via een icoontje kunt zien 'wat de printer ziet': je tekening in 3D-perspectief.

De printer ging tijdens de les kapot zodat er uiteindelijk maar één kind een niet helemaal gelukke print van zijn ontwerp kon krijgen. Hij vond niet dat het leek op wat hij getekend had. De anderen leken overigens niet merkbaar teleurgesteld, en deden vrolijk mee aan de afsluiting waarbij men producten aan elkaar toonde.

## BOVENBOUW

In de loop der lessen – voor de bovenbouw grotendeels toegespitst op het aanleren van *programmeringsvaardigheden* voor het 3D-printen – zagen we bij de kinderen én hun leraren hoogtepunten van enthousiasme, concentratie en interesse, en even grote worstelingen en frustraties met de vele onverwachte problemen. Tegen het eind: euforie bij iedereen over wat de kinderen gedaan en gemaakt hadden.

Ongeveer halverwege de lessenserie leek de worsteling bij de meeste kinderen de overhand te hebben. Velen ploeterden nog met de beginselen van het tekenprogramma Sketchup, en de frustratie dat ze daarom zelfs hun eerste opdracht (de sleutelhanger) nog niet af hadden. Daarom had hun juf weliswaar intussen een nieuwe, gedetailleerdere handleiding gemaakt, maar die ging pas in volgende lessen echt zijn vruchten afwerpen. Een aantal leerlingen bleef volhardend proberen, anderen gingen iets anders doen op hun iPad. Sommigen deden dat ook omdat ze juist al lang klaar waren terwijl hun printopdrachten in de wachtrij stonden. Of omdat de computer keer op keer vastliep. Aan de dertig kinderen in al hun verschillende fasen konden de leraren dus steeds maar eventjes hulp en uitleg bieden. En, zeiden ze, sommige kinderen liepen achter omdat ze hun opdrachten eerder steeds door anderen lieten doen. Die moesten het nu dus juist zelfstandig leren doen. Toch zeggen veel kinderen desgevraagd dat ze deze lessen 'heeeeel leuk' vinden. Dat heeft zeker ook te maken met het gegeven dat het allemaal anders is dan gebruikelijk.

Een paar weken later bestaan frustraties en geklooi bij een aantal kinderen nog steeds. Maar een flink deel van de kinderen is ondertussen met meer overweging en eigenaarschap aan het werk. Regelmatig zijn de kinderen geconcentreerd aan het werk en weten ze schijnbaar moeiteloos de juiste lijnen op het scherm te toveren. Geïntregeerd zien ze de eerste *producten van hun arbeid verschijnen: echt geprint* door de leraar of FabLabinstructeur. Wie weet scheelt het ook, dat ze steeds meer keuzemogelijkheid hebben: alvast beginnen met huizen maken, of doorwerken aan hun 3D-ontwerpen. Bij dat laatste horen we kinderen elkaar adviezen geven die van inzicht getuigen. Een aantal kan trots al een of meer printproducten laten zien. Maar we horen ze ook uitleggen waarom iets wat ze eerder ontwierpen niet printbaar bleek. Ze blijken hier niet erg teleurgesteld over en zien het als een nuttige leerervaring.



*Klassikale instructiemomenten* sluiten steeds beter aan op wat de kinderen kunnen en wat de faciliteiten toestaan. Zo is er ook meer ruimte om gezamenlijk te reflecteren op wat gedaan en ervaren is, en kunnen ervaringen met 3D-tekenen en printen onder woorden worden gebracht en als leerresultaat benoemd worden.

In een groep benadrukt de leraar hoeveel iedereen hiervoor moet leren, hijzelf ook: niet alleen over het printen maar ook hoe hij hierover beter kan uitleggen. Hoe belangrijk het is om te beseffen dat het eigenlijke printen maar een klein stukje van al het werk is. En dat hij enorm trots is op wat zijn kinderen nu al kunnen: ergens anders doen ze dit in de bovenbouw van het VWO!

In een andere groep verdiepen alle kinderen zich, alweer wat weken later, meteen in de opdracht 'maak je eigen digitaal ontwerp voor een huis'. Dat de juf dit aankondigt als voorbereiding op het maken van de huizen uit dozen, is ze niet opgevallen, zo blijkt aan het eind van de les, als juf tot

### Uit interviews met kinderen

Stuart, Tristen, Feyza, Tip en Dimitri laten om het hardst hun enthousiasme horen over het 3D-printen waarmee je dingen in het echt kunt maken, zoals huizen en levensreddende organen voor zieke mensen. Wat hen stoort is dat ze er niet in veel meer lessen mee bezig mogen zijn. Terwijl het leuke ervan ook is, zeggen ze spontaan, dat je er zoveel beter van leert rekenen dan in gewone rekenlessen. En later is het vast handig voor van alles, maar zegt er een (waarop de anderen knikken van o ja, dat is ook zo): 'Later hebben ze vast nog veel meer dingen uitgevonden die misschien nog handiger zijn.'

Een meisje met een stoornis in het autistisch spectrum vertelt eerst omstandig hoe vervelend ze alles vindt - maar vertelt dit opmerkelijk geanimeerd. Ze wil geen huis maken omdat ze geen doos wil halen bij de supermarkt, en een sleutelhanger maken lukte haar ook niet ('terwijl iedereen er een heeft'). Wat ze wel leuk vond was een opdracht om te leren programmeren: in een gekke taal, elkaar opdrachten geven om te lopen en bijna botsingen krijgen. Zo geef je de computer ook opdrachten door op knopjes te drukken. Dat kan ze dan weer niet, maar (zegt ze nu vrolijk) dat geeft ook niet, want ze heeft als alternatief bedacht om een hartje maken, met een lijmspuit. Daar weet ze alles van: die bestond al voor de 3D-printer, er zit ook plastic in dat verwarmd wordt en na het spuiten weer hard wordt. En veel goedkoper: voor €2,50 bij de Aldi te krijgen. En ze verklaart tot slot dat het zonde is dat zoveel kinderen met het 3D-printen gewoon een ontwerp van een ander overnemen. Ze vindt dat afpakken, een soort stelen: het gaat er toch juist om dat je zelf iets maakt?

hun verbazing met een stel dozen komt aanzetten voor de volgende keer. Ze krijgen van de juf suggesties mee om, toepassend wat ze al geleerd hebben, digitaal te zoeken naar voorbeelden en ontwerp mogelijkheden; en dan eerst in groepjes samen een ontwerpplan te maken. Elk groepje doet dat op een andere manier, met inzet van heel verschillende verworven inzichten, en daarbij weer nieuwe inzichten verwervend: een proces waar allen zich volstrekt van bewust zijn, zo valt te beluisteren uit de vele overleggen die gaande zijn. Eén meisjesgroepje begint met opzet bescheiden om te kijken hoeveel complexer het allengs zou blijken te kunnen; één jongensgroep doet het omgekeerde; een ander groepje zoekt en vindt direct een digitale handleiding 'snel huizen ontwerpen', of gaat juist aan de slag met ruitjespapier of schaalmetingen. Ook groepjes jongens die tijdelijk vallen voor de verleiding van heel andere spannende dingen die ze op internet tegenkomen, gaan daarna toch weer vol overgave verder met hun huisontwerp. Iedereen krijgt het af. Wat ons wel opvalt is dat de eindresultaten van al die verschillende processen opmerkelijk identiek zijn.

### KORTOM

Al met al hebben we sterk de indruk dat deze lessenserie positief heeft bijgedragen aan de attitude van de leerlingen voor wetenschap & techniek. Ze zullen deze lessen niet snel vergeten, is onze verwachting. Het was moeilijk en er ging veel mis, maar het was ook uitdagend. En, misschien wel het belangrijkste: de werkwijze was anders. Veel minder stil zitten en luisteren, geen standaard opdrachten waarvan je weet dat de leraar het antwoord toch wel kent.

Positief vanuit het perspectief van de kinderen is de onvoorspelbaarheid, de uitdaging, de onbekende verschijnselen die om aandacht en actie vragen. Zo is school niet altijd! Maar er is ook sprake van conflicterende emoties: frustratie, teleurstelling, impulsen moeten onderdrukken. Om dit allemaal te reguleren en er een ontwikkelingslijn in te zien, vraagt heel wat reflectie-in-actie van een leraar.

### Indruk op hoog niveau

Een indrukwekkend moment was het werkbezoek van de voorzitter van de VO-raad, Paul Rosenmöller en de directie van de VO-school Helen Parkhurst samen met ASG-bestuurders. Zij keken met open monden naar wat de kinderen op de computer met het 3D-tekenprogramma konden doen en luisterden naar de uitleg van Stuart, een jongen die zich in deze lessen ontpopte als een kei van een leerling, terwijl hij eerder op school niet bij de hoogvliegers hoorde.

# Creativiteit, probleem oplossen en *kritisch* denken

We zagen dus dat veel kinderen met enthousiasme ingaan op opdrachten om iets zelf te maken. En zich speciaal verlekkerd voelen door de techniek van het 3D-printen waarmee je iets échts, zichtbaar en voelbaar, kunt produceren – ondanks de lastig te bemeesteren vaardigheden. Maar hoe zit het met de bevordering van creativiteit? En met de vaardigheid om problemen op te lossen? Oftewel: hoe zit het met kerndoel 45: 'Leerlingen leren oplossingen voor technische problemen ontwerpen, uitvoeren en evalueren'?

'Techniek' in de basisschool gaat niet alleen om uitvoeren, maken. Het gaat vooral om het inzicht hoe een ontwerp kan voldoen aan een programma van eisen: waar moet het voor dienen, welk probleem moet het oplossen of welke wensen inlossen. Natuurlijk moet je het maken, want anders kun je niet evalueren of het probleem is opgelost. Maar het gaat om de balans: zonder ontwerpen en evalueren hangt de vaardigheid om iets te maken in de lucht.

Dat is in deze pilot nog wel een probleem gebleven. Voor het ontplooiën van creativiteit bieden de lessen weinig gelegenheid. In alle lesontwerpen (ook in de aangepaste vormen) stond geprogrammeerde instructie- en oefentijd voorop. Leerlingen werden meestal aan de gang gezet met klassikale instructie, gevolgd door van tevoren bedachte opdrachten, met inzet van handleidingen die hen leiden naar voorgeprogrammeerde mogelijkheden. Tijd voor creatieve vragen of experimenten was pas als eventueel





vervolg ingepland – en schoot er in de praktijk dan ook voortdurend bij in, omdat het werken met materialen of programma's meer problemen opleverde dan voorzien (zoals hiervoor al ruimschoots is beschreven). In het verlengde hiervan wordt 'het oplossen van problemen' haast vanzelf beperkt tot problemen die voorgeschoteld werden door de leraar, het programma, of het materiaal. In die lescontext helpt het ook niet dat de leraren hun leerlingen bij herhaling bezwoeren (want dat deden ze) om vooral zelf te experimenteren met materialen, of eigen ontwerpen te bedenken.

## ONDERBOUW

In de *circuitlessen* konden de kinderen wel allerlei materialen spelend verkennen. Met constructiematerialen als lego, blokken of clix kunnen ze makkelijker hun eigen gang gaan; maar er zaten toch meestal gerichte opdrachten bij. Bij de elektronica-materialen bijvoorbeeld: 'bij welke materialen gaat de Makey Makey piepen?' of 'bouw een stroomkring'. Het antwoord op de piepvraag vonden ze meestal vrij snel, en daarna werd het voornamelijk een vrolijke speurtocht door de klas op zoek naar dingen. Eén jongen toonde zich een ware creatieve onderzoeker en probleemoplosser: hij wilde een stroomkring naar eigen ontwerp maken, en 'mislukkingen' daarbij interpreteerde hij als interessante informatie voor verder experimenteren. De kinderen om hem heen konden hem niet volgen, moesten ook aan de beurt kunnen komen, en toen deed hij snel 'dan maar de oplossing uit de handleiding'. Deze creatieveling leek een uitzondering – of kwam dat omdat hij zijn denkproces ook onder woorden kon brengen, en deden andere kinderen in hun hoofd iets vergelijkbaars? Zo diep konden we in deze pilot echter niet graven.

Tegen het eind van de lessenserie was er niet merkbaar meer creativiteit ontstaan, bijvoorbeeld afgaande op de les 'robots maken van materialen naar keuze': waar bijna iedereen slechts doorsneepoppetjes maakte zonder idee over wat die moesten kunnen. De juf stelde hier ook geen denkvragen over, want had het vooral druk met problemen die Doodle3D en de printer opleverden.

Evaluerend vroegen de leraren-onderbouw zich af waarom de kinderen zo weinig creativiteit toonden: zou het er ook aan kunnen liggen dat dit verder in het onderwijs op school weinig gestimuleerd wordt? Ze waren blij verrast dat wij, in een leerlinginterview na de les, een jongetje volop hoorden fantaseren bij een onopvallend stukje printsel. Zulk fantaseren is ongetwijfeld gebruikelijk in instructielessen, maar past wel bij creatief ontwerpen.

## BOVENBOUW

In de bovenbouw kregen kinderen op den duur meer mogelijkheden om hun creativiteit in te zetten, zij het ook hier in het kader van min of meer voorgeschreven opdrachten. Als ze zich de benodigde vaardigheden hadden eigengemaakt, konden ze variaties bedenken op de voorgeschreven raamkozijnen, deuren en andere attributen; en mochten ze een huis naar eigen ontwerp maken.

Bij de verplichte ramen en deuren hoorden we kinderen fantaseren over versieringen, maar vaak bleken die te lastig om digitaal te tekenen, of niet printbaar. Als ze aan andere attributen toe kwamen kozen ze meestal de voorbeelden die de leraren aanreikten: die ontwerpprogramma's circuleerden al, dan had je het snelste iets gemaakt, en als je buurvrouw een balkon heeft wil je er zelf ook een. Maar tenslotte werkten sommigen het ontwerp voor een glijbaan om een in spectaculaire skatebaan, of kwamen met een partytent tevoorschijn.

Bij het huizen-maken van kartonnen dozen was de opdracht dubbel. De creatieve *ontwerpopdracht* was: bedenk je eigen huis en maak dat (uit de doos). Plus een technische constructieopdracht: zorg dat je de geprinte attributen er goed in monteert (meten, snijden, plakken). De aandacht ging dan vooral op aan de technische constructie: zorgen dat het past en blijft zitten. Slechts een enkel meidengroepje verzong een speciaal soort gebouw: een filmstudio met van alles erop en eraan: ruimtes om films op te nemen ('hier met een green screen'), kleding, slaap- en opslagruimte. Met geprinte extra's als feesttent, skatebaan, en een hondenhek 'dat hier zo aan de buitenkant bevestigd moet'. In de klas waar groepjes hun huizen-brainstorm moesten combineren met een digitaal ontwerp, zag je dat grootse fantasieën en eigenwijze experimenten daardoor moesten sneuvelen. Net als iedereen kregen zij tenslotte een doorsneehuis in L-vorm. Degenen die met opzet juist kozen voor de makkelijkste ontwerpvorm, hadden meer tijd om daar variaties op uit te proberen. Een jongensgroep koos uit een stalenscala gevonden op internet een bepaald soort dak- en muurbedekking, en kreeg tot hun enorme trots een schaduw om het huis en een schoorsteen erop. Een meisjesgroep probeerde de leegte boven de L-poten te overbruggen met een dakterras, al kregen ze de steunpilaren er ontwerptechnisch niet goed in. De jongensgroep had ook vergeefs een dakterras geprobeerd, maar verkreeg een next-best alternatief door de dakranden te verlengen: afdakjes! Bij haar prijzende klassikale afsluiting memoreerde de juf, hoeveel denkwerk het dus kost om iets te bouwen, en hoe goed het werkt om eigen creativiteit te combineren met het volgen van instructie en ideeën van anderen.



Foto: Carla Sijmons

Maar, zei diezelfde lerares ons: 'Het is wel lastig dat de kinderen kennelijk niet eerst 'gewoon' met de hand hebben leren tekenen, op papier, in perspectief. Dat geeft meer mogelijkheden om direct te tekenen wat je als idee in je hoofd hebt.' Ook merkte ze dat veel leerlingen, toen ze geweldig digitaal hadden leren tekenen, grote moeite hadden om dat terug te vertalen naar echte vormen en vormgeving. En ze zochten ook vooral op internet naar afbeeldingen van huizen en daken, maar keken niet om zich heen naar die dingen in het echt. Haar directeur zei hierover: 'Ga dan nu vooral ook met je groep naar buiten, of naar een bouwmarkt, waar je alles in het echt kunt zien.'

Achter de lesopzet voor de bovenbouw zit de *keuze om kinderen eerst te trainen in digitale technische vaardigheden*, die ze nodig hebben om met het programma SketchUp te tekenen. Met dit programma kun je unieke voorwerpen in 3D ontwerpen, voorwerpen die nodig zijn om een technisch probleem op te lossen. Maar je kunt het ook gebruiken om iets na te maken wat een ander heeft bedacht; dan beperk je je tot het uitvoeren daarvan, zonder een probleemanalyse plus oplossing-ervoor te hoeven bedenken. SketchUp werd hier voornamelijk voor die reproducerende uitvoering gebruikt, ten behoeve van de vaardigheidstraining die de kinderen meestal het grootste deel van hun tijd en aandacht kostte.

Nu is het in principe niet verkeerd om eerst veel ervaring op te doen met de mogelijkheden van een bepaald programma; dat maakt je wendbaar in het oplossen van de problemen die je later tegen gaat komen. In de wereld van het professionele ontwerpen is creativiteit belangrijk, maar, zo wordt voortdurend gesteld, je moet wel weten wat er allemaal al bestaat en kan: de beste ontwerpers hebben veel voorkennis.

Een voorbeeld van een belangrijke inzicht dat de leerlingen doorkregen over 3D-ontwerpen is: 'het niet mag zweven'. Oftewel: de printer moet de draad ergens op kunnen stapelen, het kan niet 'in de lucht'. Dingen die naar boven toe groter worden, of uitsteeksel boven de grond hebben, kunnen dus niet. Ook leren ze hoe je ergens een gat in maakt, door een kleiner blokje door een groter te drukken. Zo ontstaan allengs wel degelijk een aantal inzichten, zij het met grote onderlinge tempoverschillen.

Het grote probleem met deze weg is dat het lang duurt om competent en wendbaar te worden, en dat er weinig transfer is van die ene (oefen)context naar andere oefen- en toepassingscontexten. Met andere woorden: kinderen kunnen best goed worden in 3D-tekenen, in het werken met het programma; maar of ze ook vaardiger en creatief worden in het oplossen van problemen, dat blijft grotendeels buiten beeld.

## EN KRITISCH DENKEN?

Kritisch denken impliceert dat je de zaak van een andere kant kunt bekijken en kunt beoordelen – daarvoor heb je criteria nodig. Wat in de lessen uitgebreid aan bod komt is het criterium of een opdracht gedaan is zoals bedoeld. Wanneer je een werkblad met instructies volgt, dan kunnen kinderen vaak goed inschatten of dit zo is. Maar dit is geen diepe vorm van kritisch denken. Ze vragen zich niet af welk probleem ze hebben opgelost, of hun tekening of ontwerp voldoet aan het programma van eisen dat voortkwam uit de probleemanalyse, maar of het voldoet aan de opdracht. Dit leidt tot vragen als: ‘Wat moet ik precies doen?’ en: ‘Heb ik het zo goed gedaan?’, die we vaak hoorden stellen. Dan weet je eigenlijk al wel dat de kinderen niet zelf in de regie zijn.

Kritisch denken komt er pas bij, als kinderen zich vragen gaan stellen bij dingen, waarom is dit eigenlijk zo, kan het ook anders, waarom zou je dat al of niet willen uitproberen, enzovoort. In de bovenbouwlessen biedt de opdracht om zelf een huis en daarmee samen een wijk te ontwerpen hier wel ruimte en aanknopingspunten voor. Waar moet een wijk, een huis precies aan voldoen? Hier liggen in theorie vele mogelijkheden. In deze pilot zagen we vooral aandacht voor de inpassing op schaal van deuren en kozijnen die met de 3D-printer gemaakt konden worden. Hier werd kritisch over nagedacht: ‘Past het wel?’, en kon je zien dat kinderen hier wel zelf greep op hadden. Hoe de huizen er verder uit moesten zien kreeg geen kritische aandacht, waardoor ook de creativiteit van de kinderen niet benut werd voor het oplossen van problemen maar voor tamelijk vrijblijvend vormgeven.

## KORTOM

Deze pilot laat zien dat complexe techniek, zoals 3D-printen en 3D-tekenen, niet gemakkelijk boven het stadium van demonstraties uit kan komen. Om leerlingen zelf op creatieve wijze oplossingen voor echte technische problemen te laten verzinnen, ontwerpen, uitvoeren en evalueren, dat vraagt bij deze techniek veel meer tijd dan in zulke lessen beschikbaar is. Dat wordt ‘opgelost’ door kookboekachtige instructies die de kinderen wel in staat stellen opdrachtjes te doen of mooie artefacten te maken, maar waardoor in feite het kind met het badwater wordt weggegooid: creativiteit en probleemoplossend denken zijn hiervoor niet nodig, en de technische vaardigheid (om te tekenen in 3D) die zich zo ontwikkelt is niet het hoofddoel van de basisschool.

# Programmeren en ICT-geletterdheid

Programmeren is de (vaak onzichtbare) basis is voor de aansturing van apparaten. Of het nu 3D-printers zijn of zorgrobots: een programma zorgt voor de actie. Een actie die wordt aangestuurd door een computer, die weer wordt aangestuurd door een mens met de daarvoor benodigde ICT-geletterdheid.

Leren programmeren is niet makkelijk. Het is te vergelijken met een taal leren. Iedereen kan op vakantie een paar woordjes of standaarduitdrukkingen leren die behulpzaam zijn om boodschappen te doen, maar een goed contract afsluiten met een handelspartner vraagt om meer vaardigheid. Dan blijkt taalgebruik veel meer en ook andere expertise te behelzen. Zo is het ook met programmeren, en de daarvoor benodigde ICT-geletterdheid. Het is een prima idee om daar op de basisschool al kennis mee te maken. In hoeverre gebeurde dat in deze pilot?

## ONDERBOUW

Een deel van de lessen was er speciaal op gericht om jonge kinderen al het besef te geven van *programmeren als: een opdracht in heel kleine stapjes verdelen*. Bijvoorbeeld de les die een geïnterviewd kind als eerste voorbeeld noemde van wat ze ‘heel erg leuk’ vond: elkaar in codetaal opdrachten geven om allerlei kanten op te lopen. Of een lesonderdeel over animatiefilmpjes, die je

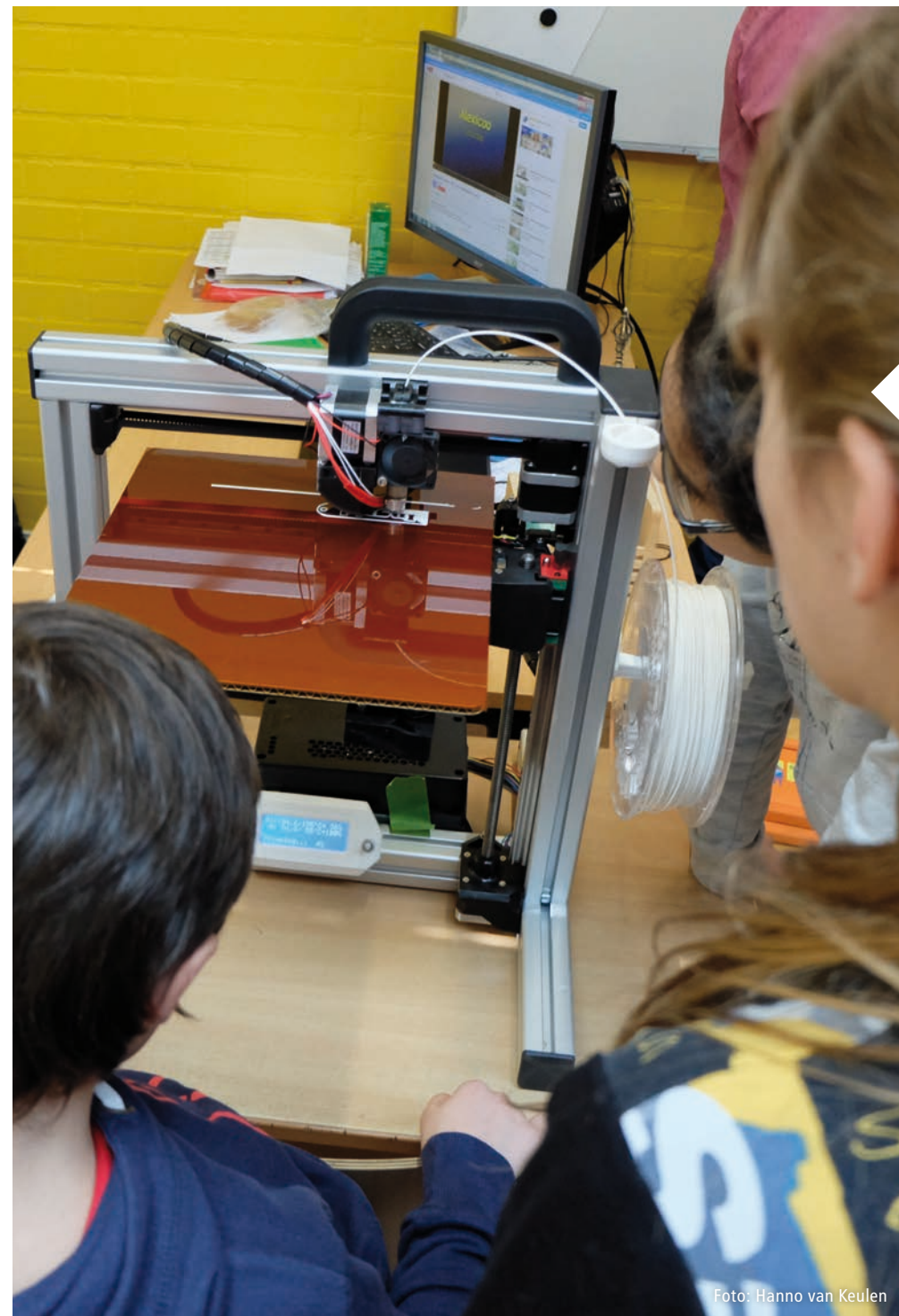
zelf op je iPad kan maken met de app 'Stop Motion' – zoals twee andere geïnterviewde kinderen ons spontaan enthousiast gingen voordoen.

Die lessen maakten we niet mee, maar wel een eerdere waarin de opdracht was om een ander te instrueren een boterham te smeren en met hagelslag te bestrooien. In een klassikaal introductiegesprek, over het begrip programmeren, leggen sommige kinderen zelf al het verband met de 3D-printer waar ze in een eerdere les kennis mee maakten. De juf vertelt dat je voor het printen, via de computer, een opdracht moet geven die in kleine stapjes is onderverdeeld. Dat is lastig, je maakt er gauw fouten bij die je er weer moet uithalen: dat heet 'debuggen'. Dat gaan ze oefenen via de boterhamopdracht, waarbij iemand voor robot moet spelen die de opdrachten zo letterlijk mogelijk uitvoert. De juf is eerst zelf robot, daarna nog twee kinderen. Allengs gaan ze het doorkrijgen, steeds meer specificeren in de opdrachten, en corrigerend debuggen. Het is minstens even lastig voor het robot-spielende kind, om echt niets te doen zonder bevel. Vaak lukt dat niet, de juf grijpt dat soms aan om te benadrukken hoe ontzettend je moet opletten 'want alles zit al wel in je hoofd'. Deze opdracht vraagt wel het uiterste van ieders concentratie, in klassikaal verband.

Maar: in volgende lessen krijgen de kinderen te maken met het tekenprogramma Doodle3D, waarmee ze 3D-printopdrachten kunnen geven. Daar hebben ze uit hun oogpunt gezien heel andere vaardigheden voor nodig dan 'iets in stapjes onderverdelen'. Zoals twee leerlingen zeiden: je moet juist iets in één lijn kunnen tekenen en zonder je vinger los te laten. Dat was het allermoeilijkste om te leren, zeiden ze vol enthousiasme. Het derde hen kennelijk niet dat ze deze kunst nog niet echt onder de knie hadden. Ze waren er trots op dat ze geleerd hadden hoe moeilijk dat was - zodat zij ons konden laten zien tot hoever ze het ermee kwamen - en waar het dan misging. Om dan gretig te vragen: 'Kunt u dat dan wel, zo een huis met een kruis tekenen?'

## BOVENBOUW

Het doel van de bovenbouwlessen was vooral om kinderen de vaardigheid van het 3D-tekenen bij te brengen. Aandacht voor het achterliggende programmeren was hierbij niet direct aan de orde, maar wel aandacht voor het werken met de computer. De leerlingen waren in de eerste helft van de lessen nog vooral aan het leren hoe ze met een computer moeten omgaan, als voorwaarde om er mee te kunnen tekenen. Hoe moet ik een programma starten, zoeken in de menubalk, dingen opslaan en een duidelijke naam geven? Het aanleren van deze algemene ICT-vaardigheden, inclusief het oplossen van computerproblemen leek te overheersen. Leraren merkten dat veel kinderen er geen raad mee weten als er iets misgaat: 'Hij doet het niet, dus dag dan!' Of ze denken dat het hun eigen



fout is als iets misgaat, in plaats van een technisch falen dat ze kunnen proberen op te lossen. Het basale advies: 'Als het programma vastloopt, zet de computer dan uit en start opnieuw' dringt pas na herhaling door. Eén leraar drukte zijn leerlingen ook geregeld op het hart om te bedenken of, en waarvoor, ze liever op de computer of op hun iPad werken. Leerling Stuart vertelt ons dat hij de computer preferereert omdat hij dan vrijer kan bewegen met zijn handen, en hij gaat minder gauw kapot. En dat hij ook liever op papier werkt dan op een iPad, 'want papier gaat nooit leeg'.

Zoals we hiervoor al uitgebreid beschreven: daarnaast en daarna was het vooral een kwestie van noest oefenen met het 3D-tekenprogramma SketchUp. Deze beproeving werd verlicht door toedoen van twee leraren. Eén die er zelf een aangepaste handleiding voor schreef. En één die als alternatief de app '123D Design' vond, en dat meteen in een didactisch vertaalde: 'Als je met het ene programma niet uit de voeten kunt, zoek dan tot je iets handigers vindt!'

### KORTOM

Om te kunnen programmeren, moet je kunnen werken met een computer, de ICT-principes daarachter, en de mogelijkheden die de computer en het ICT-netwerk je biedt. Dat is duidelijk. In deze pilot zijn een paar voorwaardelijke stappen gezet. De jonge kinderen hebben spelenderwijs een en ander geleerd over het concept programmeren, maar afgezien daarvan is de 'black box' van het programmeren voor de leerlingen niet opengegaan. Wel zijn de zich er van bewust geworden dat apparatuur zoals een 3D-printer per computerfiles aangestuurd moet worden, en dat dit mensenwerk is. Ze hebben daarmee intensief geworsteld, en de bijkomende frustraties lijken velen van hen allengs te hebben omgezet in trots: dat ze met zoiets lastigs in de weer kunnen zijn, en in de bovenbouw dat hun verworven tekenkunst ten slotte toch heuse 3D-printproducten opleverde. Het zal hen wellicht de ogen openen voor de mogelijkheden van bijvoorbeeld opleidingen in vormgeving.

# Rekenen/wiskunde

Het belang van deze lessenserie voor rekenen/wiskunde was in de bovenbouw zonneklaar voor zowel de leraren als de door ons geïnterviewde leerlingen. De onderbouwleraren zeiden dat rekenen daar nog niet echt aan de orde was, maar we merkten daar toch wel wat voorbeelden van op.

### ONDERBOUW

In de circuitlessen zagen we soms activiteiten die onder aanvankelijke meetkunde vallen: vooral inzicht in vorm en ruimte. Bijvoorbeeld bouwen met blokken of lego. Misschien toevallig, maakten we geen lessen mee waarin de leraar met kinderen in gesprek ging over zulke ruimtelijke aspecten. Dat gebeurde wel bij 'vormen vouwen van papier' (een balk, kubus, piramide) als een echt voorbeeld van hoe je van 2D naar 3D kunt komen – een exercitie die daarna geavanceerder terugkwam in het tekenen met Doodle3D. En zoals we van leerling Nuño hoorden: 'We hebben geleerd dat dingen die je van een afstand bekijkt, veel kleiner zijn dan van dichtbij.' Dat leerden ze bij het maken van animatiefilmpjes. Hij gebruikt als vanzelfsprekend het woord 'ruitvormig', als hij voordeet hoe je je handen voor je oog houdt om een zoeklens te imiteren.

### BOVENBOUW

In de bovenbouwlessen heeft iedereen ervaren dat er veel wiskundige kennis en vaardigheden te pas komen bij het 3D-tekenen. Het gaat vooral om meetkunde: op schaal werken, omrekenen,

ruimtelijk inzicht. Rekenen, zeggen alle leraren en ook alle geïnterviewde leerlingen, dat leer je hier juist goed, veel beter dan in de gewone lessen. In leraarswoorden: het rekenen wordt nu betekenisvol voor de kinderen omdat ze het echt kunt toepassen.

In een van de *klassikale introducties* bij het werken met een digitaal tekenprogramma, zien we de leraar aspecten van het metrieke stelsel uitleggen. Dat gaat aan de hand van een kubus, waarbij hij afwisselend op het whiteboard tekent om perspectieftekeningen uit te leggen, de ‘echte’ meetlat hanteert, en via het smartboard het tekenprogramma uitlegt. Welke commando’s je moet gebruiken om vormen te tekenen en te bewerken. Hoe daarbij lijnenstelsels tevoorschijn komen die je van diverse kanten kunt bekijken en bewerken om de kubus in het gewenste 3D-formaat te krijgen.

Een andere les, over het digitaal ontwerpen van een huis, start de juf met de aankondiging: ‘Het wordt weer veel puzzelen op schaal’. Ze bespreekt met de kinderen een raamkozijn dat een van hen de vorige les maakte, en trekt vergelijkingen met een echt raam in het klaslokaal. Hoe kun je meten hoe hoog en breed dat is? Hoe meet je het getekende raam? Wat is het verschil tussen die maten, dat wil zeggen: welke schaal is hier gebruikt? Enkele kinderen proberen het hardop uit te rekenen, en met sturende vragen van de juf komt één er ten slotte uit ( $6:150$ , deel dat aan beide kanten door 6, dan krijg je de schaal  $1:25$ ).

Na zo’n klassikale introductie gaan ze *zelf of in groepjes* ontwerpen. Twee meisjes willen eerst de schaalkwestie nader uitdiepen: ze bespreken, schatten en ten slotte met de meetlat meten hoe hoog en breed deuren en ramen in de klas zijn. Aan de hand daarvan willen ze bepalen, hoe groot hun eigen huis moet worden. De meeste anderen beginnen gelijk in SketchUp.

Eerst zagen we de kinderen vooral worstelen met de ICT-vaardigheidskant – bijvoorbeeld hulplijnen die juist wel of niet wilden verschijnen of verdwijnen, kubussen waar opeens palen dwars doorheen opdoemden, buitelandse beelden waar ze geen wijs uit konden. Maar bij de laatste lessen stonden we ademloos toe te kijken hoe velen daar intussen pijlsnel mee hadden leren werken. Kinderen die in het begin zelfs geen besef bleken te hebben van millimeters of centimeters (aldus de leraren) namen gedecideerd besluiten om via een menu de schaal te veranderen, iets een paar millimeter uit te rekken of in te krimpen, en daarna te checken of het nog wel in elke dimensie klopt.

## KORTOM

Het is de leraren zeker gelukt bewuste verbindingen te maken tussen techniek en rekenen/wiskunde, en hier leerwinst te boeken. Hier is leren met techniek duidelijk een geslaagde kapstok, een hulpmiddel om andere doelen te bereiken. Dit werkt, omdat kinderen de techniek als betekenisvol ervaren: ze kunnen zich iets echt voorstellen bij wat ze moeten uitrekenen of grafisch representeren. ‘Realistisch rekenonderwijs’ zien we hier dus in de eerste en letterlijke zin van het woord: de kinderen realiseren zich wat ze doen. Dit helpt hen om in de schoolcontext geconcentreerd en gemotiveerd aan het rekenen te slaan, en dus ook meer tijd te besteden aan rekenwerk. Dat daagt weer uit tot de vraag: hoe zet je dat wiskunde/rekenen zoal in bij levensechte zaken – buiten school?

# Taal, sociale vaardigheden en *executieve functies*

Leerprocessen hebben inhoudelijke kenmerken maar hebben ook vrijwel altijd te maken met sociale vaardigheden zoals communiceren en samenwerken; met (vak)taal die niet alleen gereproduceerd moet worden maar ook gebruikt moet worden om elkaar te begrijpen; en met het vermogen tot zelfsturing, een Nederlands woord voor een verzameling vaardigheden die samen de 'executieve functies' genoemd worden.

## EXECUTIEVE FUNCTIES

Het gaat bij executieve functies om het vermogen om over jezelf na te denken ('metacognitie'), om jezelf te motiveren, om afleidende impulsen te onderdrukken, om plannen te maken, en om je voornemens in je werkgeheugen te houden en daarnaar te handelen. Naast intelligentie heeft zelfsturing een grote voorspellende waarde voor een succesvolle schoolloopbaan. Het loont dus zeer de moeite expliciet aandacht te geven aan de ontwikkeling van de verschillende executieve functies, en in de pilot is dat ook regelmatig gebeurd. Vaak impliciet, wanneer de lessen bijvoorbeeld door technische problemen met het netwerk of de computers niet gingen zoals beoogd, en kinderen te maken kregen met tegenslag. Hoe ga je daar mee om? Sommige kinderen laten zich bij het minste of geringste verleiden om spelletjes te gaan spelen op de iPad of te gaan kletsten met de burens. De fascinatie die kinderen hebben voor 3D-printen hielp duidelijk om hen redelijk zelfstandig te laten werken en de draad weer op te pakken.



## SOCIALE VAARDIGHEDEN – SAMENWERKEN

Alle leraren zien deze lessen als een prima gelegenheid om kinderen met elkaar te leren samenwerken: leren hoe je elkaar kunt helpen, hoe je met elkaar een plan kunt maken, overleggen en taak verdelen. Hoe je in groepjes geanimeerd maar toch rustig kunt werken, zonder anderen in de volle klas te storen. Het belang daarvan benoemen ze ook voortdurend, zowel klassikaal als in hun interactie met groepjes. Ze zijn er trots op dat steeds meer kinderen elkaar nu inderdaad gaan helpen of te hulp roepen. De leraren prijzen de kinderen daar ook geregeld om. In de meeste lessen moeten ze ook regelmatig een opblazend rumoer bestrijden; en als kinderen tamelijk zelfstandig mogen werken met computers en iPads worden ze natuurlijk regelmatig verleid tot andere, niet-taakgerichte acties. Maar ook de berispende toespraken die leraren dan op hen afvuren gaan over het belang van samenwerken, naar elkaar luisteren, elkaar aan de beurt laten, enzovoort.

## TAAL

Over het verband met taalontwikkeling hebben de leraren nog weinig expliciete gedachten. Dat is opmerkelijk, omdat ze voor onze ogen voortdurend met taalontwikkeling bezig zijn. Ze behandelen met de kinderen bijvoorbeeld technische begrippen, én sociale begrippen (woordenschat). Ze leren kinderen over en met technische termen te spreken, te redeneren, aan anderen uit te leggen wat ze in hun hoofd hebben, en actief te luisteren en zo te begrijpen wat de ander bedoelt. Ontwerpen, iets maken, iets onderzoeken, samenwerken en elkaar helpen zijn – niet alleen, maar wel voor een groot deel – talige bezigheden. De bovenbouwleraren noemen zelf wel ‘begrijpend lezen’ en ‘Engels’ als taalaspecten die aan de orde komen. Sommige kinderen die laag scoren op begrijpend lezen, blijken hier knap ingewikkelde handleidingen te begrijpen. Op de iPad en computer komen ze regelmatig Engelstalige instructies en menu’s tegen, waar ze zichzelf en elkaar wegwijzen in maken door te associëren tussen beelden en woorden.

## ONDERBOUW

We horen in alle onderbouwgroepen kinderen tegen elkaar zeggen: o ja, we moeten samenwerken. En: kan ik je helpen? Om hulp vragen lijkt hier minder voor te komen. Hulp geven bestaat hier vooral uit voordoen en nog niet uit aanwijzingen geven, en samenwerken uit taak verdelen: ‘doe jij nou dit, dan doe ik dat’. Er zijn nog niet veel kinderen die spontaan verbaal expliciteren wat ze doen of denken, maar dat gebeurt wel als de juf aanschuift en dit met vragen stimuleert: ‘Wat zijn jullie aan het doen en waarom; hoe heet dat ook alweer; hoe werkt dat?’ Bij een circuitles zit een meisje aan de stroomkringtafel in haar eentje verbeteren maar vruchteloos te prutsen, grimmig in zichzelf mompelend: ‘Je moet sámenwerken’. Een paar kinderen bieden haar hulp aan, waar ze niet op in gaat.

Kinderen halen de juf erbij, die vraagt: ‘Hoe gaan we dit oplossen?’ Dan tegen het meisje: ‘Wat wil je doen? Vertel het de anderen, hoe kunnen ze je helpen?’ Als reactie uitblijft, tegen de anderen: ‘Hebben jullie een idee hoe je haar kan helpen? Zeg wat je in je hoofd hebt, luister naar elkaar’. In dit geval veranderde er niets merkbaars bij het meisje, maar haar klasgenoten gingen versterkt en monter op zoek naar andere prooi voor hun hulpvaardigheid.

## BOVENBOUW

Vrij in het begin van de lessenserie in de bovenbouw zien we twee meisjes modderen met hun sleutelhangerontwerp. Een jongen komt zeggen dat dit zo niet gaat, grijpt in op het scherm (‘gewoon zo doen’) waarop het ontwerp krimpt en groeit. De meisjes becommentariëren wat ze beter of slechter vinden. Elders weigert een leerling een hulpvraag: ‘Ik ga niet voorzeggen’, waarop de juf zegt: ‘Maar wel aanwijzingen geven’. Deze misvatting over voorzeggen is wijd verspreid, ze moet het actief bestrijden, meldt ze ons. Dat geldt ook voor een ander misconception: hulp is aanwijzingen geven of krijgen – niet dat de ander het voor je doet, want dan leer je het nooit zelf. Daarom laat ze een paar meisjes nu toch lang alleen prutsen. Maar waar ze echt trots op is: een paar jongens die uit onzekerheid vaak echte klieren waren, bleken techniek talentjes en fungeren nu met succes als haar vaste eerste-hulpteam. Later in de lessenserie, als men steeds meer aan echt ontwerpen toekomt, veranderen de helpers en hulpvragers in echt samenwerkende, onderling beraadslagende teams. Ze hebben zich een heel technisch jargon toegeëigend, en heel betekenisvol: ze kunnen daarmee spreken over wat hen nu zo intensief bezighoudt. Wel merken we dat de kinderen niet lang de aandacht vast kunnen houden voor presentaties van andere teams, als die halverwege of aan het eind van een les plaatsvinden. Je kunt daar wel begrip voor opbrengen: veel verschil is er niet tussen de producten en toelichtingen van pakweg zeven teams. Toch moeten ze dat opbrengen, zegt de juf: ‘Het gaat om een houding. Belangstelling voor het werk van anderen is ook heel belangrijk. Als jij dat niet voor hen toont, kan je het andersom ook niet verwachten. En dan zit je maar depressief in je uppie.’

## KORTOM

De technieklessen zijn een prachtig gebied van geïntegreerd taalonderwijs, voor mondelinge communicatie, woordenschatontwikkeling, redeneringsvermogen en begrijpend lezen; zowel wat betreft vaktaal als in bredere zin. Deze taalontwikkeling is in de lessen ook naadloos verbonden aan de voortdurende gelegenheden om zowel het zelfsturend vermogen als de samenwerkingsvaardigheden van kinderen te ontwikkelen.



# Samenleving en arbeidsmarkt

De basisschool moet kinderen wel in staat stellen te participeren in de samenleving maar leidt natuurlijk niet op voor concrete beroepen. Digitale technologie is belangrijk voor de samenleving en lijkt een groot arbeidsmarktperspectief te geven voor de huidige generatie basisschoolleerlingen. Dus het lijkt zeer zinvol om hier in het kader van het domein Oriëntatie op Jezelf en de Wereld expliciet aandacht aan te geven, en te peilen of kinderen hier een toekomst voor zichzelf zien.

## ONDERBOUW

Bij het onderwerp elektronica in de onderbouw benoemen juf en kinderen in een vraaggesprek samen wat er zoal op stroom loopt, vooral met voorbeelden uit de klasomgeving en bij hen thuis. Ter introductie van het 'trilrobotje' laat de juf op het smartbord in een serie plaatjes zien van dingen die met een soort trilmotor werken: een kinderwipstoel, stratenmakerdrilboren, een wekker, een elektrische tandenborstel en nog veel meer. Ze vertelt er kort iets bij, en kinderen melden welk van die dingen ze thuis ook hebben, maar daar blijft het bij.



## Uit interviews met kinderen

Bij onze vraag wat je met techniek of 3D-printen allemaal kan, zegt Danae onmiddellijk: 'Speelplezier!', en dan dat 3D-printen gewoon overal mee te maken heeft. Nuño roept meteen: 'Huizen bouwen zoals in Minecraft!' en wil dan vooral laten zien hoe je daarbij kan 'enchanten' (speciale effecten aan dingen toevoegen).

## BOVENBOUW

In de lessenserie vertelden de leraren over allerlei maatschappelijke toepassingsmogelijkheden van moderne technologie en 3D-printen, nu en in de nabije toekomst. In interviews bleken de kinderen hier ook veel van te hebben onthouden, en ze vertelden ook over voorbeelden die ze zelf waren tegengekomen. Ze spraken hierover als mooie en boeiende perspectieven voor de mensen.

## Uit interviews met kinderen

Feyza, Tip en Dimitri sommen van alles op wat je met 3D kan maken, van huizen tot lichaamsdelen, en wat iemand ook heeft gezien: 'een schildpad die een nieuw schild kreeg'. Dimitri denk niet dat hij er zijn beroep van wil maken, hij wil namelijk automonteur worden; maar 'dan kan je ook kappen printen voor over de motor, en zulke dingen'. Feyza en Tip hebben nog geen beroepsidee, maar zouden alleen een 3D-printer kopen 'als het echt ergens nodig voor is', zoals ze laatst op tv zagen bijvoorbeeld: 'Een man zijn leven was veranderd, omdat hij zijn oog kon behouden doordat het vastgezet kon met een stukje geprint huid eromheen'. Stuart weet nog niet of hij met digitale techniek wil doorgaan: 'Ik werk liever met mijn handen, maar ja, dit ziet er wel leuk en goed uit', zegt hij met een gebaar naar het computerscherm met zijn nog vrij onvoltooide ontwerp - maar dit was dezelfde jongen die een maand later de op bezoek komende voorzitter van de VO-raad en de directeur van een VO-school versted deed staan met zijn enthousiaste en uitstekende uitleg over allerlei complexe aspecten van 3D-ontwerpen.

## KORTOM

Toepassingen en vreugden van techniek in het echte leven – waar spel ook bij hoort – kwamen geregeld aan de orde. Wat in deze pilot niet echt aan bod is gekomen is de relatie met 3D-printen of andere digitale techniek in de echte beroepspraktijk. Er zijn geen excursies geweest; er is geen contact geweest met technologische bedrijven die 3D-printers gebruiken om hun geld mee te verdienen. De plek waar het allemaal gebeurde (de school) en de opdrachten die niet voorkwamen uit een analyse van (technische) problemen droegen daardoor weinig bij aan de ontwikkeling van perspectief op de arbeidsmarkt. Dat het hier niet van gekomen is geeft aan dat het kennelijk toch lastig is om de werelden van basisonderwijs en bedrijf met elkaar te integreren. Hier liggen nog grote mogelijkheden voor verdere ontwikkeling.

**D**e pilot is in veel opzichten een succes geweest. Leraren basisonderwijs zonder noemenswaardige kennis van techniek of ervaring met het ontwikkelen en geven van onderwijs in wetenschap en techniek, hebben zich met groot enthousiasme en volharding in dit avontuur gestort. Ze hebben talloze kleine en grote problemen overwonnen en staan nu heel anders, met veel meer zelfvertrouwen en geloof in eigen kunnen, tegenover techniekonderwijs. Ze hebben zelf veel geleerd over techniek, staan er open voor en zien de mogelijkheden. Ze hebben stapjes gezet om de leerdoelen die met techniekonderwijs behaald kunnen worden, te integreren met de leerdoelen van andere vakken en met vakoverstijgende doelen en ze hebben een vorm gevonden om techniekonderwijs hiertoe te organiseren.

De kinderen lijken vrijwel allemaal te hebben genoten; dat gold uiteindelijk ook voor de bovenbouwers die vaak erg moesten zwoegen om de digitale techniek in de vingers te krijgen. Ze zijn trots op hun juf of meester, die toch maar even een 3D-printer heeft gebouwd. Ze zijn trots op hun eigen prestaties. Ze vonden het leuk om op deze manier met techniek bezig te zijn. Doordat ze veel zelfstandig hebben gedaan, en ook relatief veel 'time on task' besteden, waren ze in de gelegenheid om meer te leren dan gemiddeld. Hun attitude voor techniek zal zich zeker positief ontwikkeld hebben, hoewel natuurlijk nog niet goed te overzien is welke keuzes ze later in hun vervolgoopleidingen en beroepen gaan maken. Voorop staat dat de deur naar beroepen in de techniek een beetje verder open is gezet.

Voor de schooldirecties is het geen discussiepunt meer of er doorgegaan wordt met techniekonderwijs. Zij hebben het enthousiasme van leraren en kinderen ook opgemerkt, erkennen de noodzaak om kinderen beter voor te bereiden op onze technologische samenleving, en herkennen de mogelijkheden van wetenschap en techniek om bij te dragen aan nieuwsgierigheid en onderzoekende

houding, aan taalontwikkeling, aan rekenen en aan de 'vaardigheden voor de 21ste eeuw'. Er zijn natuurlijk ook *wensen en vraagtekens*, in diverse opzichten, die we hier tot slot samenvatten.

### ONDERZOEKEND EN ONTWERPEND LEREN

Vanuit didactisch oogpunt waren de lessen in de pilot nog in veel opzichten te conservatief: te veel geprogrammeerde instructie en te weinig onderzoekend en ontwerpend leren. Niet de vragen van kinderen of problemen die om een oplossing vragen stonden centraal, maar opdrachten. Daardoor waren er voor de kinderen geen of weinig kansen om hun creativiteit te gebruiken of ontwikkelen, en vooral in de bovenbouw kwam het accent te liggen op het ontwikkelen en beheersen van technische vaardigheden, zoals het kunnen werken met een 3D-tekenprogramma.

Hier moet scherper over nagedacht worden. Als de techniek van 3D-printen en 3D-tekenen inderdaad vaardigheden vraagt die alleen op een gestuurde en tijdrovende manier ontwikkeld kunnen worden, is dit dan wel een geschikte invulling voor onderwijs in gewone basisschoolklassen? Kan men 'W&T' dan niet beter met andere vormen van techniek invullen? Of kan deze lessenserie rond 3D-printen ook zodanig doorontwikkeld worden dat hij leerlingen wel uitdaagt tot en vaardig maakt in probleemanalyse, creatief ontwerpen van oplossingen, en kritisch evalueren van prototypes en uiteindelijke oplossingen? Want dat zijn, meer dan de klassieke handvaardigheden, de vaardigheden die er in de wereld van wetenschap en technologie toe doen. Wellicht is die mogelijkheid er, als de kinderen met deze technologie in de klas blijven werken, en de leerkrachten steeds beter kunnen inschatten welke vragen en problemen door leerlingen te bewerken zijn.

### FACILITERING EN VERDUURZAMING

Er moet ook verder nagedacht worden over de facilitering en de verduurzaming. Deze pilot was behoorlijk duur. Een 3D-printer met toebehoren kost nu zo'n € 2.000, en de ondersteuning die door instructeurs in deze pilot geboden is kostte een veelvoud hiervan. Daarbij komt nog het beroep op de ICT-infrastructuur (netwerk, PC's) en de voortdurende technische ondersteuning die geboden moet worden. De leerkracht zou zich het hoofd moeten breken over de didactische aspecten, en daar niet steeds van afgeleid worden door problemen met de apparatuur. Een technisch onderwijsassistent kan veel werk uit handen nemen. Goede kwaliteit van de digitale infrastructuur is een essentiële randvoorwaarde. Dit alles is nu op schoolniveau moeilijk te bekostigen, waardoor grootschalige implementatie van deze werkwijze een aanzienlijk probleem lijkt. Niet alleen zijn de kosten in absolute zin hoog, ook is het een vraag hoeveel deze techniek mag kosten in vergelijking met de vele andere relevante vormen van



wetenschap & technologie. Denk aan voedseltechnologie: welke school zou niet graag een professionele keuken willen hebben? Of een science lab, of materiaal voor watermanagement, of een ziekenhuisje?

### SAMENWERKING VAN SCHOOL EN BEDRIJVEN

Dat 3D-printen kan aanslaan in de basisschool is wel duidelijk, en ook dat het een kapstok kan zijn voor andere doelen. Maar moet dat in de vorm van een eigen printer per klaslokaal? Kunnen faciliteiten gedeeld worden? Geplaatst op centrale locaties waar meerdere scholen gebruik van kunnen maken? Zijn er bedrijven waar mee samengewerkt kan worden, zowel praktisch als financieel? Het doet wat vreemd aan dat het bedrijfsleven zegt grote belangen te hebben bij het programma 'Kiezen voor techniek' in het kader van het Techniekpact, maar dat de kosten gedeponereerd worden bij scholen en overheden. En door onderwijs in en met 3D-printen meer in te bedden in techniek-bedrijven wordt dit onderwijs ook meer valide en worden de opdrachten waar kinderen aan werken authentieker. Daar zijn zeker in Flevoland goede mogelijkheden voor, zoals bij de opkomende robotica-sector.

### PROFESSIONELE ONTWIKKELING

Er is in deze pilot geïnvesteerd in de professionele ontwikkeling van de leraren van zes groepen. Daar kan een olievlekwerking van uit gaan. Je kunt er voor kiezen dat deze leraren zichzelf verder blijven ontwikkelen en het onderwijs dat zij zelf geven op een steeds hoger niveau brengen. Dat is fijn voor de leerlingen die bij hen in de klas zitten, maar dit is voor de hele leerlingpopulatie in Almere maar een druppel op een gloeiende plaat. Wellicht kunnen de nu opgeleide leerkrachten een rol spelen in de professionele ontwikkeling van hun collega's: op de eigen school, binnen het schoolbestuur, of nog breder. Zij zijn specialisten geworden en in het kader van het strategisch personeelsbeleid binnen het basisonderwijs valt hierop te kapitaliseren.

### LERARENOPLEIDING

Een laatste aandachtspunt betreft de pabo. Alle leraren in deze pilot hebben met groot enthousiasme aan de digitale techniek gewerkt, maar geen van hen was hier via hun vooropleiding ook maar enigszins op voorbereid. Wetenschap & techniek kan zich ontwikkelen tot een rijke leeromgeving en kan een kapstok zijn voor vele leerdoelen, maar dat moet je als leraar wel leren inzien. De tijd lijkt rijp om toekomstige leraren hier adequater op voor te bereiden.

## Literatuur

- Chatoney, Marjolaine. (2015). *Plurality and Complementarity of Approaches in Design and Technology Education*. Marseille: Presses Universitaires de Provence.
- Committee on Guidance on Implementing the Next Generation Science Standards. (2015). *Guide to Implementing the Next Generation Science Standards*. Washington: The National Academies Press.
- Cross, Nigel. (2011). *Design thinking*. London: Bloomsbury Academic.
- Graft, M. van, & Kemmers, P. (2007). *Onderzoekend en ontwerpnd leren bij Natuur en Techniek*. Den Haag: Stichting Platform Bèta Techniek.
- Keulen, Hanno van, & Slot, Esther. (2014). *Excellentiebevordering door middel van onderzoekend en ontwerpnd leren: Vaardigheden rubrics onderzoeken en ontwerpen (VROO)*. Den Haag: School aan Zet.
- Jonassen, David, Howland, Jane, Marra, Rose M., & Crismond, David. (2008). *Meaningful learning with technology* (3d ed.). Upper Saddle River: Pearson.
- Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen. (2006). *Kerdoelen primair onderwijs*. Den Haag: Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen.
- NN. (2012). *Nationaal Techniekpact 2020*. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.
- Onderwijsraad. (2014). *Een eigentijds curriculum*. Den Haag: Onderwijsraad.
- Warnier, Claire, Verbruggen, Dries, Ehmann, Sven, & Klanten, Robert (Eds.). (2014). *Printing things. Visions and essentials for 3D printing*. Berlin: Gestalten.
- Wessel, T. van, Kleinans, M.G., Keulen, H. van, & Baar, A. (2014). *Wetenschappelijk onderzoek en technologie vertalen naar onderzoekend en ontwerpnd leren in het basisonderwijs*. Utrecht: Universiteit Utrecht.

# Colofon



Gemeente Almere



Almeerse Scholengroep



Dit rapport is geschreven naar aanleiding van de pilot Digitale Techniek van FabLab Flevoland op basisscholen Het Palet en Digitalis van de Almeerse Scholengroep (ASG), met steun van het Expertisecentrum Wetenschap & Technologie Noord-Holland/Flevoland (EWT) TechYourFuture en de Gemeente Almere.

**Tekst:** Hanno van Keulen en Saskia van Oenen

Hanno van Keulen is lector Leiderschap in Onderwijs en Opvoeding bij Hogeschool Windesheim Flevoland (Almere). Saskia van Oenen is onderzoeker en trainer bij het lectoraat.

**Vormgeving en productie:** Petra Orthel en Marilene Karreman

**Fotografie:** Carla Sijmons en Kees Bakker *fotografie*

Dank aan alle betrokkenen en natuurlijk de kinderen van Het Palet en Digitalis

© Lectoraat Leiderschap in Onderwijs en Opvoeding, Hogeschool Windesheim Flevoland  
2015

## Lectoraat Leiderschap in Onderwijs en Opvoeding

Vol trots zegt hij het: "Mijn juf heeft een 3D-printer gebouwd, en wij gaan daar mee werken!" Prachtig natuurlijk, dat enthousiasme in het basisonderwijs voor 3D-prints en digitale techniek. Maar werkt dit ook in de dagelijkse praktijk van het onderwijs? Kunnen basisscholen en leraren zonder veel achtergrond in de techniek uit de voeten met deze technologie? Welke leerresultaten kunnen worden behaald? Worden kinderen op deze manier beter voorbereid voor participatie in de maatschappij en raken ze meer geïnteresseerd in een opleiding of loopbaan in de techniek? En hoe verhouden de mogelijke pluspunten zich tot de kosten die gemaakt moeten worden?

Naar deze vragen is onderzoek gedaan op Het Palet en Digitalis, scholen van de Almeerse Scholengroep (ASG), door het Lectoraat Leiderschap in Onderwijs en Opvoeding van Hogeschool Windesheim Flevoland, in nauwe samenwerking met FabLab Flevoland, en met steun van de gemeente Almere, het Expertisecentrum Wetenschap & Technologie Noord-Holland/Flevoland en het Center of Expertise Techniekonderwijs TechYourFuture in Deventer.