

# Fysieke structuurmodellen in het basisonderwijs

Ontwerp van een experimentele leeromgeving ter  
bevordering van het structureel denken bij kinderen

**Keano De Baets**

Promotor: Prof. dr. ir. Laurens Luyten

Copromotor: Oyku Acican

Masterproef ingediend tot het behalen  
van de graad van Master of Architecture,  
Master of Science

Academiejaar 2022-2023





# **Fysieke structuurmodellen in het basisonderwijs**

Ontwerp van een experimentele leeromgeving ter  
bevordering van het structureel denken bij kinderen

**Keano De Baets**

© Copyright KU Leuven

Deze masterproef is een examendocument dat niet werd gecorrigeerd voor eventuele vastgestelde fouten.

Enkele afbeeldingen die in deze paper worden gebruikt, bevatten herkenbare personen. Voor het gebruik van deze afbeeldingen is expliciete toestemming verkregen van de betreffende personen. Wanneer de beelden betrekking hebben op minderjarigen, is voorafgaande toestemming van het kind en van de ouders verkregen.

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, kan u zich richten tot KU Leuven – Campus Sint-Lucas Gent, Hoogstraat 51, 9000 Gent, +32 2 447 18 00 of via e-mail [arch.gent@kuleuven.be](mailto:arch.gent@kuleuven.be).

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut, om te refereren naar dit werk in publicaties en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

# Voorwoord

De kracht van lesgeven ligt in het vermogen om leerlingen te inspireren, te begeleiden en te ondersteunen bij het ontwikkelen van kennis en vaardigheden. Het geeft leraren de mogelijkheid om hun passie en expertise te delen en om leerlingen te helpen hun volledige potentieel te bereiken. Door effectief les te geven, kunnen leraren niet alleen kennis overbrengen, maar ook het zelfvertrouwen en de motivatie van leerlingen vergroten.

Het delen van passie en kennis met leerlingen is van groot belang voor mij, omdat ik geloof dat het hun leven verrijkt en bijdraagt aan hun ontwikkeling als kritische denkers en zelfverzekerde individuen. Dit is de reden waarom ik al jaren met veel passie schaaakles geef aan diverse leerlingen.

Deze masterproef vormt een perfecte combinatie van mijn architectuuropleiding en mijn rol als leraar. Hier kan ik mijn kwaliteiten als leraar verder ontwikkelen en mijn passie voor architectuur en structuur overbrengen op kinderen van het basisonderwijs. Mijn doel is om via deze masterproef het structurele inzicht en de liefde voor constructies te delen met toekomstige architecten en ingenieurs.

Bij het bereiken van dit doel heb ik veel steun gekregen van verschillende leraren en leerlingen, ik wil hen dan ook allemaal bedanken voor de hulp die ik heb gekregen.

Ik ben zeer dankbaar voor de onschatbare bijdrage van mijn promotor Laurens Luyten. Gedurende vele jaren heeft hij mij begeleid in de ontwikkeling van mijn structureel inzicht en heeft hij mij gemotiveerd om de grenzen van de structurele principes te verkennen. Bovendien heeft hij mij geholpen om een doordachte onderzoeker te worden en mijn kritisch denkvermogen verder te ontwikkelen. Deze vaardigheden zal ik gedurende mijn hele carrière kunnen gebruiken.

Ik wil ook graag mijn dank uitspreken aan mijn co-promotor Oyku Acican. Zij heeft mij waardevolle praktische adviezen gegeven over het uitvoeren van educatieve workshops en het analyseren van de resultaten. Haar begeleiding heeft bijgedragen aan de succesvolle uitvoering van mijn onderzoek.

Daarnaast wil ik Basisschool Crombeen, De Regenboog Ertvelde en VBS Tuimelaar bedanken voor het delen van waardevolle informatie en het bieden van de mogelijkheid om de structuurworkshops uit te voeren.

Tot slot wil ik al mijn leerlingen bedanken die vol enthousiasme hebben deelgenomen aan de test-workshops en andere activiteiten. Zonder hen zou het nooit mogelijk zijn geweest om te onderzoeken of het structureel inzicht bij kinderen kan worden ontwikkeld.

Keano De Baets  
Ertvelde, 2023



# Samenvatting

Er is een gebrek aan structureel inzicht bij kinderen, vooral wat betreft het begrijpen van de sterkte van triangulatie en de structurele concepten van een brug. Er worden te weinig inspanningen geleverd om ervoor te zorgen dat de doelen op het gebied van structureel denken, zoals vastgelegd in de leerplannen en eindtermen voor "techniek", daadwerkelijk worden behaald. Deze masterproef onderzoekt of het mogelijk is om het structureel inzicht bij kinderen te ontwikkelen en welke leeromgeving het meest effectief is om hun vaardigheden en begrip van structurele concepten op een creatieve en ontdekkende manier te verbeteren.

Het onderzoek legt de nadruk op studentgericht onderwijs, waarin kinderen op een actieve manier de vaardigheden zoals kritisch en probleemoplossend denken zullen ontwikkelen. Er wordt onderzocht hoe structureel inzicht bij kinderen wordt ontwikkeld en welke diverse lesmethoden hiervoor gebruikt worden. Daarnaast wordt er een grondig onderzoek uitgevoerd naar de verschillende soorten structuurmodellen en workshops die worden toegepast in architectuurscholen en basisscholen, waarbij de respectievelijke voor- en nadelen worden geanalyseerd. Dit onderzoek omvat kritische reflectie op mijn eigen ervaringen en uitgebreide literatuurstudie om de essentiële eigenschappen van een structuurworkshop te identificeren.

Op basis van de onderzoeksresultaten wordt een eigen structuurworkshop voor het basisonderwijs ontwikkeld. De workshop wordt vervolgens getest door 254 leerlingen uit het vierde, vijfde en zesde leerjaar. De resultaten en observaties laten zien dat het mogelijk is om het structureel inzicht van kinderen te ontwikkelen. Het is echter niet haalbaar om het structureel denken bij alle leerlingen te bevorderen, aangezien dit afhankelijk is van hun motivatie, betrokkenheid en bereidheid om te leren.

Om het gewenste doel te bereiken, is het belangrijk dat fysieke structuurmodellen leerlingen aansporen om de structurele principes te verkennen door middel van sensomotorische ervaringen. Deze modellen moeten directe feedback geven over de stabiliteit van het ontwerp en leerlingen motiveren om te experimenteren en actief deel te nemen aan de workshop. Bovendien kunnen groepsworkshops en competitie bijdragen aan een positief leerresultaat, waarbij leerlingen een dieper begrip van de structurele principes ontwikkelen. Dit is van essentieel belang om het structureel denken bij kinderen te bevorderen.

# Summary

There is a lack of structural insight among children, particularly in understanding the strength of triangulation and the structural concepts of a bridge. Insufficient efforts are being made to ensure that the goals related to structural thinking, as defined in the curriculum and learning objectives for "technology," are actually achieved. This master's thesis investigates the possibility of developing children's structural insight and identifies the most effective learning environment to enhance their skills and understanding of structural concepts in a creative and exploratory manner.

The research emphasizes student-centered education, where children actively develop skills such as critical and problem-solving thinking. It explores how structural insight is developed in children and examines various teaching methods used for this purpose. Additionally, a comprehensive study is conducted on different types of structural models and workshops applied in architecture schools and primary schools, analyzing their respective advantages and disadvantages. This research includes critical reflection on my own experiences and an extensive literature review to identify the essential characteristics of a structural workshop.

Based on the research findings, a custom structure workshop for primary education is designed. The workshop is then tested by 254 students from the fourth, fifth, and sixth grades. The results and observations demonstrate that it is possible to develop children's structural insight. However, it is not feasible to promote structural thinking in all students, as it depends on their motivation, engagement, and willingness to learn.

To achieve the desired goal, it is important that physical structure models encourage students to explore the structural principles through sensory-motor experiences. These models should provide immediate feedback on the stability of the design and motivate students to experiment and actively participate in the workshop. Furthermore, group work and competition can contribute to a positive learning outcome, enabling students to develop a deeper understanding of the structural principles. This is crucial in promoting structural thinking among children.



# INHOUD

|  |            |
|--|------------|
| <b>Voorwoord</b> .....   | <b>i</b>   |
| <b>Samenvatting</b> .....  | <b>iii</b> |
| <b>Summary</b> .....   | <b>iv</b>  |
| <b>1 Inleiding</b> .....   | <b>1</b>   |
| <b>2 Probleemstelling</b> .....  | <b>2</b>   |
| 2.1 <i>Foute interpretatie van de sterkte van triangulatie</i> .....         | 2          |
| 2.2 <i>Gebrek aan structureel inzicht bij kinderen</i> .....                 | 2          |
| 2.3 <i>Conclusie probleemstelling</i> .....                                  | 3          |
| <b>3 Onderzoeksvraag</b> .....   | <b>4</b>   |
| 3.1 <i>Doelstelling</i> .....  | 4          |
| 3.2 <i>Opbouw van het onderzoek</i> .....                                    | 5          |
| <b>4 Ontwikkeling van structureel inzicht</b> .....                          | <b>6</b>   |
| 4.1 <i>De ontwikkeling van structureel inzicht bij kinderen</i> .....        | 6          |
| 4.2 <i>Conclusie</i> .....   | 9          |
| <b>5 Pedagogische analyse van de workshop</b> .....                          | <b>10</b>  |
| 5.1 <i>Het gebruik van workshops in het onderwijs</i> .....                  | 10         |
| 5.2 <i>Leren door sensomotorische ervaringen en belichaamde cognitie</i> ... | 12         |
| 5.3 <i>Actief leren van elkaar</i> .....                                     | 14         |
| 5.4 <i>Projectmatig leren</i> .....  | 16         |
| 5.5 <i>De eigenschappen van een effectieve workshop</i> .....                | 17         |
| <b>6 Workshops met structuurmodellen</b> .....                               | <b>18</b>  |
| 6.1 <i>Het gebruik van structuurmodellen in architectuurscholen</i> .....    | 18         |
| 6.2 <i>De voordelen van structuurmodellen in architectuurscholen</i> .....   | 20         |
| 6.3 <i>Het gebruik van structuurmodellen in het basisonderwijs</i> .....     | 21         |
| 6.3.1 <i>Het papier-model</i> .....  | 22         |
| 6.3.2 <i>Het stokjes-model</i> .....   | 23         |
| 6.3.3 <i>Het K'nex-model</i> .....   | 24         |
| 6.3.4 <i>Het pasta-model</i> .....   | 26         |
| 6.4 <i>De eigenschappen van een educatief structuurmodel</i> .....           | 29         |
| <b>7 Ontwerp van een experimentele leeromgeving</b> .....                    | <b>32</b>  |
| 7.1 <i>Ontwerp van een eigen structuurmodel</i> .....                        | 32         |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 7.2      | <i>Testen van de experimentele structuurworkshop</i> .....                       | 35        |
| 7.2.1    | <i>Onverwachte resultaten tijdens het testen van de workshop</i> ...             | 36        |
| 7.2.2    | <i>Stimuleren van het gebruik van driehoeken</i> .....                           | 38        |
| 7.2.3    | <i>Het creëren van een vakwerkbrug</i> .....                                     | 39        |
| 7.3      | <i>De eigenschappen van een experimentele leeromgeving</i> .....                 | 40        |
| 7.4      | <i>Ontwerp van een structuurworkshop voor basisscholen</i> .....                 | 41        |
| <b>8</b> | <b>Structuurworkshop “Bruggenbouwers”</b> .....                                  | <b>42</b> |
| 8.1      | <i>Resultaten schriftelijke test</i> .....                                       | 43        |
| 8.1.1    | <i>Algemene testresultaten</i> .....   | 43        |
| 8.1.2    | <i>Resultaten over het leren van de sterkte van triangulatie</i> .....           | 44        |
| 8.1.3    | <i>Resultaten over het begrijpen van de vakwerkbrug</i> .....                    | 46        |
| 8.1.4    | <i>Resultaten over het herkennen van trek- en drukkrachten</i> .....             | 48        |
| 8.1.5    | <i>Evaluatie schriftelijke test</i> .....  | 48        |
| 8.2      | <i>Conclusie structuurworkshop “Bruggenbouwers”</i> .....                        | 49        |
| 8.2.1    | <i>Structuurworkshops in het vierde leerjaar</i> .....                           | 49        |
| 8.2.2    | <i>Structuurworkshops in het vijfde leerjaar</i> .....                           | 50        |
| 8.2.3    | <i>Structuurworkshops in het zesde leerjaar</i> .....                            | 51        |
| <b>9</b> | <b>Conclusie</b> .....   | <b>52</b> |
|          | <b>Referenties</b> .....   | <b>53</b> |
|          | <b>Lijst van figuren</b> .....   | <b>55</b> |
|          | <b>Bijlagen</b> .....  | <b>58</b> |
|          | <b>Bijlage A</b> ..... <b>Opdracht en resultaten brugopdracht (2018)</b>         | <b>58</b> |
|          | <b>Bijlage B</b> ..... <b>Eindtermen “techniek” gewoon basisonderwijs (2010)</b> | <b>59</b> |
|          | <b>Bijlage C</b> ..... <b>Antwoorden vraag 1 en 2 (Test 2023)</b>                | <b>60</b> |
|          | <b>Bijlage D</b> ..... <b>Antwoorden vraag 3 en 4 (Test 2023)</b>                | <b>61</b> |
|          | <b>Bijlage E</b> ..... <b>Resultaten per school (Test 2023)</b>                  | <b>62</b> |

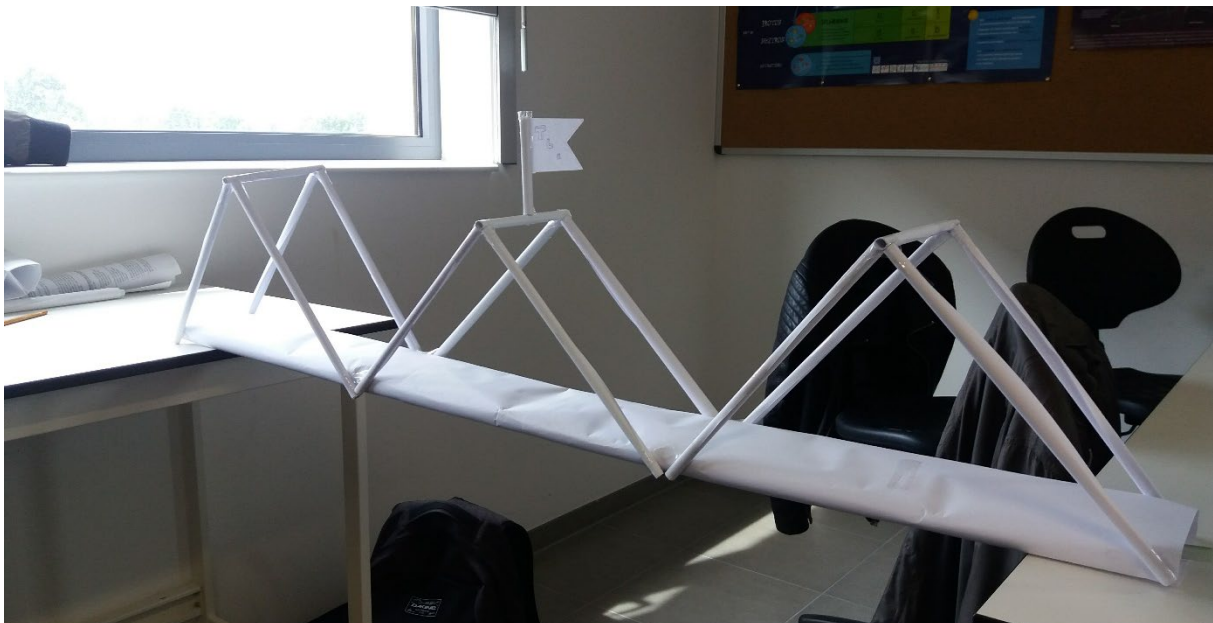
# 1 INLEIDING

---

In onze complexe en continu veranderende wereld neemt de hoeveelheid kennis met de dag toe, het is dan ook een onmogelijke klus om kinderen al deze kennis bij te brengen. Toch is het de taak van leerkrachten om leerlingen te ondersteunen, begeleiden en nieuwe kennis aan te reiken. Ze hebben ook de verantwoordelijkheid om een veilige en respectvolle leeromgeving te creëren waarin leerlingen kunnen groeien en zich ontwikkelen op academisch, sociaal en emotioneel vlak. Daarnaast hebben kinderen een aantal basisinzichten nodig om goed in de wereld te kunnen functioneren, maar ze moeten bovenal de wil en vaardigheden ontwikkelen om zelf de nodige kennis te leren en toe te passen. Die kennis en basisinzichten zijn essentieel voor het creëren van een kwaliteitsvol leven in harmonie met de omgeving.<sup>1</sup>

Soms kunnen er problemen optreden bij het aanleren van basisinzichten. Als voorbeeld toon ik een eigen ontwerp uit het zesde middelbaar, zie figuur 1-1. In het vak “fysica” kregen we de opdracht om een papieren brug te ontwerpen en zo onze structurele kennis verder te ontwikkelen. Het hoofddoel was om de sterkte van triangulatie aan te leren, maar door het gebrek aan technische kennis van onze leerkracht ontstonden er foutieve ontwerpen, wat negatieve gevolgen had voor ons structureel denken.

Ik dacht jarenlang dat mijn ontwerp zeer stevig was, want ik had driehoeken gebruikt en ik had me geïnspireerd op de bruggen die ik rond me heen zag. We hebben de brug ook getest en dit kon het autootje dragen, maar dit was een fout van de leerkracht, want hij verhoogde het geladen gewicht op de brug niet en gaf geen correcte feedback over het gebruik van driehoeken. Hierdoor dacht ik dat ik het structureel concept van triangulatie begreep, terwijl dit eigenlijk niet het geval was. Ik had simpelweg een plaatbrug ontworpen waarbij de driehoeken slechts een esthetisch element waren en geen structurele meerwaarde boden.



**Figuur 1-1. Fout toepassen van de sterkte van triangulatie bij het ontwerp van een papieren brug, 6<sup>de</sup> middelbaar College O.L.V. ten Doorn, 08-06-2017**

---

<sup>1</sup> GO! Onderwijs van de Vlaamse Gemeenschap. *Leerplan Wereldoriëntatie Lager Onderwijs*. Brussel, 2010.

## 2 PROBLEEMSTELLING

---

### 2.1 Foute interpretatie van de sterkte van triangulatie

Na het bestuderen van verschillende brugontwerpen, het analyseren van de cursussen “wereldoriëntatie” en het afnemen van interviews met leerkrachten uit het basisonderwijs, stel ik vast dat de sterkte van triangulatie vaak fout wordt geïnterpreteerd. Leerlingen gebruiken driehoeken in hun brugontwerpen omdat ze geleerd hebben dat driehoeken een sterke vorm zijn. Maar het is wel belangrijk dat de driehoeken daadwerkelijk een structurele meerwaarde hebben en niet alleen als decoratief element worden beschouwd.

Leerlingen kunnen door sensomotorische ervaringen onmiddellijk feedback ontvangen van het “structuurmodel”, zo zal het model instorten als de driehoeken niet goed worden toegepast. Toch is dit niet het geval bij een groot deel van de ontworpen bruggen, want de leerlingen maken eerst een stevige basis (rijvlak) dat goed wordt samengebonden tot een sterk geheel en daarop zullen de leerlingen driehoeken bevestigen om de brug te versterken. Hierna zullen ze de brug testen door een autootje op het rijvlak te plaatsen en uit deze test zal blijken dat de brug stabiel is. De leerlingen zullen denken dat dit komt door het gebruik van hun driehoeken, maar in praktijk is de brug al stijf door hun gevormde basis (rijvlak), het maakt dus niet uit voor de test waar en hoe de driehoeken worden toegevoegd, want ze zijn louter een toegevoegd element.

### 2.2 Gebrek aan structureel inzicht bij kinderen

Volgens de resultaten van het "peilingsonderzoek" in 2018, uitgevoerd door het "Steunpunt Toetsontwikkeling en Peilingen" in opdracht van de Vlaamse minister van Onderwijs, behaalt 86% van de leerlingen de eindtermen van "techniek". Maar uit de resultaten van de praktische proef blijkt ook dat leerlingen meer moeite hebben met uitdagende aspecten van de eindtermen, zoals ontwerpen en evalueren. Dit geeft aan dat er nog ruimte is voor verbetering in deze gebieden.

De praktische proef omvat zes opdrachten, waarvan één opdracht gericht is op het ontwerpen van een brug. Uit de resultaten van deze brugopdracht blijkt dat 76% van de leerlingen in staat was om een plan te ontwerpen volgens de opgelegde criteria, maar slechts 52% slaagde erin om daadwerkelijk een brug te bouwen die aan alle criteria voldeed.<sup>2</sup> (Bijlage A)

Door deze resultaten constateer ik dat het structureel inzicht met betrekking tot de structuur van bruggen nog niet voldoende ontwikkeld is bij kinderen, nochtans heeft de Vlaamse overheid via eindtermen of onderwijsdoelen bepaald wat de leerlingen zouden moeten bereiken. Deze doelen omvatten een minimum aan kennis, inzicht, vaardigheden en attitudes. Het is de bedoeling dat kinderen kritisch denken, probleemoplossende vaardigheden en

---

<sup>2</sup> Ministerie van Onderwijs en Vorming. *Peiling techniek in de eerste graad secundair onderwijs a-stroom*. Brussel, 2018.

wetenschappelijke geletterdheid ontwikkelen, zodat ze als geïnformeerde burgers kunnen deelnemen aan de samenleving.<sup>3</sup>

Er zijn verschillende oorzaken voor het gebrek aan structureel inzicht bij kinderen. Een belangrijk punt van kritiek is dat de leerplannen van de overheid te veel nadruk leggen op het memoriseren van feiten en het reproduceren van kennis, waardoor er te weinig aandacht is voor de ontwikkeling van vaardigheden zoals kritisch denken, probleemoplossend denken, ruimtelijk denken en abstract denken. Hierdoor worden de leerlingen onvoldoende voorbereid op de uitdagingen van de toekomst.<sup>4</sup> Ook zijn de leerplannen te streng en te gedetailleerd, hierdoor hebben leerkrachten weinig ruimte voor flexibiliteit en eigen initiatief. Dit kan leiden tot een gebrek aan motivatie bij leerkrachten en leerlingen, en kan de creativiteit en innovatie in het onderwijs belemmeren.<sup>5</sup>

Daarnaast kan het ontbreken van technische kennis bij leerkrachten ook bijdragen aan het gebrek aan structureel inzicht bij kinderen.<sup>6</sup> Bovendien ontbreekt vaak een geïntegreerde aanpak van de vakken "wiskunde", "wetenschappen" en "techniek", waardoor kinderen de verbanden tussen verschillende onderwerpen niet goed begrijpen en hun kennis als geïsoleerde feiten zien, in plaats van als samenhangend geheel.<sup>7</sup> Dit probleem is gedeeltelijk toe te schrijven aan de uitgeverijen van schoolboeken, aangezien zij zelf bepalen welke inhoud er in hun cursussen wordt behandeld. Een voorbeeld hiervan is te zien in de cursus "Wereldkanjers" van "Plantyn", waarin het thema "techniek" voldoende aan bod komt in het eerste leerjaar, maar in de jaren erna komt dit niet meer of amper aan bod.<sup>8</sup> Het lijkt me dan ook zeer moeilijk voor de kinderen om op het einde van het zesde leerjaar de eindtermen van "techniek" te halen.

## 2.3 Conclusie probleemstelling

Er is een gebrek aan structureel inzicht bij kinderen, vooral wat betreft het begrijpen van de sterkte van triangulatie en de structurele concepten van een brug. Daarbij worden er te weinig inspanningen geleverd om ervoor te zorgen dat de doelen zoals vastgelegd in de leerplannen en eindtermen van "techniek", met name op het gebied van structureel denken, daadwerkelijk worden behaald.

---

<sup>3</sup> Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming. *Ontwikkelingsdoelen en eindtermen. Informatiemap voor de onderwijspraktijk. Gewoon Basisonderwijs*. Brussel, 2010.

<sup>4</sup> Van Puymbroeck, Rik. "Vlaamse leerplannen te veel gericht op memoriseren en te weinig op vaardigheden" *De Morgen*, 08 maart, 2019. <https://www.demorgen.be/nieuws/vlaamse-leerplannen-te-veel-gericht-op-memoriseren-en-te-weinig-op-vaardigheden~b4a1d4f5>

<sup>5</sup> Vandevelde, Janne. "Te veel regels remmen vernieuwing af" *Het Nieuwsblad*, 23 september, 2019. [https://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20190923\\_04620062/](https://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20190923_04620062/)

<sup>6</sup> De Bruyn, Wim. Directeur VBS Tuimelaar Stekene, interview 20 januari, 2023.

<sup>7</sup> Davis, Brent. *Spatial reasoning in the early years: principles, assertions and speculations*. Routledge, 2018.

<sup>8</sup> Plantyn. "Wereldkanjers", geraadpleegd op 21 januari, 2023. <https://www.plantyn.com/lager-onderwijs/wereldoriëntatie/wereldkanjers>

## 3 ONDERZOEKSVRAAG

---

Volgens de leerplannen en eindtermen van “techniek” zouden kinderen aan het einde van het zesde leerjaar in staat moeten zijn om technische principes en systemen te begrijpen en een ruimtelijk inzicht moeten hebben, hierbij hoort ook de ontwikkeling van structureel inzicht. Toch merk ik op dat er nog ruimte is voor verbetering om ervoor te zorgen dat kinderen een juist begrip ontwikkelen over de structurele concepten van een brug en de sterkte van triangulatie. Door het toepassen van structureel inzicht, oftewel het begrijpen van de relatie tussen verschillende onderdelen en het logisch kunnen redeneren over structurele aspecten, wordt het bevorderen van structureel denken mogelijk. Dit lijkt mij belangrijk voor het oplossen van complexe problemen en het begrijpen van technische kennis. Daarom ben ik ervan overtuigd dat het ontwikkelen van structureel inzicht cruciaal is voor de cognitieve ontwikkeling van kinderen, het kan hen helpen bij het ontwikkelen van vaardigheden zoals probleemoplossing, technische vaardigheden, ruimtelijk bewustzijn, kritisch denken en creativiteit.

Vertrekkend vanuit deze overtuiging wil ik onderzoeken of het mogelijk is om het structureel inzicht bij kinderen te ontwikkelen en welke leeromgeving het meest succesvol is om leerlingen hun vaardigheden en begrip van structurele concepten op een creatieve en ontdekkende manier te verbeteren.

### 3.1 Doelstelling

Sinds september 2022 geef ik techniek- en schaalessen op verschillende basisscholen in Oost-Vlaanderen. Deze scholen vallen onder de drie verschillende onderwijsnetten en dit biedt interessante mogelijkheden om de verschillen tussen de onderwijsnetten en de diversiteit onder de leerlingen te observeren. Bovendien kunnen de leerlingen aan wie ik lesgeef een waardevol testpubliek zijn bij het ontwerpen van het structuurmodel en de structuurworkshop. De ervaring van “lesgeven” heeft mij in staat gesteld om een goede band op te bouwen met de scholen en leerkrachten, waardoor het gemakkelijker is om nieuwe informatie te verzamelen. Dit is van groot belang om kennis en inzichten te verkrijgen over de werking van basisscholen en een beter begrip te krijgen van de leefwereld van kinderen en leerkrachten in het lager onderwijs.

Mijn doel is om een leeromgeving te ontwerpen waarin kinderen op een experimentele en ontdekkende manier hun structureel inzicht kunnen ontwikkelen. Ik ben op zoek naar de essentiële elementen die nodig zijn in een workshop om kinderen de vaardigheden van structureel denken bij te brengen, met specifieke nadruk op het begrijpen van de sterkte van triangulatie en de structurele concepten van een vakwerkbrug.

Het is mijn ambitie om kinderen de mogelijkheid te bieden om te experimenteren met "structuurmodellen" en door sensomotorische ervaringen te onderzoeken welke structurele concepten belangrijk zijn bij het maken van een brug. Hierbij wil ik de nadruk leggen op studentgericht onderwijs, waarin kinderen op een actieve manier de vaardigheden zoals kritisch en probleemoplossend denken zullen ontwikkelen.

### 3.2 Opbouw van het onderzoek

Het eerste deel van het onderzoek omvat een theoretische benadering van de ontwikkeling van structureel inzicht bij kinderen en de diverse lesmethoden die hiervoor worden gebruikt. Hierbij wordt onderzocht hoe structureel inzicht wordt ontwikkeld, welke kwaliteiten een goede leerkracht moet bezitten, welke leeractiviteiten zinvol zijn en welke lesmethoden geschikt zijn voor het basisonderwijs.

Daarnaast zal er een grondig onderzoek worden uitgevoerd naar de verschillende soorten structuurmodellen en workshops die worden toegepast in architectuurscholen en basisscholen, waarbij de respectievelijke voor- en nadelen worden geanalyseerd. Dit onderzoek omvat kritische reflectie op mijn eigen ervaringen en uitgebreide literatuurstudie om de essentiële eigenschappen van een structuurworkshop te identificeren. Op basis van de onderzoeksresultaten streef ik ernaar om een leeromgeving te ontwerpen waarin leerlingen via sensomotorische ervaringen structureel inzicht kunnen verwerven.

Het laatste deel van mijn onderzoek richt zich op het ontwerpen en testen van mijn eigen structuurworkshop, waarbij ik gebruik zal maken van de elementen die zorgen voor een optimale leerervaring voor kinderen in het basisonderwijs. Naast mijn eigen bevindingen zal ik de leerlingen testen op de kennis die zij hebben verworven, met als doel te bepalen of het mogelijk is om structureel inzicht bij kinderen te ontwikkelen en welke leeromgeving daarvoor het meest geschikt is. Ik zal verschillende testen uitvoeren, daarbij zal ik observeren, met leerlingen praten en reflecteren om de workshop en leeromgeving verder te verfijnen.

Door de resultaten van de testen te analyseren, wil ik niet alleen achterhalen wat de leerlingen onthouden en begrijpen, maar ook hoe ik hen verder kan ondersteunen bij de ontwikkeling van hun structureel inzicht. Ik wil ontdekken welke instructies effectief zijn en welke cruciale stappen moeten worden genomen bij het maken van een "structuurmodel".



Figuur 3-1. Opbouw van het onderzoek gecombineerd met de deelnemende scholen

## 4 ONTWIKKELING VAN STRUCTUREEL INZICHT

---

Het leergebied “wetenschap en techniek” is een zeer ruim leergebied dat noodzakelijk is voor de ontwikkeling van kinderen hun kennis en vaardigheden. Hierbij worden kinderen opgevoed tot leergierige, geëngageerde en verantwoordelijke burgers met respect voor zichzelf en hun omgeving. Er komen in de lessen “wereldoriëntatie” verschillende thema’s aan bod, want zo wordt een brede waaier aan vaardigheden, kennis en interesses ontwikkeld.<sup>9</sup> Maar hoe zit het nu specifiek bij de ontwikkeling van structureel inzicht bij kinderen? Wanneer ontwikkelen ze hun eerste inzichten en hoe wordt dit verder gestimuleerd?

In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de ontwikkeling van structureel inzicht bij kinderen, evenals de bevordering van samenwerkend leren. Beide aspecten zijn belangrijk en vormen het uitgangspunt voor het ontwerp van een eigen structuurworkshop.

### 4.1 De ontwikkeling van structureel inzicht bij kinderen

Het start allemaal in de kleuterschool, daar laten peuters voor het eerst hun vertrouwde leefruimte achter zich, ze ontdekken een nieuwe wereld vol speeltjes en speelkameraadjes. Ze experimenteren en onderzoeken de omgeving met al hun zintuigen, ontdekken verschillende materialen en ontwikkelen zowel hun grove als fijne motoriek. Het samenspelen of delen is nog niet ontwikkeld, dit komt door hun egocentrische houding en het beperkt aantal ervaringen, hierdoor bekijkt en handelt de peuter alles vanuit zijn eigen standpunt.<sup>10</sup>

Eens de peuters ouder worden en zich verder ontwikkelen tot kleuter lukt het samenspelen al beter, daarbij tonen ze graag hun ontdekkingen van nieuwe voorwerpen of onderdelen aan elkaar. Door deze ontdekkingstocht in een rijk en afwisselend milieu komen de kleuters los uit hun egocentrische zienswijze en leren ze de wereld vanop een afstand bekijken. De kinderen begrijpen de basisprincipes van ruimtebegrippen (vertrekkend vanuit hun eigen lichaam als referentiepunt) en krijgen meer inzicht in tijd, vorm en ruimtelijkheid. Dit uit zich wanneer we kinderen zien spelen met blokken, ze maken hiermee torens, bruggen, poorten en tunnels.<sup>11</sup> Dit heeft een positief gevolg op de ontwikkeling van hun fijne en grove motoriek, want door hun motorische ontwikkeling is het nu mogelijk om de blokken zorgvuldig op elkaar te stapelen. Daarnaast worden de creativiteit en het zelfvertrouwen van de kinderen enorm gestimuleerd, het kind kan namelijk alles nabouwen wat er in zijn fantasie opkomt.<sup>12</sup> Tot slot ontwikkelen ze vaardigheden zoals samenwerken, probleemoplossend denken en kritisch denken, dit is een eerste belangrijke stap in het zich oriënteren in de eigen wereld en de ontwikkeling van hun structureel inzicht.

---

<sup>9</sup> Gemeenschapsonderwijs. “Leerplannen”, geraadpleegd op 21 januari, 2023. <https://pro.g-o.be/pedagogische-begeleiding-leerplannen-nascholing/leerplannen/leerplannen-bao/wereldoriëntatie>

<sup>10</sup> GO! Onderwijs van de Vlaamse Gemeenschap. *Leerplan Wereldoriëntatie Lager Onderwijs*. Brussel, 2010.

<sup>11</sup> Starkey, Gillian. “Wanneer kan mijn kind een toren van 6 blokken bouwen?”, geraadpleegd op 18 februari, 2023. <https://lovevery.eu/blog/nl/kinderontwikkeling/wanneer-kan-mijn-kind-een-toren-van-6-blokken-bouwen>

<sup>12</sup> Staso, William. “4x waarom met blokken spelen goed is voor jouw kind”, geraadpleegd op 18 februari, 2023. <https://toverkast.nl/blogs/news/4x-waarom-met-blokken-spelen-goed-is-voor-jouw-kind>



In het eerste en tweede leerjaar wordt het structureel inzicht van kinderen aangewakkerd door het onderzoeken van technische systemen en constructies, de kinderen stellen hierbij vast dat systemen die men zelf vaak gebruikt gemaakt zijn van verschillende materialen (metaal, steen, hout, papier, kunststof...) en dat verschillende onderdelen van technische systemen in relatie staan tot elkaar in functie van een vooropgesteld doel.<sup>13</sup> Deze inzichten komen aan bod tijdens het knutselen, want de kinderen gebruiken verschillende soorten verbindingen zoals lijm, nietjes en spijkers. Hierdoor ervaren ze op welke wijze onderdelen aan elkaar verbonden kunnen worden en welke hechtingen ze kunnen gebruiken.<sup>14</sup> Door dit proces zien de kinderen de elementen meer als onderdelen van gehelen, hierdoor zullen ze zich vragen stellen over de leefomgeving en dit zal hun nieuwsgierigheid en leergierigheid vergroten.

Na het eerste en tweede leerjaar hebben de kinderen de grote stadia van motorische ontwikkeling doorlopen en zijn ze volop bezig met de verfijning van hun fijne motoriek. Daarnaast is hun ruimtelijk oriënteringsvermogen sterker ontwikkeld en zijn de kinderen minder egocentrisch. De noodzaak om met andere kinderen samen te werken groeit, hierdoor ontwikkelt zich een sterke behoefte aan samenhang, het kind verlangt naar goede relaties en naar een plaats in de groep. De eerste vormen van vaste vriendengroepjes ontstaan en binnen die groep streeft het kind naar erkenning.<sup>12</sup>

In het derde en vierde leerjaar is er een sterke toename van de mogelijkheden om de concrete werkelijkheid te vatten en te benoemen, daarbij ontstaat er een ruime belangstelling voor verafgelegen verschijnselen en situaties. De kinderen bekijken hun omgeving van op een afstand en ontdekken de relatie tussen mens en de maatschappij.<sup>12</sup>

In het vak "techniek" onderzoeken en illustreren de kinderen van welke technische principes eenvoudige technische systemen gemaakt zijn. Ze ervaren hoe de technische mogelijkheden van het lichaam aan de basis liggen van de ontwikkeling van technische systemen. Hierbij onderzoeken ze hoe de aard en kwaliteit van verbindingen in constructies de stevigheid en bruikbaarheid ervan bepalen.<sup>15</sup> Deze inzichten worden bereikt door verschillende technische workshops in de klas en daarbuiten, zo kunnen de kinderen bijvoorbeeld onderzoek doen naar de verschillende metselverbanden en dit zelf gaan realiseren met het gebruik van suikerklontjes en suikerlijm. Dit is meestal een proces met vallen en opstaan, maar hierdoor stellen de leerlingen zelf vast waarom een zelf gemaakt technisch systeem goed of slecht functioneert en hoe ze dit kunnen verbeteren.<sup>16</sup>

Een ander voorbeeld zien we in de techniek-cursus van "Van in", hier is een les volledig toegewijd aan het thema "stabiliteit en stevige constructies". In deze les gaan de leerlingen op zoek naar eigenschappen van stevige bouwconstructies (boogvormen, driehoeken, sterke verbindingen, verankering in de grond en de combinatie van de brede basis en smalle top) en krijgen ze een doe-opdracht waarbij ze een stevige constructie moeten maken met stokjes en elastiekjes.<sup>17</sup>

---

<sup>13</sup> Katholiek Onderwijs Vlaanderen. "ZILL: Leerplansite", geraadpleegd op 10 februari, 2023. <https://zill.katholiekonderwijs.vlaanderen/#/leerinhoud>

<sup>14</sup> Verduijn, Ilona. Leerkracht lager onderwijs VBS Ertvelde, interview 22 januari, 2023.

<sup>15</sup> Onderwijs Vlaanderen. "Onderwijsdoelen en leerplannen in het basisonderwijs", geraadpleegd op 21 januari, 2023. <https://onderwijs.vlaanderen.be/nl/ouders/leren-en-evalueren/wat-leert-mijn-kind/onderwijsdoelen-en-leerplannen-in-het-basisonderwijs>

<sup>16</sup> Heyman, Milena. Zorg coördinator Basisschool Crombeen Gent, interview 24 januari, 2023.

<sup>17</sup> Techniek! Van in. *Handleiding techniek! 4 - Hoe bouw je een stevige constructie*. Wommelgem, 2016.

Het interessante aan deze lesmethode is dat de les start met een speelse introductie waarbij de kinderen het eigen lichaam linken met de natuurlijke verschijnselen die voorkomen in constructiemethodes. Deze kennis wordt aangeleerd door het spelletje "vleeshoop" waarbij kinderen zich in elkaar haken en zo een stevig geheel proberen te vormen, ofwel bouwen ze een menselijke piramide waarbij ze leren dat de grootste kinderen best onderaan staan en zo een belangrijke stevige basis creëren voor de rest van de piramide.

Ook is het zeer leerrijk voor kinderen om zelf een constructie te maken, want hierdoor kan je de eigenschappen van stevige bouwconstructies visueel waarnemen tijdens het bouwen. In de cursus van "Van in" leren de kinderen stap voor stap hoe ze stokjes en elastiekjes aan elkaar kunnen verbinden en zo een stevige driehoek kunnen vormen. Maar de uitgever maakt hier ook een fout door de leerlingen een constructie te laten namaken die geen driehoeken bevat. Dit wilt zeggen dat de constructie niet stevig zal zijn, terwijl ze net geleerd hebben dat het gebruik van driehoeken een belangrijke eis is voor een stevige constructie. Ook in de handleiding voor de leerkracht wordt er niet vermeld dat deze constructies niet stevig zullen zijn, de aandacht wordt enkel gericht op het maken van knooppjes met elastiekjes en stokjes.

Uiteindelijk moeten de leerlingen ook zelf een constructie (brug, toren of flatgebouw) bouwen met de geleerde technieken. Deze opdracht doen ze in groepjes van twee of drie leerlingen en het is belangrijk dat de leerlingen kunnen formuleren welke constructie ze willen bouwen en dat ze hun ontwerp kunnen schetsen met de juiste afmetingen. Daarnaast moeten ze ook kijken naar welke eisen de constructie moet voldoen en moeten ze het bouwwerk beoordelen op vlak van stevigheid, ontwerp en afmetingen. Verder kunnen de leerlingen elkaars constructies beoordelen en aanpassingen voorstellen om de constructie te verbeteren.<sup>18</sup>

**Hoe bouw je een stevige constructie?**

**STAP 1** Bekijk de constructies met een technische bril!

Wat maakt de constructie stevig? Kruis aan.

Noem een gelijkenis tussen foto 4 en 5.

Je kunt de constructies opplooiën, vlieg verplaatsen, snel opbouwen ...

Vind je een gelijkenis tussen foto 1 en 2?

Het zijn monumenten, je vindt ze in hoofdsteden ...

**STAP 2** Hoe maak je een stevige constructie met stokjes en elastiekjes?

Volg het stappenplan.

1 Leg twee stokjes op elkaar.

2 Steek het uiteinde van één van de stokjes door een elastiekje.

3 Wikkel het elastiekje rond beide stokjes.

4 Bevestig het uiteinde van het elastiekje rond één van de stokjes.

5 Maak de uiteinden van een nieuw stokje vast aan de andere stokjes.

6 Het eindresultaat is een stevige driehoek.

Kruis een constructie aan. Maak ze na met stokjes en elastiekjes. Gebruik wat je leerde in de vorige opdracht.

**STAP 3** Aan de slag!

Ik denk na over het probleem.

Ik wil een toren, brug, ladder, flatgebouw bouwen.

De constructie moet stevig zijn door

boogvormen  een brede basis en een smalle top

driehoeken  sterke verbindingen

verankering in de grond

Kruis nog minstens één andere eis aan voor jouw constructie.

Figuur 4-1. Les "Hoe bouw je een stevige constructie?", Techniek! 4 (Van in)

<sup>18</sup> Techniek! Van in. Handleiding techniek! 4 - Hoe bouw je een stevige constructie. Wommelgem, 2016.

Door het proces van vergelijken, beoordelen en realiseren worden de kinderen kritischer en leren ze de wereld exploreren vanuit een kritische vraagstelling. Hierdoor gaan de leerlingen beter om met complexere inzichten en zijn ze in staat om die verworven inzichten te ordenen.

In het begin van het vijfde leerjaar zijn de belangrijkste stappen in de psychomotorische ontwikkeling doorlopen. De leerlingen kunnen gegevens situeren in tijd en ruimte zonder zichzelf als referentiepunt te nemen. Daarnaast kunnen de kinderen in groep tot resultaten komen en beleven ze plezier in het samenwerken. Groepswork is nu mogelijk omdat kinderen zich aan afspraken houden en hun standpunten kunnen verdedigen op basis van argumenten, ook al zijn die argumenten niet altijd zeer realistisch.<sup>19</sup> Doordat de leerlingen goed kunnen samenwerken is het mogelijk om samen te onderzoeken hoe technische systemen gebaseerd zijn op kennis en eigenschappen van materialen of natuurlijke verschijnselen. Dit gebeurt door groepswork waarbij ze vanuit een behoefte een technische oplossing bedenken voor een probleem en de verschillende stappen van het technische proces doorlopen (probleem vaststellen, ontwerpen, maken, in gebruik nemen en evalueren). De leerlingen kunnen ook in groep onderzoeken welke natuurlijke verschijnselen bijdragen aan de stevigheid van een brug (materialen, driehoeken, verbindingen...) en ze kunnen dan aantonen hoe structurele systemen gebaseerd zijn op kennis van eigenschappen van materialen of natuurlijke verschijnselen. Op deze manier kunnen leerlingen hun structureel inzicht verder ontwikkelen.<sup>20</sup>

## 4.2 Conclusie

Het ontwikkelen van structureel inzicht bij kinderen is geen proces dat in één jaar kan worden voltooid. Het begint al in de kleuterklas en gaat geleidelijk verder gedurende de schooljaren. Het is belangrijk om in elk leerjaar aandacht te besteden aan het ontwikkelen van dit inzicht, maar in de praktijk heb ik gemerkt dat dit niet altijd gebeurt. Hierdoor wordt het structureel denken bij kinderen onvoldoende gestimuleerd, wat leidt tot een gebrek aan structureel inzicht. Dit probleem begint vanaf het derde leerjaar, waar er minder aandacht wordt besteed aan de vakken "techniek" en "structuur".

Daarnaast kunnen we uit het modeltraject afleiden dat groepswork mogelijk is vanaf de tweede graad, kinderen zijn op deze leeftijd minder egocentrisch en hebben behoefte om met anderen samen te werken. Ook kunnen we duidelijk zien dat het plezier in samenwerken toeneemt naarmate de jaren vorderen, en aan het begin van het vijfde leerjaar is groepswork goed mogelijk doordat kinderen zich aan afspraken houden en hun standpunten kunnen verdedigen.

Op basis van deze bevindingen heb ik besloten om mijn structuurworkshop verder te ontwikkelen voor leerlingen in het vierde, vijfde en zesde leerjaar. In deze leeftijdsgroep zijn kinderen al in staat om in groep samen te werken en tot resultaten te komen. Tegelijkertijd heb ik ook vastgesteld dat er bij deze leeftijdsgroep een duidelijk gebrek is aan structureel inzicht. Door mijn workshop op dit specifieke ontwikkelingsniveau te richten, hoop ik het structureel denken bij deze leerlingen te stimuleren en hen te helpen bij het ontwikkelen van een beter begrip van structurele concepten.

---

<sup>19</sup> GO! Onderwijs van de Vlaamse Gemeenschap. *Leerplan Wereldoriëntatie Lager Onderwijs*. Brussel, 2010.

<sup>20</sup> Katholiek Onderwijs Vlaanderen. "ZILL: Leerplansite", geraadpleegd op 10 februari, 2023.  
<https://zill.katholiekonderwijs.vlaanderen/#/leerinhoud>

## 5 PEDAGOGISCHE ANALYSE VAN DE WORKSHOP

---

Er zijn verschillende manieren van lesgeven en deze hebben allemaal invloed op de leerresultaten van studenten. Daarbij kunnen lesmethoden verschillen omdat diverse vakken en onderwerpen om verschillende aanpakken vragen. De leerstijlen verwijzen naar de manier waarop leerlingen informatie verwerken en leren, en deze stijlen kunnen variëren afhankelijk van factoren zoals persoonlijkheid, voorkeuren en ervaringen. Sommige studenten leren bijvoorbeeld beter door praktische oefeningen, terwijl anderen meer baat hebben bij theoretische uitleg.

Het is dus de taak van leerkrachten om verschillende lesmethoden en leertechnieken te gebruiken om de diverse leerbehoeften van studenten en de eisen van verschillende vakken te organiseren. Het is belangrijk dat docenten flexibel zijn in hun aanpak en bereid zijn om hun methoden aan te passen aan de behoeften van individuele studenten en situaties.<sup>21</sup>

Dit hoofdstuk omvat een overzicht van theoretische benaderingen met betrekking tot het gebruik van workshops in het onderwijs, waarbij zowel mijn eigen bevindingen uit literatuurstudies als mijn praktische ervaring met workshops worden besproken. De conclusie zal de belangrijkste eigenschappen van een effectieve workshop belichten, met als doel een eigen structuurworkshop te ontwerpen die kan worden toegepast in het basisonderwijs.

### 5.1 Het gebruik van workshops in het onderwijs

Een workshop wordt vaak gebruikt in het onderwijs en kan worden georganiseerd voor een kleine groep of een groter publiek. In deze educatieve bijeenkomst of les worden deelnemers actief betrokken bij het leren en oefenen van een specifieke vaardigheid of techniek, daarbij is het meestal gericht op praktisch leren en interactie tussen de deelnemers en de leraren.

De rol van de leerkracht is zeer belangrijk, want de leraar zorgt voor de theoretische achtergrond en kennis die leerlingen nodig hebben om een workshop met succes te voltooien. Daarbij kan de leraar gebruik maken van zowel inductief als deductief onderwijs tijdens de workshop. Inductief onderwijs begint met concrete situaties, voorbeelden, experimenten of observaties en leidt tot algemene principes. Studenten worden gestimuleerd om actief te observeren, te twifelen en generalisaties af te leiden uit hun observaties. Dit type onderwijs heeft als doel kennis op te bouwen op basis van de ervaringen en interacties van leerlingen. Aan de andere kant begint deductief onderwijs met het presenteren van algemene principes door de leraar, waarna specifieke voorbeelden worden gegeven om deze principes te demonstreren. Studenten oefenen met behulp van oefeningen totdat ze de algemene principes onder de knie hebben. Deze aanpak is docentgericht en vertrouwt meer op externe motivatie van studenten. Beide benaderingen hebben hun toepassingen en beperkingen, afhankelijk van het type leerdoel en de leerlingen.<sup>22</sup>

---

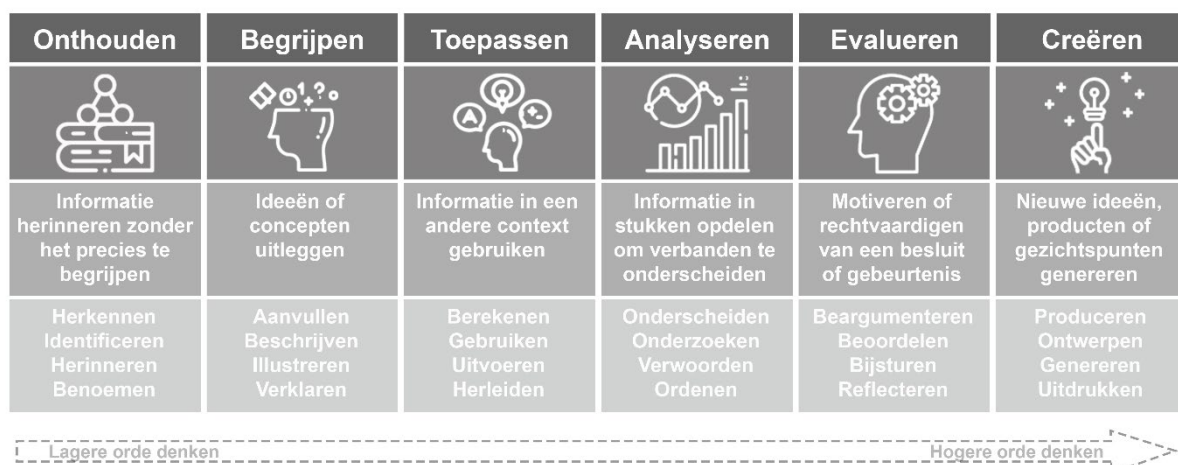
<sup>21</sup> Hattie, John. Yates, Gregory. *Visible learning and the science how we learn*. Routledge, 2013.

<sup>22</sup> Prince, Michael. Felder, Richard. *Inductive teaching and learning methods: definitions, comparisons, and research bases*. Journal of Engineering Education, 2006.

Een workshop zorgt ervoor dat studenten betekenisvol leren, deze theorie van Richard Mayer gaat verder dan het uit het hoofd leren van informatie en stelt dat studenten informatie op een actieve manier moeten verwerken en integreren met hun bestaande kennis om problemen succesvol op te kunnen lossen. Door informatie op een effectieve manier te presenteren, bijvoorbeeld met behulp van afbeeldingen en animaties, kan het leren van nieuwe kennis worden verbeterd.<sup>23</sup>

Naast het betekenisvol leren is er ook het impliciet leren, dit verwijst naar het proces van leren door ervaring en observatie, zonder dat de leerling zich bewust is van het leerproces of de opgedane kennis. Dit soort leren is vaak niet-intentioneel en vindt plaats zonder bewuste inspanning of aandacht van de student. Voorbeelden van impliciet leren zijn het leren van taal, sociale vaardigheden en motorische vaardigheden. Ron Sun stelt dat impliciet leren een belangrijke rol speelt bij het ontwikkelen van menselijke cognitieve vaardigheden en dat het gebruik van impliciet leren bij het ontwerpen van leermaterialen en leeromgevingen kan leiden tot effectiever leren en betere leerresultaten.<sup>24</sup> Tijdens de workshop wordt er door impliciet leren stilzwijgende kennis opgedaan, Michael Polanyi beschouwt deze kennis als onbewuste informatie die in ons geheugen is opgeslagen en niet altijd expliciet toegankelijk is. Stilzwijgende kennis is van groot belang voor menselijke activiteiten zoals wetenschap, kunst en technologie.<sup>25</sup>

Workshops hebben door hun specifieke aanpak een tal van voordelen, dit helpt studenten hun vaardigheden op elk niveau van de taxonomie van Bloom te ontwikkelen. Daarbij is een workshop gebaseerd op het idee dat leerlingen beter kunnen leren en onthouden als ze actief betrokken zijn bij het leerproces en als ze verbanden kunnen leggen tussen nieuwe informatie en hun bestaande kennis en ervaringen. Door gebruik te maken van de herziene taxonomie van Bloom kunnen docenten beter afstemmen op de leerbehoeften van hun studenten en hen helpen hun vaardigheden op elk niveau te ontwikkelen. De taxonomie omvat zes niveaus van denkvaardigheden (zie figuur 5-1), variërend van eenvoudige kennis tot complexe creativiteit, en helpt bij het ontwikkelen van diepgaand begrip en vaardigheden bij studenten.<sup>26</sup>



**Figuur 5-1. Schema taxonomie van Bloom**

<sup>23</sup> Mayer, Richard. *Rote versus meaningful learning*. Theory into practice, 2002.

<sup>24</sup> Sun, Ron. *The Cambridge handbook of computational psychology*. Cambridge University Press, 2008.

<sup>25</sup> Polanyi, Michael. *The Tacit Dimension*. Routledge, 1966.

<sup>26</sup> Luyten, Laurens. Vilquin, Thomas. Vrouwe, Ivo. *A comparative study of the physical model as a tool for structural education: Beyond their limits*. Routledge, 2016.

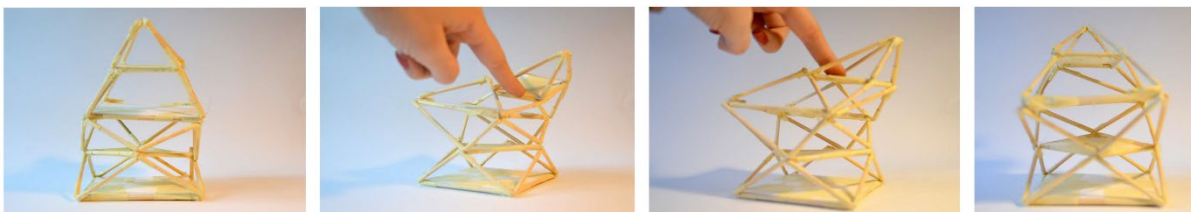
## 5.2 Leren door sensomotorische ervaringen en belichaamde cognitie

Kinderen kunnen op verschillende manieren nieuwe kennis opnemen. Een veelgebruikte methode is via visuele informatie, zoals afbeeldingen, diagrammen en video's. Visuele informatie kan complexe concepten vereenvoudigen en helpen bij het begrijpen van abstracte ideeën. Daarnaast kunnen kinderen nieuwe kennis opdoen via auditieve informatie, zoals verhalen, presentaties en instructies. Deze methode kan helpen bij het verbeteren van het geheugen en het begrijpen van spraak. Kinderen kunnen ook nieuwe kennis opnemen door middel van tekstuele informatie, zoals boeken en artikelen. Dit kan helpen bij het ontwikkelen van het leesvermogen en het begrijpen van complexe zinnen. Ten slotte kunnen kinderen op een kinesthetische manier leren, dit is door middel van actieve betrokkenheid en praktische ervaringen, hierbij ontstaan sensomotorische ervaringen.<sup>27</sup>

Sensomotorische ervaringen zijn ervaringen waarbij de zintuigen en de motoriek samenwerken om informatie over de wereld te verzamelen. Hierbij spelen zintuigen zoals tast, gehoor, zicht, smaak en reuk een rol in combinatie met de motoriek, oftewel de bewegingen van het lichaam. Deze ervaringen zijn belangrijk voor de ontwikkeling van het menselijk brein en de cognitieve functies, omdat ze een directe verbinding leggen tussen waarneming en actie. Sensomotorische ervaringen kunnen bijvoorbeeld bestaan uit het vastpakken en onderzoeken van een object, het luisteren naar geluiden om een omgeving te verkennen of het uitvoeren van fysieke handelingen om een doel te bereiken. Door dit principe worden er vaak structuurworkshops in de opleiding architectuur georganiseerd, want door de workshops worden vaardigheden en inzichten ontwikkeld door middel van actieve betrokkenheid en praktische ervaringen. De sensomotorische ervaringen zorgen ervoor dat de leerlingen nieuwe informatie verwerken en onthouden.<sup>28</sup>

Een voorbeeld zien we in figuur 5-2, hierbij worden er kleine raamwerken met behulp van dunne stokjes en plakband gecreëerd. Daarna moeten studenten een kracht uitoefenen op de elementen en zullen ze op een visuele manier zien of de constructie stabiel is. Indien er doorbuiging is moeten de studenten dit probleem stabiliseren door diagonalen toe te voegen. Door middel van deze ervaringen ontstaan er nieuwe verbindingen tussen waarneming en actie en hierdoor worden nieuwe cognitieve schema's gevormd.

Deze cognitieve processen zijn betrokken bij het verkrijgen, verwerken, opslaan en gebruiken van informatie. Het omvat een breed scala aan processen, zoals aandacht, perceptie, geheugen, denken, taal, redeneren, probleemoplossing en besluitvorming. Cognitieve processen zijn van cruciaal belang voor ons dagelijks functioneren, en spelen een belangrijke rol in ons vermogen om te leren, communiceren en aan te passen aan onze omgeving.<sup>29</sup>



**Figuur 5-2. Stabiliseren door toevoeging van diagonalen, Seintorentje Barg53 Structuur en aansluiting, KU Leuven (Deruwe Liedewij, Garrido Chloé, Stouthuysen Frieke en De Baets Keano)**

<sup>27</sup> Illeris, Knud. *Contemporary theories of learning*. Routledge, 2008.

<sup>28</sup> James, William. *The principles of psychology*. New York: Henry Holt and Company, 1890.

<sup>29</sup> Sternberg, Robert. *Cognitive psychology*. Harcourt Brace College Publishers, 1999.

Binnen de cognitieve psychologie (een tak van de psychologie die zich richt op het bestuderen van de mentale processen en het begrijpen van hoe mensen informatie verwerken en gebruiken) is er ook een benadering genaamd "belichaamde cognitie", die stelt dat cognitieve processen niet alleen plaatsvinden in het brein, maar ook in het lichaam en in de omgeving. Het begrip van een concept is dus niet alleen afhankelijk van de verwerking van informatie in de hersenen, maar ook van het lichaam en de omgeving waarin het concept wordt ervaren.<sup>30</sup>

Tijdens mijn tweede jaar van mijn Bachelor Architectuur heb ik persoonlijk de effecten van belichaamde cognitie in het onderwijs ervaren. Ik zal de workshop in het vak "Barg33 Structuur Verdiepend" nooit vergeten. In deze workshop moesten we in groepjes van drie de hoogste kartonnen toren bouwen en er vervolgens op staan zonder dat de toren instortte. De studenten moesten efficiënt omgaan met het beschikbare materiaal, omdat elke groep evenveel vellen karton kreeg. Deze oefening helpt de leerlingen de creatieve en efficiënte waarde van structuren in de architectuur te begrijpen en leert hen structurele inzichten te leren door middel van belichaamde cognitie. Hierbij leren de leerlingen dat constructieve en materiële prestaties belangrijke elementen zijn van het creatieve proces. De ervaring van het zelf op de toren staan en het voelen instorten, helpt studenten het structurele concept te begrijpen en zal hen voor de rest van hun leven bijblijven (dit is mijn eigen ervaring met Barg33 Structuur Verdiepend).

Het is belangrijk om te onthouden dat kinderen vaak verschillende leerstijlen hebben en dat het afwisselen van deze methoden kan helpen bij het verbeteren van hun leerprestaties. Daarbij moeten we aandacht richten op het leren door sensomotorische ervaringen, hierbij verwerven kinderen kennis door lichamelijke ervaringen. Dit past perfect bij de ontwikkeling van het structureel inzicht, want het zien falen van een constructie leidt tot een lichamelijke interactie waarbij het lichaam schrikt van de instorting en uw reactievermogen in werking schiet om dit te voorkomen. Deze ervaring zal ik gebruiken in mijn structuurworkshop, want ik ben ervan overtuigd dat de samenwerking tussen de zintuigen en de motoriek een belangrijk ervaring vastlegt voor de ontwikkeling van het menselijke brein en de cognitieve functies.



**Figuur 5-3. Structureel inzicht leren door belichaamde cognitie, Testen kartonnen toren Barg33 Structuur Verdiepend, KU Leuven (De Vos Luca, De Schuytener Natalie en De Baets Keano)**

<sup>30</sup> Wilson, Margaret. *Six views of embodied cognition*. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2002.

### 5.3 Actief leren van elkaar

Veel basisscholen zijn zich ervan bewust dat hun leerlingen moeite hebben om aan de eindtermen van “techniek” te voldoen. Daarom worden er naast de reguliere lessen “wereldoriëntatie” ook technische workshops aangeboden. In deze workshops leren kinderen over het ontwerpen, bouwen, testen en verbeteren van verschillende apparaten en systemen. Het doel van deze workshops is om de interesse van kinderen in wetenschap, technologie, engineering en wiskunde (STEM) te stimuleren en tegelijkertijd hun creatieve en probleemoplossende vaardigheden te ontwikkelen.<sup>31</sup>

Deze workshops worden vaak georganiseerd in technische middelbare scholen, omdat deze scholen beschikken over de juiste materialen en voldoende technisch geschoolde leerkrachten hebben om de leerlingen bij te staan. Tijdens de praktijklessen worden de kinderen ondergedompeld in een nieuwe wereld vol techniek. Ze krijgen een korte theoretische uitleg over techniek en vervolgens krijgen ze een opdracht om hun technische vaardigheden verder te ontwikkelen.<sup>32</sup>

Het is interessant om de theoretische kennis over verschillende leermethoden te verbinden met concrete situaties en daarbij de theoretische benaderingen ter discussie te stellen. Daarom besloot ik enkele workshops bij te wonen in het basisonderwijs. De eerste workshop vond plaats op donderdag 2 februari 2023 in Sint-Denijs-Westrem. Ik nam deel aan de technische workshop met Lego WeDo, samen met de vijfdejaars van Juf Trui van basisschool Crombeen. In deze workshop richtten de leerlingen zich op het bouwen en construeren van machines en objecten die relevant zijn voor het dagelijks leven.<sup>33</sup>

Op een eenvoudige en visuele manier bouwden de kinderen robots die ze via bluetooth konden programmeren. Ze analyseerden problemen en gingen op zoek naar out-of-the-box oplossingen. De ideeën van de leerlingen werden gedeeld met hun klasgenoten en ze ontdekten dat het de moeite waard was om te blijven proberen. Op die manier konden de kinderen leren van hun eigen fouten en extra voldoening ervaren wanneer hun geprogrammeerde robots uiteindelijk werkten.<sup>34</sup>

Doordat de leerlingen actief betrokken waren bij het leerproces, namen ze deel aan actief leren. Ze werden uitgedaagd om zelf kennis op te bouwen en te organiseren door middel van verschillende leeractiviteiten, zoals discussies, groepswork, casestudies, probleemoplossing en reflectie. Deze activiteiten stimuleerden de kinderen om hun eigen denkprocessen te ontwikkelen en kritisch na te denken over de informatie die ze leerden.<sup>35</sup>

Actief leren kan zowel individueel als in groepsverband worden toegepast en is relevant in verschillende onderwijscontexten, van kleuterschool tot universitair onderwijs. In de workshop met lego WeDo kregen de leerlingen in groepjes van twee een tablet en een doos met de onderdelen van Lego. Daarbij moesten de leerlingen het bouwplan op de tablet volgen en zo de lego-robot maken. Eens de robot klaar was, was het tijd voor het programmeren van de

---

<sup>31</sup> Heyman, Milena. Zorg coördinator Basisschool Crombeen Gent, interview 24 januari, 2023.

<sup>32</sup> De Bruyn, Wim. Directeur VBS Tuimelaar Stekene, interview 20 januari, 2023.

<sup>33</sup> Don Bosco Sint-Denijs-Westrem. “Lego Education Innovation Studio”, geraadpleegd op 1 februari, 2023.  
[https://www.donboscosdw.be/basisschool/Lego\\_innovation\\_studio.html](https://www.donboscosdw.be/basisschool/Lego_innovation_studio.html)

<sup>34</sup> Technopolis. “Workshop Lego WeDo 2.0”, geraadpleegd op 01 april, 2023.  
<https://www.technopolis.be/nl/workshops/workshop-lego-wedo-2-0/>

<sup>35</sup> Bonwell, Charles. Eison, James. *Active learning: creating excitement in the classroom*. Washington, 1991.

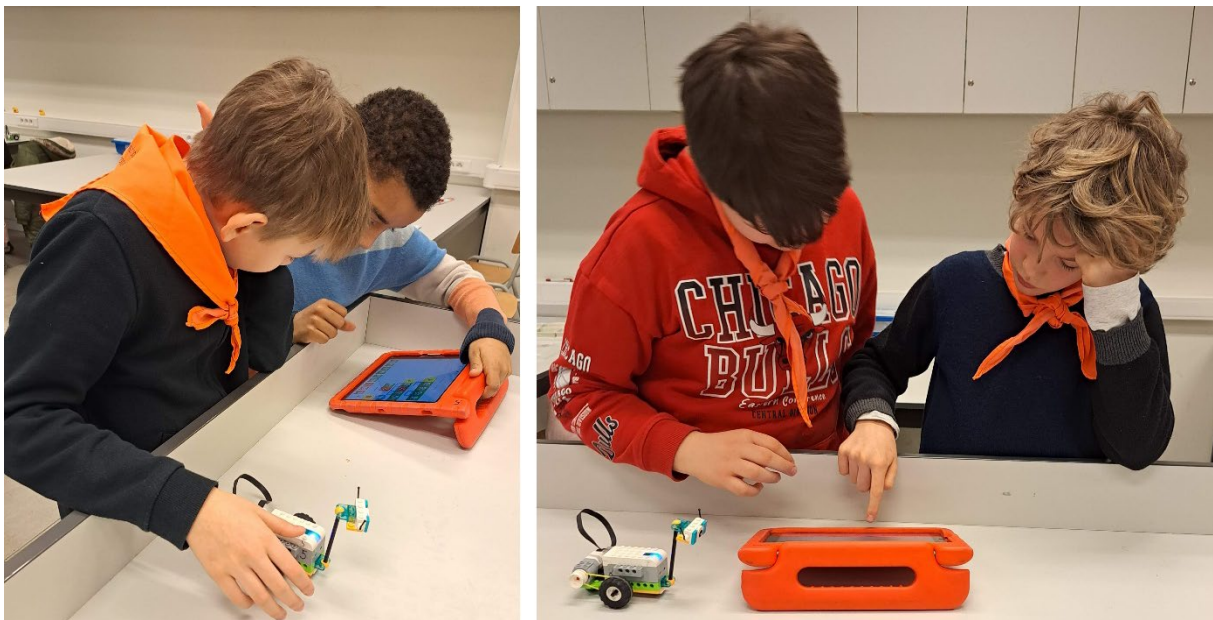


robot, hier werd vooral het experimenteren en het ontdekken van de programmeertaal gestimuleerd, zo moeten de leerlingen zelf ontdekken hoe ze de robot kunnen laten bewegen en stoppen. Stap voor stap werden nieuwe uitdagingen gegeven aan de kinderen en op het einde van de les was het dan ook tijd voor een wedstrijdje. Elke groep moest hun robot zodanig programmeren dat hij snel kon voortbewegen en op tijd kon stoppen, de groep die dit het snelste kon was de winnaar.

Door in groepsverband te werken doen ze aan samenwerkend leren, dit is een onderwijsvorm waarbij leerlingen samenwerken in groepen om te leren en problemen op te lossen. Het gaat om een actieve en interactieve vorm van leren waarbij leerlingen met elkaar communiceren, kennis en vaardigheden delen, en elkaar ondersteunen om een gemeenschappelijk doel te bereiken. Het bevordert ook de ontwikkeling van teamwork en leiderschapskwaliteiten, en helpt leerlingen om verschillende perspectieven en ideeën te begrijpen en te respecteren.<sup>36</sup>

Samenwerkend leren is belangrijk om verschillende redenen. Ten eerste kan het leiden tot een dieper begrip van de leerstof, omdat studenten verschillende perspectieven en ideeën kunnen delen en elkaar kunnen helpen bij het begrijpen van complexe concepten. Ten tweede kan het de sociale vaardigheden en communicatieve vaardigheden van studenten verbeteren, omdat ze moeten samenwerken en communiceren om een gezamenlijk doel te bereiken. Ten derde kan het de motivatie en betrokkenheid van studenten vergroten, omdat ze een gevoel van verantwoordelijkheid voelen om bij te dragen aan het succes van de groep. Tot slot bereidt het studenten voor op de realiteit van de werkplek, waar samenwerking vaak een belangrijk onderdeel is van het werk.<sup>37</sup>

Ik kon duidelijk zien dat er verschillende strategieën en methoden gebruikt werden om samenwerkend leren te stimuleren, maar het is steeds belangrijk om de juiste groepsgrootte en samenstelling te kiezen, voldoende tijd en ruimte te bieden voor interactie en feedback, en duidelijke doelen en taken te stellen die relevant zijn voor de leerdoelen.<sup>38</sup>



**Figuur 5-4. Techniekworkshop Lego WeDo, Basisschool Crombeen, 02/02/23**

<sup>36</sup> Salvin, Robert. *Cooperative learning, theory, research, and practice*. Allyn & bacon, 1995.

<sup>37</sup> Webb, Noreen. *Understanding collaborative learning: a guide for the classroom teacher*. Routledge, 2009.

<sup>38</sup> Johnson, David. Johnson, Roger. *Cooperative learning in the classroom*. University of Minnesota, 1994.

## 5.4 Projectmatig leren

Na de Lego WeDo workshop heb ik nog een paar kleine workshops bijgewoond in Stekene, daar lag de focus vooral op het ontwikkelen van technische vaardigheden. Zo kwamen de thema's hout, bouw, metaal, elektriciteit en programmeren aan bod. Jammer genoeg werd ook hier geen aandacht gegeven aan het leren van structuur of stabiliteit. Wel was er aandacht voor projectmatig leren, hierbij staat de student centraal en worden de leerlingen actief betrokken bij het formuleren van de onderzoeksvragen en het plannen en uitvoeren van het project. In deze aanpak worden studenten uitgedaagd om te werken aan authentieke problemen en uitdagende projecten die gericht zijn op het toepassen van hun kennis en vaardigheden in de echte wereld. De projecten zijn vaak multidisciplinair en interdisciplinair van aard, wat betekent dat studenten worden uitgedaagd om verschillende vakgebieden te integreren om complexe problemen op te lossen. De projecten kunnen variëren van onderzoek naar lokale gemeenschapskwesties, tot de ontwikkeling van nieuwe technologieën of producten. De rol van de docent verandert van een kennisoverdrager naar een begeleider en coach, die de studenten ondersteunt en helpt om hun leerdoelen te bereiken.<sup>39</sup>

Ik zou graag het samenwerkend en het projectmatig leren stimuleren in mijn eigen structuurworkshop, want door samen aan een maatschappelijk probleem te werken leren de kinderen met elkaar communiceren, kennis en vaardigheden te delen, en elkaar te ondersteunen om een gemeenschappelijk doel te bereiken. Het bevordert de ontwikkeling van teamwork en leiderschapskwaliteiten, en het vergroot de motivatie en betrokkenheid van de leerlingen. Daarnaast helpt het leerlingen bij hun ontwikkeling van belangrijke vaardigheden, zoals kritisch denken, probleemoplossing, samenwerking, communicatie en creativiteit. Het stimuleert ook het engagement en de intrinsieke motivatie van studenten doordat ze een actieve rol spelen in het leerproces en de mogelijkheid hebben om hun eigen interesses en passies te ontwikkelen.



Figuur 5-5. Projectmatig leren, bouw periscoop Techniekacademie Stekene, 17-02-23

<sup>39</sup> Krajcik, Joseph. Blumenfeld, Phyllis. *Project-based learning*. Autodesk Foundation, 2006.

## 5.5 De eigenschappen van een effectieve workshop

Na het bestuderen van theoretische benaderingen over het gebruik van workshops in het onderwijs en het opdoen van mijn eigen ervaringen, kan ik bevestigen dat workshops verschillende voordelen met zich meebrengen. Het is echter belangrijk om te onthouden dat kinderen vaak verschillende leerstijlen hebben en dat het afwisselen van deze methoden kan helpen bij het verbeteren van hun leerprestaties. Bij het beschouwen van de eigenschappen van een effectieve workshop, kunnen de volgende kenmerken worden benadrukt:

- Actief leren: Kinderen worden actief betrokken in het leerproces en dit helpt hen om het begrip en het vasthouden van informatie te verbeteren. Actief leren laat de leerlingen verbanden leggen tussen nieuwe informatie en hun bestaande kennis en ervaringen, zo bereiken de leerlingen een hogere orde van denken (herziene taxonomie van Bloom en de theorie van “betekenisvol leren” door Richard Mayer).
- Impliciet leren: Kennis en vaardigheden worden verworven door ervaring en observatie, zonder bewuste inspanning of bewustzijn van het leerproces. Het is een vorm van leren die vaak niet-intentioneel is en plaatsvindt zonder expliciete aandacht van de leerling.
- Projectmatig leren: Leerlingen worden uitgedaagd om te werken aan authentieke problemen en uitdagende projecten, daarbij zijn de projecten multidisciplinair en moeten kinderen verschillende vakgebieden integreren om tot een succesvol resultaat te komen. De leerlingen worden gestimuleerd om hun eigen denkprocessen te ontwikkelen en kritisch na te denken over de informatie die ze leren.
- Samenwerkend leren: Groepswerk leidt tot een dieper begrip van de leerstof en verbetert de sociale en communicatieve vaardigheden. De leerlingen zullen met elkaar communiceren en zullen kennis en vaardigheden delen, hierdoor helpen kinderen elkaar bij het begrijpen van complexe concepten en dit zal hen ondersteunen om het gemeenschappelijk doel te bereiken.
- Competitie: Competitie kan bijdragen aan motivatie en betrokkenheid van deelnemers, doordat de leerlingen worden uitgedaagd zal de motivatie en betrokkenheid van de leerlingen vergroten en dit bevordert de ontwikkeling van teamwork en leiderschapskwaliteiten.
- Rol leerkracht: In een workshop kunnen deelnemers direct feedback krijgen van de instructeur en andere deelnemers. Dit kan bijdragen aan een snellere leercurve en verbetering van vaardigheden, maar de leerkrachten moeten wel een bepaalde technische kennis hebben om de studenten bij te staan en de juiste feedback te geven.

Naast deze algemene eigenschappen van workshops wil ik graag benadrukken dat het steeds belangrijk is om de juiste groepsgrootte en samenstelling te kiezen, voldoende tijd en ruimte te bieden voor interactie en feedback, en duidelijke doelen en taken te stellen die relevant zijn voor de leerdoelen.

Bij structuurworkshops is het waardevol om aandacht te besteden aan het leren door sensomotorische ervaringen, waarbij kinderen kennis verwerven door lichamelijke ervaringen. Het observeren van constructiefouten en de daaropvolgende lichamelijke reactie bevorderen de ontwikkeling van structureel inzicht. Ik ben ervan overtuigd dat de samenwerking tussen zintuigen en motoriek een belangrijke rol speelt in de ontwikkeling van het menselijk brein en cognitieve functies. Het integreren van deze ervaring in de workshop is dan ook een essentieel kenmerk voor het creëren van een effectieve structuurworkshop.

## 6 WORKSHOPS MET STRUCTUURMODELLEN

---

Dit hoofdstuk richt zich op de voordelen van fysieke structuurmodellen en bespreekt verschillende modellen die gebruikt worden in architectuurscholen en basisscholen. Daarnaast wordt onderzocht hoe educatieve structuurmodellen, door middel van sensomotorische ervaringen, het structureel inzicht bij leerlingen kunnen ontwikkelen.

Het doel van dit onderzoek is het verkrijgen van een overzicht van de belangrijkste structuurmodellen die worden gebruikt in het onderwijs en zo een beter begrip te krijgen over het gebruik ervan. De conclusie zal dienen als basis voor het ontwerp van een experimentele leeromgeving met educatieve structuurmodellen ter bevordering van het structureel denken bij kinderen.

### 6.1 Het gebruik van structuurmodellen in architectuurscholen

In architectuurscholen neemt het gebruik van computers en software steeds meer toe. Hoewel dit veel kansen met zich meebrengt, zijn er ook gevaren verbonden aan deze ontwikkeling. In structurele opleidingen moeten gebruikers van analyse- en ontwerpprogramma's niet alleen vertrouwd zijn met deze software, maar ook in staat zijn om een correcte vertaling te maken van het softwaremodel naar de fysieke aspecten van de constructie. Als dit niet op de juiste manier gebeurt, kan het begrip van studenten met betrekking tot de "structurele realiteit" verminderd worden.<sup>40</sup>

Schmucker Douglas, de auteur van "Models, models, models: The use of physical models to enhance the structural engineering experience", is van mening dat fysieke modellen een essentieel onderdeel zijn van een gebalanceerd curriculum in de structurele opleidingen. Ze bieden niet alleen mogelijkheden voor een "hands-on" leerervaring, maar ook voor het begrijpen van de fysieke realiteit van een constructie. Fysieke modellen zijn al langere tijd onderdeel van de praktijk in onder andere productontwerp, architectuur en engineering. Ze worden gebruikt als representatiemodellen voor communicatie met klanten, als prototypes voor productontwerp en als schaalmodellen voor testen.<sup>40</sup> In de huidige ontwerpopleidingen wordt dan ook gebruik gemaakt van zowel fysieke als digitale modellen om studenten voor te bereiden op de praktijk en hun ontwikkeling van disciplineaire kennis te ondersteunen.<sup>41</sup>

Het "Canadian Architectural Certification Board" in Canada en het "National Architectural Accrediting Board" in de Verenigde Staten zijn verantwoordelijk voor de beoordeling van architectuuropleidingen en het vaststellen of ze voldoen aan de vereisten voor certificering. Deze instanties hebben bepaald dat alle studenten binnen de architectuuropleidingen een begrip moeten ontwikkelen van de principes van structureel gedrag bij het weerstaan van zwaartekracht en laterale krachten, evenals de evolutie, reikwijdte en geschiktheid van

---

<sup>40</sup> Schmucker, Douglas. *Models, models, models: The use of physical models to enhance the structural engineering experience*. The Pennsylvania State University, 1998.

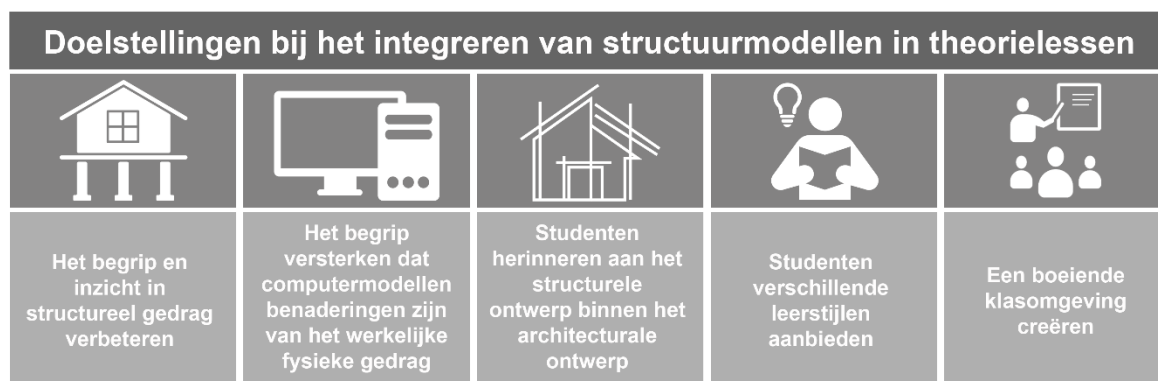
<sup>41</sup> Luyten, Laurens. Vilquin, Thomas. Vrouwe, Ivo. *A comparative study of the physical model as a tool for structural education: Beyond their limits*. Routledge, 2016.

structurele systemen.<sup>42</sup> Daarnaast dienen architectuurstudenten het vermogen te hebben om de basisprincipes van structurele systemen te begrijpen, te demonstreren en toe te passen.<sup>43</sup>

Om aan deze vereisten te voldoen, omvatten erkende architectuurscholen cursussen over structurele systemen en materialen in hun curriculum. De inhoud en de onderwijsaanpak van deze cursussen kunnen echter sterk variëren tussen verschillende universiteiten. Sommige scholen geven bijvoorbeeld theoretische lezingen, terwijl andere de nadruk leggen op coöperatieve ontwerpworkshops.<sup>44</sup>

Er zijn ook scholen die een combinatie van beide benaderingen hanteren, hierbij worden structuurmodellen geïntegreerd in de theoretische lessen en ontwerpvakken. Dit biedt studenten een platform om een diep begrip van structurele basisstructuren te ontwikkelen, terwijl ze ook gerelateerd worden aan ontwerp en creativiteit.<sup>44</sup> Volgens Schmucker zijn zowel de ontwerpworkshops als de cursussen over structurele systemen en materialen essentieel in de opleiding van een architect. Ze verschaffen studenten inzicht in de structurele basisprincipes, materialen en systemen die in gebouwen worden gebruikt, en hoe ze zwaartekracht en zijdelingse krachten kunnen weerstaan. Bovendien heeft het integreren van structuurmodellen in de theoretische lessen verschillende doelstellingen, zoals weergegeven in figuur 6-1.<sup>45</sup>

Door het gebruik van structuurmodellen leren studenten ontwerpbeslissingen nemen die direct gerelateerd zijn aan bouwmaterialen voor hun projecten, en kunnen ze door middel van structuurmodellen het structurele gedrag van constructies testen en evalueren. Dit draagt bij aan een dieper begrip van de relatie tussen ruimte, geometrie en materiaalprestatie. Het gebruik van fysieke modellen in architectuurscholen dient om structurele basisconcepten aan te leren aan de studenten. Het is dus niet de bedoeling om architectuurstudenten om te vormen tot technische studenten, maar wel om hen succesvol te laten zijn in een steeds veeleisender beroep dat tussen technologie en kunst ligt.<sup>44</sup>



**Figuur 6-1. Schema doelstellingen bij het integreren van structuurmodellen in theorielessen**

<sup>42</sup> CACB. *Conditions and terms for accreditation, for professional degree programs in architecture*. CACB, 2017.

<sup>43</sup> NAAB. *2014 Conditions for accreditation*. The National Architectural Accrediting Board, 2014.

<sup>44</sup> Soto-Rubio, Mauricio. *The use of physical models to teach structures in architecture school: a pedagogical approach*. University of Calagary, 2017.

<sup>45</sup> Schmucker, Douglas. *Models, models, models: The use of physical models to enhance the structural engineering experience*. The Pennsylvania State University, 1998.

## 6.2 De voordelen van structuurmodellen in architectuurscholen

Het gebruik van structuurmodellen in de architectuuropleiding heeft verschillende voordelen, zoals uit diverse onderzoeken is gebleken. In de paper "A comparative study of the physical model as a tool for structural education: beyond their limits" hebben de auteurs de verschillende onderwijsmethoden voor structureel ontwerp in de architectuuropleiding onderzocht. Het onderzoek richtte zich met name op de rol van fysieke modellen als een instrument om structurele concepten te onderwijzen en hun praktische toepassing te bevorderen.<sup>46</sup>

In de conclusie van hun paper worden de voordelen van het gebruik van fysieke modellen in het structureel onderwijs van ontwerpstudenten samengevat, daarbij is het duidelijk dat het gebruik van fysieke structuurmodellen verschillende voordelen heeft:

- Fysieke structuurmodellen passen goed in projectmatig, studentgericht onderwijs dat studenten activeert in het leren van structuurtheorie. In deze projecten werken studenten in groep waardoor samenwerking en groepsdynamica mogelijk is.
- Fysieke modellen kunnen worden gebruikt voor de ontwikkeling van de structurele kennis van de student, maar ook als een instrument voor structurele ontdekking in een studio-omgeving.
- Het construeren en testen van fysieke modellen stelt studenten in staat om sensomotorische ervaringen op te doen in structureel gedrag dat bijdraagt aan hun kennis van structurele theorie (vgl. belichaamde cognitie).
- Deze driedimensionale modellen verbinden structuur als een ruimtelijke kwaliteit met het ontwerpobject van architectuur, interieurarchitectuur of productontwerp en zetten zo aan tot geïntegreerde ontwerpen.
- De driedimensionale weergave van het structuurmodel maakt een rijke ontwerpcommunicatie mogelijk tussen de studenten onderling, met docenten en juryleden als externe partijen, maar ook intern voor de ontwerper om een gesprek te voeren met zijn/haar eigen ontwerppositie.
- Hoewel digitale modellen meer nauwkeurigere berekeningen van constructies mogelijk maken, is het gebruik van fysieke modellen minder vatbaar voor onvoorziene ontwerp- en testfouten en vereisen ze weinig voorkennis om gecreëerd te worden.

Kortom, het gebruik van fysieke structuurmodellen in de opleiding tot architect biedt studenten een waardevolle leerervaring die hen helpt hun vaardigheden en begrip van structurele concepten te verbeteren, terwijl ze tegelijkertijd worden gestimuleerd om creatief te zijn en samen te werken.

---

<sup>46</sup> Luyten, Laurens. Vilquin, Thomas. Vrouwe, Ivo. *A comparative study of the physical model as a tool for structural education: Beyond their limits*. Routledge, 2016.

### 6.3 Het gebruik van structuurmodellen in het basisonderwijs

Na de analyse over het gebruik van structuurmodellen in architectuurscholen wordt er nu aandacht gericht op het gebruik van structuurmodellen in het basisonderwijs. Worden structuurmodellen in het lager onderwijs effectief gebruikt en wat leren de kinderen hieruit?

Volgens de leerplannen van het Gemeenschapsonderwijs en het Katholiek Onderwijs is het vanaf het derde leerjaar mogelijk voor de leerkracht om de leerlingen te stimuleren in het ontwikkelen van hun structureel inzicht.<sup>47</sup> Vanaf het vijfde leerjaar dient de leerkracht actieve inspanningen te leveren om dit doel te bereiken voor alle leerlingen, inclusief het begrip van structurele principes zoals de werking van bruggen.<sup>48</sup>

Uit de bevraging van ongeveer twintig leerkrachten van verschillende scholen uit verschillende onderwijsnetten bleek dat het gebruik van structuurmodellen niet veel voorkomt in het lager onderwijs. Er zijn wel scholen die hier aandacht aan besteden, maar het exacte aantal scholen is niet duidelijk, want er is hier nog geen onderzoek over gedaan.

Als scholen workshops “structuur” organiseren dan is dit meestal voor leerlingen van het derde, vierde, vijfde of zesde leerjaar. Tijdens deze workshops worden de leerlingen uitgedaagd om met een bepaald materiaal een brug of toren te bouwen. Het gebruikte materiaal varieert van school tot school, maar over het algemeen wordt er gebruikgemaakt van papier en plakband, stokjes en elastiekjes, spaghetti en marshmallows, of K'nex.

In dit hoofdstuk zullen deze verschillende materialen worden onderzocht en zullen we kijken naar de voor- en nadelen van het ontwikkelen van structureel inzicht bij kinderen door middel van het gebruik van fysieke structuurmodellen.



**Figuur 6-2. Spaghetti-marshmallow workshop Freinetschool De Harp, 28-11-22**

<sup>47</sup> Katholiek Onderwijs Vlaanderen. “ZILL: Leerplansite”, geraadpleegd op 10 februari, 2023. <https://zill.katholiekonderwijs.vlaanderen/#/leerinhoud>

<sup>48</sup> GO! Onderwijs van de Vlaamse Gemeenschap. *Leerplan Wereldoriëntatie Lager Onderwijs*. Brussel, 2010.

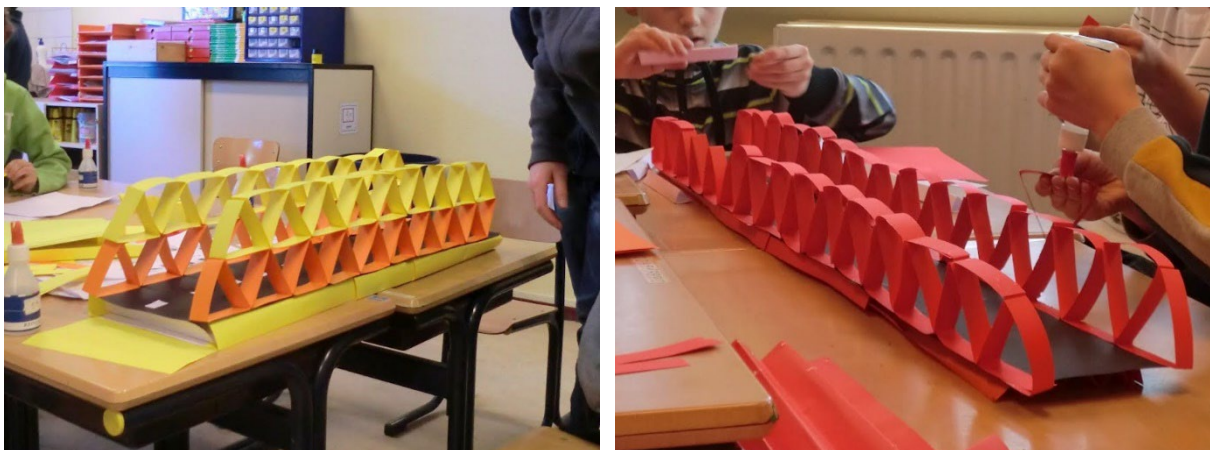
### 6.3.1 Het papier-model

Uit de analyse van de verschillende workshops "structuur" in het lager onderwijs blijkt dat modellen van papier en plakband één van de meest gebruikte modellen zijn. Het materiaal is makkelijk te gebruiken (knippen, plooiën, buigen) en de modellen geven directe sensomotorische ervaringen over wat stevig is en wat niet.

Professor Johan Blom zegt dat leerlingen direct opmerken dat een blad papier doorbuigt als je het over een overspanning plaatst, dit wil zeggen dat het papier niet stijf is, maar als je dit blad vouwt in driehoeken zal het al veel sterker zijn. Ook kan je het blad in boogvorm onder het rijvlak plaatsen, hierdoor zien de leerlingen direct hoe boogbruggen zijn ontstaan. Tot slot kan je het papier oprollen in rolletjes, hierdoor wordt het papier stijver en dit kan je dan gebruiken als staven van uw constructie. Met deze rolletjes papier kan je een vakwerk creëren, hierbij zullen de leerlingen gebruik maken van driehoeken en zo de sterkte van triangulatie ontdekken.<sup>49</sup>

Het leereffect van papiermodellen kan echter in twijfel worden getrokken, want door het bekijken van verschillende papieren bruggen kom ik tot het besluit dat het beoogde doel van de workshop niet wordt behaald en dit beseffen de leerkrachten zelf niet. Leerkrachten schrijven vaak op hun klasblog dat de leerlingen met succes een stevige brug hebben ontworpen en dat de brug een gewichtje kon dragen. Maar wanneer we naar de bijhorende foto's kijken, zien we verschillende ontwerpen die helemaal niet stabiel zijn. Dit komt doordat sommige leerkrachten in het basisonderwijs onvoldoende structureel inzicht hebben, waardoor ze verkeerde technische kennis overdragen aan de leerlingen. Hoewel de feedback en kennis van de leerkracht van groot belang zijn bij de ontwikkeling van structureel inzicht bij kinderen, krijgen de leerlingen door een verkeerde interpretatie van de structurele principes een onjuist beeld van hun eigen ontwerp.

Een veel voorkomende fout is het verkeerd interpreteren van de sterkte van triangulatie. Driehoeken worden niet als structurele elementen gebruikt, maar simpelweg toegevoegd op een stevige basis, waardoor de brug niet instort en het structuurmodel geen juiste informatie kan geven. Dit leidt tot misvattingen en verkeerde inzichten over structuur, en dit wordt pas duidelijk na het ontvangen van de juiste feedback.



**Figuur 6-3. Fout toepassen van de sterkte van triangulatie (Basisschool De Achterberg)**

<sup>49</sup> Universiteit Antwerpen. "Bouw mee een brug van papier", geraadpleegd op 20 april, 2023. <https://www.uantwerpen.be/nl/evenementen/kinderuniversiteit-uantwerpen/virtuele-activiteiten/workshops-virtueel/bruggen/>



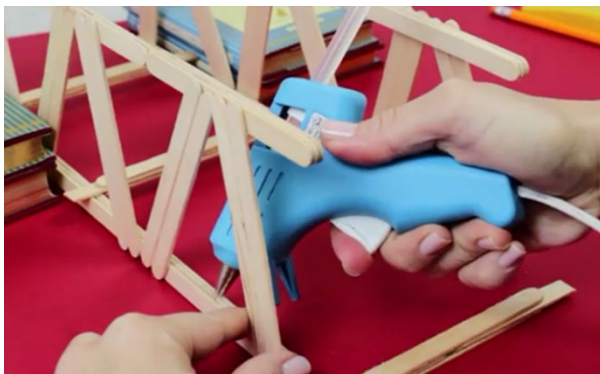
### 6.3.2 Het stokjes-model

Naast het papier-model vinden we ook het stokjes-model, hier moeten leerlingen een toren of brug bouwen met stokjes (satéstokjes, tandenstokers, ijsstokjes, rietjes...), draadjes en elastiekjes. Een belangrijk verschil met het papier-model is dat nu de boogstructuur veel moeilijker is, daarom zal het stokjes-model zich vooral focussen op de sterkte van triangulatie en het verschil tussen trek- en drukkrachten.

Bij deze oefening schuilt het gevaar in het verbindingselement dat de leerlingen gebruiken om de elementen te verbinden. Jonge kinderen maken vaak met ijsstokjes een vakwerkbrug, maar dit lijmen ze aan elkaar vast. Dit betekent dat het scharnierend element opeens een stijve knoop wordt en dit verandert het gedrag van de brug volledig, het is dan zelfs niet meer nodig om met driehoeken te werken. Toch gaan de kinderen ook hier opnieuw leren over de sterkte van driehoeken, maar dit structureel concept aanleren met stijve in plaats van scharnierende verbindingen geeft een verkeerde sensomotorische feedback over de structurele werking van vakwerken.

Naast het verbindingselement zien we ook fouten bij het gebruik van touwtjes. De touwtjes of draadjes hebben als functie de trekkrachten te tonen in het model, deze trekkrachten zijn een belangrijk onderdeel bij het bouwen van een brug. Het is zeer interessant dat leerlingen hier al een basisinzicht over krijgen, zo kan je duidelijk het verschil leren tussen de stokjes met drukkrachten en de touwtjes met trekkrachten. Het is opnieuw enkel belangrijk dat het model de juiste informatie geeft en dat de touwtjes niet louter als decoratie wordt gezien.

In figuur 6-5 wordt een voorbeeld uit het vierde leerjaar van VBS Sint-Jozef Lochristi getoond. De leerlingen kregen eerst de gelegenheid om echte bruggen te bekijken, waarna ze hun eigen brug bouwden met behulp van rietjes, stokjes, papier en touw. De bruggen moesten een bepaalde lengte, breedte en draagkracht bezitten, maar voor de leerlingen bleek dit geen uitdaging te zijn. De leerkracht schreef het volgende: "Uit rietjes, stokjes, papier, touw,...werden prachtige bruggen getoverd en na een test bleek dat alle bruggen ruim voldeden aan de voorwaarden".<sup>50</sup> Deze prestatie was echter niet moeilijk, aangezien de voorwaarden niet voldoende uitdagend waren. De leerlingen hoefden slechts een afstand van 20 cm te overbruggen en een klein autootje te dragen. Het is daarom de verantwoordelijkheid van de leerkracht om dergelijke tekortkomingen te voorkomen en meer uitdagende doelen te stellen. Op die manier worden leerlingen gedwongen om de structurele principes correct toe te passen en niet simpelweg het uiterlijk van de bruggen te kopiëren.



**Figuur 6-4.** Fout bij het verbinden van scharnierende elementen (Wikihow)



**Figuur 6-5.** Fout toepassen van trek- en drukkrachten (VBS Sint-Jozef Lochristi)

<sup>50</sup> VBS Sint-Jozef Lochristi. "4A Bruggen bouwen", geraadpleegd op 20 april, 2023. <https://vbs-lochristi.be/4a-bruggen-bouwen/>

### 6.3.3 Het K'nex-model

Het papier-model en stokjes-model brengen veel afval met zich mee en zijn niet herbruikbaar, maar er bestaan ook duurzame modellen die scholen elk jaar opnieuw kunnen gebruiken. Een voorbeeld is “K'nex Education”, zij hebben in 2008 voor lagere en middelbare scholen producten ontwikkelt voor de ondersteuning van Science, Technology, Engineering en Mathematics (STEM). K'nex Education heeft dynamische modellen dat kinderen uitnodigt tot onderzoek en motiveert om te leren. K'nex Education claimt dat hun hands-on leermiddel wetenschappelijk onderzoek stimuleert en leerlingen motiveert tot actief leren, daarbij helpen de K'nex modellen om concepten te begrijpen in de wereld waarin kinderen leven. K'nex zegt dat het onderzoekend curriculum is afgestemd op de normen van STEM en dat het de leerlingen uitdaagt om problemen op te lossen en hedendaagse technieken toe te passen.<sup>51</sup>

In het aanbod van “K'nex Education” vinden we “K'nex Education – Intro to structures: Bridges”, deze set is gemaakt om leerlingen te laten kennismaken met de geschiedenis, de functie, het structurele design, de geometrie en de kracht van bruggen. Daarbij krijgen leerlingen de kans om vaardigheden op te doen via een praktische aanpak op basis van vragen over de werking en de concepten van bruggen. Deze onderzoekende lessen dagen de kinderen uit om te bouwen, te onderzoeken, problemen op te lossen en de structurele principes te bespreken. De leerkracht krijgt daarbij de nodige informatie die de leerlingen nodig hebben om een beter inzicht te krijgen in wetenschappelijke en technische ontwerpconcepten.<sup>52</sup>

Hoewel het concept van "K'nex education" innovatief is, roepen de claims van K'nex met betrekking tot de ontwikkeling van vaardigheden en structureel inzicht bij het gebruik van de bruggenset enkele vragen op. Zo zegt K'nex Education dat de leerlingen worden uitgedaagd om te bouwen, te onderzoeken, problemen op te lossen en de structurele principes door wetenschappelijk onderzoek te analyseren. Maar als ik de lesmethodes en K'nex modellen analyseer dan kom ik toch tot de vaststelling dat de kinderen structurele principes kopiëren zonder dit te begrijpen. Dit creëert een vergelijkbaar probleem als bij het stokjes-model, waarbij de verbindingselementen van het structuurmodel een verkeerde sensomotorische feedback geven, wat kan leiden tot een misbegrip van het concept van triangulatie.

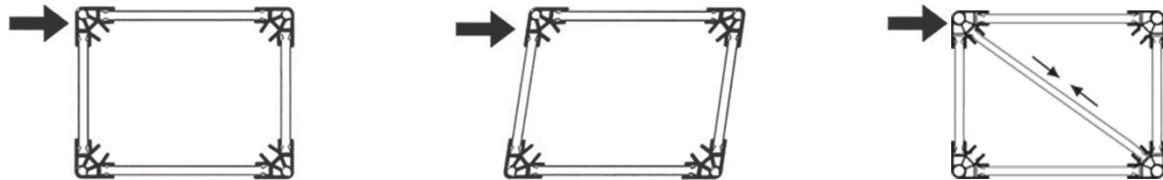


Figuur 6-6. K'nex Education – Intro to structures: Bridges (K'NEX)

<sup>51</sup> Speeltechniek. “K'NEX Education”, geraadpleegd op 22 april, 2023. <https://www.speeltechniek.nl/KNEX-Education>

<sup>52</sup> K'NEX Education. *Handleiding leerkracht: Bruggen, introductie van bouwwerken*. K'NEX Limited Partnership Group, 2014.

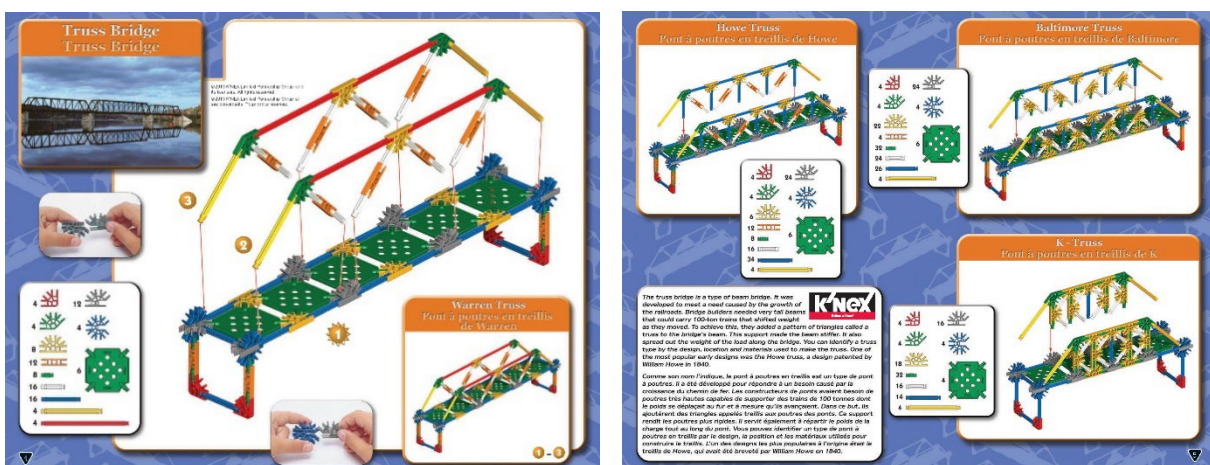
In de les "Experimenteren met de sterkte van een balkbrug (met vakwerk-constructie)" van de set "K'nex Education - Intro to structures: Bridges" leren kinderen over sterke constructies en de voordelen van een vakwerkconstructie. Voordat de kinderen het model zullen bouwen krijgen ze eerst een theoretische introductie over de sterkte en vormvastheid van driehoeken. K'nex illustreert de sterkte van triangulatie met het voorbeeld van de K'nex-vierhoek, als je daar op duwt dan verandert het in een parallellogram, maar als je een diagonaal toevoegt dan wordt dit een stabiele en stevige constructie (zie figuur 6-7).<sup>53</sup>



Figuur 6-7. Foute weergave bij het uitleggen van triangulatie (Handleiding K'NEX Education – Bruggen, introductie van bouwwerken)

De theorie hier achter is correct, maar het probleem is dat ze in het voorbeeld gebruik maken van (half) stijve knooppunten en geen scharnieren. Scharnieren zijn een belangrijk element om de theorie achter triangulatie uit te leggen en te tonen, want als je een rechthoek of vierkant hebt met scharnieren kan je onmiddellijk zien dat deze vorm zal vervormen. Dit heb je niet bij een vierhoek met stijve knopen, deze vorm is stabiel en na de duwttest zie je amper een verandering optreden. Die visuele verandering die moet optreden is nochtans een zeer belangrijk element bij het leren met sensomotorische ervaringen, want hierdoor zullen de kinderen een directe verbinding leggen tussen waarneming en actie. En door middel van deze ervaringen kunnen nieuwe cognitieve schema's worden gevormd.

Hetzelfde probleem zien we bij het maken van de "Warren Truss". Er wordt gewerkt met vaste verbindingen in plaats van scharnieren, waardoor de brug al stevig is zonder de toevoeging van driehoeken. Tot slot volgen de kinderen het stappenplan van K'nex, dit is goed voor het leren werken met plannen en technische tekeningen, maar dit betekent ook dat ze de brug maken zonder na te denken over de structurele principes. De kinderen kopiëren de werkelijkheid, maar nemen niet de structurele principes over, waardoor ze een verkeerde interpretatie krijgen van de structurele werking van een vakwerkbrug.



Figuur 6-8. Vakwerkbruggen K'nex Education – Intro to structures: Bridges (K'nex)

<sup>53</sup> K'NEX Education. *Handleiding leerkracht: Bruggen, introductie van bouwwerken*. K'NEX Limited Partnership Group, 2014.

#### 6.3.4 Het pasta-model

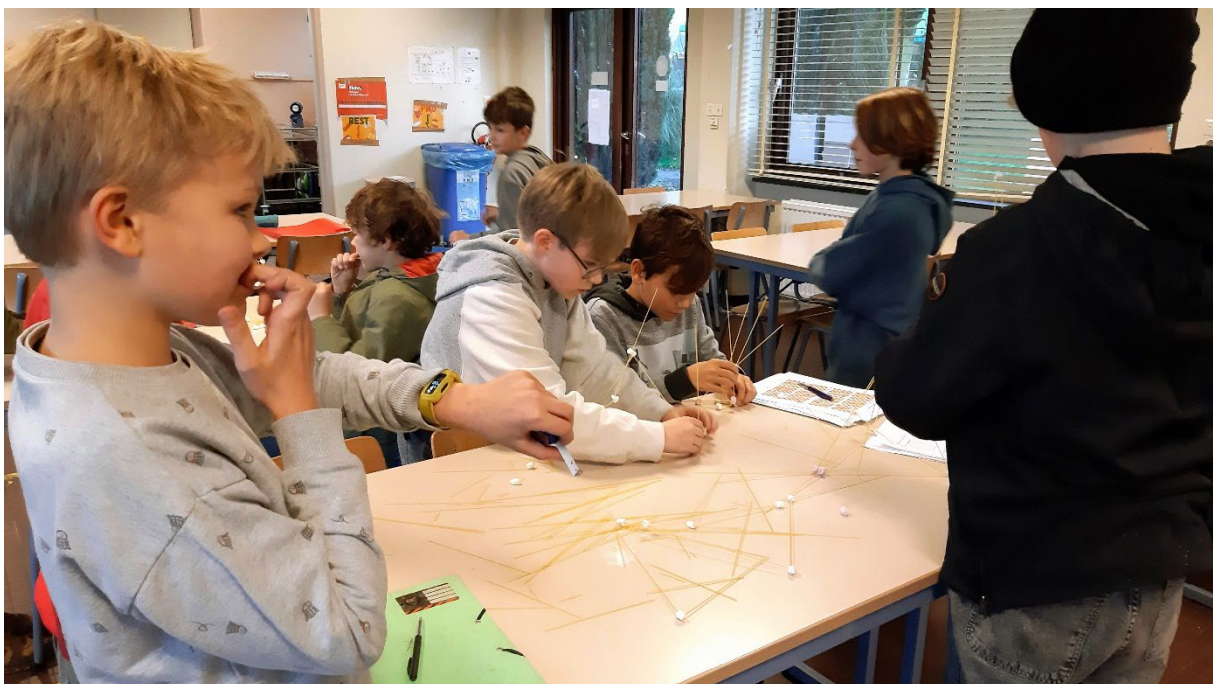
Het laatste model dat wordt besproken is het pasta-model, hierbij maken de leerlingen een brug of toren met spaghetti. De spaghetti kunnen ze met lijm, plakband of marshmallow verbinden aan elkaar.

Bij het bouwen van een spaghetti-marshmallowntoren is het slim om gebruik te maken van driehoeken en dwarsverbindingen, aangezien driehoeken de sterkste vorm zijn om mee te bouwen. Dit is zeker het geval wanneer je geen stijve knooppunten hebt, want bij het gebruik van scharnieren zullen de leerlingen direct ondervinden dat het bouwwerk onstabiel wordt. Dit zal de leerlingen onrechtstreeks verplichten om met driehoeken te werken, want door spaghetti diagonaal aan te brengen zal de constructie sterker worden. Verder is het handig om een brede basis en smalle top te bouwen, want als je dan de hoogte in bouwt worden de krachten verdeeld over de brede basis.

Om het pasta-model kritisch te beoordelen is er besloten om de spaghetti-marshmallow workshop te testen met 63 leerlingen van het tweede tot en met het zesde leerjaar. Daarbij wordt er aandacht gericht hoe de kinderen bouwen, welke structurele principes ze toepassen en wat ze specifiek leren tijdens het bouwen. Ook wordt er gekeken hoe de leerlingen samenwerken en welke factoren de motivatie en betrokkenheid bij leerlingen vergroten. De informatie en bevindingen die verworven worden tijdens het observeren van de workshop zullen gebruikt worden voor het ontwerp van een efficiënte structuurworkshop.

De spaghetti-marshmallow workshop werd getest in drie basisscholen waar ik schaaakles geef, namelijk in freinetschool De Harp, basisschool Crombeen Gent en basisschool De Wijze Boom in Sint-Amandsberg. In de workshop werden groepjes van twee tot drie leerlingen gevormd en samen probeerden ze de hoogste toren met spaghetti en marshmallows te bouwen, want het groepje met de hoogste toren won een prijsje.

Voor het beschrijven van de bevindingen en conclusies worden de leerlingen opgedeeld per leeftijdscategorie. Dit maakt het makkelijker om een besluit te vinden over het gebruik van het pasta-model in het lager onderwijs.



Figuur 6-9. Spaghetti-marshmallow workshop Basisschool De Wijze Boom, 08-12-22

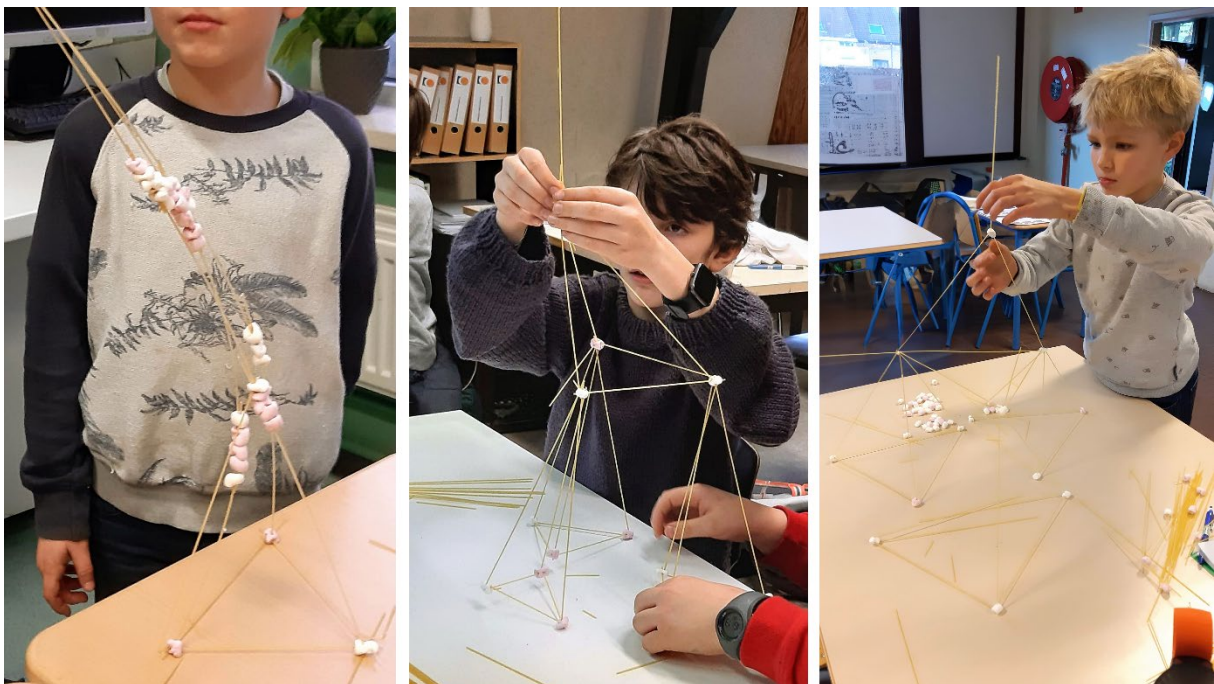
### Groep 7- en 8-jarigen (tweede en derde leerjaar)

Bij de kinderen van zeven tot acht jaar heb ik ondervonden dat het voor hen nog zeer moeilijk is om torens te bouwen met spaghetti, ze geraken meestal niet verder dan één verdieping. Toch hebben deze kinderen enorm veel creativiteit en besteden ze veel aandacht aan de omgeving rond de toren, dit versieren ze met extra marshmallows en spaghetti. Ook hebben deze kinderen veel plezier tijdens het bouwen en eten ze heel graag rauwe spaghetti en marshmallows. Het beste resultaat bij de achtjarigen was een toren van maar liefst 52 cm en was geïnspireerd op de Eiffeltoren. Daarbij heeft de jongen met het winnend ontwerp een piramide gebruikt als basis en daarbovenop een lange smalle top met spaghetti'slierten en meerdere marshmallows als verbindingselement, hierdoor vond hij een oplossing voor het probleem van "knik".

### Groep 9- en 10-jarigen (vierde en vijfde leerjaar)

De meeste leerlingen die deelnamen aan de spaghetti-workshop waren negen en tien jaar oud, wat resulteerde in diverse groepjes van dezelfde leeftijd. Hierdoor konden we een goed beeld krijgen van de vaardigheden van deze kinderen en hun samenwerkingsdynamiek. Het werd al snel duidelijk dat deze leerlingen veel creatieve ideeën hadden, maar vaak resulteerde dit in instabiele ontwerpen. De kinderen begonnen vaak met het ontwerp van een kubus, maar ontdekten al snel dat dit niet stevig genoeg was, waardoor ze samen naar oplossingen zochten. Ze kwamen snel zelf op het idee om driehoeken te gebruiken en zo een stabielere toren te bouwen. Na verloop van tijd begonnen andere groepen dit idee van triangulatie ook over te nemen, waardoor ze indirect van elkaar leerden en hun structurele inzicht verder ontwikkelden.

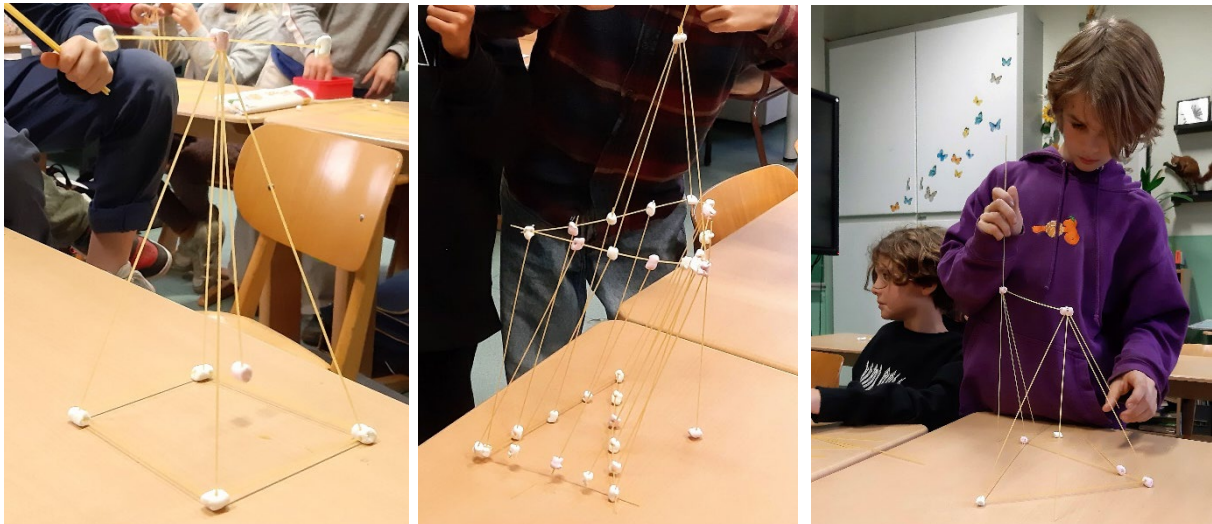
De winnaars bij de negenjarigen en bij de tienjarigen hebben hetzelfde ontwerpidee toegepast, namelijk het ontwerp van een grote piramide bestaande uit vier kleinere piramides. De basis bestond uit drie piramides, met daar bovenop een extra piramide en een spaghetti'sliert als top, resulterend in een ontwerp van 55 cm.



Figuur 6-10. Winnende ontwerpen spaghetti-marshmallow workshop bij 8-, 9- en 10-jarigen

### Groep 11- en 12-jarigen (zesde leerjaar)

Er waren zeven kinderen van elf jaar oud en zij beweerden de sterkte van triangulatie al te kennen, dit idee namen ze dan ook over in hun eigen ontwerp. Zo zag ik verschillende piramides verschijnen, variërend van groot tot klein. Het beste resultaat was een driehoekige toren met verschillende verticale spaghetti'slierten als ondersteuning. Daarbovenop stond een piramide met een extra stokje spaghetti om zo extra hoogte te winnen. Naarmate de toren zwaarder werd, ontstond er torsie, maar de jongens wisten dit op te lossen door een extra spaghetti'sliert aan de zijkant van de toren toe te voegen. Hoewel de toren scheef stond, bereikte deze een hoogte van 69 cm en behaalden ze daarmee de overwinning.



Figuur 6-11. Ontwerpen spaghetti-marshmallow workshop bij 11-jarigen

### Conclusie spaghetti-marshmallow workshop

Uit de observatie van de workshop kan het volgende besloten worden:

- Sommige groepen werken beter samen dan andere, dit heeft een impact op het finale resultaat.
- Sommige leerlingen zijn competitiever ingesteld dan andere, indien de leerlingen meer gemotiveerd zijn levert dit een beter eindresultaat op.
- Leerlingen leren van elkaar, ze gaan bewust en onbewust de ideeën van elkaar overnemen en onderzoeken of dit ontwerp werkt.
- De eerste tekenen van structureel denken ontstaan nadat de eerste pogingen van het ontwerp mislukken.

Dit laatste bevestigt dat leerlingen leren uit fouten en dat ze nieuwe inzichten verwerven door sensomotorische ervaringen. Deze vaststelling sluit aan bij de literatuurstudie over de ontwikkeling van structureel inzicht bij kinderen. Hoewel de leerlingen driehoeken hebben gebruikt in hun ontwerpen, is het nog onduidelijk of ze tijdens de workshop het structurele principe van triangulatie volledig begrijpen en in staat zijn om dit toe te passen in nieuwe situaties, dit moet verder onderzocht worden.
















































































## 6.4 De eigenschappen van een educatief structuurmodel

Door het uitvoeren, observeren en analyseren van verschillende workshops met structuurmodellen, kunnen we opnieuw bevestigen welke eigenschappen een effectieve workshop heeft, zoals beschreven in hoofdstuk 5.5. Hierbij komen opnieuw de voordelen van actief en samenwerkend leren naar voren, evenals de belangrijke rol van de leerkracht bij het aanleren van nieuwe kennis en vaardigheden.

Daarnaast kunnen we een educatief structuurmodel beschouwen als een model waarbij de leerlingen door sensomotorische ervaringen structureel inzicht verwerven. Het biedt diverse voordelen voor het creëren van een waardevolle leeromgeving en stimuleert studentgericht onderwijs, waarbij studenten actief betrokken zijn bij het leren van structurele concepten. Deze structuurmodellen kunnen zowel in architectuurscholen als basisscholen worden gebruikt om de vaardigheden en het begrip van structurele concepten op een creatieve en ontdekkende manier te verbeteren. Het is echter belangrijk dat het model aan verschillende kenmerken voldoet om effectief te zijn. Enkele essentiële eigenschappen zijn:

- Structurele feedback: Het structuurmodel moet voorkomen dat structurele principes fout worden geïnterpreteerd, daarom moet het model onmiddellijk de juiste informatie geven aan de studenten, dit wil zeggen dat het direct duidelijk moet zijn wanneer de constructie instort.
- Experimenteren: Leerlingen moeten de mogelijkheid hebben om te experimenteren met het structuurmodel en het model moet fouten toelaten. Het is namelijk door het maken van fouten dat studenten veel kunnen leren en nieuwe inzichten kunnen verwerven door middel van sensomotorische ervaringen.
- Toegankelijkheid: Het structuurmodel moet toegankelijk zijn voor studenten zonder structurele voorkennis en het materiaal moet betaalbaar en makkelijk verkrijgbaar zijn.
- Duurzaamheid: Het structuurmodel moet bestand zijn tegen slijtage en veroudering. Het moet opnieuw gebruikt kunnen worden zonder veel afval te veroorzaken.
- Kindvriendelijk: Het structuurmodel moet kindvriendelijk worden ontworpen en moet eenvoudig en veilig te construeren zijn met minimale arbeid en hulpmiddelen.
- Motiveren: Het structuurmodel moet aangepast zijn aan het doelpubliek en aantrekkelijk genoeg zijn om studenten te motiveren om meer te leren over structuur.
- Constructie: De eigenschappen van elementen en verbindingselementen in het structuurmodel moeten overeenkomen met de structurele principes die je wilt aanleren. Het model moet zorgen voor de juiste inzichten door middel van sensomotorische ervaringen. Zo mag een inklemming of een stijve knoop worden vastgelijmd, maar een scharnier moet steeds kunnen bewegen. Drukkrachten kunnen het best worden gedemonstreerd met stijve materialen zoals stokjes, terwijl trekkrachten getoond kunnen worden met soepele materialen zoals touwtjes.

Deze eigenschappen zorgen voor een leerrijk model dat studenten aanzet tot kritisch denken en dit zal hun structureel inzicht verder ontwikkelen. Daarnaast kunnen we concluderen dat de duurzaamheid en herbruikbaarheid van het fysieke model een positief effect heeft op de stevigheid, de efficiëntie en de functionaliteit van het structuurmodel. Door deze essentiële eigenschappen toe te passen op de verschillende soorten structuurmodellen, krijgen we een overzicht van de belangrijkste structuurmodellen die worden gebruikt in het onderwijs. Het overzicht op volgende pagina's dient als basis voor het ontwerp van een experimentele leeromgeving met educatieve structuurmodellen ter bevordering van het structureel denken bij kinderen.

| Structuurmodel   |   | Structureel principe  |   |
|--|---|---|---|
| Model  | Verbinding                                    | Constructie   | Feedback  |
| Model met papier<br>                | Plakband                                      |     |          |
|  | Lijm  |    |     |
| Model met karton<br>                | Plakband                                      |     |          |
|  | Lijm  |    |     |
|  | Geen  |     |     |
| Model met satéstokjes<br>           | Lijmpistool                                   |    |     |
|  | Scoobidou draad                               |    |          |
|  | Elastiekjes                                   |    |          |
| Model met hout<br>                | Houtlijm                                      |     |     |
|  | Nagels  |    |    |
| Model met pasta<br>               | Lijmpistool                                   |    |    |
|  | Marshmallow                                   |    |     |
| K'nex Model<br>                   | Aanklikbare elementen                         |    |    |
|  | Scharnieren                                   |    |    |
| Girder and Panel Building Set<br> | Vaste fit-in verbindingen, balken en kolommen |     |     |
| PASCO Model<br>                   | Vaste verbindingen en buigbare staafjes       |     |    |
| Mola Model<br>                    | Magneten, metalen veren en staafjes           |     |    |


Figuur 6-12. De eigenschappen van fysieke structuurmodellen in het onderwijs

|   |              |   |              |
|---|--------------|---|--------------|
|  | Scharnier    |  | Triangulatie |
|  | Stijve knoop |  | Doorbuiging  |
|  | Inklemming   |  | Stabiliteit  |



## Eigenschappen model

| Duurzaamheid | Flexibiliteit | Kindvriendelijk | Kostprijs |
|--------------|---------------|-----------------|-----------|
|--------------|---------------|-----------------|-----------|

|                                    |   |                           |                                     |
|------------------------------------|---|---------------------------|-------------------------------------|
| Veel afval (papier en plakband)    |    | +3 jaar                   | 1 euro / 100 A4 pagina's            |
| Veel afval (papier en lijm)        |   |                           |                                     |
| Veel afval (karton en plakband)    |       | +5 jaar (zonder breekmes) | 30 euro / 100 A4 pagina's           |
| Veel afval (karton en lijm)        |    |                           |                                     |
| Veel afval (karton)                |       |                           |                                     |
| Afval (stokjes en lijm)            |    | +12 jaar                  | 0,50 euro / lijmstick 7mm           |
| Afval (stokjes en scoobidou draad) |       | +7 jaar                   | 0,10 euro / stokje 40 cm            |
| Afval (stokjes)                    |   |                           | 0,01 euro / stokje 20 cm            |
| Afval (hout en lijm)               |   | +8 jaar                   | 0,20 euro / stokje 30 x 0,03 x 0,03 |
| Afval (hout en nagels)             |   |                           |                                     |
| Afval (pasta en lijm)              |    | +12 jaar                  | 0,55 euro / 500 gram spaghetti      |
| Afval (pasta)                      |   | +7 jaar                   | 0,80 euro / 100 gram marshmallow    |

Niet herbruikbaar (afval)

|  |   |          |  |
|--|---|----------|--|
|  Geen afval, herbruikbaar |   | +8 jaar  | 60 euro voor K'nex Educatie Bruggen          |
|  Geen afval, herbruikbaar |   | +5 jaar  | 60 euro voor basisset (laatste uitgave 1980) |
|  Geen afval, herbruikbaar |   | +12 jaar | 1200 euro voor basisset                      |
|  Geen afval, herbruikbaar |   | +7 jaar  | 180 euro voor Mola Basiskit                  |

Herbruikbaar (duurzaam)

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| Kan je het materiaal van het ontworpen model hergebruiken of niet? |  Verschillende afmetingen<br> Vaste afmetingen<br> Experimenteren mogelijk | Aanbevolen leeftijd, rekening houdend met de manier om het model te maken | Geschatte kostprijs voor het materiaal (2023) |
|--|---|---|---|

Legende

## 7 ONTWERP VAN EEN EXPERIMENTELE LEEROMGEVING

---

Het doel is het ontwerpen van een leeromgeving waarin kinderen op een experimentele en ontdekkende manier hun structureel inzicht kunnen ontwikkelen. De focus ligt op het begrijpen van de sterkte van triangulatie en de structurele concepten van een vakwerkbrug. Studentgericht onderwijs staat centraal, waarbij kinderen actief betrokken worden en vaardigheden zoals kritisch en probleemoplossend denken gestimuleerd worden.

In dit hoofdstuk wordt onderzocht hoe de eigenschappen van een educatief structuurmodel samen kan komen in één model dat garant staat voor het bevorderen van structureel denken bij kinderen. Daarnaast wordt er getest welke instructies noodzakelijk zijn om kinderen op een ontdekkende manier nieuwe inzichten te laten verwerven over de structurele concepten van een vakwerkbrug. Daarbij moeten leerlingen kennis en vaardigheden aanleren door te experimenteren met het structuurmodel. Het model moet fouten toelaten en leerlingen nieuwe inzichten geven door middel van sensomotorische ervaringen. Tot slot moet de structuurworkshop leerlingen aanzetten tot samenwerkend leren, want groepsworkshop zal leiden tot een dieper begrip van de leerstof en zal de sociale en communicatieve vaardigheden verbeteren.

### 7.1 Ontwerp van een eigen structuurmodel

Vertrekkend van de eigenschappen van een educatief structuurmodel (figuur 6-12) heb ik mijn ontwerpvaardigheden gestimuleerd om een eigen structuurmodel te ontwerpen. Daarbij kwam ik al snel tot de vaststelling dat het niet nodig was om een heel nieuw model uit te vinden, want de bestaande structuurmodellen hebben reeds voldoende positieve elementen in zich.

Mijn taak is om de positieve eigenschappen van verschillende soorten modellen te combineren in één model dat de ontwikkeling van structureel inzicht bij kinderen bevordert. Het is belangrijk dat leerlingen de mogelijkheid hebben om te experimenteren met het structuurmodel en dat de eigenschappen van de elementen en verbindingselementen overeenkomen met de structurele principes die ze moeten leren. Het model moet directe feedback geven over de stabiliteit van de constructie, dit wilt zeggen dat het onmiddellijk duidelijk moet zijn wanneer de constructie stabiel is of niet.

Duurzaamheid is ook van groot belang, het structuurmodel moet herbruikbaar zijn en bestand zijn tegen slijtage en veroudering. Bovendien moet het model eenvoudig en veilig te construeren zijn, want het model zal gebruikt worden door lagereschoolkinderen.

Met deze aspecten in gedachten focus ik me op het K'nex-model. Dit kindvriendelijke speelgoed is nog steeds gemakkelijk verkrijgbaar en biedt verschillende voordelen die de leerprestaties van kinderen bevorderen.

Ik wil de leerlingen de sterkte van triangulatie aanleren, daarom moet mijn structuurmodel scharnieren bevatten. Want wanneer een structuurmodel vaste verbindingen gebruikt, zoals bij het gebruik van aanklikbare onderdelen van K'nex, kan dit leiden tot een incorrecte interpretatie van de structurele principes. Het model moet de gewenste structurele feedback overbrengen naar de kinderen, daarom moeten alle knooppunten vervangen worden door

scharnieren, zo kunnen de kinderen direct zien welke vormen stabiel zijn en welke vormen ervoor zorgen dat het model instort. Deze aanpassing zal ervoor zorgen dat de kinderen door sensomotorische ervaringen leren en hierdoor zal hun structureel inzicht beter ontwikkelen.

In K'nex zijn er geen standaard scharnieren die meer dan twee elementen met elkaar verbinden, maar als je het "K'nex clip met gat" combineert met een staafje dan zijn er talloze opties mogelijk en kunnen we een volledige constructie met scharnieren ontwerpen. Je kan dus in principe veel bouwen met deze onderdelen, maar ik wou wel een basisset ontwerpen om zo de structurele principes aan te tonen in één model. Hiervoor heb ik het ontwerp van de "Warren Truss" genomen, want in deze vakwerkbrug komen de structurele principes van triangulatie en trek- en drukkrachten mooi tot zijn recht. Het is als het ware het schoolvoorbeeld voor het ontwerp van bruggen en staat nu symbool voor mijn eigen educatief structuurmodel.



**Figuur 7-1. Leerlingen leren de sterkte van triangulatie door gebruik van mijn ontworpen structuurmodel**

Naast triangulatie wil ik de leerlingen ook een basisinzicht geven over het verschil tussen trek- en drukkrachten, hiervoor hebben we staafjes en touwtjes nodig. Maar K'nex heeft geen touwtjes die je makkelijk kan verbinden met de bestaande K'nex onderdelen, daarom heb ik zelf een onderdeel ontworpen dat de trekkrachten in een K'nex model kan aantonen. Dit onderdeel bestaat uit scoobidou draad en 3D-geprinte uiteinden, dit kan je makkelijk vastklikken aan de K'nex clips en hierdoor kan je eenvoudig experimenteren met het model. Deze manier zorgt ervoor dat de kinderen op een experimentele en onderzoekende manier meer te weten komen over trek- en drukkrachten.

Figuur 7-1 en figuur 7-2 presenteren ideaalbeelden van mijn ontworpen structuurmodel. Deze beelden weerspiegelen mijn visie zoals ik die voor ogen had tijdens de ontwerpfase, maar deze beelden geven niet het experimentele en onderzoekende karakter van kinderen weer. Zullen de leerlingen in staat zijn om het ontwerp van de vakwerkbrug zelf te creëren of zijn er meer instructies nodig om dit doel te bereiken? Door dit model te testen, krijgen we inzicht in de mate waarin de leerlingen zelfstandig kunnen experimenteren, onderzoeken en ontwerpen. Dit stelt ons in staat om het ontwerp van de vakwerkbrug en de instructies voor de structuurworkshop verder te verfijnen en af te stemmen op de behoeften en capaciteiten van de leerlingen.

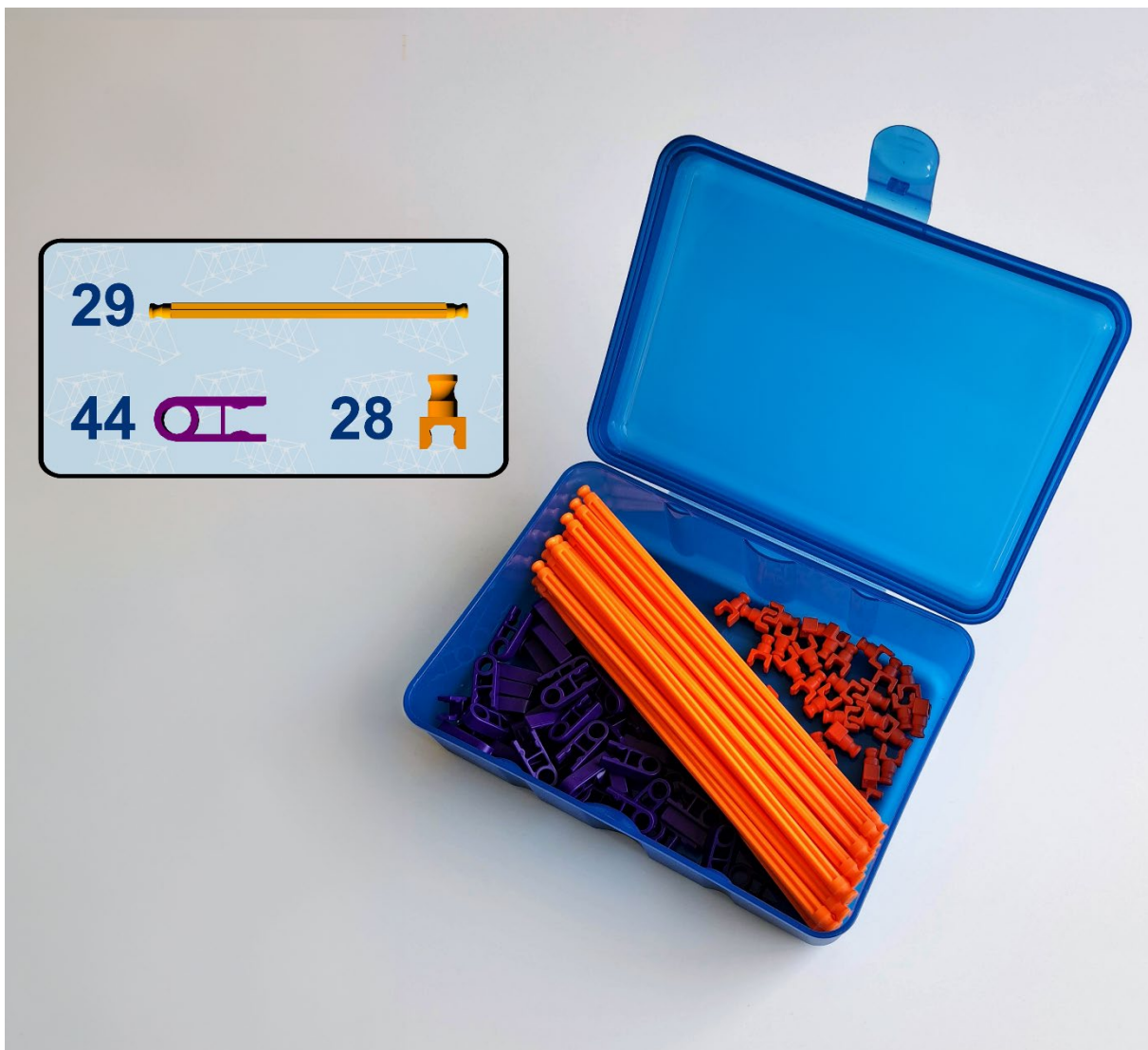


**Figuur 7-2. Leerlingen leren “trek en druk” door gebruik van mijn ontworpen structuurmodel**

## 7.2 Testen van de experimentele structuurworkshop

Door middel van praktische workshops en interactie met de leerlingen kunnen we beoordelen of kinderen in staat zijn om het ontwerp van de vakwerkbrug zelfstandig te realiseren. We kunnen kijken naar hun vermogen om de concepten en principes van structuur en stabiliteit toe te passen, en naar hun creativiteit en probleemoplossend vermogen tijdens het bouwproces. Op basis van deze observaties kunnen we bepalen of er extra instructies, begeleiding of ondersteuning nodig zijn om de leerlingen te helpen bij het bereiken van het gewenste resultaat.

Ik heb kleine workshops georganiseerd in basisscholen waar ik schaakles en techniekles geef. Deze keer waren de leerlingen van freinetschool Het Trappenhuis en Techniekacademie Stekene mijn testpubliek, want deze leerlingen hebben niet deelgenomen aan de spaghetti-marshmallow workshop en hierdoor kunnen we opnieuw met een open blik kijken naar hun ontwerpen en structurele inzichten. Tijdens de workshop werden de leerlingen verdeeld in groepjes van twee tot drie personen. Hun opdracht was om een brug te bouwen van minimaal 30 centimeter lang. Ze kregen 20 minuten de tijd om de opdracht te voltooien en mochten alleen de K'nex-onderdelen uit mijn eigen structuurmodel gebruiken, zie figuur 7-3.

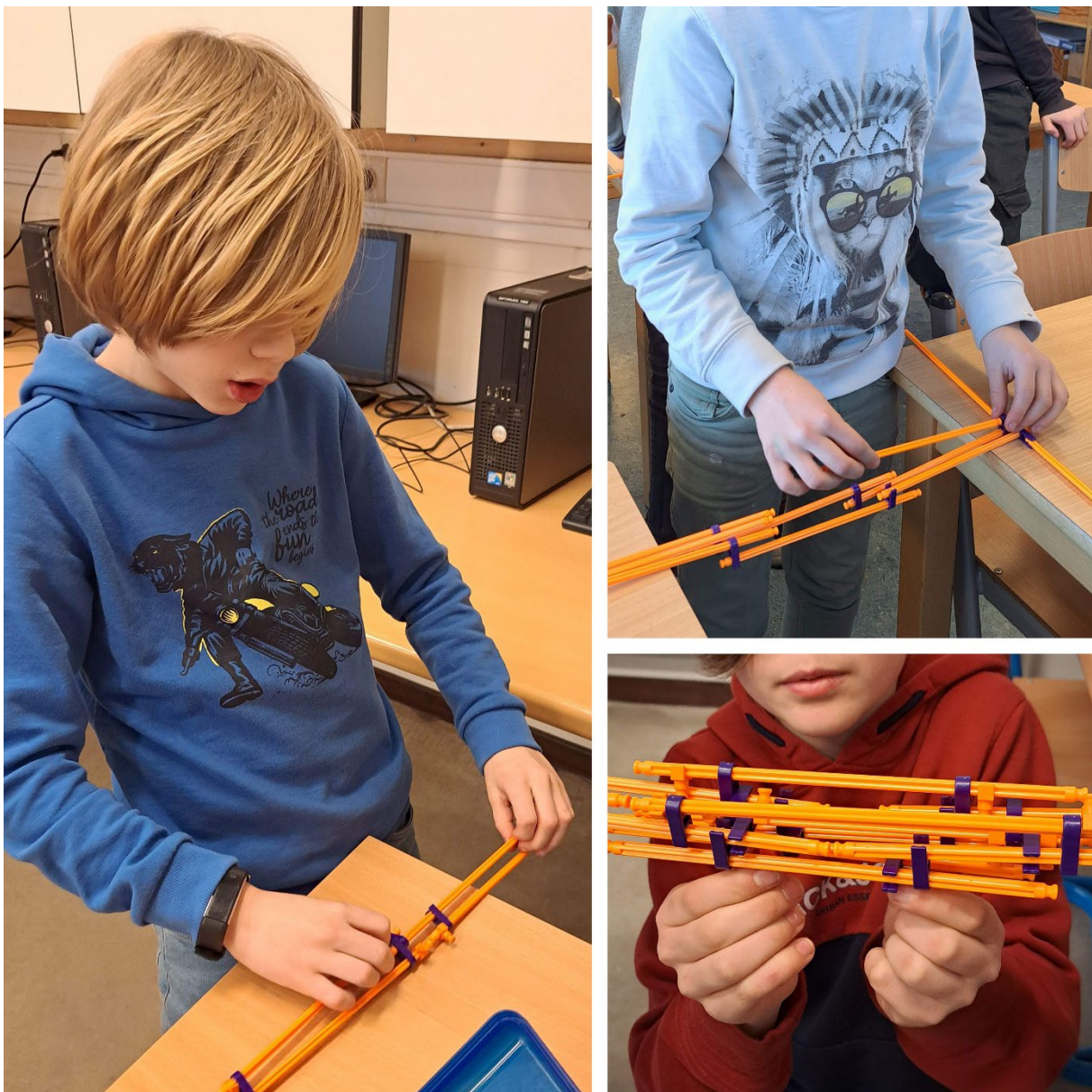


Figuur 7-3. Onderdelen van mijn ontworpen structuurmodel

### 7.2.1 Onverwachte resultaten tijdens het testen van de workshop

In elke groep was de eerste reactie van de leerlingen hetzelfde: ze zeiden dat de opdracht onmogelijk was omdat ze geen aanklikbare onderdelen van K'nex hadden. Deze aanklikbare onderdelen waren bewust verwijderd om leerlingen automatisch een ontwerp met driehoeken te laten maken. Maar dit was een foute gedachte, want ondanks de aanvankelijke frustratie bleven de kinderen nadenken en experimenteren met de beschikbare onderdelen. Al snel ontdekten ze dat er verschillende innovatieve manieren waren om deze onderdelen met elkaar te verbinden.

Veel leerlingen verbonden de staafjes aan elkaar door de scharnieren in beide richtingen te gebruiken, waardoor vaste verbindingen ontstonden. Dit principe werd herhaaldelijk toegepast totdat er voldoende staafjes met elkaar verbonden waren en er een stijf ontwerp van een balkbrug ontstond. Hoewel het idee erachter zeer logisch was, moet ik toegeven dat ik er zelf niet aan gedacht had tijdens het ontwerpen van mijn eigen structuurmodel. Desalniettemin kunnen we hier veel van leren en dit principe gebruiken om het verschil tussen een balkbrug en een vakwerkbrug aan te tonen.

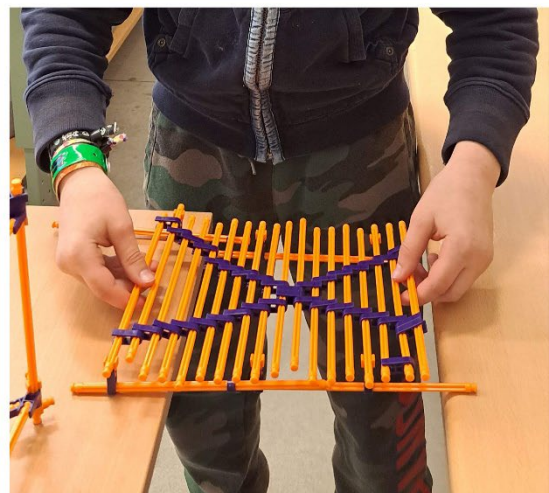
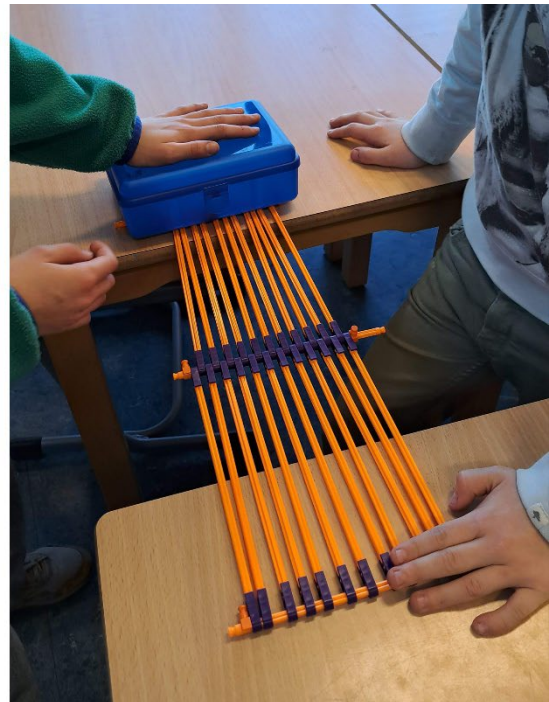
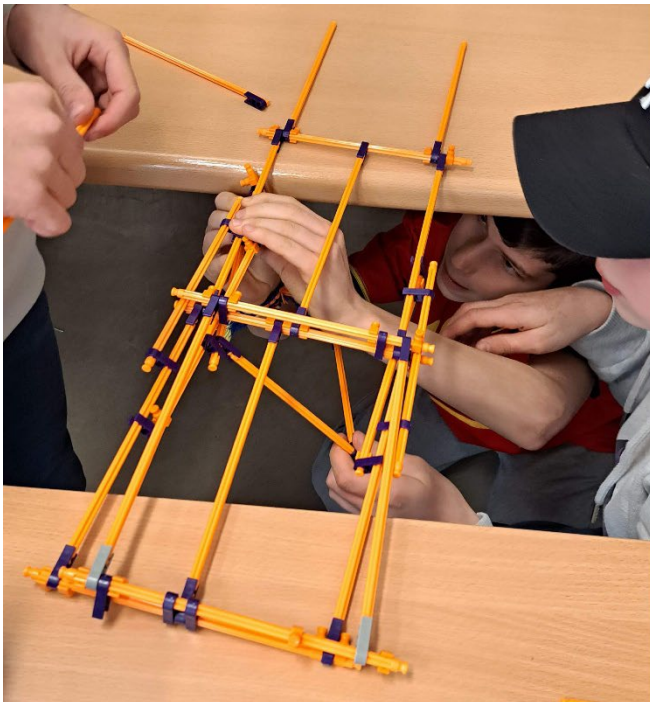


Figuur 7-4. Ontworpen balkbruggen met K'nex, Techniekacademie Stekene, 01-03-23

Een andere populaire methode was het ontwerpen van een plaatbrug. Leerlingen legden eerst de vorm van de brug vast door staafjes op tafel te leggen. Vervolgens dachten ze na over de manier van verbinden met scharnieren en voerden ze hun ontwerp uit. Wat hierbij interessant was, is dat leerlingen op een sensomotorische manier ontdekten hoe scharnieren werken en welke gevolgen dit heeft voor de stabiliteit van de brug.

Vaak was het midden van de brug verbonden met scharnierende elementen, dit resulteerde in een gebrek aan stijfheid, met instorting tot gevolg. Om dit probleem op te lossen, bedachten de leerlingen verschillende creatieve oplossingen:

- Ze voegden extra gewicht toe aan de uiteinden van de brug om een inklemmend effect te creëren.
- Ze voegden extra staafjes toe bovenop de scharnierende elementen om ze stijver te maken.
- Ze voegden extra staafjes toe in de dwarsrichting van de brug om een plaatstructuur te vormen.

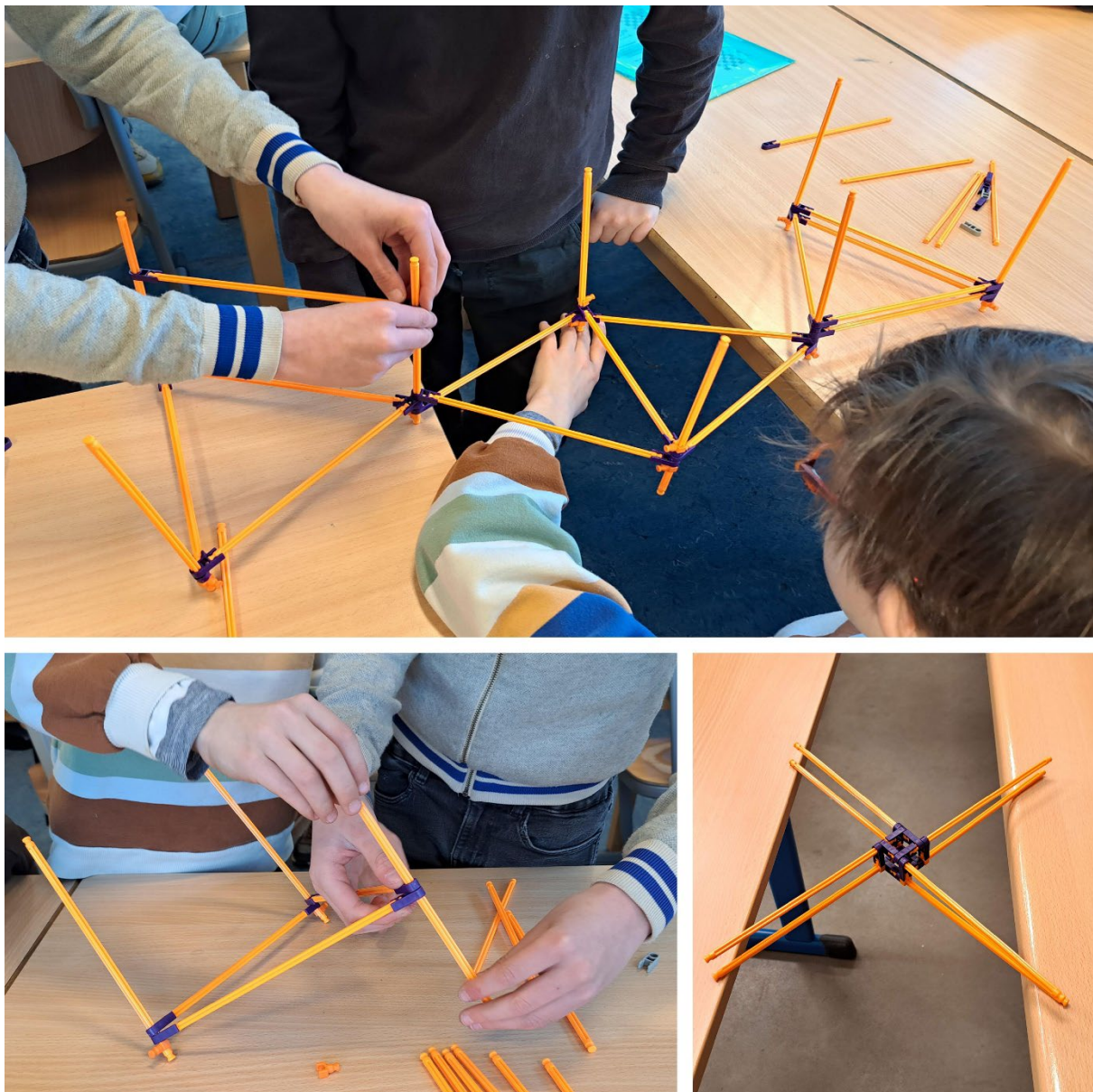


Figuur 7-5. Ontworpen plaatbruggen met K'nex, Techniekacademie Stekene, 01-03-23

## 7.2.2 Stimuleren van het gebruik van driehoeken

Op basis van de vorige resultaten heb ik geconstateerd dat leerlingen niet in staat zijn om zelf het ontwerp van een vakwerkbrug te creëren. Om hen te ondersteunen, besloot ik geleidelijk aan meer uitleg te geven over de sterkte van triangulatie en demonstreerde ik hoe ze driehoeken kunnen vormen met het beschikbare materiaal. Door deze structurele concepten te delen, werden de ervaringen van de leerlingen verbonden met de theoretische kennis. Dit kan leiden tot een versnelling in hun leerproces. Het is echter van belang dat leerkrachten de studenten op de juiste manier begeleiden en gepaste feedback geven.

Ik was verrast om te ontdekken dat wanneer ik specifieke tips en uitleg gaf om een bepaald resultaat te bereiken, deze tips op een andere manier geïnterpreteerd werden. Dit leidde tot nieuwe ontwerpen. Hoewel de leerlingen niet in staat waren om de exacte "Warren truss" te creëren, waren ze wel in staat om creatieve brugontwerpen met driehoeken te maken. Ze maakten gebruik van de kracht van driehoeken om horizontale stabiliteit te creëren, in plaats van verticale stabiliteit.



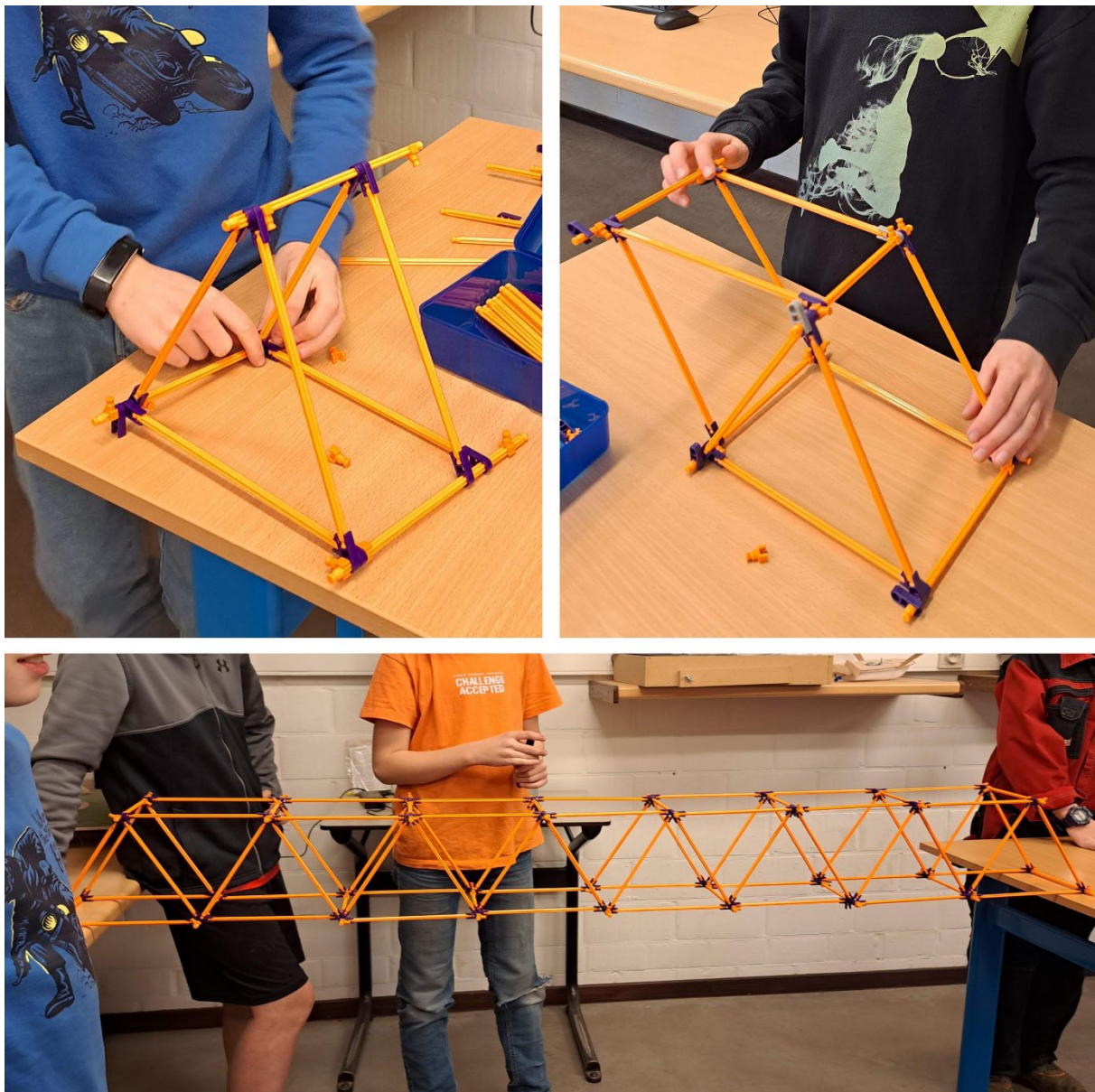
Figuur 7-6. Bruggen met driehoeken, Freinetschool Het Trappenhuis, 28-02-23



### 7.2.3 Het creëren van een vakwerkbrug

Om leerlingen de concepten van triangulatie en de structurele eigenschappen van een vakwerkbrug te leren, is het belangrijk om een stappenplan te ontwikkelen waarmee leerlingen op een ontdekkende manier de kracht van triangulatie kunnen ervaren. Het structuurmodel moet op de juiste manier gebruikmaken van scharnieren om de juiste informatie aan de leerlingen te verschaffen, zodat ze de structurele principes op de juiste wijze kunnen interpreteren. Het directe zichtbaarheidseffect, waarbij duidelijk wordt welke vormen stabiel zijn en welke vormen het model doen instorten, draagt bij aan de ontwikkeling van structureel inzicht bij kinderen.

Na de experimentele fase waarin de leerlingen zelf een brug mochten ontwerpen, kregen ze de opdracht om een vakwerkbrug te maken. Ik liet de leerlingen zien hoe een vakwerkbrug kan worden geconstrueerd en visualiseerde op een heldere manier de kracht van triangulatie. Op het einde werden alle vakwerkbruggen samengevoegd tot één grote brug. De leerlingen waren enorm verrast door de sterkte van de vakwerkbrug en gaven aan dat ze vanaf nu altijd driehoeken zouden gebruiken in hun constructies.



Figuur 7-7. Ontworpen vakwerkbrug met K'nex, Techniekacademie Stekene, 01-03-23

### 7.3 De eigenschappen van een experimentele leeromgeving

Na het uitvoeren van de test-workshops heb ik waardevolle inzichten verkregen in de aanpak van kinderen en de ontwerpen die ze hebben gemaakt. Op basis van de observaties kunnen we de volgende conclusies trekken met betrekking tot het ontwerpen van een experimentele leeromgeving met educatieve structuurmodellen:

- Start met een probleem of uitdaging: Een technische realisatie ontstaat doorgaans door behoeften, wensen en problemen. Door leerlingen uitdagende opdrachten te geven, worden ze gestimuleerd om zelf technische oplossingen te bedenken. Dit bevordert hun kritisch en creatief denken, zowel ten opzichte van zichzelf als anderen.
- Voorzie een experimentele fase: Het is essentieel dat leerlingen op een experimentele en onderzoekende manier de diverse mogelijkheden van verbindingen in constructies verkennen. Hierdoor zullen ze de werking van scharnieren ontdekken en realiseren dat een brug instort wanneer het scharnier het enige verbindende element is.
- Voorzie een ontwerpfase: De leerlingen zijn niet in staat om zelf het ontwerp van een vakwerkbrug te creëren, toch is het belangrijk dat leerlingen de gewenste structurele feedback door middel van sensomotorische ervaringen verwerven. Daarom moet er een stappenplan zijn waarbij leerlingen de vakwerkbrug kunnen maken. Hierdoor zullen ze op een ontdekkende manier de sterkte van triangulatie ervaren en krijgen ze een beter begrip over de structurele concepten van een vakwerkbrug.
- Voorzie een test- en evaluatiefase: Laat de leerlingen hun bouwwerken testen door er een kracht op uit te oefenen (gewicht plaatsen op de brug of hen laten duwen op de elementen van de brug). Op deze manier kunnen ze visueel zien of de constructie stabiel is of niet. Als er doorbuiging of instorting optreedt, moeten de studenten dit probleem oplossen. Door deze ervaringen ontstaan nieuwe verbindingen tussen waarneming en actie, waardoor nieuwe cognitieve schema's worden gevormd.
- Geef extra uitleg waar nodig: In een workshop kunnen deelnemers directe feedback ontvangen van de leerkracht. Dit zorgt ervoor dat de observaties en ervaringen van leerlingen worden gekoppeld aan theoretische leeraspecten. Dit kan leiden tot een snellere leercurve en verbetering van vaardigheden. Het is echter belangrijk dat leerkrachten over voldoende technische kennis beschikken om studenten te begeleiden en de juiste feedback te geven.
- Stimuleer groepswork: Groepswork bevordert de motivatie en versterkt de sociale en communicatieve vaardigheden. Leerlingen zullen met elkaar communiceren en elkaar ondersteunen bij het begrijpen van complexe concepten, zodat ze gezamenlijk het gemeenschappelijke doel kunnen bereiken.

Deze conclusie vormt de leidraad bij het ontwerpen van de structuurworkshop die ik zal aanbieden aan verschillende basisscholen. Het stelt mij in staat om de workshop zo vorm te geven dat leerlingen op een experimentele en onderzoekende manier aan de slag kunnen met structuurmodellen, waarbij ze worden gestimuleerd om verschillende verbindingen te verkennen en de sterkte van triangulatie te begrijpen.

## 7.4 Ontwerp van een structuurworkshop voor basisscholen

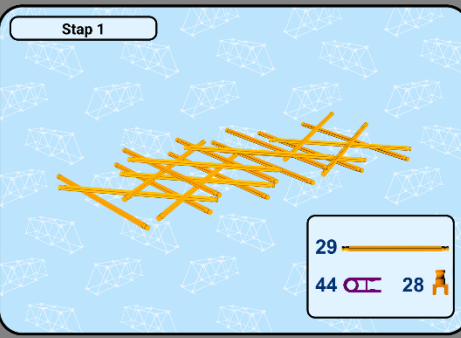
Mijn structuurworkshop voor basisscholen duurt 60 tot 70 minuten en is gericht op het bouwen van bruggen. Tijdens deze interactieve workshop krijgen leerlingen de gelegenheid om op een experimentele manier te werken met fysieke structuurmodellen. De lesopbouw, zoals weergegeven in figuur 7-8, biedt een gestructureerde aanpak voor de workshopactiviteiten.

**1. Introductie: Bruggenbouwers**

**2. Opdracht 1**

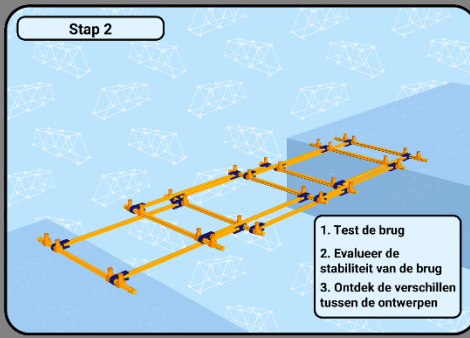
- Groepswerk: 2 tot 3 personen
- Bouw een brug van minimum 50 cm met de gegeven K'nex-onderdelen
- Leerlingen krijgen 15 minuten tijd

Stap 1



29
44
28

Stap 2



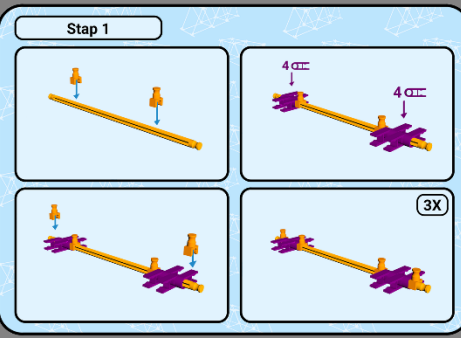
1. Test de brug
2. Evalueer de stabiliteit van de brug
3. Ontdek de verschillen tussen de ontwerpen

**3. Theorie: Soorten bruggen, sterkte van triangulatie en toepassingen**

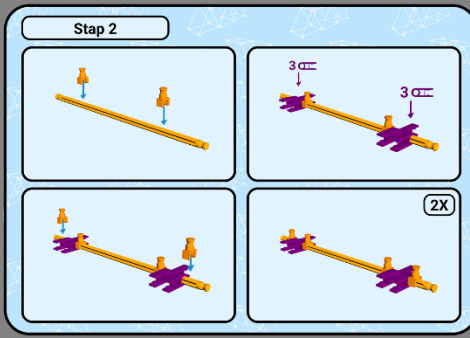
**4. Opdracht 2**

- Groepswerk: 2 tot 3 personen
- Bouw een vakwerkbrug
- Stap 1 tot 3 wordt klassikaal gedaan, leerkracht helpt waar nodig
- Vanaf stap 4 werkt elke groep op hun eigen tempo
- Indien een groep stap 5 met succes voltooid heeft kan men beginnen met de uitbreiding

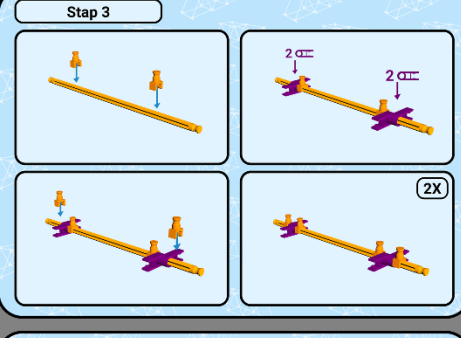
Stap 1



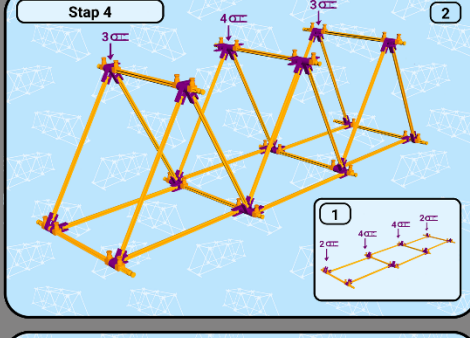
Stap 2



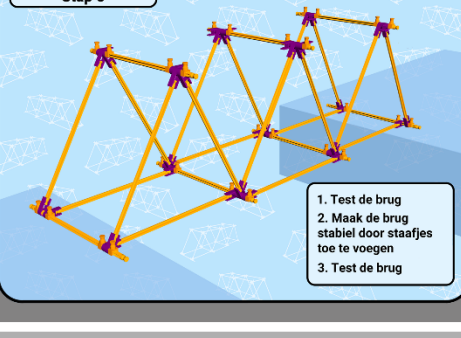
Stap 3



Stap 4

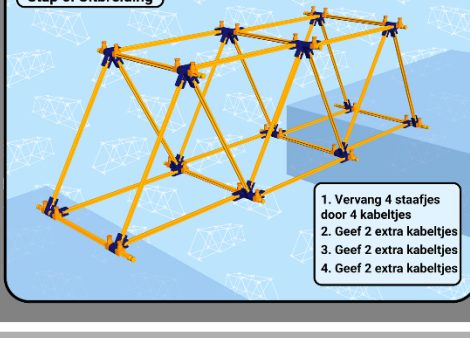


Stap 5



1. Test de brug
2. Maak de brug stabiel door staafjes toe te voegen
3. Test de brug

Stap 6: Uitbreiding



1. Vervang 4 staafjes door 4 kabeltjes
2. Geef 2 extra kabeltjes
3. Geef 2 extra kabeltjes
4. Geef 2 extra kabeltjes

**5. Evaluatie: Structurele concepten vakwerkbrug en verschil trek- en drukkrachten**

Figuur 7-8. Lesopbouw Structuurworkshop "Bruggenbouwers"

## 8 STRUCTUURWORKSHOP “BRUGGENBOUWERS”

---

Na het analyseren, observeren en uitvoeren van test-workshops kon ik een experimentele structuurworkshop met fysieke structuurmodellen ontwikkelen. Tijdens deze interactieve workshop krijgen de leerlingen de kans om op een experimentele wijze meer te leren over de sterkte van triangulatie en de structurele werking van een vakwerkbrug.

In dit laatste hoofdstuk wordt onderzocht of de ontworpen structuurworkshop daadwerkelijk het structureel inzicht bij kinderen ontwikkelt. We zullen dit doen door tijdens de workshops te observeren en de testresultaten van de leerlingen te analyseren. Op basis hiervan kunnen we beoordelen of het mogelijk is om het structureel denken bij kinderen te bevorderen en of de ontworpen structuurworkshop daadwerkelijk bijdraagt aan de ontwikkeling van hun vaardigheden en begrip van structurele concepten.



Figuur 8-1. Test Structuurworkshop “Bruggenbouwers”, Basisschool De Wijze Boom, 09-03-23

## 8.1 Resultaten schriftelijke test

Volgens de herziene taxonomie van Bloom kan men een hogere orde van denken bereiken door nieuwe kennis op te nemen, te begrijpen en toe te passen in nieuwe situaties. Om de kennis en vaardigheden van de kinderen vóór en na de workshop te beoordelen, zullen ze tweemaal een test afleggen (voor en na de workshop). Voor de test wordt hen verteld dat dit een wedstrijd is tegen de andere klas van hetzelfde leerjaar, om zo een competitiegevoel te creëren en hun motivatie om twee keer een test in te vullen te vergroten.

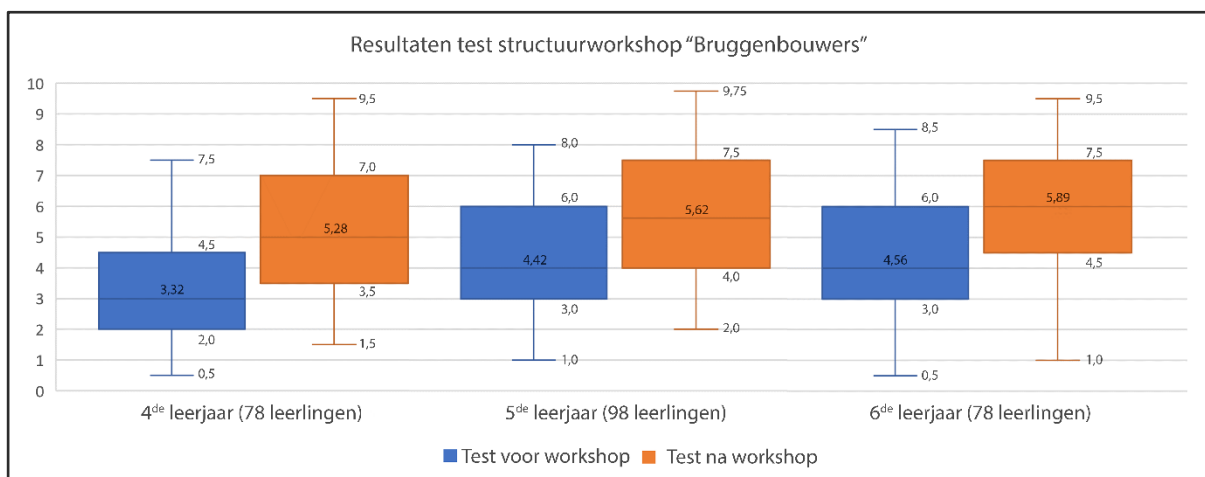
De test bestaat uit één pagina met vier vragen over structurele principes, zoals de sterkte van triangulatie, vormvastheid, stabiliteit van de vakwerkbrug en het verschil tussen trek- en drukkrachten. Er zijn twee verschillende versies van de test die afwisselend kunnen gebruikt worden. Beide testen bestaan uit meerkeuzevragen, hierdoor hoeven de kinderen niets op te schrijven en is het gemakkelijker om data te verzamelen en te vergelijken.

In volgende delen zal de data worden geanalyseerd en de vooruitgang van de kinderen worden geëvalueerd om te bepalen of de workshop effectief was in het vergroten van hun structureel inzicht. Bij de bespreking wordt er gekeken naar de algemene resultaten en waarnemingen tijdens de workshop. Daarnaast zullen we kijken of de leerlingen de sterkte van triangulatie correct kunnen interpreteren en de structurele concepten van een vakwerkbrug begrijpen en kunnen toepassen.

### 8.1.1 Algemene testresultaten

De structuurworkshop "Bruggenbouwers" werd georganiseerd in drie basisscholen, die behoren tot verschillende onderwijsnetten. Deze diversiteit biedt interessante mogelijkheden om de verschillen tussen de onderwijsnetten en de diversiteit onder de leerlingen te observeren. De workshops vonden plaats in mei 2023 en werden door mijzelf uitgevoerd tijdens de lessen van de school. Ze waren per klas georganiseerd en duurden gemiddeld 70 minuten. In totaal namen 254 leerlingen deel, verdeeld over het vierde, vijfde en zesde leerjaar.

Figuur 8-2 toont een boxplot van de testresultaten. Uit de resultaten van de eerste test kunnen we concluderen dat het structureel inzicht bij kinderen toeneemt vanaf het vijfde leerjaar. Daarnaast laten de resultaten van de tweede test zien dat de gemiddelde scores per leerjaar stijgen. Deze bevindingen zijn logisch, maar om meer inzicht te krijgen in het structureel denken bij kinderen, is het nodig om de antwoorden per vraag nader te bekijken.



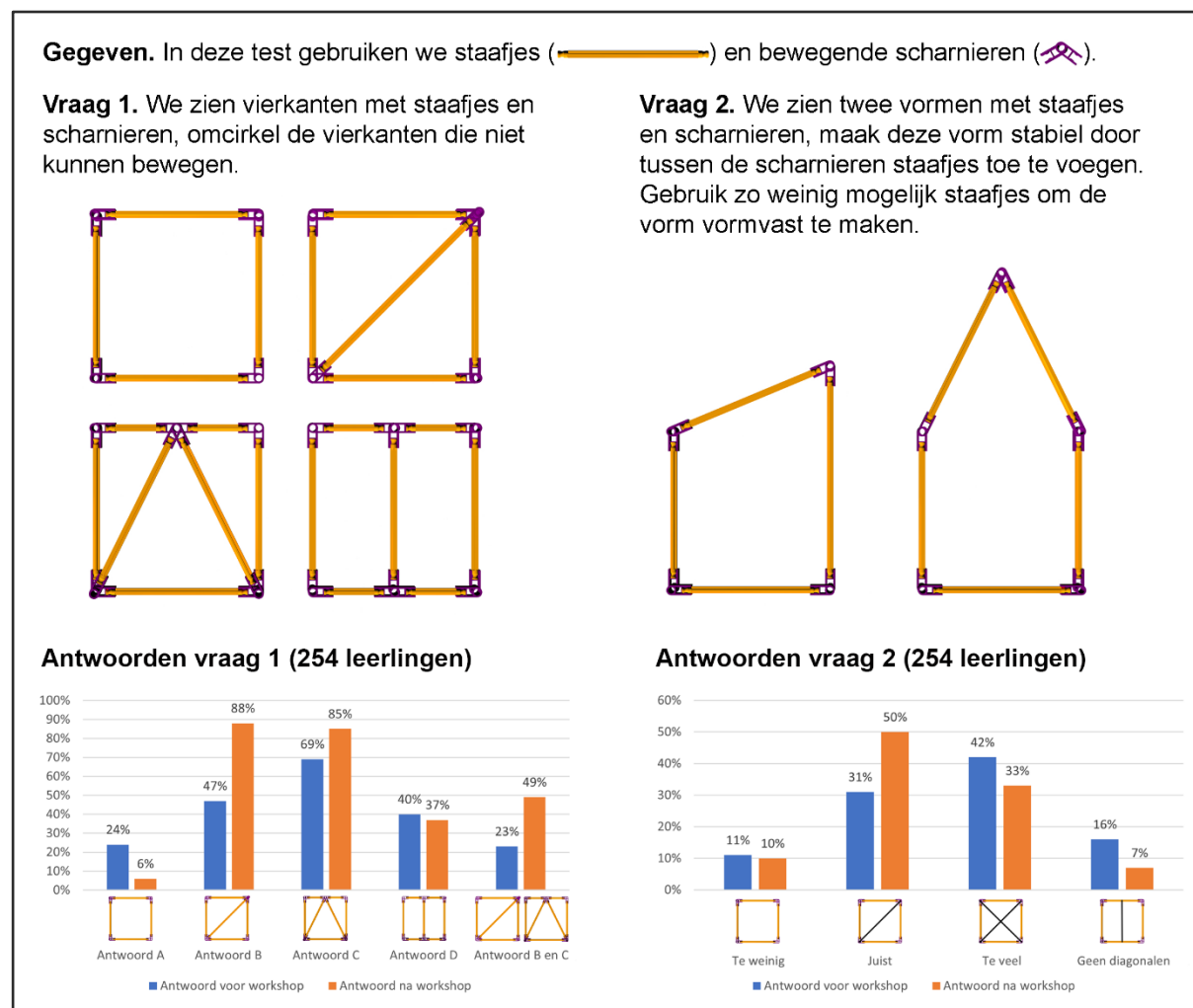
Figuur 8-2. Algemene resultaten test structuurworkshop "Bruggenbouwers"

### 8.1.2 Resultaten over het leren van de sterkte van triangulatie

Tijdens de structuurworkshop wordt de sterkte van triangulatie gedemonstreerd aan de hand van een voorgemaakt K'nex-model. Een vierkant en een driehoek met staafjes en scharnieren worden aan de leerlingen getoond. Hierbij wordt visueel aangetoond dat een driehoek een vormvaste figuur is en dat je een vierkant stabiel kunt maken door een diagonaal toe te voegen.

Bij de eerste vraag van de schriftelijke test krijgen de leerlingen de opdracht om alleen de vormvaste vierkanten te omcirkelen, hierdoor worden de leerlingen getest of ze triangulatie herkennen. Bij de tweede vraag moeten ze precies het minimale aantal staafjes toevoegen om de vormen stabiel te maken, hierbij wordt gekeken of de leerlingen het principe van triangulatie kunnen toepassen. Door de antwoorden van beide vragen te combineren is er een grotere zekerheid om te bepalen of de leerlingen het concept van triangulatie herkennen, begrijpen en ook juist kunnen toepassen.

Uit de resultaten van vraag 1 blijkt dat bij de eerste test de helft van de leerlingen het vierkant met de diagonaal heeft omcirkeld, wat als correct wordt beschouwd. Maar slechts een kwart van de leerlingen heeft echter de opdracht volledig correct uitgevoerd door enkel het vierkant met de diagonaal en het vierkant met de driehoek te omcirkelen. Dit aantal verdubbelt in de tweede test, maar dit betekent niet per se dat de leerlingen het principe van triangulatie herkennen. Het is ook mogelijk dat de leerlingen simpelweg beter in staat zijn om de vorm van een driehoek te herkennen.



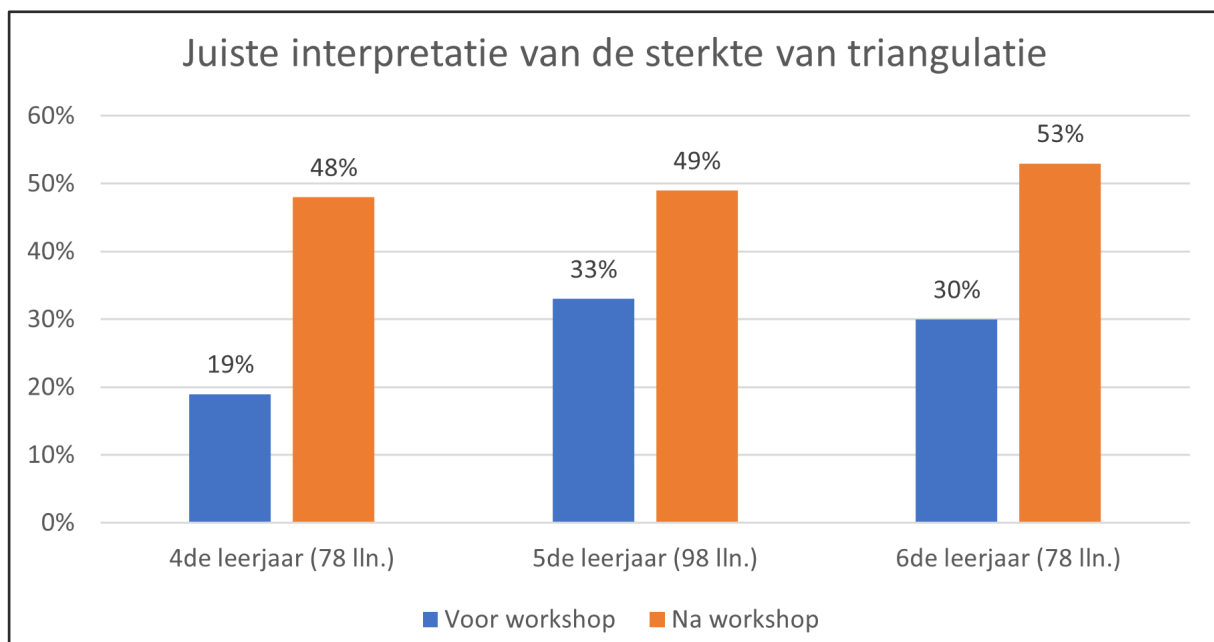
Figuur 8-3. Vraag 1 en vraag 2 van de test (versie 1) + Antwoorden leerlingen

Uit de resultaten van vraag 2 blijkt dat bij de eerste test één derde van de leerlingen het correcte aantal diagonalen heeft getekend. Bij de test na de workshop stijgt dit aantal met ongeveer 20%. Er zijn verschillende mogelijke oorzaken voor deze stijging, maar het is moeilijk om de exacte redenen hiervoor vast te stellen.

Volgens het onderzoek van Hattie John in "Visible Learning for Teachers" is het gebruikelijk dat het gemiddelde resultaat van een tweede test beter is dan de eerste. Dit kan worden toegeschreven aan het verwachte leereffect bij kinderen. Hattie heeft uitgebreid onderzoek gedaan naar onderwijspraktijken en heeft meer dan 800 meta-analyses van onderzoek geanalyseerd en beoordeeld. Op basis daarvan heeft hij vastgesteld welke factoren de grootste impact hebben op het leren van studenten. Uit zijn onderzoek blijkt dat een gemiddelde effectgrootte van 0,40 na een jaar als normaal wordt beschouwd. Een effectgrootte groter dan 0,40 wordt als bovengemiddeld beschouwd en wordt geassocieerd met een grotere dan verwachte groei in een jaar tijd.<sup>54</sup>

Bij het berekenen van de effectgrootte van de eerste en tweede vraag van de structuurtest zien we dat de gemiddelde effectgrootte voor het vijfde en zesde leerjaar 0,88 bedraagt. Dit wijst erop dat de structuurworkshop een positieve invloed heeft op het aanleren van de sterkte van triangulatie. Het positieve effect van workshops wordt ook bevestigd door de studie van Hattie waarbij hij het belang van zichtbaar leren benadrukt.

Voor de leerlingen van het vierde leerjaar is de gemiddelde effectgrootte 1,12. Dit is een grote vooruitgang, die ook duidelijk zichtbaar is in de antwoorden van de leerlingen. Opvallend was dat de leerlingen van het vierde leerjaar bij de tweede test het minst vaak het lege vierkant omcirkeld hebben en het vaakst het vierkant met de diagonaal correct aangeduid hebben (zie bijlage C). Dit duidt erop dat ze tijdens het informatieve gedeelte van de structuurworkshop beter hebben opgelet dan de leerlingen van het vijfde en zesde leerjaar. De getoonde voorbeelden van triangulatie werden beter door hen onthouden, maar ze missen echter nog de vaardigheden om deze principes toe te passen in nieuwe situaties.



**Figuur 8-4. Resultaten voor het juist interpreteren van de sterkte van triangulatie (Vraag 1 en 2)**

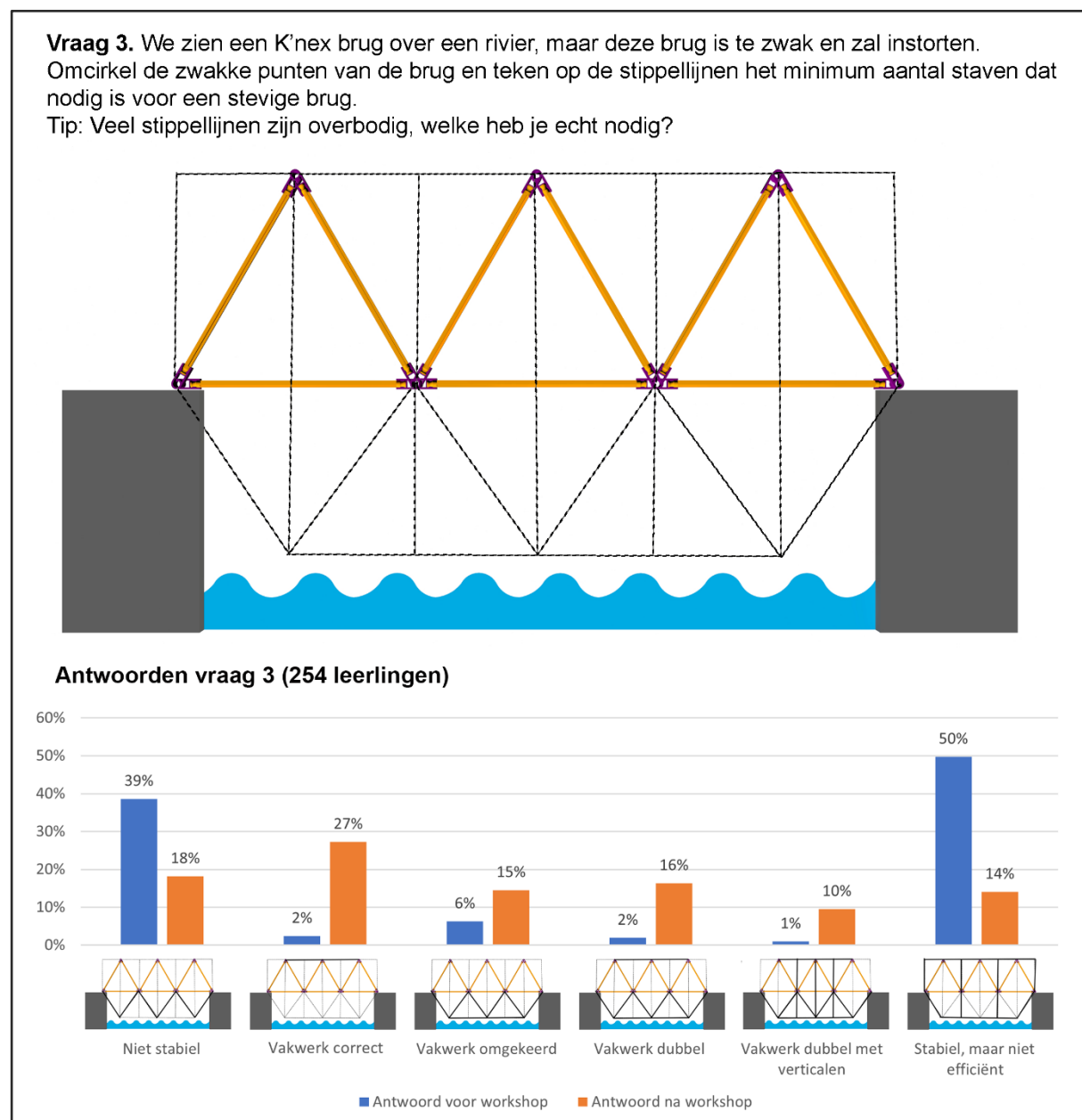
<sup>54</sup> Hattie, John. *Visible learning for teachers: maximizing impact on learning*. Routledge, 2012.

### 8.1.3 Resultaten over het begrijpen van de vakwerkbrug

Door stapsgewijs het structuurmodel van de vakwerkbrug te maken kunnen leerlingen door middel van sensomotorische ervaringen hun structureel inzicht bevorderen. Het correcte gebruik van scharnieren in het structuurmodel geeft de juiste informatie, waardoor leerlingen de structurele principes op de juiste manier kunnen begrijpen.

Om te achterhalen of leerlingen wel degelijk het structureel concept van de vakwerkbrug begrijpen krijgen ze in de schriftelijke test een vraag over hetzelfde type vakwerkbrug. De leerlingen moeten de zwakke elementen van de brug omcirkelen en op de stippellijnen het minimum aantal staven tekenen dat nodig is voor een stevige brug.

Bij zowel de eerste als de tweede test werden er veel verschillende ontwerpen getekend. Om een duidelijk overzicht te krijgen, worden de antwoorden onderverdeeld in zes categorieën. De laatste categorie "stabil, maar niet efficiënt" bevat alle stabiele ontwerpen die niet thuishoren bij de categorieën met vakwerken.



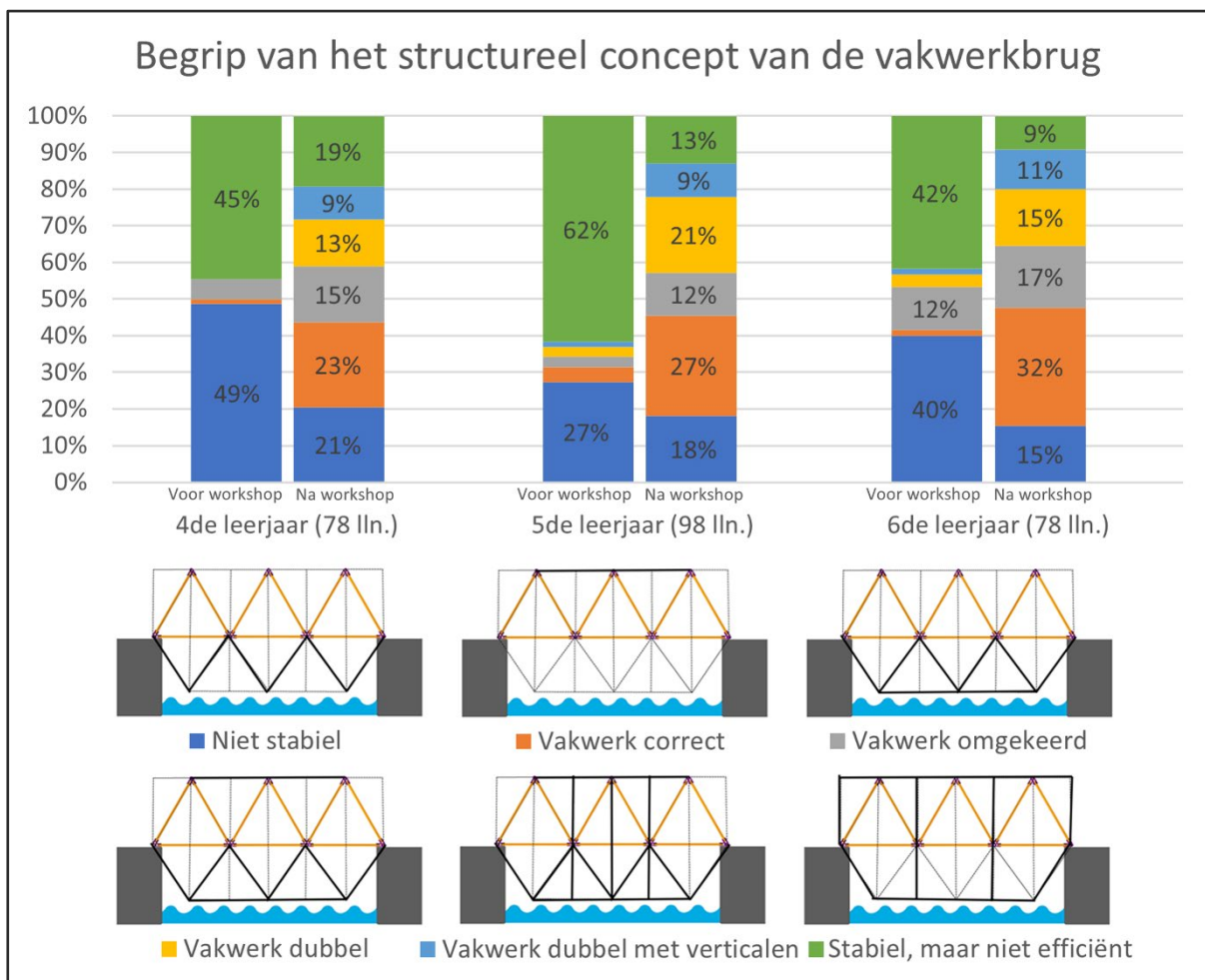
Figuur 8-5. Vraag 3 van de test (versie 1) + Antwoorden leerlingen



Uit de resultaten van beide testen blijkt dat de leerlingen na de workshop een beter begrip hebben van vakwerken. In de eerste test paste slechts één tiende van de leerlingen de structurele concepten van de vakwerkbrug toe om de brug stabiel te maken, terwijl dit in de tweede test gold voor drie vierde van de leerlingen. Echter, als we kijken naar de efficiënte toepassing van het principe van de vakwerkbrug, zien we dat slechts een vierde van de leerlingen dit op een efficiënte manier kon doen.

Hoewel we veel kunnen leren uit deze resultaten, is het niet mogelijk om met zekerheid te zeggen of de leerlingen het structurele concept van de vakwerkbrug werkelijk begrijpen. Als leerlingen het concept van vakwerkbruggen begrijpen, kunnen we ervan uitgaan dat ze de vragen correct beantwoorden. Maar het omgekeerde is niet waar: het juist beantwoorden van de vragen betekent niet automatisch dat leerlingen het concept van vakwerkbruggen begrijpen, dit kan ook toeval zijn. Daarom kunnen we alleen concluderen welke leerlingen geen structureel inzicht hebben ontwikkeld en de vragen dus fout hebben beantwoord.

Op basis van deze gedachte kunnen we constateren dat bij de eerste test gemiddeld 39% van de leerlingen niet in staat was om de brug stabiel te maken, wat aangeeft dat ze geen begrip hebben over de stabiliteit van bruggen. Na de workshop daalde dit aantal naar 18%, wat betekent dat de workshop leerlingen kan helpen om een beter begrip over de stabiliteit van bruggen te ontwikkelen.



**Figuur 8-6. Resultaten voor het begrip van het structureel concept van de vakwerkbrug (Test 2 - vraag 3)**

#### 8.1.4 Resultaten over het herkennen van trek- en drukkrachten

Na het bouwen van de vakwerkbrug worden de leerlingen uitgedaagd om vier staafjes te vervangen door kabeltjes, waardoor ze op een ontdekkende manier kunnen leren over trek- en drukkrachten. Deze aanpak is zeer succesvol, omdat leerlingen telkens opnieuw worden uitgedaagd. Telkens wanneer ze de juiste staafjes hebben vervangen door kabeltjes, krijgen ze extra kabeltjes om nieuwe mogelijke oplossingen te bedenken.

Aan het einde van de workshop wordt in de klas de werking van een vakwerkbrug uitgelegd en wordt het verschil tussen trek- en drukkrachten visueel gedemonstreerd. Om te bepalen of de leerlingen het verschil tussen trek- en drukkrachten herkennen, krijgen ze op de schriftelijke test de vraag zoals weergegeven in figuur 8-7.

|   |                               |                                       |   |
|---|-------------------------------|---------------------------------------|---|
| <b>Vraag 4.</b> Welke krachten zijn er in de staven die je net hebt getekend? |                               |                                       |   |
| <input type="checkbox"/> trek   | <input type="checkbox"/> druk | <input type="checkbox"/> trek en druk | <input type="checkbox"/> geen van beide |

**Figuur 8-7. Vraag 4 van de test**

Na het analyseren van de antwoorden zag ik dat deze manier van vraagstelling fout is. De vraag is gekoppeld aan de vorige vraag, hierdoor kunnen alleen leerlingen die vraag 3 correct hebben beantwoord deze vraag ook correct beantwoorden. Dit was ook duidelijk te zien in de antwoorden van de leerlingen, waarbij de helft van de leerlingen het antwoord “trek en druk” heeft aangeduid. Dit is correct bij de meeste leerlingen, want bij vraag 3 hebben deze leerlingen niet het meest efficiënte vakwerk getekend, dit wil zeggen dat ze zowel staven met trek- en drukkrachten hebben getekend. Door deze foute vraagstelling kunnen we niet weten welke leerlingen effectief het verschil kennen tussen de trek- en drukkrachten.

#### 8.1.5 Evaluatie schriftelijke test

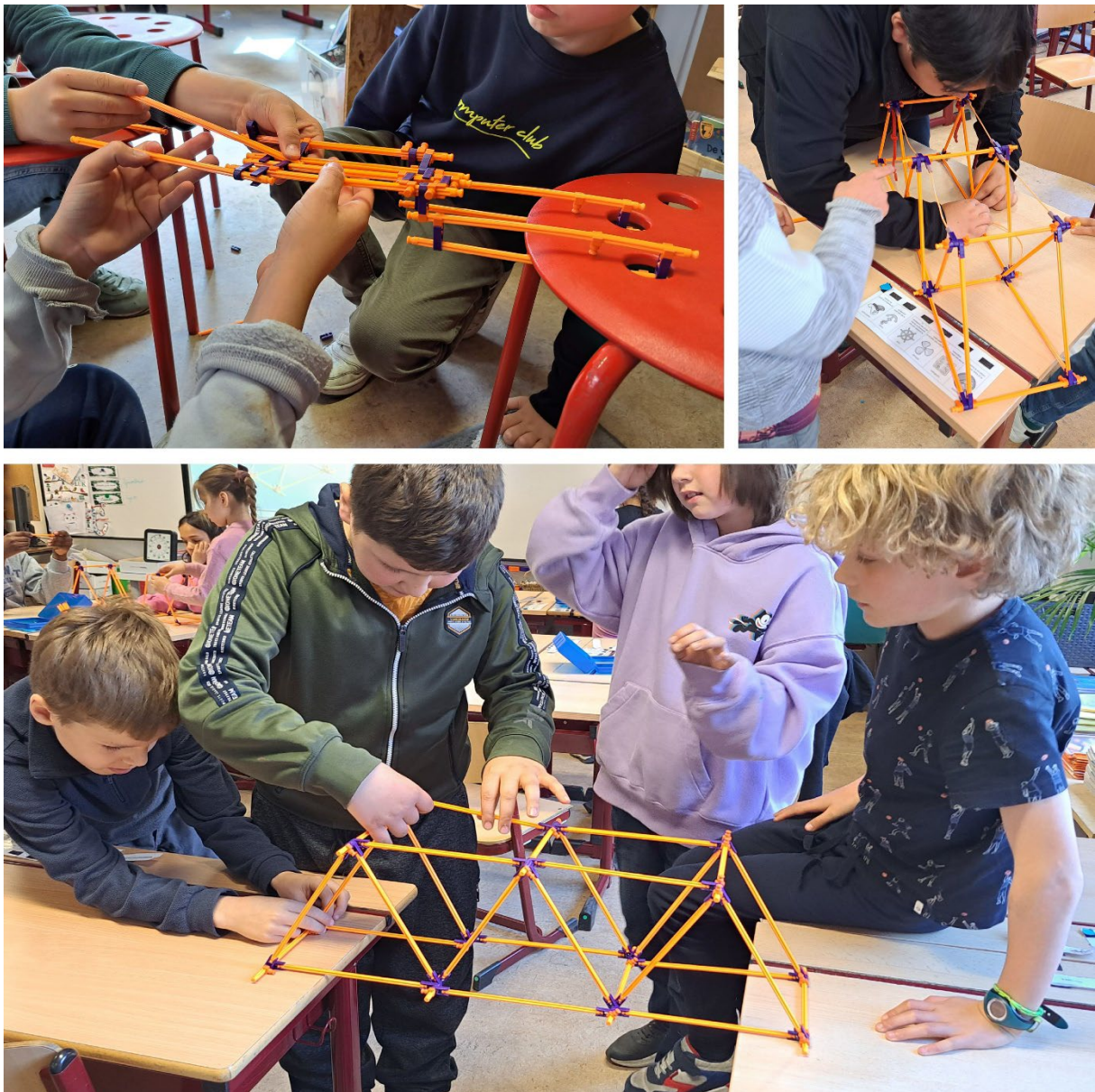
Indien de schriftelijke test opnieuw gebruikt zal worden voor verder onderzoek, moeten er nog enkele aanpassingen gebeuren. Bij de derde vraag moeten de leerlingen duidelijk geïnstrueerd worden om de zwakke punten van de brug te omcirkelen en op de stippellijnen het minimale aantal staven aan te geven voor een stevige brug. Uit de resultaten blijkt namelijk dat slechts een zeer klein percentage van de leerlingen de zwakke punten heeft omcirkeld, mogelijk omdat de leerlingen de vraag te snel lezen of niet goed begrijpen. Om dit te verbeteren, kan de vraag aangepast worden zodat de leerlingen duidelijk zien dat er twee afzonderlijke vragen in de opgave zijn. Als dit niet haalbaar is, kan overwogen worden om deze deelvraag volledig te verwijderen zodat de totale score van de test niet beïnvloed wordt. Daarnaast moet ook de vierde vraag herzien worden, aangezien deze momenteel gekoppeld is aan vraag 3 en daardoor niet doelgericht is.

Tot slot is het belangrijk om tijdens de workshop meer aandacht te besteden aan het tonen van verschillende voorbeelden van vakwerkbruggen. Uit de resultaten van de test vóór de workshop blijkt dat de gemiddelde scores per klas en per testversie gelijkwaardig zijn. Maar bij de tweede test zien we een klein voordeel voor de eerste versie van de test, waarbij de vakwerkbrug boven het wegdek wordt weergegeven (figuur 8-5). Bij de tweede versie van de test, waarbij de vakwerkbrug ondersteboven staat, hebben veel leerlingen (vooral leerlingen uit het vierde leerjaar) eenvoudigweg de vakwerkbrug opnieuw getekend op de bestaande structuur. Dit komt waarschijnlijk doordat er tijdens de workshop meer aandacht is besteed aan het voorbeeld van de vakwerkbrug boven het wegdek.

## 8.2 Conclusie structuurworkshop “Bruggenbouwers”

### 8.2.1 Structuurworkshops in het vierde leerjaar

Kinderen van het vierde leerjaar laten over het algemeen goede prestaties zien tijdens de structuurworkshops. Ze zijn actief betrokken, gemotiveerd en hebben een sterke leerhouding. Hoewel ze doorgaans minder structurele voorkennis en vaardigheden hebben in vergelijking met leerlingen uit hogere leerjaren, laten ze wel de grootste vooruitgang zien. Uit de testresultaten blijkt dat leerlingen van het vierde leerjaar beter opletten tijdens het informatieve gedeelte van de structuurworkshop. Ze hebben de getoonde voorbeelden van triangulatie beter onthouden, maar ze hebben wel nog wat moeite met het toepassen van deze principes in nieuwe situaties. Dit wijst erop dat ze nog bezig zijn met het ontwikkelen van de vaardigheden om de geleerde concepten toe te passen op verschillende contexten. Ondanks deze uitdagingen laten ze een positieve groei zien en tonen ze potentieel voor verdere ontwikkeling van hun structureel inzicht.

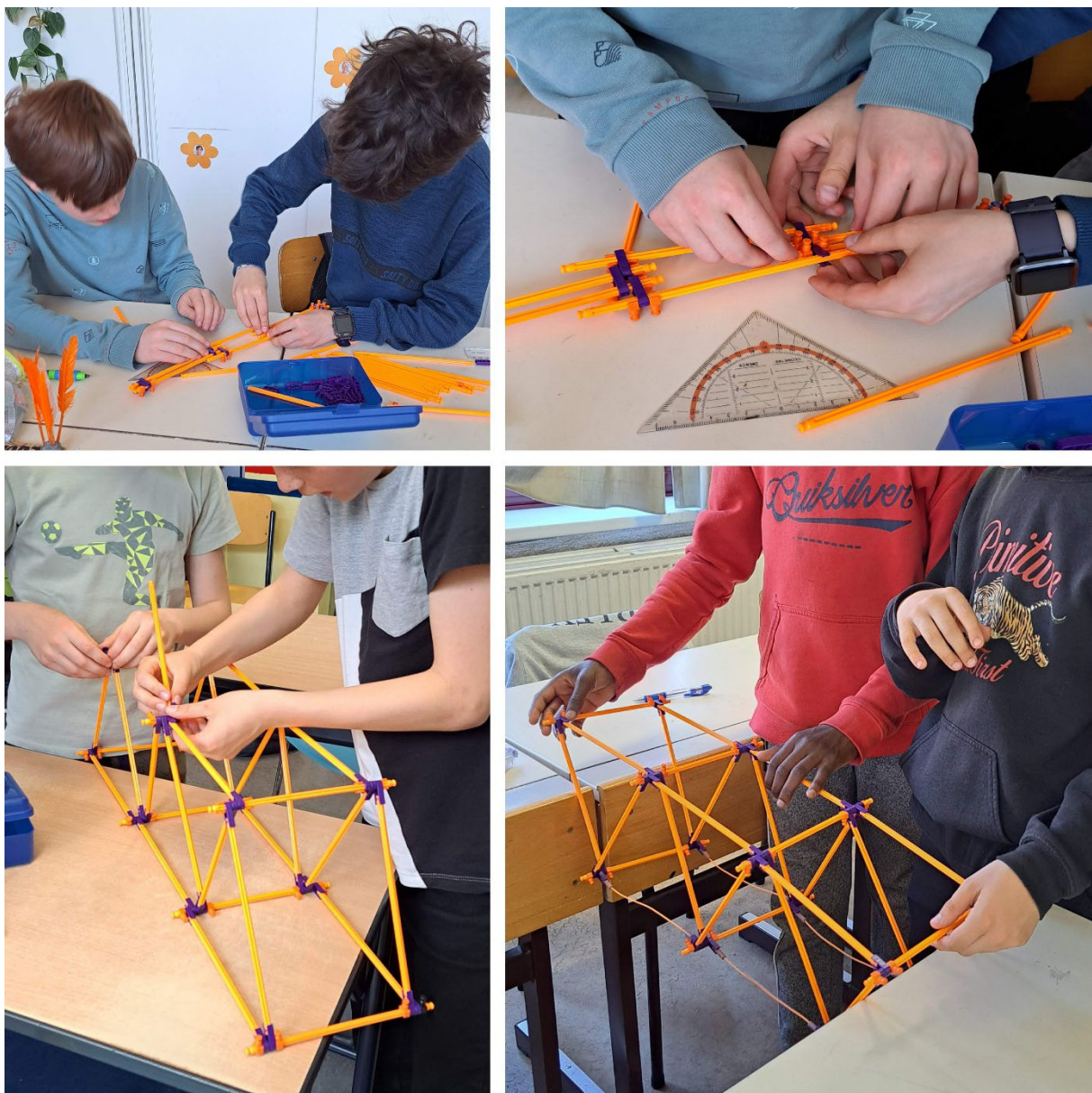


Figuur 8-8. Structuurworkshop “Bruggenbouwers” in het vierde leerjaar

### 8.2.2 Structuurworkshops in het vijfde leerjaar

Kinderen van het vijfde leerjaar presteren over het algemeen goed tijdens de workshops. De meerderheid van de leerlingen toont enthousiasme, motivatie en heeft geen angst om extra uitleg te vragen. Deze positieve houding maakt het mogelijk om de leerlingen de sterkte van triangulatie aan te leren. Het is echter belangrijk op te merken dat het begrijpen en kunnen toepassen van deze principes in nieuwe situaties niet vanzelfsprekend is. Hoewel de leerlingen een groeiend inzicht tonen in concepten zoals triangulatie en het gebruik van vakwerken, blijft het herkennen en toepassen ervan een uitdaging.

Het vijfde leerjaar is een leeftijdsgroep waarin kinderen vaak beschikken over ontwikkelde cognitieve vaardigheden en in staat zijn om complexere concepten te begrijpen en toe te passen. Dit draagt bij aan een succesvolle interactie tijdens de workshop en biedt mogelijkheden om het structureel denken bij kinderen van het vijfde leerjaar te bevorderen.

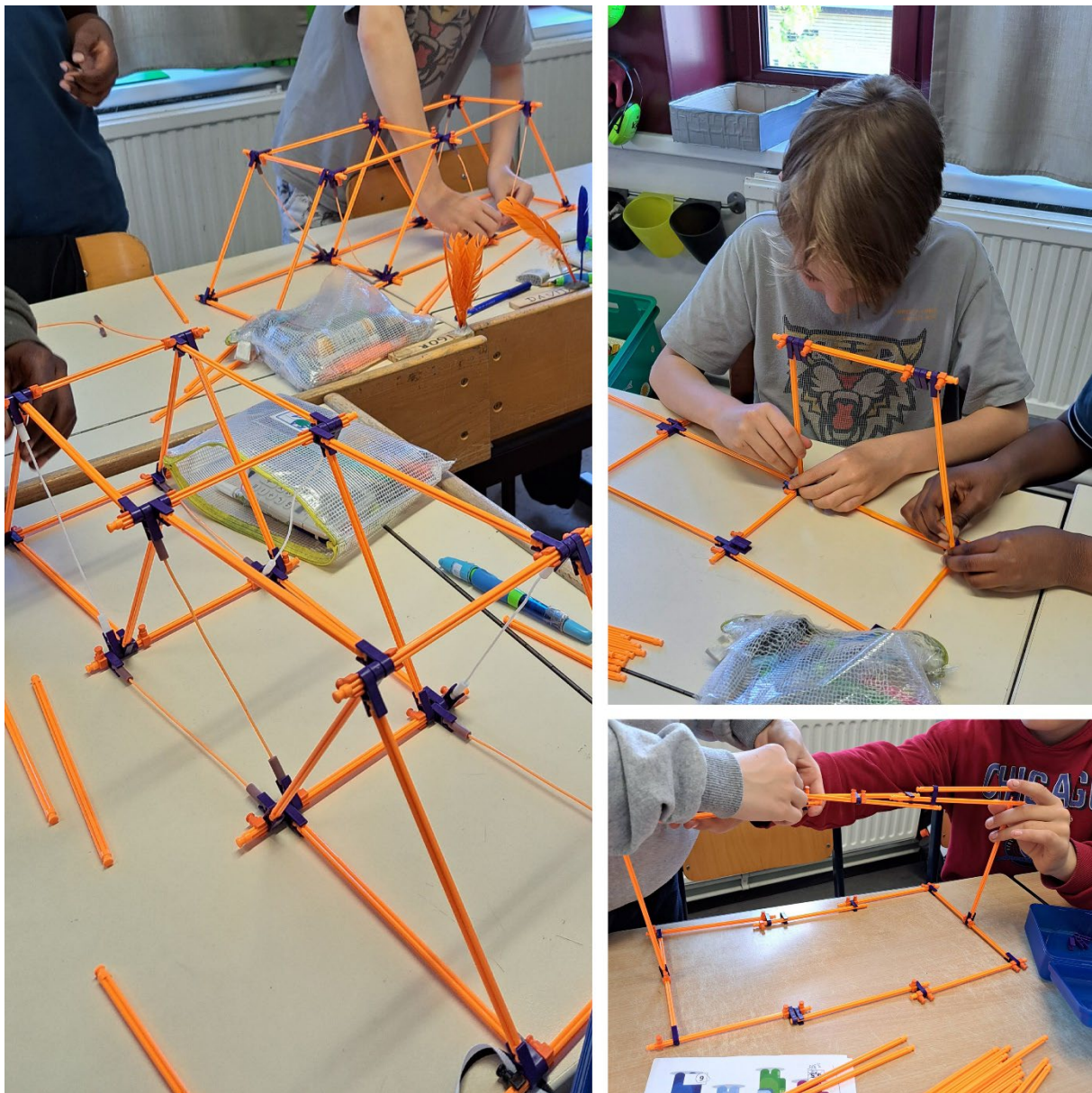


Figuur 8-9. Structuurworkshop “Bruggenbouwers” in het vijfde leerjaar

### 8.2.3 Structuurworkshops in het zesde leerjaar

De prestatie en motivatie van kinderen van het zesde leerjaar waren over het algemeen lager dan verwacht. Binnen de klassen van het zesde leerjaar was er een aanzienlijk verschil in interesse en motivatie tussen de leerlingen. Sommige leerlingen waren terughoudend om actief deel te nemen aan de structuurworkshop en beschouwden het spelen met K'nex als iets voor jongere kinderen. Deze houding bij enkele leerlingen resulteerde in minder vooruitgang in het gemiddelde leereffect van de groep.

De gemiddelde resultaten van de testen laten vergelijkbare scores zien met die van de leerlingen uit het vijfde leerjaar. Dit is opmerkelijk omdat kinderen in het zesde leerjaar een hoger cognitief vermogen zouden moeten hebben en in staat zouden moeten zijn om abstracte concepten te begrijpen en toe te passen in nieuwe situaties. Echter, het huidige onderzoek is beperkt tot slechts 78 leerlingen, waardoor het moeilijk is om definitieve conclusies te trekken. Meer onderzoek is nodig om een duidelijker beeld te krijgen van de capaciteiten van leerlingen in het zesde leerjaar.



Figuur 8-10. Structuurworkshop “Bruggenbouwers” in het zesde leerjaar

## 9 CONCLUSIE

---

De structuurworkshop "Bruggenbouwers" biedt kinderen de mogelijkheid om hun structureel inzicht te ontwikkelen en kan een positieve impact hebben op het begrijpen van de sterkte van triangulatie en de stabiliteit van bruggen. Het is echter niet mogelijk om het structureel denken van alle leerlingen te bevorderen, aangezien dit afhankelijk is van hun motivatie, betrokkenheid en bereidheid om te leren.

Om een nauwkeurige conclusie te kunnen trekken over de effectiviteit van de workshop bij het ontwikkelen van de structurele denkvaardigheden van kinderen, met specifieke focus op het toepassen van de sterkte van triangulatie en de structurele concepten van een vakwerkbrug, is verder onderzoek vereist. Het is noodzakelijk om meer scholen te betrekken in het onderzoek voordat definitieve conclusies kunnen worden geformuleerd.

We kunnen wel al concluderen dat bij het ontwerp van een experimentele leeromgeving volgende eigenschappen een positieve invloed hebben op het leereffect van de leerlingen:

- Activeren: Actieve deelname van leerlingen kan het begrip en het onthouden van informatie verbeteren. Het gebruik van een stappenplan kan actief leren stimuleren.
- Motiveren: Groepswork en competitie kunnen bijdragen aan motivatie en betrokkenheid van leerlingen, wat kan leiden tot een dieper begrip van de leerstof. Bovendien kunnen ze de sociale en communicatieve vaardigheden van leerlingen versterken en bevorderen ze de ontwikkeling van teamwork en leiderschapskwaliteiten.
- Stimuleren: Uitdagende opdrachten en problemen versterken het gemeenschappelijk doel van de leerlingen en kunnen het kritisch en creatief denken bevorderen.
- Experimenteren: Het is van groot belang dat leerlingen op een experimentele en onderzoekende wijze de verschillende mogelijkheden verkennen. Ze moeten de kans krijgen om te experimenteren en fouten te maken, aangezien dit hen in staat stelt veel te leren en nieuwe inzichten te verwerven.
- Aanleren: De directe feedback van de leerkracht koppelt observaties en ervaringen van leerlingen aan de theoretische leeraspecten. Leerkrachten met technische kennis zijn belangrijk om de leerlingen bij te staan en de juiste feedback te geven
- Observeren: Leerlingen kunnen kennis en vaardigheden verwerven door te ervaren en te observeren zonder bewustzijn van het leerproces. Het impliciet leren ontwikkelt de cognitieve vaardigheden en kan leiden tot effectiever leren en betere leerresultaten.

Bij het ontwerpen van structuurworkshops is het belangrijk dat fysieke structuurmodellen leerlingen aansporen om de structurele principes te verkennen door middel van sensomotorische ervaringen. Het model moet directe feedback geven over de stabiliteit van het ontwerp en de eigenschappen van elementen en verbindingselementen moeten overeenkomen met de structurele principes die je wilt aanleren. Daarnaast moet het model duurzaam zijn en eenvoudig en veilig te construeren zijn. Op deze manier kunnen we kinderen motiveren om te experimenteren en een dieper begrip te ontwikkelen van de structurele principes. Dit is van essentieel belang om het structureel denken bij kinderen te bevorderen.

# Referenties

## Papers en monografieën

- Bonwell, Charles. Eison, James. *Active learning: creating excitement in the classroom*. Washington, 1991.
- CACB. *Conditions and terms for accreditation, for professional degree programs in architecture*. CACB, 2017.
- Davis, Brent. *Spatial reasoning in the early years: principles, assertions and speculations*. Routledge, 2018.
- GO! Onderwijs van de Vlaamse Gemeenschap. *Leerplan Wereldoriëntatie Lager Onderwijs*. Brussel, 2010.
- Hattie, John. *Visible learning for teachers: maximizing impact on learning*. Routledge, 2012.
- Hattie, John. Yates, Gregory. *Visible learning and the science how we learn*. Routledge, 2013.
- Illeris, Knud. *Contemporary theories of learning*. Routledge, 2008.
- James, William. *The principles of psychology*. New York: Henry Holt and Company, 1890.
- Johnson, David. Johnson, Roger. *Cooperative learning in the classroom*. University of Minnesota, 1994.
- K'NEX Education. *Handleiding leerkracht: Bruggen, introductie van bouwwerken*. K'NEX Limited Partnership Group, 2014.
- Krajcik, Joseph. Blumenfeld, Phyllis. *Project-based learning*. Autodesk Foundation, 2006.
- Luyten, Laurens. Vilquin, Thomas. Vrouwe, Ivo. *A comparative study of the physical model as a tool for structural education: Beyond their limits*. Routledge, 2016.
- Mayer, Richard. *Rote versus meaningful learning*. Theory into practice, 2002.
- Ministerie van Onderwijs en Vorming. *Peiling techniek in de eerste graad secundair onderwijs a-stroom*. Brussel, 2018.
- NAAB. *2014 Conditions for accreditation*. The National Architectural Accrediting Board, 2014.
- Polanyi, Michael. *The Tacit Dimension*. Routledge, 1966.
- Prince, Michael. Felder, Richard. *Inductive teaching and learning methods: definitions, comparisons, and research bases*. Journal of Engineering Education, 2006.
- Salvin, Robert. *Cooperative learning, theory, research, and practice*. Allyn & Bacon, 1995.
- Schmucker, Douglas. *Models, models, models: The use of physical models to enhance the structural engineering experience*. The Pennsylvania State University, 1998.
- Soto-Rubio, Mauricio. *The use of physical models to teach structures in architecture school: a pedagogical approach*. University of Calagary, 2017.
- Sternberg, Robert. *Cognitive psychology*. Harcourt Brace College Publishers, 1999.
- Sun, Ron. *The Cambridge handbook of computational psychology*. Cambridge University Press, 2008.
- Techniek! Van in. *Handleiding techniek! 4 - Hoe bouw je een stevige constructie*. Wommelgem, 2016.

Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming. *Ontwikkelingsdoelen en eindtermen. Informatiemap voor de onderwijspraktijk. Gewoon Basisonderwijs*. Brussel, 2010.

Webb, Noreen. *Understanding collaborative learning: a guide for the classroom teacher*. Routledge, 2009.

Wilson, Margaret. *Six views of embodied cognition*. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2002.

## Websites

Don Bosco Sint-Denijs-Westrem. "Lego Education Innovation Studio", geraadpleegd op 1 februari, 2023. [https://www.donboscosdw.be/basisschool/Lego\\_innovation\\_studio](https://www.donboscosdw.be/basisschool/Lego_innovation_studio)

Katholiek Onderwijs Vlaanderen. "ZILL: Leerplansite", geraadpleegd op 10 februari, 2023. <https://zill.katholiekonderwijs.vlaanderen#!/leerinhoud>

Gemeenschapsonderwijs. "Leerplannen", geraadpleegd op 21 januari, 2023. <https://pro.g-o.be/pedagogische-begeleiding-leerplannen-nascholing/leerplannen/leerplannen-bao/wereldorientatie>

Onderwijs Vlaanderen. "Onderwijsdoelen en leerplannen in het basisonderwijs", geraadpleegd op 21 januari, 2023. <https://onderwijs.vlaanderen.be/nl/ouders/leren-en-evalueren/wat-leert-mijn-kind/onderwijsdoelen-en-leerplannen-in-het-basisonderwijs>

Plantyn. "Wereldkanjers", geraadpleegd op 21 januari, 2023. <https://www.plantyn.com/lager-onderwijs/wereldorientatie/wereldkanjers>

Speeltechniek. "K'NEX Education", geraadpleegd op 22 april, 2023. <https://www.speeltechniek.nl/KNEX-Education>

Technopolis. "Workshop Lego WeDo 2.0", geraadpleegd op 01 april, 2023. <https://www.technopolis.be/nl/workshops/workshop-lego-wedo-2-0/>

Universiteit Antwerpen. "Bouw mee een brug van papier", geraadpleegd op 20 april, 2023. <https://www.uantwerpen.be/nl/evenementen/kinderuniversiteit-uantwerpen/virtuele-activiteiten/workshops-virtueel/bruggen/>

## Artikels

Starkey, Gillian. "Wanneer kan mijn kind een toren van 6 blokken bouwen?", geraadpleegd op 18 februari, 2023. <https://lovevery.eu/blog/nl/kinderontwikkeling/wanneer-kan-mijn-kind-een-toren-van-6-blokken-bouwen>

Staso, William. "4x waarom met blokken spelen goed is voor jouw kind", geraadpleegd op 18 februari, 2023. <https://toverkast.nl/blogs/news/4x-waarom-met-blokken-spelen-goed-is-voor-jouw-kind>

Van Puymbroeck, Rik. "Vlaamse leerplannen te veel gericht op memoriseren en te weinig op vaardigheden" *De Morgen*, 08 maart, 2019. <https://www.demorgen.be/nieuws/vlaamse-leerplannen-te-veel-gericht-op-memoriseren-en-te-weinig-op-vaardigheden~b4a1d4f5>

Vandevelde, Janne. "Te veel regels remmen vernieuwing af" *Het Nieuwsblad*, 23 september, 2019. [https://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20190923\\_04620062/](https://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20190923_04620062/)

## Interviews

De Bruyn, Wim. Directeur VBS Tuimelaar Stekene, interview 20 januari, 2023.

Heyman, Milena. Zorg coördinator Basisschool Crombeen Gent, interview 24 januari, 2023.

Verduijn, Ilona. Leerkracht lager onderwijs VBS Ertvelde, interview 22 januari, 2023.



# Lijst van figuren

- Figuur 1-1.** Fout toepassen van de sterkte van triangulatie bij het ontwerp van een papieren brug, 6<sup>de</sup> middelbaar College O.L.V. ten Doorn, 08-06-2017  
*Eigen werk*
- Figuur 3-1.** Opbouw van het onderzoek gecombineerd met de deelnemende scholen  
*Eigen werk*
- Figuur 4-1.** Les “Hoe bouw je een stevige constructie?”, Techniek! 4 (Van in)  
*Techniek! Van in. Handleiding techniek! 4 - Hoe bouw je een stevige constructie. Pagina 63-65. Wommelgem, 2016.*
- Figuur 5-1.** Schema taxonomie van Bloom  
*Eigen werk*
- Figuur 5-2.** Stabiliseren door toevoeging van diagonalen, Seintorentje Barg53 Structuur en aansluiting, KU Leuven Faculteit Architectuur (Deruwe Liedewij, Garrido Chloé, Stouthuysen Frieke en De Baets Keano)  
*Eigen werk*
- Figuur 5-3.** Structureel inzicht leren door belichaamde cognitie, testen kartonnen toren Barg33 Structuur Verdiepend, KU Leuven Faculteit Architectuur (De Vos Luca, De Schuytener Natalie en De Baets Keano)  
*Eigen werk*
- Figuur 5-4.** Techniekworkshop Lego WeDo, Basisschool Crombeen, 02/02/23  
*Eigen werk*
- Figuur 5-5.** Projectmatig leren, bouw periscoop Techniekacademie Stekene, 17-02-23  
*Eigen werk*
- Figuur 6-1.** Schema doelstellingen bij het integreren van structuurmodellen in theorielessen  
*Eigen werk*
- Figuur 6-2.** Spaghetti-marshmallow workshop Freinetschool De Harp, 28-11-22  
*Eigen werk*
- Figuur 6-3.** Fout toepassen van de sterkte van triangulatie (Basisschool De Achterberg)  
*Hanzeblog College. Workshop: Brug bouwen met basisschool De Achterberg. 25-02-12. <http://hanzecollege.blogspot.com/2012/02/workshop-brug-bouwen-met-basisschool-de.html>*
- Figuur 6-4.** Fout bij het verbinden van scharnierende elementen (Wikihow)  
*Wikihow. Een brug bouwen met ijsstokjes. 22-05-15. <https://nl.wikihow.com/Een-brug-bouwen-met-ijsstokjes>*
- Figuur 6-5.** Fout toepassen van trek- en drukkrachten (VBS Sint-Jozef Lochristi)  
*VBS Sint-Jozef Lochristi. 4A Bruggen bouwen. 25-04-18. <https://vbs-lochristi.be/4a-bruggen-bouwen/>*
- Figuur 6-6.** K'nex Education – Intro to structures: Bridges (K'NEX)  
*K'NEX Education. Handleiding leerkracht: Bruggen, introductie van bouwwerken. K'NEX Limited Partnership Group, 2014.*

- Figuur 6-7.** Foute weergave bij het uitleggen van triangulatie  
*K'NEX Education. Handleiding leerkracht: Bruggen, introductie van bouwwerken. K'NEX Limited Partnership Group, 2014.*
- Figuur 6-8.** Vakwerkbruggen K'nex Education – Intro to structures: Bridges (K'nex)  
*K'NEX Education. Handleiding leerkracht: Bruggen, introductie van bouwwerken. K'NEX Limited Partnership Group, 2014.*
- Figuur 6-9.** Spaghetti-marshmallow workshop Basisschool De Wijze Boom, 08-12-22  
*Eigen werk*
- Figuur 6-10.** Winnende ontwerpen spaghetti-marshmallow workshop bij 8-, 9- en 10-jarigen  
*Eigen werk*
- Figuur 6-11.** Ontwerpen spaghetti-marshmallow workshop bij 11-jarigen  
*Eigen werk*
- Figuur 6-12.** De eigenschappen van fysieke structuurmodellen in het onderwijs  
*Eigen werk*
- Figuur 7-1.** Leerlingen leren de sterkte van triangulatie door gebruik van mijn ontworpen structuurmodel  
*Eigen werk*
- Figuur 7-2.** Leerlingen leren “trek en druk” door gebruik van mijn ontworpen structuurmodel  
*Eigen werk*
- Figuur 7-3.** Onderdelen van mijn ontworpen structuurmodel  
*Eigen werk*
- Figuur 7-4.** Ontworpen balkbruggen met K'nex, Techniekacademie Stekene, 01-03-23  
*Eigen werk*
- Figuur 7-5.** Ontworpen plaatbruggen met K'nex, Techniekacademie Stekene, 01-03-23  
*Eigen werk*
- Figuur 7-6.** Bruggen met driehoeken, Freinetschool Het Trappenhuis, 28-02-23  
*Eigen werk*
- Figuur 7-7.** Ontworpen vakwerkbrug met K'nex, Techniekacademie Stekene, 01-03-23  
*Eigen werk*
- Figuur 7-8.** Lesopbouw Structuurworkshop “Bruggenbouwers”  
*Eigen werk*
- Figuur 8-1.** Structuurworkshop “Bruggenbouwers”, Basisschool De Wijze Boom, 09-03-23  
*Eigen werk*
- Figuur 8-2.** Algemene resultaten test structuurworkshop “Bruggenbouwers”  
*Eigen werk*
- Figuur 8-3.** Vraag 1 en vraag 2 van de test (versie 1) + Antwoorden leerlingen  
*Eigen werk*
- Figuur 8-4.** Resultaten voor het juist interpreteren van de sterkte van triangulatie  
*Eigen werk*
- Figuur 8-5.** Vraag 3 van de test (versie 1) + Antwoorden leerlingen  
*Eigen werk*

**Figuur 8-6.** Resultaten voor het begrip van het structureel concept van de vakwerkbrug  
*Eigen werk*

**Figuur 8-7.** Vraag 4 van de test  
*Eigen werk*

**Figuur 8-8.** Structuurworkshop “Bruggenbouwers” in het vierde leerjaar  
*Eigen werk*

**Figuur 8-9.** Structuurworkshop “Bruggenbouwers” in het vijfde leerjaar  
*Eigen werk*

**Figuur 8-10.** Structuurworkshop “Bruggenbouwers” in het zesde leerjaar  
*Eigen werk*

**Figuur A.** Resultaten van de praktische proef voor de opdracht brug (Peiling techniek, 2018)  
*Eigen werk, geïnspireerd op tabel Ministerie van Onderwijs en Vorming. Peiling techniek in de eerste graad secundair onderwijs a-stroom. Brussel, 2018.*

**Figuur B.** Eindtermen “Techniek” lager onderwijs (Vlaamse Overheid, 2010)  
*Eigen werk, geïnspireerd op tabel Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming. Ontwikkelingsdoelen en eindtermen. Informatiemap voor de onderwijspraktijk. Gewoon Basisonderwijs. Brussel, 2010.*

**Figuur C.** Antwoorden vraag 1 en 2 (Test 2023)  
*Eigen werk*

**Figuur D.** Antwoorden vraag 3 en 4 (Test 2023)  
*Eigen werk*

**Figuur E.** Resultaten per school (Test 2023)  
*Eigen werk*

# Bijlagen

## Bijlage A OPDRACHT EN RESULTATEN BRUGOPDRACHT (2018)

De opdracht "Brug" heeft als doel om leerlingen te laten testen en ontwerpen op basis van de stevigheid van constructies. Ze moeten het zwakste punt van een brug vinden, een plan opstellen om de brug te verstevigen en dit plan vervolgens uitvoeren met behulp van rietjes en punaises. Het uiteindelijke doel is om leerlingen in staat te stellen technische constructies te realiseren en hun ontwerpen te evalueren aan de hand van vooropgestelde criteria.

Ongeveer 85% van de leerlingen kan de brug minstens één speelgoedauto laten dragen zonder door te zakken, 85% heeft een open brug aan beide kanten zodat auto's ongehinderd kunnen rijden, en 86% heeft geen obstakels onder de brug of aan de onderkant van de weg, zodat boten er ongehinderd onderdoor kunnen varen. Ongeveer de helft van de leerlingen (52%) voldoet aan alle gestelde criteria.

| Resultaten van de praktische proef voor de opdracht brug              |   |            |
|---|---|------------|
| ET  | Criterium   | Percentage |
| 12  | Stevigheid van constructies testen:                               |            |
|   | De leerling kiest het midden van de brug als zwakste punt.        | 94%        |
|   | De leerling duidt aan dat driehoeksconstructies stevig zijn.      | 96%        |
|   | De leerling duidt aan dat vierhoeksconstructies niet stevig zijn. | 96%        |
| Informatie over de stevigheid van constructies gebruiken in een plan: |   |            |
|   | Het plan houdt rekening met het zwakste punt van de brug.         | 70%        |
|   | Het plan houdt rekening met de gekozen constructie.               | 66%        |
| Rekening houden met een criterium in het plan:                        |   |            |
|   | Er werd niets onder de brug geplaatst.                            | 76%        |
| 13a   | Het plan komt overeen met de uiteindelijke brug.                  | 56%        |
| 20  | De brug voldoet aan de vooropgestelde criteria:                   | 52%        |
|   | De brug draagt één auto zonder doorzakken.                        | 85%        |
|   | De brug is open aan beide kanten.                                 | 85%        |
|   | Er werd niets onder de brug geplaatst.                            | 86%        |
| 15  | De evaluatie tabel werd correct ingevuld.                         | 66%        |

**Figuur A. Resultaten van de praktische proef voor de opdracht brug (Peiling techniek, 2018)**

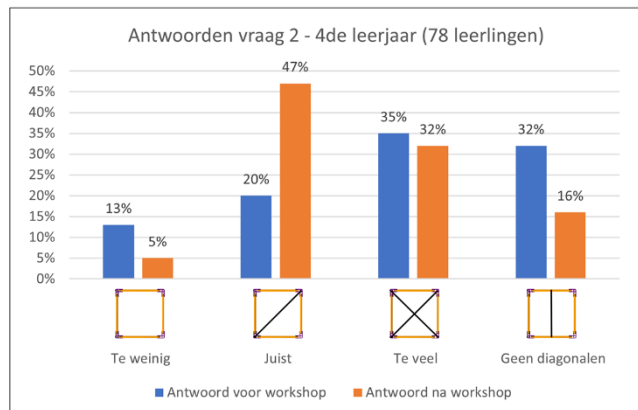
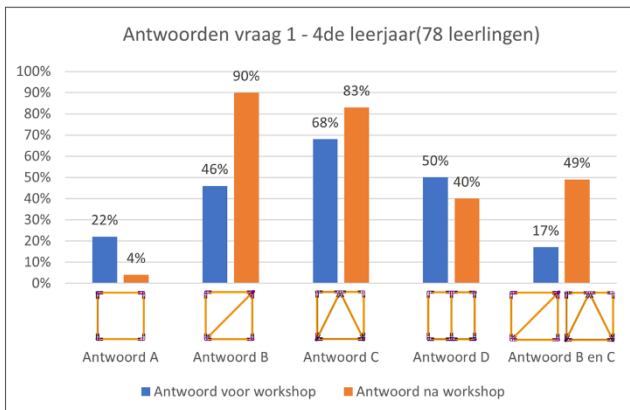
## Bijlage B EINDTERMEN “TECHNIEK” GEWOON BASISONDERWIJS (2010)

| Eindtermen techniek gewoon basisonderwijs |   |
|---|---|
| Kerncomponenten van techniek              |   |
| 2.1                                       | De leerlingen kunnen van technische systemen uit hun omgeving zeggen uit welke materialen of grondstoffen ze gemaakt zijn.  |
| 2.2                                       | De leerlingen kunnen specifieke functies van onderdelen bij eenvoudige technische systemen onderzoeken door middel van hanteren, monteren of demonteren.  |
| 2.3                                       | De leerlingen kunnen onderzoeken hoe het komt dat een zelf gebruikt technisch systeem niet of slecht functioneert.  |
| 2.4                                       | De leerlingen kunnen illustreren dat sommige technische systemen moeten worden onderhouden.   |
| 2.5                                       | De leerlingen kunnen illustreren dat technische systemen evolueren en verbeteren.   |
| 2.6                                       | De leerlingen kunnen illustreren hoe technische systemen onder meer gebaseerd zijn op kennis over eigenschappen van materialen of over natuurlijke verschijnselen.  |
| 2.7                                       | De leerlingen kunnen in concrete ervaringen stappen van het technisch proces herkennen (probleem vaststellen, oplossen, maken, in gebruik nemen, evalueren).  |
| 2.8                                       | De leerlingen kunnen technische systemen, het technisch proces, hulpmiddelen en keuzen herkennen binnen verschillende toepassingsgebieden van techniek.   |
| Techniek als menselijke activiteit        |   |
| 2.9                                       | De leerlingen kunnen een probleem, ontstaan vanuit een behoefte, technisch oplossen door verschillende stappen van het technisch proces te doorlopen.   |
| 2.10                                      | De leerlingen kunnen bepalen aan welke vereisten het technisch systeem dat ze willen gebruiken of realiseren, moet voldoen.   |
| 2.11                                      | De leerlingen kunnen ideeën genereren voor een ontwerp van een technisch systeem.   |
| 2.12                                      | De leerlingen kunnen keuzen maken bij het gebruiken of realiseren van een technisch systeem, rekening houdend met de behoefte, met de vereisten en met de beschikbare hulpmiddelen.   |
| 2.13                                      | De leerlingen kunnen een eenvoudige werktekening of handleiding stap voor stap uitvoeren.   |
| 2.14                                      | De leerlingen kunnen werkwijzen en technische systemen vergelijken en over beide een oordeel formuleren aan de hand van criteria.   |
| 2.15                                      | De leerlingen kunnen technische systemen in verschillende toepassingsgebieden van techniek gebruiken en/of realiseren.  |
| 2.16                                      | De leerlingen zijn bereid hygiënisch, nauwkeurig, veilig en zorgzaam te werken.   |
| Techniek en samenleving                   |   |
| 2.17                                      | De leerlingen kunnen illustreren dat techniek en samenleving elkaar beïnvloeden.  |
| 2.18                                      | De leerlingen kunnen aan de hand van voorbeelden uit verschillende gebieden van techniek illustreren dat technische systemen nuttig, gevaarlijk en/of schadelijk kunnen zijn voor henzelf, voor anderen of voor natuur en milieu. |

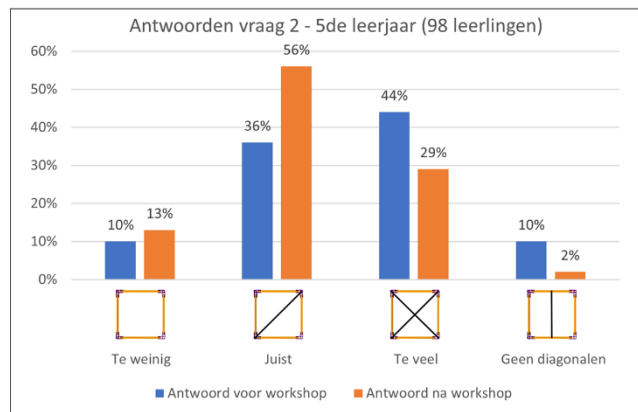
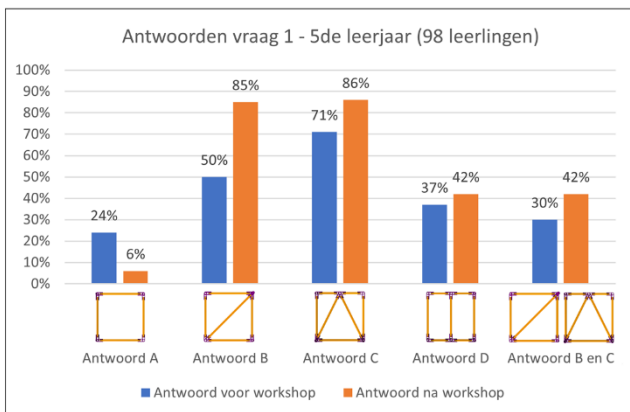
Figuur B. Eindtermen “Techniek” lager onderwijs (Vlaamse Overheid, 2010)

## Bijlage C ANTWOORDEN VRAAG 1 EN 2 (TEST 2023)

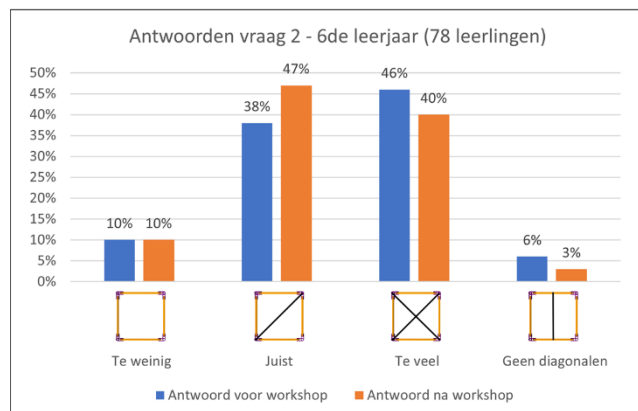
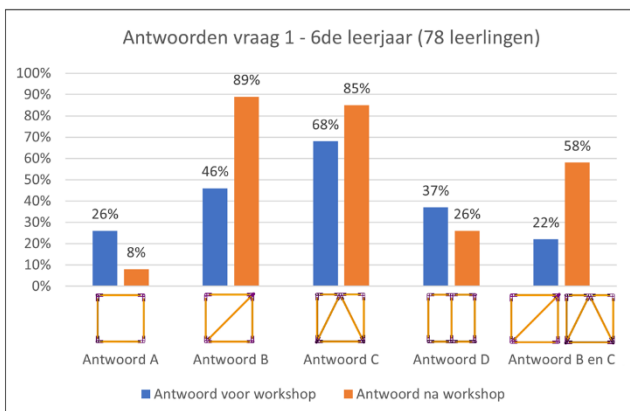
### Antwoorden 4<sup>de</sup> leerjaar



### Antwoorden 5<sup>de</sup> leerjaar



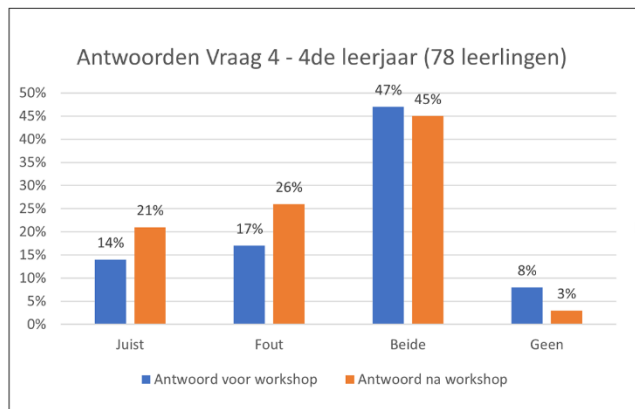
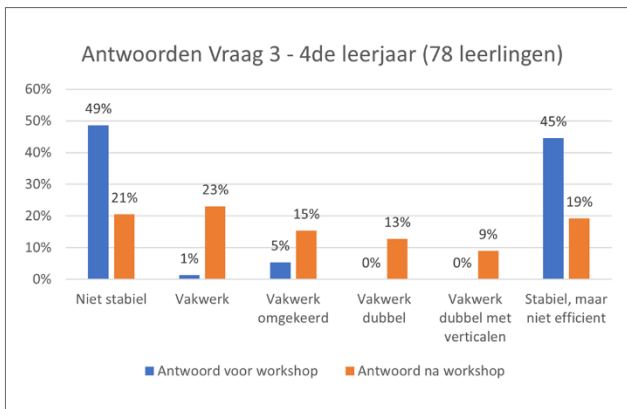
### Antwoorden 6<sup>de</sup> leerjaar



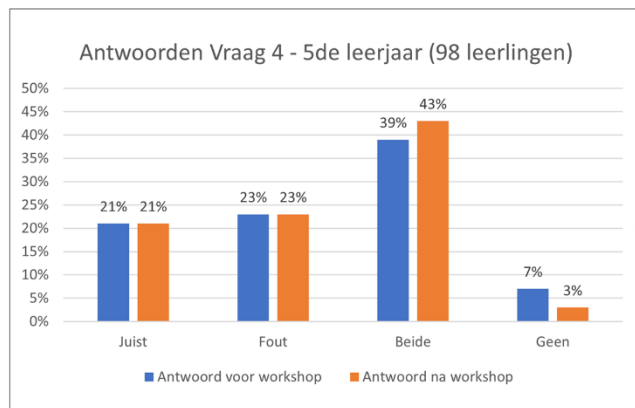
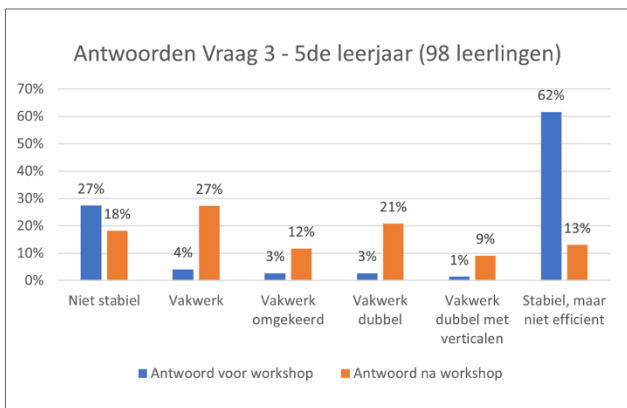
Figuur C. Antwoorden vraag 1 en 2 (Test 2023)

## Bijlage D ANTWOORDEN VRAAG 3 EN 4 (TEST 2023)

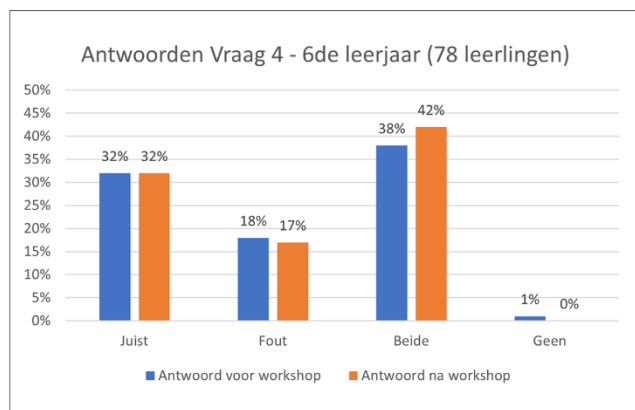
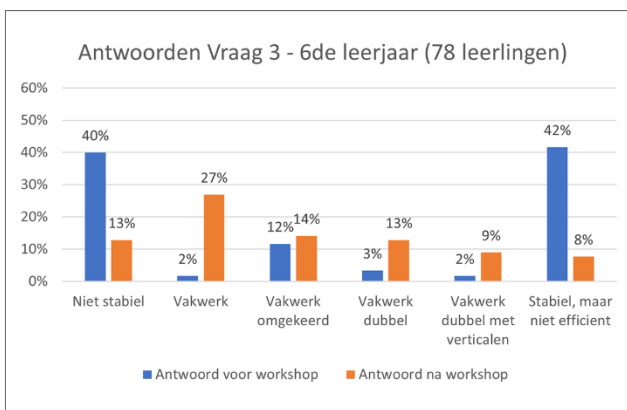
### Antwoorden 4<sup>de</sup> leerjaar



### Antwoorden 5<sup>de</sup> leerjaar

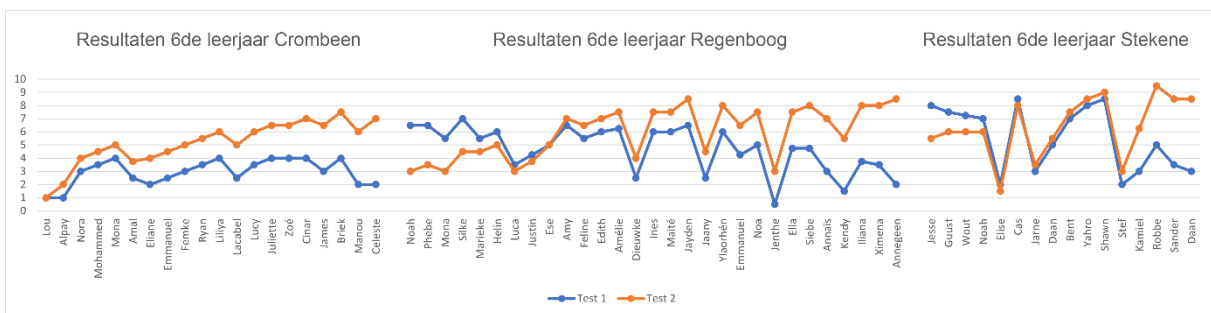
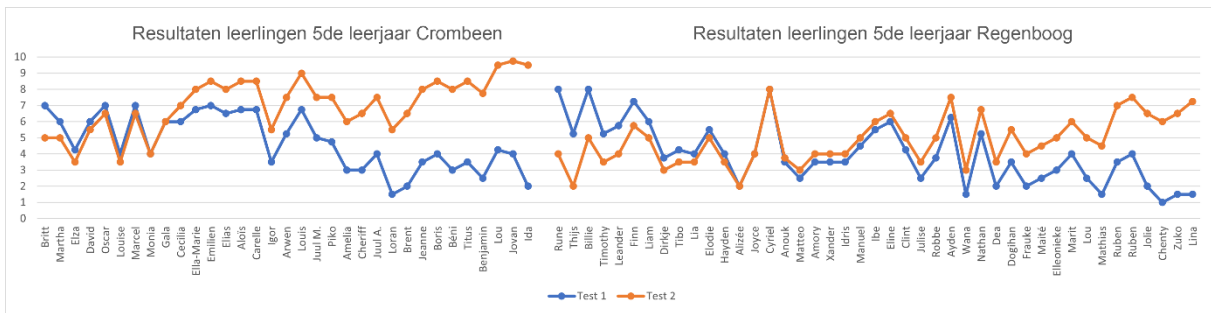
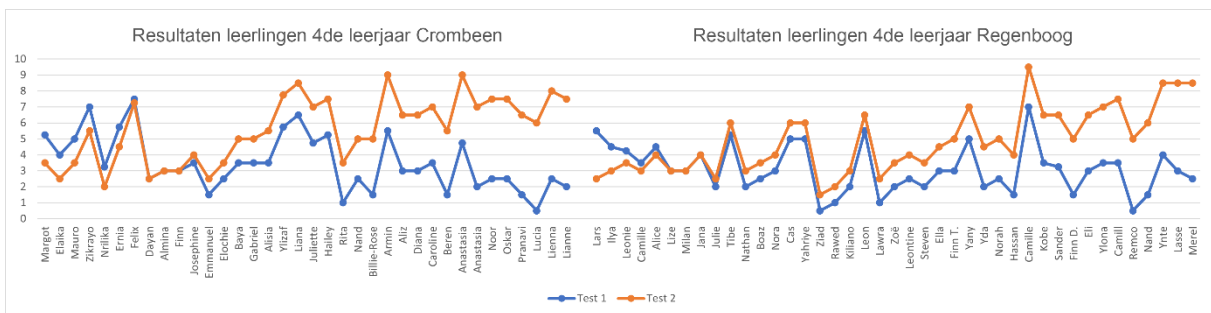
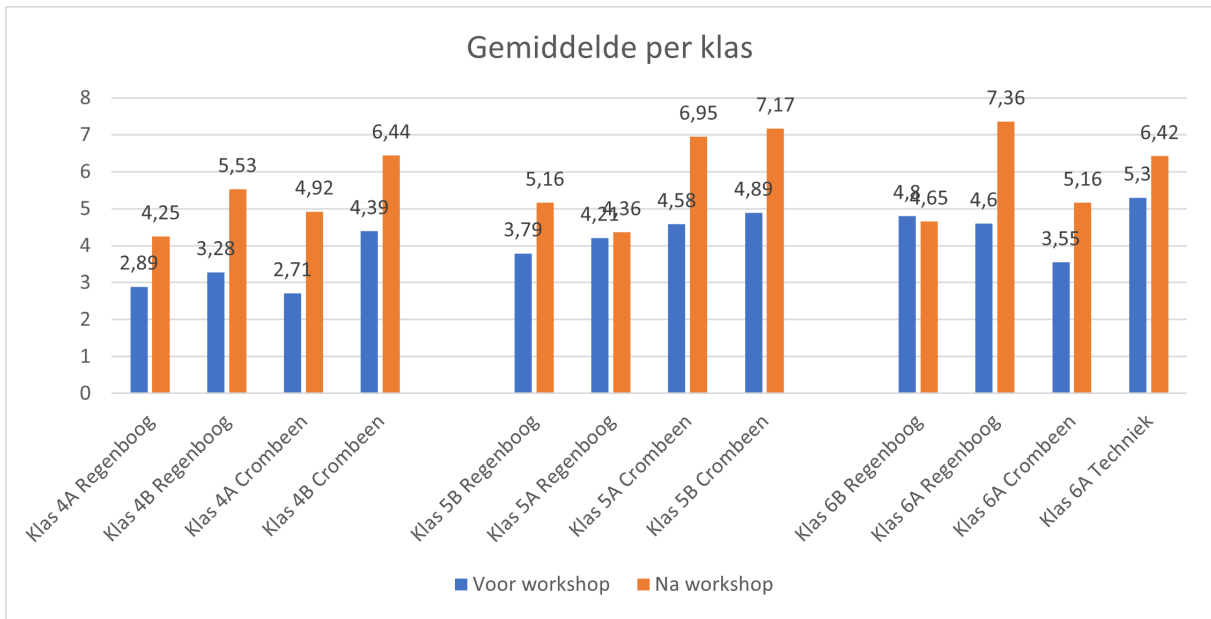


### Antwoorden 6<sup>de</sup> leerjaar



Figuur D. Antwoorden vraag 3 en 4 (Test 2023)

# Bijlage E RESULTATEN PER SCHOOL (TEST 2023)



Figur D. Resultaten per school (Test 2023)





**KU LEUVEN - GENT**  
Faculteit Architectuur, Campus Sint-Lucas Gent  
Campus Sint-Lucas Gent, Hoogstraat 51  
9000 Gent, België  
tel: + 32 2 447 18 00  
arch.gent@kuleuven.be  
[www.arch.kuleuven.be](http://www.arch.kuleuven.be)

