

Innoverende kurrikulumontwerp vir volhoubare ontwikkeling: Heelbrein®-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum

Soené Botha-Zietsman

Soené Botha-Zietsman, Departement van Wetenskap, Wiskunde en Tegnologie,
Fakulteit Opvoedkunde, Universiteit van Pretoria

Opsomming

Hierdie artikel het ondersoek ingestel oor hoe die integrasie van die Heelbrein®-denkmodel (HBDI®) in 'n graad 4-kurrikulum vir Kodering en robotika tot inklusiewe onderrigpraktyke, die ontwikkeling van 21ste-eeuse vaardighede en belyning met tersaaklike Volhoubare Ontwikkelingsdoelwitte (VOD's) bygedra het. Die studie is gelei deur die volgende vraag: Hoe kan 'n HBDI®-gebaseerde kurrikulum gestruktureer en geïmplementeer word om kognitiewe diversiteit te akkommodeer en betekenisvolle leerervarings binne die konteks van Kodering en robotika te skep? Die teoretiese vertrekpunt was die HBDI®-raamwerk, wat vier denkvoorkeure onderskei, naamlik analitiese, praktiese, relasionele en kreatiewe denke. Hierdie raamwerk is gebruik om 'n geïntegreerde, projekgebaseerde kurrikulum te ontwerp wat leerders se uiteenlopende denkstyle doelbewus kan betrek. Die kurrikulum is gekoppel aan geselekteerde VOD's, insluitend VOD 4 (Gehalteonderwys), VOD 5 (Geslagsgelykheid), VOD 8 (Menswaardige werk en ekonomiese groei) en VOD 10 (Vermindering van ongelykheid). Die doel was om tegnologie-gesteunde leer met breër sosiale en volhoubare vraagstukke te verbind. Hierdie kwalitatiewe aksienavorsing is oor 14 siklusse in 'n Suid-Afrikaanse laerskoolkonteks uitgevoer. Data is deur middel van klaskamerwaarnemings, leerderprodukte, assesseringsrubrieke en onderwyserrefleksies ingesamel. Leerders het met LEGO® Spike Prime™-stelle en Samsung-tablette aan verskeie projekgebaseerde aktiwiteite gewerk, waaronder die ontwerp, bou en kodering van funksionele modelle. Die bevindinge toon eerstens dat die integrasie van die HBDI®-raamwerk leerderinsluiting bevorder het, aangesien aktiwiteite doelbewus ontwerp is om voorsiening te maak vir uiteenlopende denkvoorkeure. Tweedens dui die studie daarop dat 'n HBDI®-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum die ontwikkeling van 21ste-eeuse vaardighede, soos kritiese denke, probleemoplossing, samewerking, kreatiwiteit en kommunikasie, betekenisvol ondersteun. Derdens toon die studie dat Kodering

en robotika op laerskoolvlak sinvol geïntegreer kan word as projekgebaseerde en iteratiewe leerprosesse teorie met praktyk verbind. Laastens is bevind dat die kurrikulum duidelik met geselekteerde VOD's kan belyn indien volhoubaarheid, inklusiwiteit en sosiale verantwoordelikheid doelbewus in leeraktiwiteite geïntegreer word. Die studie dra by tot die navorsingsveld oor tegnologie-onderwys deur aan te toon dat 'n holistiese HBDI[®]-benadering nie slegs bydra om tegniese vaardighede te ontwikkel nie, maar leerders ook kan toerus om as kritiese, kreatiewe en verantwoordelike deelnemers in 'n tegnologies-gedrewe samelewing op te tree.

Trefwoorde: 21ste-eeuse vaardighede; aksienavorsing; doelwitte vir volhoubare ontwikkeling; Heelbrein[®]-denkmodel; Kodering en robotika; kurrikulumontwikkeling; terugwaartse ontwerp

Abstract

Innovative curriculum design for sustainable development: Whole Brain[®]-based Coding and Robotics curriculum

This article investigates the integration of the Herrmann Brain Dominance Instrument[®] (HBDI[®]) framework into a Grade 4 Coding and Robotics curriculum, with the aim of promoting inclusive teaching practices, supporting the development of 21st-century skills, and aligning learning experiences with selected Sustainable Development Goals (SDGs). In response to increasing global emphasis on digital literacy, computational thinking and sustainability-oriented education, this research explores how Coding and Robotics can be meaningfully implemented at primary school level in ways that accommodate cognitive diversity and foster holistic learner development.

The study is guided by the overarching research question: How can the HBDI[®] framework be integrated into a Grade 4 Coding and Robotics curriculum to promote inclusive education, the development of 21st-century skills, and alignment with relevant SDGs? This question is supported by four sub-questions addressing cognitive diversity and learner inclusion, the development of 21st-century skills, meaningful curriculum integration at primary school level, and alignment with SDGs. These questions informed both the design of the curriculum and the interpretation of the research findings.

The theoretical foundation of the study is the HBDI[®] framework, which conceptualises thinking preferences across four quadrants: analytical (logical, factual and quantitative thinking), practical (sequential, organised and detail-oriented thinking), relational (interpersonal, emotional and empathetic thinking), and creative (holistic, imaginative and experimental thinking). Rather than positioning these quadrants as fixed learner types, the study adopts a holistic perspective that views thinking preferences as dynamic and developable. The HBDI[®] framework was therefore used as a design lens to deliberately create learning experiences that activate all four quadrants, ensuring that no single mode of thinking is privileged over others.

In addition to the HBDI[®] framework, the curriculum was aligned with selected Sustainable Development Goals, specifically SDG 4 (Quality Education), SDG 5 (Gender Equality), SDG 8 (Decent Work and Economic Growth) and SDG 10 (Reduced Inequalities). These goals were embedded not as abstract ideals, but as practical design principles guiding project themes, material choices, collaboration structures and assessment strategies. Through this alignment,

the study sought to demonstrate how technological education can contribute to broader social, economic and environmental awareness from an early age.

A qualitative action research methodology was employed, allowing the researcher to act simultaneously as curriculum designer, facilitator and reflective practitioner. The research was conducted in a South African primary school context and implemented over 14 iterative action research cycles. Each cycle followed a systematic process of planning, implementation, observation, reflection and refinement, enabling the curriculum to evolve responsively in relation to learner engagement, observed challenges and emerging learning opportunities.

Data were generated through multiple qualitative sources, including classroom observations, learner artefacts (such as coded models, design sketches and project outputs), assessment rubrics, peer- and self-assessments, and teacher reflection journals. This triangulation of data strengthened the trustworthiness of the findings and provided rich insight into both cognitive and social dimensions of learning. Visual data, presented as figures, documented learner-designed robotic models and project outcomes, while textual data captured learner voices and reflective insights.

Learners engaged in a wide range of project-based activities using LEGO Spike Prime™ robotics sets and tablet devices. These activities included building and programming basic vehicles, designing and testing mechanical prototypes, developing coded interactive models, and ultimately creating integrated projects such as sustainable miniature golf courses and robotic simulations. Tasks were intentionally open-ended and iterative, requiring learners to design, build, test, evaluate and refine their solutions over time. This approach emphasised learning as a process rather than a product and created space for experimentation, error and improvement.

The findings of the study are presented in direct response to the research questions. Firstly, the study found that the integration of the HBDI® framework significantly enhanced learner inclusion by intentionally accommodating diverse cognitive preferences. Learners who initially displayed dominant analytical or practical tendencies were supported through structured coding tasks and step-by-step building processes, while learners with stronger relational or creative preferences engaged deeply through collaborative design, storytelling elements and imaginative problem-solving. Over time, learners demonstrated increased flexibility in their thinking, suggesting that the curriculum not only accommodated cognitive diversity but actively developed less dominant thinking preferences.

Secondly, the findings indicate that an HBDI®-based Coding and Robotics curriculum contributes meaningfully to the development of key 21st-century skills. Across the 14 cycles, learners consistently engaged in critical thinking, problem-solving, collaboration, creativity and communication. Problem-solving was evident in iterative testing and debugging processes, while collaboration was fostered through pair and group work that required shared decision-making and negotiation. Creativity emerged through design choices, alternative solutions and the integration of narrative and play, while communication skills were strengthened through presentations, peer feedback and reflective discussions.

Thirdly, the study demonstrates that Coding and Robotics can be meaningfully integrated at primary school level when approached through project-based, developmentally appropriate and contextually relevant learning experiences. Rather than treating coding as an abstract or purely technical skill, the curriculum connected digital instructions to physical outcomes,

allowing learners to see the tangible effects of their code. This integration supported conceptual understanding, sustained engagement and learner motivation, and challenged assumptions that advanced technological concepts are unsuitable for younger learners.

Finally, the findings confirm that an HBDI[®]-based Coding and Robotics curriculum can align effectively with selected SDGs. Sustainability principles were embedded by recyclable materials, discussions on resource use and project themes that emphasised responsible innovation. Gender equality and reduced inequalities were addressed through inclusive grouping strategies, equitable access to resources and the deliberate rotation of leadership and technical roles. Through these practices, learners were exposed to the idea that technology can be used not only to solve technical problems, but also to address social and environmental challenges.

The study contributes to the field of technology and curriculum studies by providing an empirically grounded example of how cognitive diversity frameworks and sustainability agendas can be integrated into primary school Coding and Robotics education. It demonstrates that a holistic, HBDI[®]-informed approach extends beyond the acquisition of technical competencies to support the development of adaptable, reflective and socially responsible learners. Furthermore, the action research design highlights the value of iterative curriculum refinement and teacher reflection in creating responsive and inclusive learning environments.

In conclusion, this research shows that integrating the HBDI[®] framework into a Grade 4 Coding and Robotics curriculum offers a viable and meaningful pathway for addressing cognitive diversity, developing 21st-century skills and aligning technological education with global sustainability goals. The study underscores the importance of intentional curriculum design that recognises learners as whole thinkers and positions technology education as a tool for both personal development and social transformation.

Keywords: 21st-century skills; action research; backward design; Coding and Robotics; curriculum development; Sustainable Development Goals; Whole Brain[®] thinking model

1. Inleiding

Onderrig en leer vorm een van die fundamente van volhoubare ontwikkeling. Die Verenigde Nasies se Volhoubare Ontwikkelingsdoelwitte (VOD's) beklemtoon die belangrike rol wat onderwys speel om mense in staat te stel om sosiaal-, ekonomies- en omgewingsgewys 'n positiewe bydrae tot die wêreld te lewer (Verenigde Nasies 2015). In die besonder fokus VOD 4: Gehalteonderwys op die bevordering van inklusiewe en regverdigde leergeleenthede wat alle individue van geleenthede kan voorsien om die kennis, vaardighede en waardes te ontwikkel wat nodig is om betekenisvol tot globale vooruitgang by te dra (United Nations Educational Scientific and Cultural Organisation (UNESCO), 2017; Verenigde Nasies, 2015). Die VOD's betrek ook verwante prioriteite soos byvoorbeeld geslagsgelykheid (VOD 5), menswaardige werksgeleenthede en ekonomiese groei (VOD 8), die vermindering van ongelykhede (VOD 10) en die bevordering van vennootskappe vir volhoubare ontwikkeling (VOD 17) (Verenigde Nasies 2015). Die belyning van onderwys met hierdie VOD's is noodsaaklik om wêreldwye uitdagings aan te spreek en toekomstige geslagte voor te berei om

volhoubare, inklusiewe samelewings te bevorder. Die vraag is hoe kurrikulums aangepas kan word om hierdie doelwitte te bereik.

Hierdie navorsing is gebaseer op die idee dat Ned Herrmann se Heelbrein[®]-denkmodel (HBDI[®]) in kurrikulums geïntegreer kan word om die VOD's te bereik. Die HBDI[®] bestaan uit vier denkmodusse, naamlik analities, prakties, relasioneel en eksperimenteel (Herrmann 1999) en vorm 'n holistiese raamwerk om beide tegniese en kognitiewe vaardighede binne 'n volhoubare onderwyskonteks te ontwikkel. Die model vereis dat verskillende denkstyle by leeraktiwiteite geïntegreer word om elke leerder se denkvoorkeur te betrek. Verder kan konstruktivistiese metodologieë betrek word om geleenthede vir ontdekkingsgebaseerde leer en gesamentlike probleemoplossing te skep om noodsaaklike 21ste-eeuse vaardighede te ontwikkel. Dit sluit die ontwikkeling van kritiese denke, kreatiwiteit, samewerking en kommunikasie in (Budhai en Taddei 2015 en Stauffer 2020, 2022). Volgens Amri, Budiyo en Yuana (2019) en Lathifah, Budiyo en Yuana (2019) is dit noodsaaklik om hierdie vaardighede te ontwikkel om sukses in die moderne wêreld moontlik te maak. Deur te fokus op inklusiwiteit, aanpasbaarheid en praktiese leer, kan 'n kurrikulum as dinamiese instrument dien om verskeie ander VOD's te bereik. Die integrasie van VOD's in 'n HBDI[®]-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum kan moontlik daartoe bydra dat die onderwys 'n aktiewe rol speel in die ontwikkeling van kritiese, kreatiewe en verantwoordelike wêreldburgers wat gereed is om 'n volhoubare toekoms te bou.

2. Probleemstelling en rasionaal

Voortdurende tegnologiese verandering wêreldwyd plaas die Suid-Afrikaanse onderwysstelsel toenemend onder druk om by 'n vinnig veranderende wêreld aan te pas (Du Toit-Brits en Blignaut 2019, Kayembe en Nel 2019, en Magagula en Awodiji 2024). In reaksie op hierdie wêreldwye verskuiwing, erken die Departement van Basiese Onderwys (DBO 2011) in sy Nasionale Kurrikulumverklaring dat onderwys in Suid-Afrika doelbewus verander om leerders toe te rus met 21ste-eeuse vaardighede. Die doel daarvan is om ekonomiese bemagtiging, sosiale verantwoordelikheid en tegnologiese vaardigheid te bevorder (Amri e.a. 2019 en Veldman, Dicks, Suleman, Greyling, Freese en Majake 2021). Gevolglik is die bestaande Kurrikulum- en Assesseringsbeleidsverklaring (KABV) geleidelik uitgebrei om nuwe tegnologie-gebaseerde vakke, soos Digitale tegnologie en Kodering en robotika, in te sluit (SA News 2022). Hierdie vakke bied aan leerders die geleentheid om vaardighede te ontwikkel wat tersaaklik is vir die 4IR-werksomgewing en toekomstige studiegeleenthede. Hierdie studie is spesifiek toegespits op Kodering en robotika op laerskoolvlak.

'n Ontleding van die voorgestelde en finale kurrikulum vir Kodering en robotika (DBO 2024) het egter tot die identifikasie van sekere leemtes gelei. Die DBO se kurrikulum spreek nie eksplisiet die noodsaaklike grondvaardighede aan wat leerders benodig om suksesvol in hierdie domein te leer nie. Die noodsaaklikheid van 'n wye reeks hulpbronne word in die kurrikulum-beleidsverklaring erken (Prinsloo 2024), maar versuim om belangrike basiese voorvereistes, soos eenvoudige meganiese insig of begrip van stroombane, te beklemtoon. Die toepassing van die kurrikulum is egter deur verskeie uitdagings beïnvloed.

Die graad 4-leerders kon nie die basiese fisiese koderingstake suksesvol voltooi nie, weens gebrekkige kennis rakende die bou van eenvoudige robotte en die werking van elektriese of

meganiese komponente. Die skool was ook onvoldoende toegerus om die kurrikulum volgens die riglyne van die DBO aan te bied. Volgens die DBO (2024) behoort elke leerder toegang te hê tot 'n volledige kodering- en robotika-stel wat bestaan uit 'n mikrobeheerder, sensor-modules, elektriese en meganiese komponente en basiese gereedskap. Die betrokke skool het 11 onvolledige LEGO® Spike Prime™-stelle beskikbaar gehad. Voorgeskrewe komponente soos 'n mikrobeheerder en basiese gereedskap soos skroewedraaiers, draad en motors het ontbreek en die kwaliteit van onderrig nadelig beïnvloed.

'n Verdere uitdaging was die beperkte tyd beskikbaar vir die aanbied van die kurrikulum. Volgens die DBO (2024) word 'n minimum van twee uur per week oor vier kwartale vereis, terwyl die skool slegs een uur per week vir drie kwartale aan Kodering en robotika toegewy het. Hierdie beperking het 'n handpasgemaakte kurrikulum genoodsaak wat gestruktureer is om die kernuitkomst gestel in die nasionale raamwerk binne beperkte tyd, ruimte en middele te bereik.

Die HBDI® kon 'n praktiese en inklusiewe oplossing vir die uitdaging bied. In plaas daarvan om op een dominante denkvoorkeur te steun – soos logies-analitiese denke, kan diverse denkvoorkeure, soos prakties, relasioneel, eksperimenteel en sistematies, betrek word (Herrmann Global LLC 2022). Indien die raamwerk geïntegreer word, kan leerinhoud op verskillende maniere aangebied word om elke leerder, volgens unieke denkvoorkeur of hul natuurlik manier van dink en probleme oplos, betrek word om betekenisvolle toegang tot tegnologie-onderrig te hê. Vanuit hierdie perspektief bied die HBDI® nie alleen 'n pedagogiese strategie nie, maar ook 'n meganisme om die VOD's – veral VOD 4, 5, 8 en 10 konsekwent en effektief in die klaskamer te bereik.

3. Navorsingsvrae en doelstellings

Die doel van hierdie studie was om ondersoek in te stel hoe die HBDI® in 'n graad 4-kurrikulum vir Kodering en robotika geïntegreer kan word om (a) kognitiewe diversiteit en inklusiewe onderrigpraktyke te bevorder, (b) 21ste-eeuse vaardighede te ontwikkel, en (c) die kurrikulum binne 'n raamwerk van volhoubare ontwikkeling te belyn. Gegronde op die uitdaging wat verband hou met kognitiewe uitsluiting, beperkte tegnologie-integrasie en die vereistes van die VOD's, fokus die studie op die ontwikkeling, implementering en evaluering van 'n innoverende, konteksgerigte kurrikulum.

Die navorsing word gelei deur die volgende hoofnavorsingsvraag:

Hoe kan die HBDI®-raamwerk in 'n graad 4-kurrikulum vir Kodering en robotika geïntegreer word om inklusiewe onderrigpraktyke, die ontwikkeling van 21ste-eeuse vaardighede en belyning met VOD's te bevorder?

Hierdie vraag word ondersteun deur drie verwante subnavorsingsvrae:

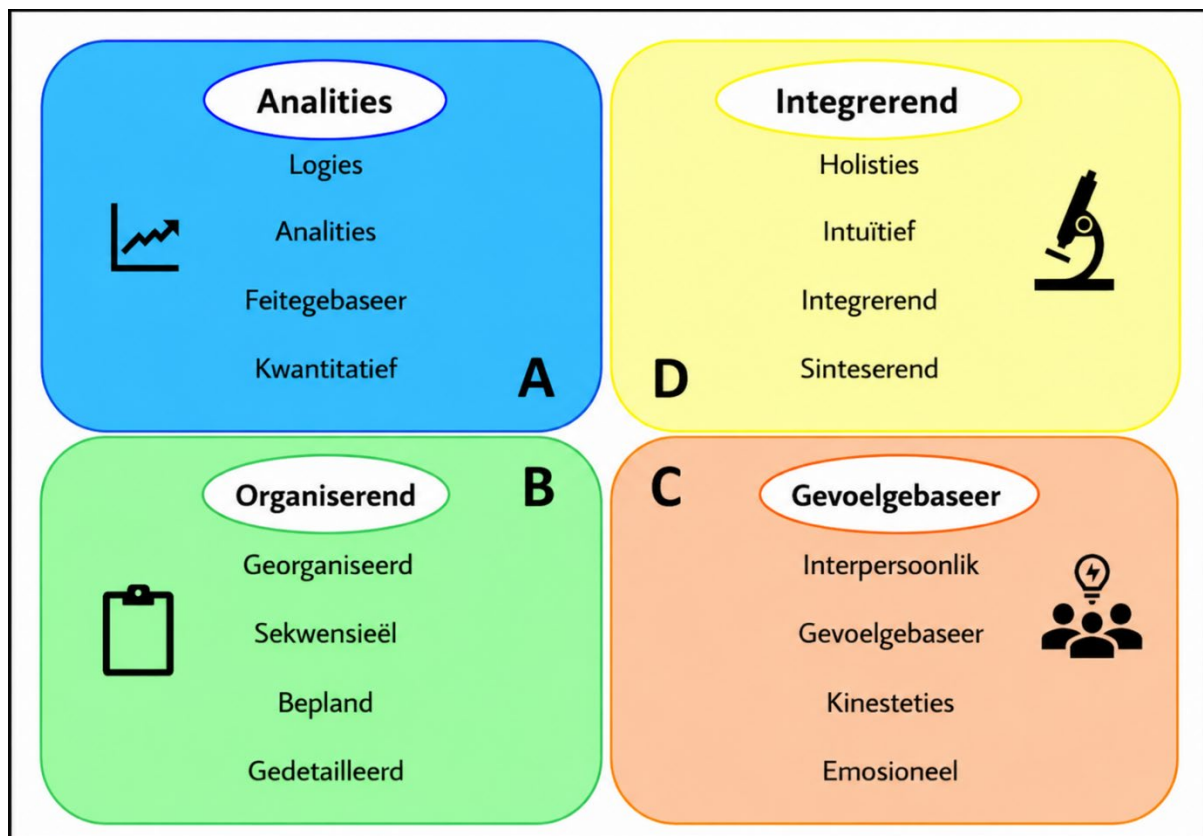
- Hoe kan die HBDI® kognitiewe diversiteit en leerderinsluiting in Kodering en robotika bevorder?
- Hoe dra 'n HBDI®-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum by tot die ontwikkeling van 21ste-eeuse vaardighede?

- Hoe kan Kodering en robotika sinvol op laerskoolvlak geïntegreer word?
- Hoe belyn 'n HBDI®-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum met tersaaklike VOD's?

Die vrae dien as rigtingwyser vir die metodologiese benadering en verseker dat die studie nie net op teoretiese belyning fokus nie, maar ook op praktiese uitvoerbaarheid om verandering in onderrig moontlik te maak.

4. Teoretiese raamwerk

Die HBDI®, ontwikkel deur Ned Herrmann (1999), bied 'n raamwerk wat tussen vier denkvoorkeure onderskei: A (analities), B (prakties/organisatories), C (relasioneel/interpersoonlik) en D (eksperimenteel), geïllustreer in figuur 1. Elke kwadrant reflekteer 'n unieke manier van dink, leer en probleme oplos, en individue toon dikwels 'n kombinasie van hierdie voorkeure (Herrmann 1999).



Figuur 1. Aangepaste Heelbrein®-denkmodel (HBDI®) (Herrmann 1999)

In opvoedkundige kontekste is die HBDI® veral waardevol omdat dit nie slegs op kognitiewe vaardighede fokus nie, maar op die verskeidenheid van denkstyle wat in elke klaskamer verteenwoordig word. Die model is reeds suksesvol gebruik as grondslag vir gedifferensieerde instruksie en word aangewend om leerders se uiteenlopende voorkeure en sterkpunte te akkommodeer (Herrmann Global LLC 2022). Hierdie moontlikheid om diversiteit te omarm, maak dit 'n nuttige instrument vir kurrikulumontwikkeling. Daar word nie alleen verseker dat

'n kurrikulum nie bloot lineêr of inhoudgedrewe is nie, maar ook leerervarings word ontwerp om logiese, praktiese, emosionele én kreatiewe denke te stimuleer.

Die integrasie van die HBDI® in kurrikulumontwerp verhoog betrokkenheid, bevorder samewerking en stimuleer kreatiewe probleemoplossing (Herrmann Global LLC 2022). Du Toit (2013) het byvoorbeeld bevind dat leerders wat aan 'n HBDI®-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum blootgestel is, nie alleen in robotika-projekte hoër vlakke van innovasie en kritiese denke toon nie, maar ook beter tydens spanwerk saamwerk. Hierdie bevinding onderstreep die potensiaal van die model om 21ste-eeuse vaardighede soos kritiese denke, kommunikasie, samewerking en kreatiwiteit doelbewus te ontwikkel.

Dit is belangrik dat die HBDI® nie bloot aanpassings aan onderrigmetodes voorstel nie, maar 'n raamwerk bied waarvolgens 'n hele kurrikulum gestruktureer kan word. Dit beteken dat leeruitkomste, assesserings en leerervarings van meet af aan ontwerp kan word om alle kwadrante te stimuleer. Hierdeur word volhoubare leer bevorder: Leerders ontwikkel nie net hulle voorkeurdienke nie, maar word ook blootgestel aan nuwe maniere van dink wat aanpasbaarheid en probleemoplossingsvermoë kan versterk.

Die HBDI® het die teoretiese basis van hierdie studie gevorm om die implementering van 'n Kodering en robotika-kurrikulum in graad 4 te ondersteun en rigting te gee aan die sistematiese ontwikkeling van 21ste-eeuse vaardighede. In 'n tyd van vinnige tegnologiese en pedagogiese verandering, is dit juis die kombinasie van inklusiwiteit en strukturele balans wat die HBDI® 'n geskikte anker vir kurrikulumontwikkeling maak.

5. Literatuurstudie

Volhoubare ontwikkeling vereis onderwys wat nie slegs kennis oordra nie, maar ook vaardighede, waardes en denkprosesse bevorder wat leerders in staat kan stel om verantwoordelik op globale uitdagings te reageer (Aarav 2025). Die Verenigde Nasies se VOD's bied 'n raamwerk vir hierdie doelwitte, met kurrikulumontwikkeling wat as 'n sleutelstrategie dien. In hierdie afdeling word die VOD's en die tersaaklikheid daarvan vir onderwys bespreek, asook hoe kurrikulums – belyn met die HBDI® – hierdie VOD's kan ondersteun.

5.1 Volhoubare Ontwikkelingsdoelwitte (VOD's)

Die VOD's, wat in 2015 deur al die lidlande van die Verenigde Nasies aanvaar is, vorm 'n wêreldwye raamwerk wat daarop gemik is om armoede uit te roei, ongelykheid te verminder, die omgewing te beskerm en vrede en welvaart vir alle mense teen 2030 te verseker (Verenigde Nasies 2015). Hierdie 17 onderling verwante doelwitte spreek sleutelkwessies aan soos klimaatsverandering, omgewingsagteruitgang, gesondheid, onderwys en geregtigheid, en sluit in: geen armoede nie (1), geen honger nie (2), gesondheid en welsyn (3), gehalteonderwys (4), geslagsgelykheid (5), skoon water en sanitasie (6), bekostigbare en skoon energie (7), menswaardige werkseleenthede en ekonomiese groei (8), nywerheid, innovasie en infrastruktuur (9), vermindering van ongelykhede (10), volhoubare stede en gemeenskappe (11), verantwoordelike verbruik en produksie (12), vermindering van aksies wat klimaatsverandering beïnvloed (13), lewe onder water (14), lewe op land (15), vrede, geregtigheid en sterk instellings (16), en vennootskappe vir die doelwitte (17).

Onderwys kan as 'n katalisator vir die bereiking van die VOD's dien, omdat dit die dryfveer vir sistemiese verandering in gemeenskappe is (Aarav 2025 en UNESCO 2017). Hierdie breër perspektief is veral tersaaklik vir hierdie studie, aangesien VOD 4 (gehalteonderwys) die noodsaaklikheid van inklusiewe, regverdig en lewenslange leergeleenthede beklemtoon. In 'n Suid-Afrikaanse konteks, waar ongelyke toegang tot tegnologie nog wyd voorkom, is die tersaaklikheid van 'n HBDI[®]-gebaseerde benadering wat diversiteit en insluiting sentraal plaas, noodsaaklik.

5.2 VOD's se tersaaklikheid vir onderwys

Onderwys is 'n kernkomponent in die strewe na volhoubare ontwikkeling en dien as die grondslag vir die bereiking van VOD's. Volgens die Verenigde Nasies (2022) en UNESCO (2017) is VOD 4: Gehalteonderwys nie net op sigself 'n prioriteit nie, maar ook 'n hefboom vir die implementering van ander doelwitte soos die uitwissing van armoede (VOD 1), geslagsgelykheid (VOD 5), ekonomiese groei (VOD 8) en klimaataksie (VOD 13).

VOD 4 poog om inklusiewe en billike gehalteonderwys te verseker, met spesifieke fokus op universele toegang tot primêre en sekondêre onderwys, vroeë kinderontwikkeling, beroepsgerigte opleiding en billike leergeleenthede vir gemarginaliseerde groepe (UNESCO 2017). Verskeie outeurs beklemtoon dat die transformerende potensiaal van onderwys in die toerusting van leerders met kennis, vaardighede en waardes lê wat hulle in staat stel om as verantwoordelike, aktiewe burgers in 'n volhoubare wêreld op te tree (Aarav 2025 en UNESCO 2017). Hierdie interpretasie resoneer sterk met my eie kurrikulumontwerp, aangesien die HBDI[®] die breë doelwitte van VOD 4 kan konkretiseer deur spesifiek te fokus op kognitiewe diversiteit en insluiting in Kodering en robotika.

In hierdie konteks is kurrikulumontwikkeling van besondere belang. Wanneer onderrighoud strategies belyn word met die VOD-raamwerk, raak onderwys nie net inhoudelik tersaaklik nie, maar ook sosiaal en moreel betekenisvol. Die HBDI[®] dien as 'n instrument om hierdie belyning te ondersteun, deurdat 'n leeromgewing geskep kan word wat beide kognitiewe diversiteit en sosiale geregtigheid bevorder.

5.3 Die rol van kurrikulums in die bereiking van VOD's

Onderrig speel 'n deurslaggewende rol in die toerus van leerders met die kennis, vaardighede, waardes en houdings wat nodig is om by te dra tot die bereiking van die VOD's. Kurrikulums kan ontwerp en geïmplementeer word om hierdie doelwitte effektief te ondersteun deur VOD-konsepte in die kurrikulum te integreer, wêreldburgerskap te bevorder en tegnologie en innovasie te benut.

UNESCO (2017) wys daarop dat kurrikulums 'n sleutelrol in die integrasie van VOD-temas speel, aangesien dit bewustheid van globale uitdagings bevorder. Ek het aangeneem dat projekte rondom kodering en robotika die VOD's kan integreer om leerders te help om praktiese oplossings vir volhoubaarheidskwessies te verken. Só kan die teoretiese uitgangspunt van UNESCO (2017) op verskeie maniere op 'n konkrete wyse in die klaskamer toegepas word.

Eerstens kan kurrikulums ontwikkel word om bewustheid en begrip te bevorder deur temas soos armoedeverligting, geslagsgelykheid, klimaatsverandering en volhoubare verbruik in vakgebiede soos wetenskap, sosiale studies en geesteswetenskappe te integreer om 'n om-

vattende begrip van globale kwessies te bevorder (UNESCO 2017). Daardeur kan bewustheid en 'n gevoel van verantwoordelikheid gekweek word om as dryfkrag te dien om by volhoubare ontwikkeling betrokke te raak. Tweedens kan kurrikulums interdisiplinêre benaderings betrek, aangesien Onderwys vir Volhoubare Ontwikkeling (OVO) 'n interdisiplinêre benadering vereis wat tradisionele vakgrense oorskry. In die proses kan kurrikulums kruisleer bevorder, aangesien leerders verbande tussen VOD's en onderwerpe kon ondersoek om sodoende 'n geïntegreerde begrip te ontwikkel (Tilbury 2011). Laastens kan kurrikulums wat ontwerp is om VOD's te bereik, die toepassing van kennis in die wêreld beklemtoon. Dit behels die insluiting van ervaringsgerigte leergeleenthede soos gemeenskapsdiensprojekte, internskappe en veldtogte (World Bank 2018). Deur betrokke te raak by gemeenskappe en aan praktiese projekte te werk wat VOD-verwante kwessies aanspreek, kan leerders kritiese denke, probleemoplossing en samewerkingsvaardighede ontwikkel. Hierdie praktiese ondervinding kan tot die tersaaklikheid van onderrig vir uitdagings bydra.

Kurrikulums speel ook 'n sleutelrol in die bevordering van wêreldburgerskap as deel van die strewende om die VOD's te bereik (UNESCO 2017). 'n Kurrikulum wat die VOD's ondersteun, behoort etiese en morele onderrig in te sluit om waardes soos empatie, geregtigheid en respek vir diversiteit te kweek. Hierdie waardes is noodsaaklik vir die vorming van wêreldburgers wat tot volhoubare ontwikkeling verbind is (UNESCO 2017). Lesse oor menseregte, sosiale geregtigheid en omgewingsetiek kan leerders inspireer om aksie te neem om VOD's in hul gemeenskappe en verder te bereik. Die bevordering van kulturele bewustheid en inklusiwiteit binne die kurrikulum is noodsaaklik vir die bereiking van VOD's wat verband hou met die vermindering van ongelykheid en die bevordering van vreedsame samelewings (Global Education Monitoring Report 2019). Kurrikuluminhoud behoort kulturele diversiteit te vier en leerders bewus te maak van die belangrikheid van insluiting en gelykheid. Deur verskillende kulture te verstaan en te waardeer, kan leerders meer ruimdenkend raak en diverse perspektiewe en praktyke ondersteun.

Tegnologie en innovasie kan die bereiking van VOD's binne 'n kurrikulum vergemaklik. Die insluiting van digitale geletterdheid in die kurrikulum is van kardinale belang om leerders voor te berei om in 'n tegnologiegedrewe wêreld te funksioneer en by te dra. Dit sluit in om te leer hoe om digitale gereedskap vir navorsing, kommunikasie en samewerking te gebruik, asook om die etiese implikasies van tegnologiegebruik te verstaan (World Bank 2018). Digitale geletterdheid stel leerders ook in staat om toegang tot 'n oorvloed aanlyn bronne oor volhoubare ontwikkeling te verkry en ingelig te bly oor globale vordering ten opsigte van die VOD's. Innoverende onderrigmetodes, soos speletjiegebaseerde leer ("gamification"), omgekeerde klaskamers ("flipped classrooms") en aanlyn leerplatforms kan leerderbetrokkenheid verbeter en die bereiking van VOD's fasiliteer (Tilbury 2011). Hierdie metodes bied diverse en buigsame leerervarings wat verskillende leerstyle en -behoeftes akkommodeer.

5.4 Verband tussen HBDI® en VOD's

Die HBDI® sluit direk aan by verskeie VOD's, aangesien dit nie net kognitiewe veelsydigheid aanmoedig nie, maar ook sosiale, tegniese en etiese verantwoordelikheid ondersteun (Herrmann 1999 en Herrmann Global LLC 2022). Ek interpreteer dit as 'n belangrike skakel tussen denksstyle en volhoubare ontwikkeling: Deur analitiese, praktiese, relasionele en eksperimentele denke te integreer, kan leerders nie net tegniese vaardighede aanleer nie, maar ook die waardes en houdings ontwikkel wat nodig is om VOD's in hul eie konteks te realiseer.

Die analitiese kwadrant ondersteun byvoorbeeld VOD 4 (Gehalteonderwys) en VOD 8 (Ekonomiese groei) deur logiese redenasie, probleemoplossing en data-analise te bevorder. Die praktiese kwadrant is veral tersaaklik vir VOD 9 (Innovasie en infrastruktuur), aangesien dit fokus op implementering, volgorde en taakvoltooiing – kernvaardighede vir tegniese ontwikkeling en volhoubare infrastruktuur. Relasionele denke (kwadrant C) kan tot die bereiking van VOD 5 bydra (Geslagsgelykheid) en VOD 16 (Vrede en geregtigheid) deur interpersoonlike kommunikasie, empatie en samewerkingsvaardighede te ontwikkel. Hierdie elemente is noodsaaklik vir die bevordering van inklusiewe en regverdigde leeromgewings. Eksperimentele denke (kwadrant D) sluit kreatiwiteit, verbeelding en die neem van risiko's in. Hierdie denkstyl dra by tot die bevordering van VOD 10 (Vermindering van ongelykhede) deur nuwe oplossings vir insluiting te verken, en tot VOD 17 (Vennootskappe vir volhoubare ontwikkeling) deur samewerking oor dissiplines heen moontlik te maak.

Deur hierdie vier kwadrante binne een geïntegreerde leerervaring te aktiveer, het die HBDI® 'n dinamiese pedagogiese benadering gebied wat die ontwikkeling van 21ste-eeuse vaardighede kon bevorder terwyl dit direk met die waardes en doelwitte van volhoubare ontwikkeling belyn was. Dit het dus as 'n bemiddelaar tussen kognitiewe leerdiversiteit en globale opvoedkundige transformasie gedien.

5.5 Kodering, robotika en onderwys in die 21ste eeu

Verskeie studies beklemtoon dat Kodering en robotika onlangs na vore getree het as kernkomponente binne tegnologie-verwante onderwyskurrikulums, juis omdat dit 21ste-eeuse vaardighede soos probleemoplossing en kritiese denke ontwikkel (Budhai en Taddei 2015 en Stauffer 2020). Hierdie literatuur ondersteun my eie waarnemings dat graad 4-leerders, selfs met beperkte voorkennis, betekenisvol kon deelneem aan robotikaprojekte en sodoende waardevolle vaardighede kon ontwikkel.

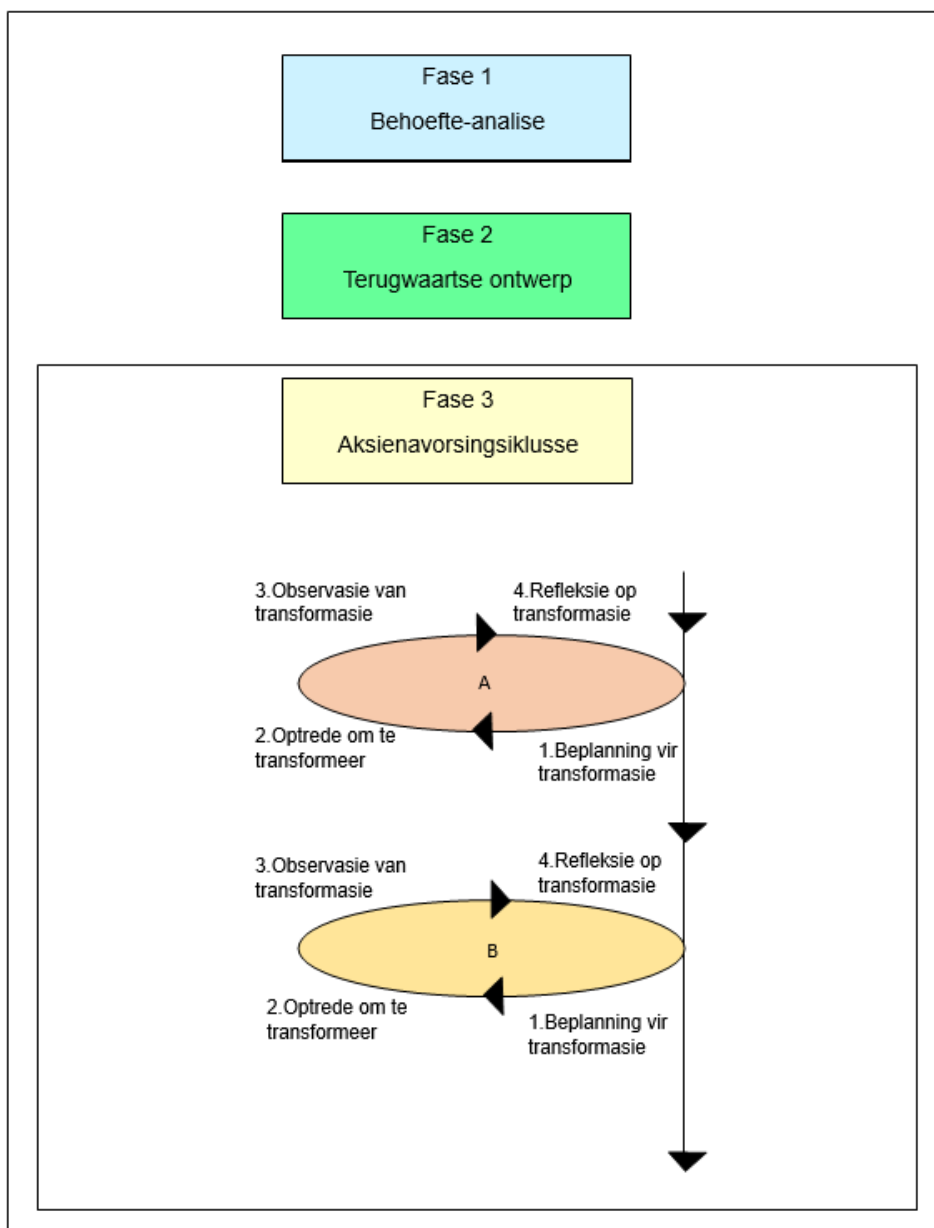
Navorsing dui aan dat robotika-onderrig, wanneer dit projekgebaseerd en samewerkend aangebied word, leerders se betrokkenheid verhoog en hulle motiveer om volhoubare oplossings vir probleme te verken (Barbazzani 2021 en Du Toit-Brits en Blignaut 2019). Boonop ondersteun dit Wetenskap, Tegnologie, Ingenieurswese en Wiskundeonderwys, met spesiale fokus op inklusiwiteit en geslagsgelykheid, veral wanneer beide seuns en meisies aangemoedig word om aktief deel te neem aan tegnologie-ontwikkeling. Die integrasie van Kodering en robotika in die onderwys raak dus direk aan verskeie VOD's, veral VOD 4 (Gehalteonderwys), 5 (Geslagsgelykheid), 8 (Ekonomiese groei) en 9 (Innovasie en infrastruktuur). Binne die domeine van Kodering en robotika bied hierdie aktiwiteite geleenthede om kognitiewe diversiteit aan te spreek – van sistematiese kodering (analities) en die bou van robotika (prakties), tot kreatiewe toepassing (eksperimenteel) en samewerkende projekte (relasioneel).

6. Metodologie

6.1 Navorsingsontwerp

6.1.1 Aksienavorsingsgedrewe HBDI®-kurrikulumontwikkelingsplan vir Kodering en robotika

Ek het 'n kwalitatiewe aksienavorsingsontwerp gevolg, aangesien die doel was om 'n nuwe kurrikulum te ontwerp, dit in die praktyk te implementeer en deur refleksie en aanpassing te verbeter. Binne hierdie raamwerk het ek twee aanvullende benaderings geïntegreer: (a) 'n behoefte-analise om die spesifieke konteks en leerderprofiel te verstaan, en (b) terugwaartse ontwerp om te verseker dat die kurrikulum logies gebou is rondom beoogde leernite. Hierdie kombinasie het my in staat gestel om 'n dinamiese HBDI®-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum te ontwikkel wat teorie en praktyk voortdurend aan mekaar toets en aanpas.



Figuur 2. Die aksienavorsingsgedrewe HBDI®-ontwikkelingsplan vir Kodering en robotika

Ek het 'n navorsingsontwerp (figuur 2) ontwikkel om die elemente van terugwaartse ontwerp (Tyler 1949 en Wiggins en McTighe 2005), behoefte-analise (Zohoorian 2015 en Ornstein en Hunkins 2016) en aksienavorsing (McNiff 2016) te kombineer. Hierdie geïntegreerde ontwerp is spesifiek saamgestel om die ontwikkeling van 'n HBDI[®]-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum vir Kodering en robotika te ondersteun.

Fase 1: Behoeftanalyse

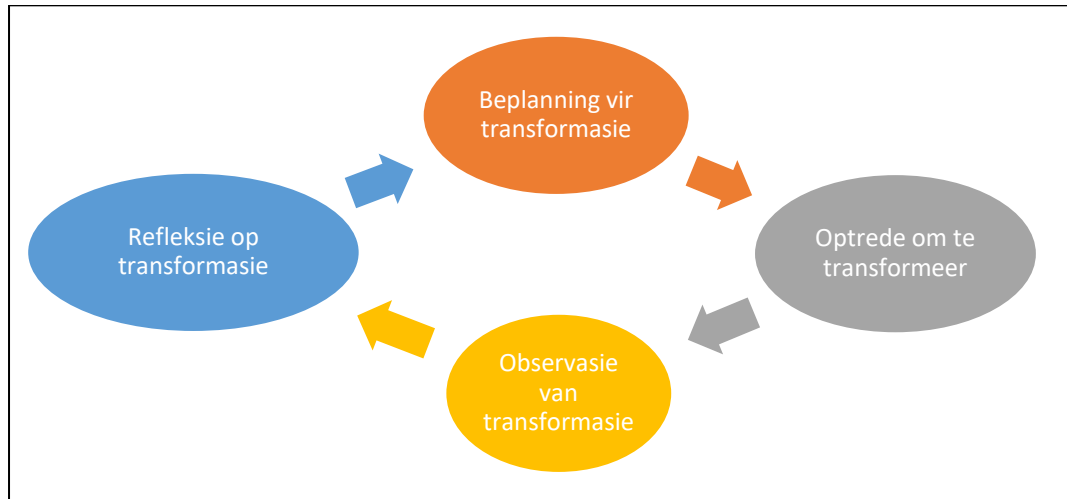
Die eerste fase het 'n omvattende behoefte-analise behels. Hierdie analise het, soos beskryf deur Zohoorian (2015), die ontleding van die leerderprofiel behels, insluitend hul agtergrond, sterkpunte, tekortkominge, kognitiewe vermoëns, die leeromgewing en die omstandighede waaronder die vaardighede ontwikkel moet word. 'n Begrip van hierdie veranderlikes is van uiterste belang vir die ontwikkeling van 'n kurrikulum wat werklik aan die leerders se behoeftes voldoen. Ornstein en Hunkins (2016) beskryf behoefte-analise as die identifisering van teenstrydighede tussen die huidige en gewenste uitkomst, gevolg deur die prioritisering van aktiwiteite om hierdie teenstrydighede aan te spreek. Volgens Ornstein en Hunkins (2016) moet kurrikulumontwikkeling daarop fokus om hierdie gapings te oorbrug om betekenisvolle opvoedkundige transformasie te bewerkstellig. Hoewel die term *onderwysverandering* algemeen in die literatuur voorkom, verkies ek die begrip *opvoedkundige transformasie*, aangesien dit nie slegs geringe aanpassings of verbeterings aandui nie, maar 'n fundamentele herstrukturering van praktyke en benaderings impliseer. Hierdie begripskeuse beklemtoon my posisionering as 'n praktisyn wat doelbewus vernuwing en sistemiese verandering nastreef. Du Toit (2013) beklemtoon dat die transformasie van praktyk noodsaaklik is vir die vestiging van regverdige en effektiewe onderwysinstellings. Du Toit (2013) voer aan dat verandering van praktyk die herevaluering en verbetering van metodologieë vereis. Hierdie proses verg die bevraagtekening van gevestigde konvensies en idees terwyl inklusiewe, demokratiese en deelnemende metodologieë in die onderwys nagestreef word.

Fase 2: Terugwaartse ontwerp

In die tweede fase het ek terugwaartse beplanningsbeginsels gebruik, 'n teorie wat deur Tyler in 1949 bekendgestel is en later deur opvoedkundige teoretici, Wiggins en McTighe (2005), verfyn is. Terugwaartse ontwerp bied 'n sistematiese benadering tot kurrikulumontwikkeling, wat 'n aanvang neem met die bepaling van die gewenste leerdervaardighede. Sodra hierdie gewenste bevoegdhede vasgestel is, ontwerp opvoeders geskikte assesserings-, leer- en onderriggeleenthede, wat 'n samehangende belyning tussen gewenste bevoegdhede, leer-geleenthede en evaluering verseker (Tyler 1949). Hierdie gestruktureerde benadering kan die logiese vloei en tersaaklikheid van lesse verbeter, terwyl dit betekenisvolle verbindings tussen teoretiese konsepte en praktiese toepassings bevorder.

Fase 3: Aksienavorsing

Kurrikulumontwikkeling behoort gegrond te wees op aksienavorsingsbeginsels, spesifiek 'n bate-/sterkpuntgebaseerde benadering wat klem lê op die benutting van beskikbare hulpbronne en bestaande vermoëns eerder as om tekortkominge te beklemtoon (McAteer 2013 en McNiff 2016). Hierdie deelnemende metodologie, soos deur die geleerdes McAteer (2013) en McNiff (2016) aanbeveel, behels iteratiewe spirale van vier sikliese stappe: beplanning, aksie, observasie en refleksie, soos in figuur 3 geïllustreer.



Figuur 3. Die aksienavorsingsmodel (aangepas uit McNiff 2016)

Tydens die beplanningsfase het ek die konteks verken om sterkpunte en hulpbronne te identifiseer wat transformasie kan bevorder en dienoreenkomstig 'n aksieplan ontwikkel. In die aksiefase het ek die plan geïmplementeer, terwyl ek in die waarnemingsfase data deur verskeie metodes ingesamel het om die vordering van die transformasie noukeurig te monitor. Laastens, tydens die refleksiefase, het ek die uitkomste beoordeel, met belanghebbendes in gesprek getree en die ingrypings verfyn om die doeltreffendheid daarvan te verbeter, in ooreenstemming met die dinamiese en voortgaande aard van aksienavorsing.

Ten slotte demonstreer die ontwikkeling van die HBDI®-kurrikulumontwikkelingsmodel vir Kodering en robotika, soos in figuur 2 geïllustreer, 'n omvattende en dinamiese benadering tot kurrikulumontwikkeling, aangedryf deur behoeftesanalise, terugwaartse ontwerp en aksienavorsingsbeginsels.

Hierdie geïntegreerde navorsingsontwerp het dit moontlik gemaak om die HBDI® nie net as teoretiese raamwerk nie, maar ook as praktiese raamwerk vir leerdergerigte onderrig toe te pas.

Ek het McNiff (2016) se beskrywing van aksienavorsing as 'n oneindige spiraal beskou, een waarin die stappe van beplanning, aksie, observasie en refleksie voortdurend op mekaar volg en telkens tot nuwe siklusse van verbetering en innovasie lei. Hierdie spiraal is in my navorsingsontwerp (figuur 2) geïntegreer met die HBDI®-raamwerk en die beginsels van terugwaartse ontwerp. Die visuele raamwerke (figuur 1 en 2) funksioneer dus nie afsonderlik nie, maar dui saam die metodologiese logika aan: Figuur 1 toon die kognitiewe kwadrante wat ek wou aktiveer; figuur 2 toon die geïntegreerde plan; en figuur 3 plaas dit binne die voortdurende sikliese proses van aksienavorsing.

Elke siklus in die studie is dus gestruktureer om die vier stappe van aksienavorsing te reflekteer. Hierdie siklusse word in afdeling 7.3 volledig beskryf.

6.2 Navorsingskonteks en deelnemers

Die studie is uitgevoer in 'n enkelmedium, stedelike laerskool in Suid-Afrika. Die leerdergroep het uit 18 graad 4-leerders van diverse sosiale en kulturele agtergronde bestaan. Geen vooraf-

kennis van kodering of robotika is by hierdie groep veronderstel nie, wat 'n neutrale vertrekpunt gebied het vir die implementering van die kurrikulum.

Die skool het toegang gehad tot 11 LEGO® Spike Prime™-stelle, onvolledig in terme van dit wat die DBO vir die implementering van Kodering en robotika aanbeveel. Hierdie konteks het 'n unieke geleentheid geskep om die HBDI®-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum binne beperkte hulpbronne en tyd te toets, en te verken hoe kognitiewe diversiteit leer kan verdiep ondanks praktiese uitdagings.

Die navorsingsontwerp is doelbewus in die klaskameromgewing ingebed om die aksie-navorsingsiklus (McNiff 2016) toe te pas. Die 18 leerders het dus nie net as deelnemers opgetree nie, maar ook as medenavorsers wat saam met my gereflekteer het oor wat gewerk het en wat verbeter kon word. Ek, in my rol as onderwyser-navorsers, het die beplanning en implementering gefasiliteer, die leerervarings waargeneem, en saam met die leerders gereflekteer om die daaropvolgende siklusse te verbeter.

Hierdie kontekstuele raamwerk beteken dat die studie nie bloot in 'n "neutrale laboratorium" plaasgevind het nie, maar binne 'n lewende sosiale en opvoedkundige ruimte waar aksie en refleksie voortdurend mekaar gevoed het. Dit is in lyn met McNiff (2016) se beskrywing van aksienavorsing as 'n spiraal van beplanning, aksie, observasie en refleksie wat voortdurend tot verbetering en innovasie lei.

6.3 Data-insameling en dokumentasie

Ek het in lyn met die aard van aksienavorsing, waar die navorser se eie optrede, waarnemings en refleksies sentraal staan (McNiff 2016), verskeie datatipes ingesamel en gebruik om triangulasie te verseker en die bevindinge te versterk (Creswell 2014). Hierdie datatipes het my in staat gestel om die leerervaring vanuit verskillende hoeke te belig en het terselfdertyd die sikliese aard van beplanning, implementering, waarneming en refleksie ondersteun.

- **Refleksiejoernale:** Ná elke siklus het ek my waarnemings, emosies en interpretasies aangeteken. Hierdie joernale het nie bloot as 'n beskrywende instrument gedien nie, maar as 'n analitiese hulpmiddel wat my gehelp het om patrone in leerders se deelname, uitdagings en my eie onderrigstrategieë te identifiseer. Die joernale is later gekodeer om tendense soos verhoogde samewerking of verbeterde probleemoplossingsvermoë uit te lig.
- **Leerderartefakte:** Ek het werkstukke en produkte soos robothandontwerpe en koderingstake ontleed om data in te samel oor die doeltreffendheid van die kurrikulum. Hierdie artefakte het konkrete bewyse gebied van hoe leerders tegniese vaardighede en kreatiwiteit toegepas het. Ek het die artefakte vergelyk met my refleksiejoernale om ooreenkomste en teenstrydighede in my interpretasies en die leerders se eindprodukte te toets, wat bygedra het tot betroubaarheid.
- **Klaswaarnemings en video-opnames:** Ek het lesse verfilm en terselfdertyd direkte waarnemings gedoen. Die opnames het my in staat gestel om subtiele gedragaspekte en nieverbale interaksies, wat ek moontlik tydens die les misgekyk het, te herbesoek. Hierdie materiaal is gebruik om temas soos groepsdinamika en leerdermotivering met temas uit ander databronne te trianguleer.

- **Self- en portuurgroepassesserings:** Ek het rubrieke gebruik waarmee leerders hul eie werk en dié van hulle maats beoordeel het. Hierdie self- en portuurevaluasies is direk verbind aan my refleksiejoernale en video-waarnemings wat ondersoek of leerders se selfpersepsies en groepeersevaluasies ooreenstem met hul werklike prestasie en deelname.

Die assesseringsgeleentheid wat in afdeling 7.2 uiteengesit word, is doelbewus op verskillende stadiums van die siklusse gebruik: formatiewe assesserings tydens vroeë bou- en kodeertake, portuurgroepassessering en selfrefleksie tydens prototipe- en oop-einde projekte, en summatiewe assesserings by sleutelprojekte waar finale produkte geëvalueer is.

Deur hierdie uiteenlopende datatipes te kombineer en sistematies te vergelyk, kon ek patrone van kognitiewe betrokkenheid, samewerking en groei identifiseer. Hierdie triangulasie het nie net die geldigheid en betroubaarheid van die bevindinge verhoog nie, maar dit het ook die rol van die navorser se eie refleksie binne die aksienavorsingsiklus duidelik gemaak en die skakel tussen die HBDI[®]-raamwerk en die ontwikkeling van 21ste-eeuse vaardighede versterk.

6.4 Data-ontleding

Ek het die data tematies ontleed (Braun en Clarke 2006) deur die sistematiese identifisering, kodering en interpretasie van patrone en terugkerende betekenisse in die verskillende datastelle.

In die eerste stap het ek alle databronne (joernale, leerderartefakte, video-opnames en assesserings) herhaaldelik deurgelees en voorlopige kodes wat spesifieke gedrags- of denkpatrone beskryf, toegeken. Daarna het ek die kodes saamgegroepeer in temas wat verband hou met die ontwikkeling van 21ste-eeuse vaardighede soos probleemoplossing, samewerking, kritiese denke en kreatiwiteit.

Die HBDI[®]-raamwerk het as analitiese lens gedien om hierdie kodes verder te struktureer. Ek het byvoorbeeld kodes wat logiese redenering of foutsporing weerspieël onder kwadrant A (analities) geklassifiseer; take soos robot-ontwerp en praktiese toepassing onder kwadrant B (organiserend); groepsinteraksies en samewerking onder kwadrant C (interpersoonlik); en innoverende oplossings en kreatiewe idees onder kwadrant D (eksperimenteel). Hierdie klassifikasie het my in staat gestel om te vergelyk hoe die vier denkvoorkeure in leerders se werk en gedrag tot leer en probleemoplossing bygedra het.

Benewens die HBDI[®]-kategorieë het ek ook temas geïdentifiseer wat die breër leeromgewing weerspieël, insluitend leerdermotivering, die rol van tegnologie-integrasie en die belyning met VOD's. Hierdie bykomende temas het die analise verdiep en 'n meer omvattende prentjie gebied van hoe die kurrikulum die onderrig- en leerproses beïnvloed het.

In ooreenstemming met McAteer (2013) was data-insameling en -ontleding in hierdie studie verweef, aangesien dit nie as afsonderlike, lineêre prosesse plaasgevind het nie. Elke aksienavorsingsiklus het insameling van uiteenlopende databronne ingesluit wat reeds tydens of kort ná die implementering voorlopig gekodeer en geïnterpreteer is. Hierdie vinnige ontleding het patrone en tendense uitgelig wat onmiddellik die beplanningsfase van die volgende siklus gevoed het. Waarnemings en video-ontleding het, byvoorbeeld, vroeg gewys dat sekere leerders passief gebly het, wat gelei het tot die besluit om kleiner groepe saam te stel in die daaropvolgende siklus. Joernale en selfassesserings is herhaaldelik gebruik om leerders se eie refleksies op hul denkprosesse te identifiseer, wat nie net die temas van samewerking en

probleemoplossing bevestig het nie, maar ook die mate waarin die HBDI®-kwadrante aktief betrokke was. Só het die sikliese aard van aksienavorsing tot uitdrukking gekom: Insameling, voorlopige ontleding en aanpassing het binne elke siklus plaasgevind en is voortdurend in die daaropvolgende beplanning geïntegreer.

6.5 Etiese oorwegings

Etiese goedkeuring is verkry volgens die riglyne en prosedures van die betrokke instelling se etiekkomitee om deursigtigheid en navorsingsintegriteit te verseker (Creswell 2014). Ingeligte toestemming en ingeligte instemming is vooraf verkry van die skoolhoof, ouers en leerders, met duidelike kommunikasie oor die doel, aard en vrywillige aard van deelname. Anonimiteit en vertroulikheid is streng gehandhaaf tydens die insameling, analise en rapportering van data, sodat deelnemers se identiteit en bydraes beskerm is. Leerders se gesigte is nie afgeneem nie. Geen name is in die verslag gebruik nie; eerder neutrale verwysings soos Leerder 1, Leerder 2, ens. Ek het deur die hele proses selfrefleksief gewerk en krities besin oor my dubbele rol as kurrikulumontwerper en fasiliteerder, aangesien hierdie posisie potensiële vooroordele of invloede op die navorsingsproses en die interpretasie van bevindinge kon inhou (Herrmann-Nehdi 2010 en Derry, Pea, Barron, Engle, Erickson, Goldman, Hall, Koschmann, Lemke en Sherin 2010). Hierdie benadering het bygedra tot 'n meer deursigtige en betroubare navorsingsproses wat die deelnemers se stemme sentraal geplaas het.

7. Resultate

Die resultate word in hierdie afdeling aangebied. Die ontwikkeling van 'n HBDI®-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum het drie fases en 14 siklusse ingesluit.

7.1 Fase 1: Behoeftes-analise

Skoolbehoeftes: Die skooladministrasie het Kodering en robotika as 'n noodsaaklike toevoeging tot die bestaande kurrikulum beskou, aangesien dit leerders geleenthede bied om teoretiese kennis prakties toe te pas, en sodoende hul vermoëns in wetenskap, tegnologie en wiskunde te versterk.

Leerderprofiel: Graad 4-leerders, ouderdom 10 tot 11, is genader om aan die studie deel te neem. Die leerders was vanuit 'n breë kulturele oorsprong, insluitend Afrikaans, Engels, Koreaans, isiZulu, Sesotho, Tswana en Chinese erfenis. Die deelnemers is aanvanklik (kwartaal 1) in groepe van vier opgedeel. Waarnemings het egter getoon dat sommige leerders oorheers het terwyl ander passief gebly het. Hierdie dinamiek het die diepte van individuele leerervaringe beperk. Nadat ekstra LEGO® Spike Prime™-stelle verkry is, is die groepe vanaf kwartaal 2 tot pare verklein (sien figuur 4). Hierdie wysiging het ten doel gehad om die ervaringsgebaseerde leerproses te verdiep, individuele verantwoordelikheid te benadruk en aktiewe deelname te verseker.



Figuur 4. Deelnemende leerders

Situasieanalise: Die klaskamers was toegerus met stewige meubels wat geskik was vir aktiewe groepswerk. Daar was ook inspirerende plakkate en helder beligting, sowel as swartborde vir notas oor die aktiwiteite (sien figuur 5).



Figuur 5. Klaskameropset wat aktiewe groepswerk ondersteun

Die robotika-klaskamer het oor dubbeltafels, 'n witbord, 'n projektor en 'n groeiende versameling LEGO® Spike Prime™-stelle (sien figuur 6) beskik.



Figuur 6. LEGO® Spike Prime™-stelle wat vir kodering en robotika gebruik is

Die stoorplek was netjies gestruktureer: Hulpbronne is in geel bokse geberg. Elke boks is genummer om vinnige toegang en doeltreffende organisasie te verseker (sien figuur 7).



Figuur 7. Stoorkamerorganisasie wat hulpbronbestuur vergemaklik

Aanvanklik was daar geen tablette beskikbaar nie, maar aan die einde van kwartaal 1 het die skool 11 Samsung Galaxy Tab A7 Lite-tablette aangekoop (sien figuur 8).



Figuur 8. Tablette wat selfstandige leer en kodeertoepassing moontlik gemaak het

Hierdie toevoeging het die leerervaring verbeter omdat leerders nou self kon kodeer eerder as om van 'n enkele toestel of fasiliteerder afhanklik te wees.

7.2 Fase 2: Terugwaartse ontwerp

Gewenste vaardighede: Die doel was om kernvaardighede soos kommunikasie, samewerking, kritiese denke en kreatiwiteit te ontwikkel. Die fokus was dus op probleemoplossing, ideesgenerering, ontwerp van tegnologiese oplossings en effektiewe samewerking tydens die voltooiing van projekte. Dit het ruimte geskep vir die ontwikkeling van verskillende denkprosesse volgens die unieke sterkpunte van die leerders.

7.2.1 Assesseringsgeleenthede

Assessering was 'n geïntegreerde deel van onderrig. 'n Kombinasie van formatiewe, projekgebaseerde, self-, portuurgroep- en summatiewe assesseringsgeleenthede is ingesluit om leerderontwikkeling op 'n deurlopende en gestruktureerde wyse te monitor.

Formatiewe assessering is gebruik om leerders se vordering gedurende elke siklus dop te hou en om onmiddellike terugvoer te bied. Projekgebaseerde assesserings het leerders die geleentheid gebied om hul tegniese en kreatiewe vermoëns in praktiese konteks te demonstreer. Self- en portuurgroepassesserings is ingesluit om kritiese refleksie, samewerking en verantwoordelikheid vir eie leer te bevorder.

Summatiewe assessering het gefokus op die finale gehalte van voltooide projekte om te bepaal tot watter mate leerders die gewenste vaardighede en denkprosesse bemeester het. Rubrieke is

gebruik om die belyning van projekte met ontwerpvereistes en met die vier HBDI®-denkkwadrante te evalueer.

7.2.2 Leer- en onderriggeleenthede

Die kurrikulum het verskeie geleenthede gebied om die ontwikkeling van spesifieke vaardighede te ondersteun het. Elke siklus het aktiwiteite ingesluit wat al vier die kwadrante van die HBDI® aangespreek het. Dit het 'n gebalanseerde benadering tot kognitiewe betrokkenheid bevorder. Analitiese take het kodering, probleemoplossing en prototipetoetsing ingesluit, terwyl praktiese aktiwiteite die samestelling van robotte en sistematiese verbeteringe van kodering en robotte behels het. Relasionele take is verbeter deur samewerkingsprojekte, storievertelling en interpersoonlike kommunikasie. In teenstelling hiermee is eksperimentele geleenthede kreatiwiteit, innovasie en verkenning bevorder deur oop take en iteratiewe ontwerpprosesse.

Die kurrikulum het sistematies geleenthede gebied om fundamentele vaardighede in die aanvanklike siklusse te ontwikkel. Komplekse aktiwiteite vir probleemoplossing en kreatiewe projekte in daaropvolgende siklusse is geskep om aan die beginsels van terugwerkende ontwerp te voldoen. Hierdie gestruktureerde progressie het leerders in staat gestel om noodsaaklike tegniese vaardighede, kritiese denkvermoëns en samewerkingsvaardighede te ontwikkel om hulle vir sukses in 21ste-eeuse kontekste voor te berei.

7.3 Fase 3: Aksienavorsing

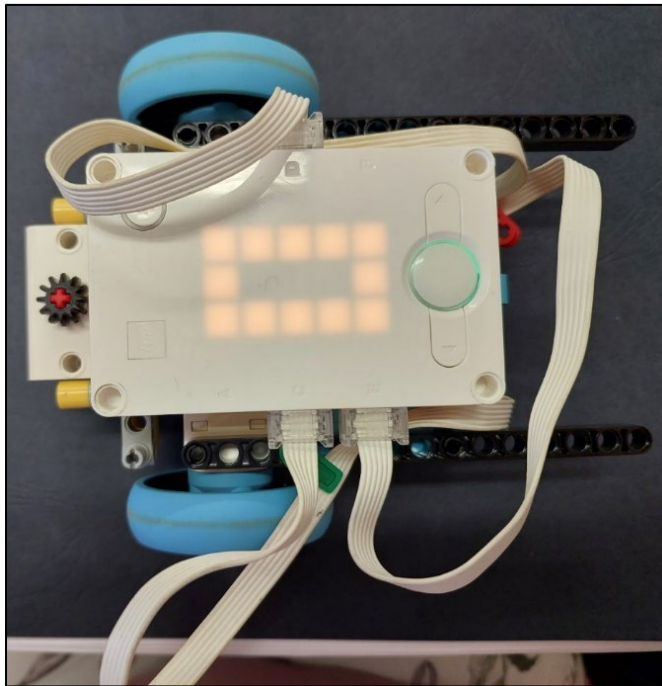
Graad 4-leerders is by uiteenlopende leerervarings betrek wat geleidelik meer kompleks geword het. Hierdie leerervarings is binne die raamwerk van terugwaartse ontwerp beplan en gestruktureer.

Soos in afdeling 7.2(b) aangedui, is die leergeleenthede doelbewus ontwerp om oor die geheel van die program al vier die HBDI®-kwadrante te aktiveer. Dit beteken egter nie dat elke individuele siklus noodwendig al vier kwadrante ewe sterk aangespreek het nie. In sommige siklusse was sekere denkprosesse meer prominent (bv. analities en prakties in die vroeë bou-aktiwiteite), terwyl ander siklusse meer op kreatiewe en interpersoonlike prosesse gesteun het. Saam het die 14 siklusse egter 'n gebalanseerde en geïntegreerde leerervaring gebied waarin al vier kwadrante oor tyd heen aangespreek en versterk is. In die beskrywings hier onder word telkens uitgelig watter kwadrante in elke siklus die sterkste tot uiting gekom het.

Hierdie afdeling bou voort op die aksienavorsingsraamwerke wat reeds in figuur 1 en 2 verduidelik is. Die 14 siklusse wat hier beskryf word, vorm die praktiese manifestasie van die spiraal van beplanning, aksie, observasie en refleksie (soos in figuur 3). Elke siklus moet dus nie as 'n afsonderlike eenheid gesien word nie, maar as deel van 'n voortgaande aksienavorsingsproses waarin elke vorige ervaring die volgende een informeer. Waar figuur 1 die kognitiewe kwadrante aandui wat geaktiveer is, en figuur 2 die geïntegreerde HBDI®-gebaseerde ontwikkelingsplan toon, illustreer hierdie afdeling hoe daardie teoretiese modelle konkreet toegepas is binne die klaspraktyk. Op hierdie manier word die kohesie tussen die teoretiese model en die praktiese implementering sigbaar gemaak.

7.3.1 Siklus 1: Inleiding tot LEGO®-blokke en basiese meganika

Hierdie eerste siklus het gedien as die grondslag van die leerproses en het gefokus op die bekendstelling van leerders aan die LEGO® Spike Prime™-stelle. Leerders is stap vir stap aan die bou van eenvoudige strukture bekendgestel, byvoorbeeld 'n basiese voertuig met die onderstel, motors en wiele (sien figuur 9). Hierdie praktyke het hulle in staat gestel om die beginsels van balans, stabiliteit en strukturele integriteit te verstaan.



Figuur 9. Basiese voertuig met die onderstel, motors en wiele

Tydens die bouproses het leerders hul voertuie self saamgestel en getoets om funksionele beweging te verseker. Die toetsfase het egter onmiddellik ontwerpoute blootgelê, aangesien sommige voertuie nie reguit beweeg het nie. Hierdie praktiese uitdaging het leerders se aandag gevestig op asimmetrie, stabiliteit en wielposisionering as kritieke faktore binne die ontwerp.

In hierdie verband het Leerder 5 tydens die eerste toetslopie die volgende opgemerk:

Ons wiele is skeef – hy gaan nie reguit ry nie.

Hierdie opmerking toon vroeë analitiese waarneming (A-kwadrant), aangesien die leerder 'n direkte verband tussen die fisiese struktuur en bewegingsuitkoms geïdentifiseer het. Die fokus was nie bloot op die feit dat die voertuig nie werk nie, maar op die onderliggende oorsaak daarvan.

Hierdie waarneming is verder bevestig deur 'n inskrywing in my refleksiejoernaal van 13 Januarie:

Die groep begin self eksperimenteer met die hoogte van die onderstel en die breedte van die basis.

Die joernaalinskrywing dui daarop dat leerders spontaan 'n iteratiewe benadering begin volg het: Hulle het aanpassings gemaak, weer getoets en strukture verfyn. Hierdie proses illustreer die ontwikkeling van probleemoplossingstrategieë en sistematiese analitiese denke, aangesien leerders veranderlikes geïsoleer en doelbewus gemanipuleer het om 'n gewenste uitkoms te bereik.

Die gebruik van motors en eenvoudige bewegende dele het verder praktiese denke (B-kwadrant) versterk. Leerders kon visueel en tasbaar waarneem hoe rotasie na lineêre beweging omgeskakel word en hoe wiel- en asrangskikking die voertuig se stabiliteit beïnvloed. Die leerervaring was dus konkreet en ervaringsgebaseerd.

Die bekendstelling van 'n lig- of aanraaksensor op 'n basiese vlak, het hierdie begrip uitgebrei deur die konsep van insette en uitsette sigbaar te maak. Leerders kon direk ervaar hoe die druk van 'n knoppie of die teenwoordigheid van lig 'n spesifieke reaksie (beweging of klank) aktiveer. Hierdie onmiddellike terugvoer het die verband tussen kode en meganiese reaksie duidelik gemaak.

In hierdie verband het ek in my refleksiejoernaal aangeteken dat:

Wanneer die sensor reageer, raak leerders opgewonde. Hulle is onmiddellik gemotiveerd.

Hierdie waarneming dui daarop dat direkte sensoriese terugvoer intrinsieke motivering versterk het. Die sigbare reaksie van die robot het abstrakte konsepte konkreet gemaak, wat beide begrip en betrokkenheid verhoog het.

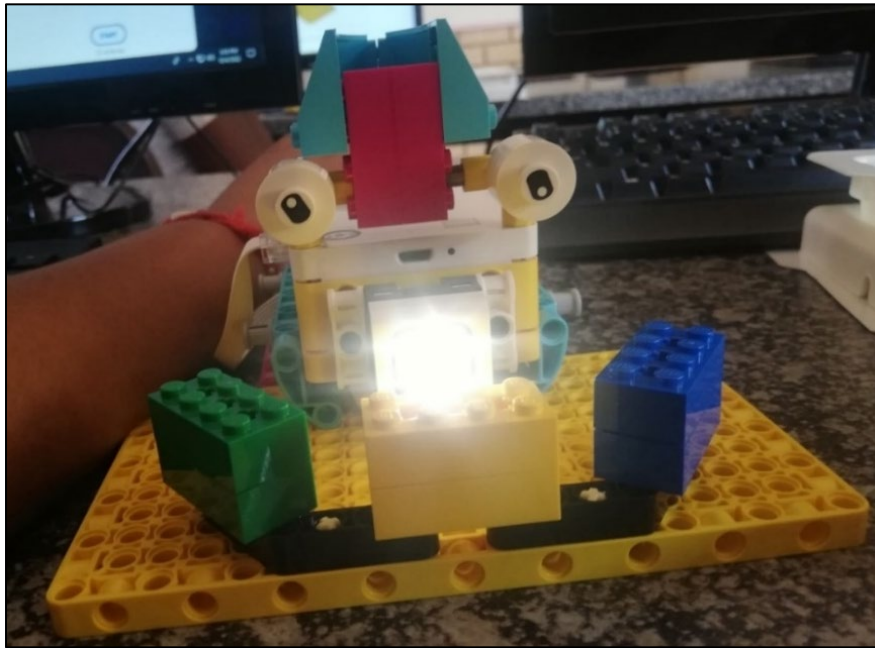
Die bou- en toetsproses het dus nie slegs tegniese vaardighede ontwikkel nie, maar 'n geïntegreerde leerervaring geskep waarin analitiese, praktiese en reflektiewe denke gelyktydig geaktiveer is.

Analitiese denke (kwadrant A) is aangespreek deurdat leerders logiese koderingstappe moes uitvoer om die motors of sensors te aktiveer asook foute opgespoor en oplossings gevind het om die robot se gewenste gedrag te verkry. Tegelykertyd is praktiese denke (kwadrant B) ontwikkel deurdat leerders self die LEGO®-komponente moes manipuleer, saamstel en toets. Die fisiese handeling van bou en aanpas het hulle geleer hoe abstrakte instruksies in konkrete, funksionele resultate omgesit word.

Hierdie inleidende siklus het dus 'n dubbele funksie vervul: Dit het die tegniese en meganiese basis gelê waarop latere, meer komplekse siklusse kon voortbou. Dit het ook leerders se denkvoorkeure vroeg geaktiveer deur 'n balans tussen analitiese en praktiese leerervarings te skep.

7.3.2 Siklus 2: Probleemoplossing met kleursensors en storievertelling

In hierdie siklus het leerders die kleursensor geprogrammeer om spesifieke insette (byvoorbeeld verskillende kleure) te herken en verskillende uitsette (soos ligte, bewegings of klanke) te aktiveer. Die tegniese programwerk is doelbewus met 'n kreatiewe komponent van storievertelling geïntegreer. Leerders moes scenario's ontwerp waarin die robot volgens bepaalde kleurstimuli optree. Byvoorbeeld, 'n rooi lig het beteken dat die robot moet stop, terwyl 'n groen kleur 'n vooraf geprogrammeerde vrolike melodie of piepgeluid aktiveer wat 'n suksesvolle handeling binne die storielyn voorstel (sien figuur 10).



Figuur 10. Robot geprogrammeer met kleursensor vir storievertelling

Hierdie integrasie van kode en narratief het vereis dat leerders tegniese logika met simboliese betekenis moes verbind.

In hierdie verband het Leerder 12 tydens die toetsfase die volgende aangedui:

Nee, hy moet 'n blou lig wys, want in ons storie word hy bang wanneer hy blou sien.

Hierdie opmerking toon hoe kreatief-eksperimentele denke (D-kwadrant) spontaan binne die programmeringsproses geïntegreer is. Die leerder het nie bloot 'n kleur aan 'n funksie gekoppel nie, maar emosionele betekenis aan die kleur toegeken en dit binne die narratief geregverdig. Die tegniese besluit is dus deur storielogika gemotiveer. Kinders verbind emosie aan kode; dit laat hul robotte vir hulle “karakters” word.

Hierdie waarneming word ondersteun deur 'n inskrywing in my refleksiejoernaal van 27 Januarie:

Kinders verbind emosie aan kode; dit laat hul robotte vir hulle “karakters” word.

Die joernaalinskrywing bevestig dat leerders die robotte nie as meganiese toestelle beskou het nie, maar as narratiewe entiteite waaraan identiteit en emosie toegeskryf is. Hierdie proses het die integrasie van kreatiewe en analitiese denke versterk.

Samewerking het 'n verdere sentrale rol gespeel in die ontwikkeling van die stories. Groepe moes rolle verdeel, idees onderhandel en gesamentlik besluit hoe die robot binne die narratief moet optree. Hierdie dinamiek het relasionele denke (C-kwadrant) bevorder.

In hierdie verband het Leerder 7 tydens 'n selfassessering die volgende gereflekteer:

Ons span kon beter kommunikeer. Ek het gevoel ek praat te veel en luister te min.

Hierdie selfrefleksie dui op ontwikkelende selfbewustheid en groei in groepsdinamika. Dit wys dat leerders nie slegs tegniese vaardighede ontwikkel het nie, maar ook metakognitiewe en interpersoonlike vaardighede begin internaliseer het – 'n belangrike komponent van geïntegreerde leer.

Die eksperimentele aard van die leerproses het veral sigbaar geword in die toets- en aanpassingsfases. Leerders het herhaaldelik verskillende kleurkombinasies en reaksies getoets om te bepaal hoe dit binne hul storielyn funksioneer.

In hierdie verband het Leerder 3 tydens groepswerk dit só verduidelik:

Ons het probeer om verskillende kleure te gebruik en te sien wat gebeur. Soms werk dit nie, maar dan verander ons dit tot dit by ons storie pas.

Hierdie opmerking illustreer die iteratiewe aard van die leerproses: toetsing, evaluering en aanpassing. Die fokus was nie bloot op tegniese korrektheid nie, maar op funksionele en narratiewe samehang. Deur hierdie herhalende proses is beide tegniese probleemoplossing en kreatiewe verfyning versterk.

Assessering is gestruktureer om hierdie geïntegreerde proses te ondersteun. Die rubriek het groepe gelei om hul werk krities te evalueer aan die hand van kriteria soos programmering, storie-integrasie, kreatiwiteit, samewerking en eksperimentele denke (tabel 1). Hierdie gestruktureerde evaluering het verseker dat tegniese en kreatiewe dimensies as ewe belangrik erken is en dat leer sistematies gemonitor kon word.

Tabel 1. Voorbeeld van 'n assesseringsrubriek vir storievertelling in Kodering en robotika

Kriteria	Uitstekend (4)	Goed (3)	Bevredigend (2)	Beperk (1)
Programmering en sensor-gebruik	Program werk foutloos; sensor optimaal gebruik	Program werk met geringe foute	Basiese funksies werk	Min of geen funksionaliteit nie
Verhaal-integrasie	Robot se handelinge pas perfek by die storielyn	Goeie integrasie met klein gapings	Los verband tussen storie en robot	Min of geen verband nie
Kreatiwiteit	Hoog oorspronklik en verbeeldingryk	Kreatief met enkele unieke idees	Beperkte kreatiwiteit	Stereotiep of geen nuwe idees nie
Same-werking	Uitstekende spanwerk; alle lede aktief betrokke	Goeie spanwerk; die meeste lede betrokke	Sommige lede nie betrokke nie	Min samewerking

Kriteria	Uitstekend (4)	Goed (3)	Bevredigend (2)	Beperk (1)
Eksperimentele denke	Aktief getoets, verbeter en nuwe moontlikhede verken	Sommige toetsing en aanpassings	Beperkte toetsing of verbetering	Geen toetsing of verkenning nie

Tydens portuurgroepassessering moes groepe mekaar se projekte evalueer en konstruktiewe terugvoer gee. In hierdie verband het een groep tydens die evaluering van 'n ander span se projek die volgende opgemerk:

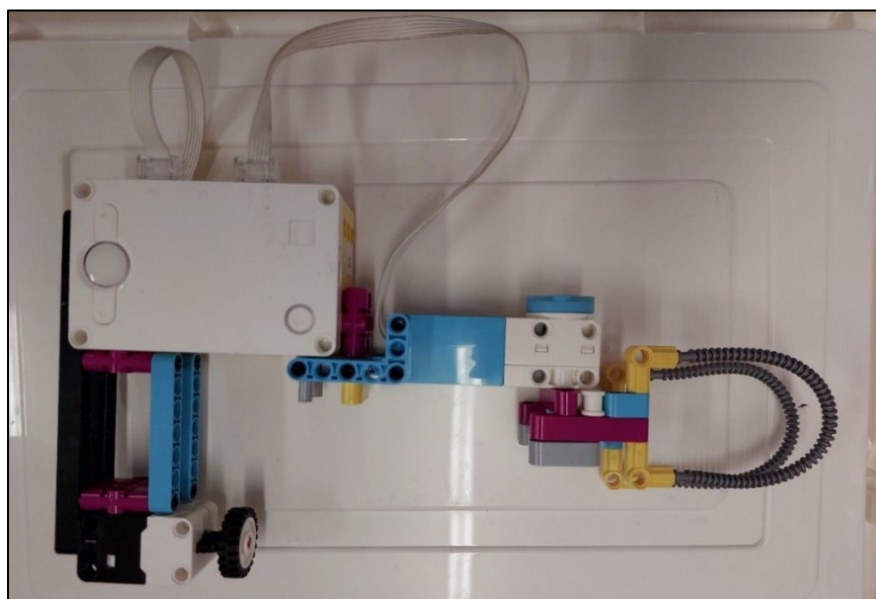
Hulle robot werk goed, maar hulle het te min toetsing gedoen. Meer toetsing sou hul ontwerp sterker gemaak het.

Hierdie terugvoer dui op 'n ontwikkelende begrip van die iteratiewe aard van ontwerp. Die fokus was nie bloot op die eindproduk nie, maar op die proses van toetsing en verfyning as noodsaaklike komponent van kwaliteit. Dit weerspieël analitiese denke (A-kwadrant) sowel as metakognitiewe bewustheid, aangesien leerders die waarde van herhaalde toetsing eksplisiet erken het.

Hierdie bevinding bevestig dat self- en portuurgroepassessering nie slegs as 'n meetinstrument gefunksioneer het nie, maar as 'n aktiewe leerstrategie wat kritiese evaluering, refleksie en prosesbewustheid versterk het. Assessering het dus 'n integrale deel van die leerproses geword en het kwalitatiewe data opgelewer wat leer- en denkprosesse sigbaar gemaak het.

7.3.3 Siklus 3: Evaluering van die operasionele doeltreffendheid van prototipes

In hierdie siklus is leerders bekendgestel aan die beginsels van prototipering, wat 'n kernrol speel in ingenieurs- en ontwerpprosesse. Hulle het verskillende kloumeganismes ontwerp, gebou en getoets, met die doel om te verstaan hoe 'n aanvanklike idee deur herhaling en verfyning verbeter kan word (sien figuur 11 en 12).

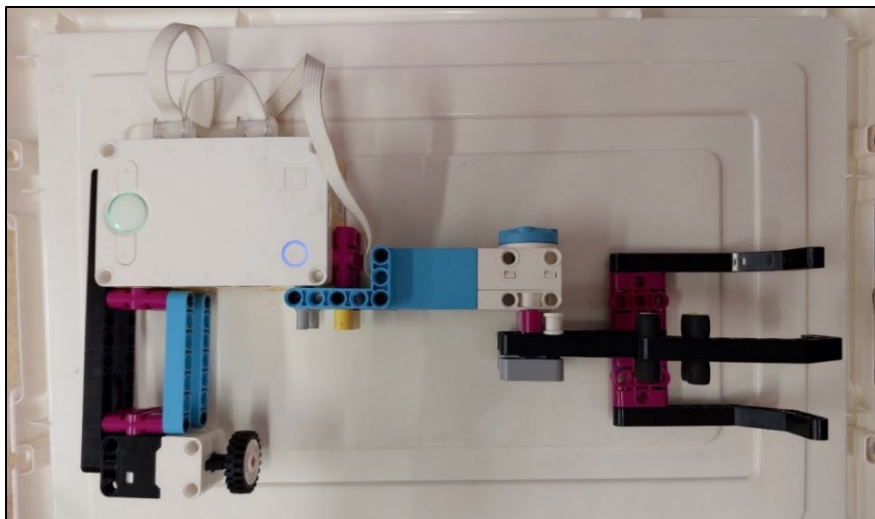


Figuur 11. Voorbeeld van 'n leerderontwerpte klouprototipe

Tydens die eerste toetsfase van die prototipe het Leerder 9 'n kritiese waarneming gemaak oor die funksionaliteit van sy ontwerp. In hierdie verband het hy opgemerk:

Dit is te wyd om klein voorwerpe vas te hou, maar dit werk goed met groot blokke.

Hierdie opmerking toon analitiese evaluering van doeltreffendheid, aangesien die leerder die beperking van die ontwerp in verhouding tot die taak geïdentifiseer het. Die fokus was nie bloot op sukses of mislukking nie, maar op geskiktheid vir spesifieke toepassings. Hierdie vorm van kritiese onderskeiding dui op geïntegreerde praktiese (B-kwadrant) en eksperimentele denke (D-kwadrant).



Figuur 12. Verbeterde klouprototipe ná aanpassings

Die iteratiewe aard van die leerproses is verder bevestig in my refleksiejoernaal van 3 Februarie, waar ek aangeteken het:

Die leerders het self die idee geopper om die hefboom korter te maak vir meer presisie.

Hierdie joernaalinskrywing dui op selfgeïnisieerde verbetering. Leerders het nie bloot onderwysersleiding gevolg nie, maar self strukturele veranderings voorgestel om funksionaliteit te verbeter. Dit illustreer die ontwikkeling van ingenieursdenke, waar aanpassing gebaseer is op waarneming en toetsing.

Portuurgroepassessering het die prototipeproses verder verdiep. Leerders moes hul ontwerpe met dié van ander groepe vergelyk en konstruktiewe terugvoer formuleer. In hierdie verband het Leerder 5 tydens spanassessering die volgende aangedui:

Ons klou is glad nie so stabiel soos groep B se klou nie. Ons moet die ratte beter balanseer.

Hierdie terugvoer toon relasionele denke (C-kwadrant), aangesien die leerder sy eie ontwerp krities met 'n ander groep s'n vergelyk en 'n konkrete verbeteringsvoorstel formuleer. Die proses het nie kompetisie bevorder nie, maar gedeelde leer en kollektiewe verfyning.

Analitiese denke (A-kwadrant) is verder aangespreek deurdat leerders die tegniese akkuraatheid van hul programmering sistematies moes kontroleer. In 'n selfassessering het Leerder 14 die volgende geskryf:

Ons het vergeet om die sensor in die regte poort te sit. Toe sien ek in die kode hy wys P3, maar ons het hom op P1 gesit. Ek het dit reggemaak.

Hierdie voorbeeld illustreer eksplisiete foutidentifikasie, interpretasie van kodetaal en doelbewuste regstelling. Die leerder het 'n diskrepansie tussen fisiese aansluiting en digitale instruksie geïdentifiseer en sistematies opgelos. Dit dui op geïntegreerde probleemoplossing waarin praktiese handeling en abstrakte kodering met mekaar verbind is.

Deur die integrasie van konstruksie, toetsing, spanassessering en selfrefleksie het hierdie siklus leerders 'n holistiese ervaring van die prototipeproses gebied. Die leerervaring het nie slegs tegniese kennis van meganika en robotika uitgebrei nie, maar ook kritiese denke, kreatiewe aanpassing, sistematiese probleemoplossing en samewerkingsvaardighede versterk. Hierdie siklus het dus 'n belangrike brug gevorm tussen basiese meganiese vaardighede en die meer komplekse integrasie van ingenieurs- en ontwerpdenke wat in latere fases van die kurrikulum vereis is.

7.3.4 Siklus 4: Prototipering en toetsing (vervolg)

In hierdie siklus het die fokus verskuif van die aanvanklike bou- en toetsfase van verskillende klou-ontwerpe, na die meer verfynde proses van ontwerpkeuse en regverdiging. Leerders moes hul prototipes sistematies evalueer volgens voorafbepaalde kriteria, waaronder robuustheid, presisie en toepaslikheid vir 'n bepaalde taak (sien figuur 13).

	Grabber 1	Grabber 2
Pen	It was very easy to grab it.	Easy to grab
Paper	It was not easy ^{much easier} to pick up to grab and lift.	Extremely easy to grab.
Empty Bottle	Kind of works. Can slip out easily. Only grabs the top.	Easy to grab; bottle fit in the grabber perfectly.
Lego Block	It was not able to grab the block.	Quite easy to grab and lift. Easier than grabber 1.
Glue Stick	Was not easy to pick up. Kept slipping.	Easy to grab. The material is softer.

Figuur 13. 'n Voorbeeld van evaluering van prototipes volgens kriteria

Leerder 11 het tydens die toetsfase opgemerk:

Ons klou hou goed vas, maar dit gly soms as ons groter blokke gebruik.

My refleksiejoernaal van 17 Februarie bevestig dit:

Groepe het begin om data sistematies te registreer: Elke klou se suksesvolle optel-pogings is getel en vergelyk. Hierdie bewyse is gebruik om die finale ontwerpkeuse te regverdig.

Die toepassing van hierdie kriteria het van die leerders vereis om objektief te dink oor die sterktes en swakpunte van elke ontwerp, eerder as om bloot 'n voorkeur vir hul eie werk te hê. Die besluitnemingsproses is versterk deur toetsdata te gebruik. Groepe het hul prototipes herhaaldelik getoets en die resultate sistematies aangeteken, soos hoeveel keer 'n klou 'n voorwerp suksesvol kon ophang sonder dat dit gegly het, hoe akkuraat die beweging was, en of die ontwerp duursaam genoeg was om herhaaldelike gebruik te weerstaan.

Leerder 7 het tydens 'n selfassessering geskryf:

Ek het besef ons besluit moes nie net gaan oor wat ek dink die beste is nie, maar oor watter klou die werk gedoen het.

Hierdie waarnemings illustreer analitiese denke (kwadrant A), aangesien leerders data moes interpreteer, vergelykings tussen prototipes moes tref en die resultate moes gebruik om 'n rasonale besluit te regverdig. Praktiese denke (kwadrant B) was ook sentraal, aangesien die fisiese toetsing en aanpassing van die prototipes presisie en noukeurige aandag aan besonderhede vereis het.

Deur hierdie siklus het leerders eerstehands ervaar dat tegniese en meganiese ontwerpe slegs as suksesvol beskou kan word indien dit aan duidelik gedefinieerde kriteria voldoen. Hierdie proses het nie net hul vaardigheid in praktiese bouwerk versterk nie, maar ook hul vermoë om data-gedrewe besluite te neem, kritiese analise toe te pas en spanwerk te benut. Daarmee het die siklus 'n belangrike brug geskep tussen praktiese bouvaardighede en wetenskaplike, data-gedrewe beredenering – 'n noodsaaklike vaardigheid vir latere fases van Kodering en robotika-onderrig.

7.3.5 Siklus 5: Evaluering van kloudoeltreffendheid en produkresensies

Hierdie siklus het voortgebou op die vorige siklus deur die evaluering van klou-ontwerpe meer gestruktureerd en reflektief te benader. Leerders het hul eie prototipes saamgestel en dit aan 'n sistematiese evaluering onderwerp. Hierdie evaluering het praktiese funksionaliteitstoetse ingesluit, waar die kloue se vermoë om voorwerpe van verskillende vorms en gewigte op te tel en vas te hou gemeet is. Ook produkresensies waarin leerders hul prototipes krities moes beoordeel en terugvoer moes gee oor die werk van ander groepe. Ek het dit in my refleksie-joernaal van 3 Maart opgeteken:

Groepe het rekord gehou van suksesvolle optelpogings en terugvoer van medeleerders. Hierdie data is gebruik om die uiteindelijke ontwerpkeuse te motiveer.

Die resensieproses het 'n kernrol gespeel. Leerders moes nie net hul eie ontwerpkeuses verduidelik en regverdig nie, maar ook die werk van ander groepe beoordeel en konstruktiewe terugvoer gee. Leerder 12 het tydens 'n groepsbespreking gesê:

Ek sien nou waarom julle klou so werk.

Hierdie interaksies het analitiese denke (kwadrant A) aangespreek deurdat leerders funksionaliteit en doeltreffendheid sistematies ontleed het, en praktiese denke (kwadrant B) is versterk deur die fisiese bou, toets en aanpassing van prototipes. Relasionele denke (kwadrant C) is gestimuleer deur spanonderhandelinge en resensies, terwyl eksperimentele denke (kwadrant D) geaktiveer is deur kreatiewe aanpassings en die verkenning van onkonvensionele oplossings.

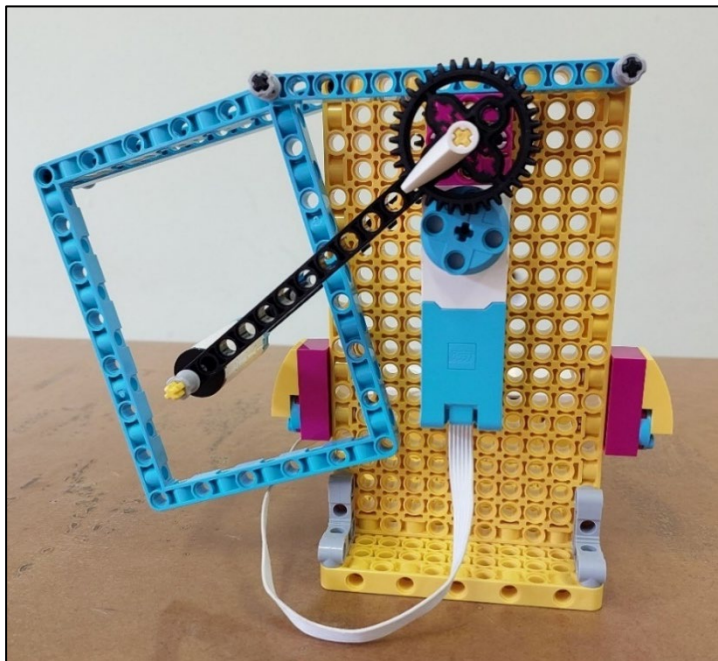
Aan die einde van die siklus het elke groep 'n gesamentlike refleksie-opdrag voltooi, waarin hulle hul prototipe verduidelik, ontwerpkeuses gemotiveer en geleerde lesse gedeel het. Leerder 8 het gesê:

Ek verstaan nou beter hoekom toetsing en terugvoer so belangrik is – dit help ons om 'n beter produk te bou en ons denke te verbeter.

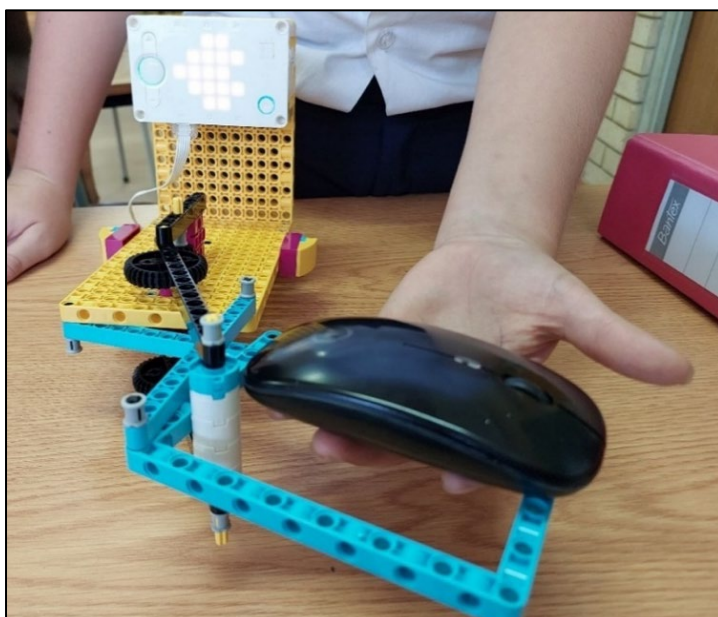
Hierdie refleksies het die siklus afgerond deur die verband tussen ontwerp, evaluering en leer duidelik te maak. Leerders het nie net tegniese vaardighede in prototipering versterk nie, maar ook kritiese denkvermoë, selfbewustheid en volgehoue verbetering as deel van die leerproses ervaar.

7.3.6 Siklus 6: Verbetering van ontwerp en funksionaliteit

In hierdie siklus is leerders met 'n oop uitdaging gekonfronteer. Anders as in vorige siklusse, waar die take en doelwitte duidelik omskryf was, moes hulle hierdie keer 'n robot bou sonder 'n voorafbepaalde funksie. Hierdie benadering het hulle gedwing om eers self 'n probleem of behoefte te identifiseer, en daarna 'n oplossing te ontwerp wat deur hul robot aangespreek kon word (sien figuur 14 en 15).



Figuur 14. 'n Oop robotontwerp



Figuur 15. Outomatiese muisbeweging deur robot

Aanvanklik het groepe saam besluit watter funksionaliteit hul robot sou hê. Leerder 4 het opgemerk:

Ons wil hê die robot moet klein blokkies kan skuif, maar ons weet nie of dit gaan werk nie – ons moet dit toets.

In my refleksiejoernaal op 10 Maart staan die volgende:

Die leerders het self probleme geïdentifiseer en ontwerpbesluite geneem; ek sien hoe hulle logies probeer om die beweging van die robot aan te pas op grond van praktiese toetsing.

Groepe het daarna prototipes ontwerp en gebou, die funksionaliteit getoets, en die resultate gebruik om hul robotte te verfyn. Leerder 10 het gesê:

Eers het die wiel vasgehaak, maar toe verander ons die posisie en kyk wat gebeur – ek het regtig gevoel ons leer deur te doen.

Hierdie iteratiewe siklus van ontwerp, toetsing en aanpassing het leerders bewus gemaak van die belangrikheid van voortdurende verfyning as deel van die ingenieursproses. Tydens hierdie siklus is vier HBDI®-kwadrante aktief betrek:

- Analitiese denke (kwadrant A): definisie van funksionaliteit, logiese koderingstappe en evaluering van doeltreffendheid.
- Praktiese denke (kwadrant B): fisiese bouwerk, aanpassing van komponente en presiese implementering van instruksies.
- Relasionele denke (kwadrant C): samewerking in spanne, bespreking van idees en konsensus oor robotfunksies.
- Eksperimentele denke (kwadrant D): die oop aard van die taak wat ruimte geskep het vir innoverende verkenning, kreatiewe variasies en toetsing van onkonvensionele oplossings.

Tydens hierdie siklus is nie slegs tegniese vaardighede ontwikkel nie, maar ook selfstandigheid, spanwerk en kreatiewe vryheid. Leerder 7 het in 'n selfassessering geskryf:

Ek dink ons span het goed saamgewerk en nuwe idees probeer. Dit was moeilik om te besluit, maar ek voel ons het almal bygedra.

Deur probleemidentifikasie, ontwerpontwikkeling en iteratiewe verfyning saam te voeg, het leerders ervaar hoe tegnologie en verbeelding geïntegreer kan word om unieke oplossings te skep wat hulle meer uitdaag as die voorafbepaalde take. Hierdie siklus het die grondslag gelê vir die meer komplekse en geïntegreerde projekte wat in die daaropvolgende siklusse gevolg het.

7.3.7 Siklus 7: Navigasie van die LEGO® Spike Prime™-toepassing op die Samsung Galaxy Tab A7 Lite

Volgens Leerder 6 het die proses aanvanklik uitdagend gevoel:

396

In my refleksiejoernaal het ek op 5 Mei opgemerk:

Geleidelik het leerders selfvertroue ontwikkel in die hantering van die digitale omgewing; hulle begin projekte organiseer en kode korrek oplaai sonder voortdurende ondersteuning.

Hierdie tegniese vaardighede was noodsaaklik vir die gladde funksionering van robotika-aktiwiteite, aangesien dit die brug vorm tussen fisiese bouwerk en digitale programmering. Leerder 9 het in 'n selfassessering geskryf:

Ek kon uiteindelik die blokkies kombineer en sien hoe die robot presies doen wat ek wil hê dit moet doen – dis lekker om selfstandig te werk.

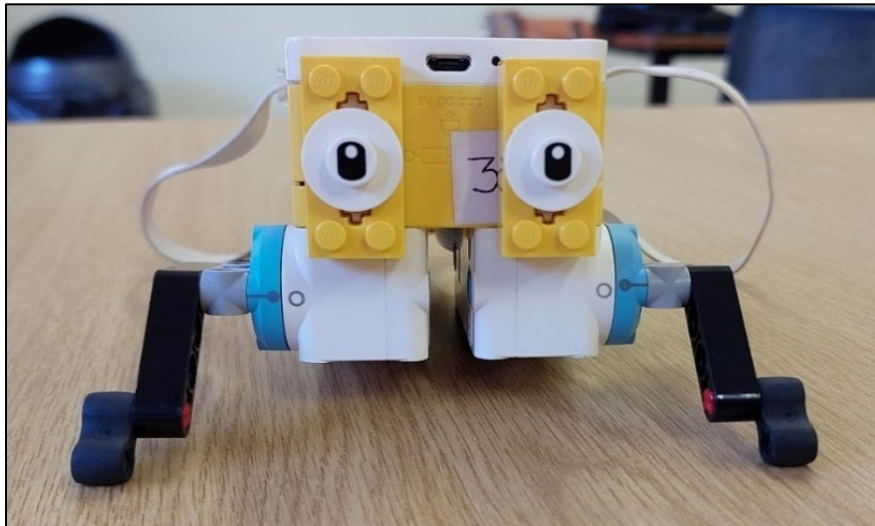
Die bostaande voorbeelde bevestig dat al vier HBDI®-kwadrante tydens hierdie siklus aktief betrek is:

- Analitiese denke (kwadrant A): verfyn deur sistematiese kombinasie van blokkies en logiese ordening van programme.
- Praktiese denke (kwadrant B): geaktiveer deur die akkuraatheid wat vereis is om lêers korrek te benoem, projekte te organiseer en programme presies uit te voer.
- Relasionele denke (kwadrant C): aangespreek toe leerders saam in groepe moes werk om tegniese uitdagings te oorkom, soos sinchronisering van toestelle en die deel van programme.
- Eksperimentele denke (kwadrant D): geaktiveer deur die verkenning van nuwe moontlikhede binne die toepassing, soos die toetsing van alternatiewe blokkombinasies en kreatiewe optimalisering van programme.

Tydens hierdie siklus is 'n balans geskep tussen tegniese akkuraatheid en kreatiewe digitale verkenning. Leerders is toegerus met vaardighede wat nie net die huidige robotika-aktiwiteite vergemaklik nie, maar ook 'n fondament lê vir meer komplekse kodering- en robotikaprojekte in latere siklusse.

7.3.8 Siklus 8: Verkenning van gevorderde koderingskonsepte

In hierdie siklus het leerders 'n beweegbare robot gebou wat van rigting kon verander, afstande kon aflê en draaie kon uitvoer sonder om wiele te gebruik (sien figuur 17).



Figuur 17. Beweegbare robot sonder wiele

Die uitdaging het vereis dat kodering van bewegings geïntegreer word met fisiese aanpassings van die robot, wat beteken het dat leerders voortdurend moes skakel tussen digitale programmering en meganiese verfyning. Leerder 8 het tydens 'n toetsopdrag opgemerk:

Eers beweeg hy nie reg nie, maar toe ek die motor posisioneer en die kode aanpas, werk dit perfek.

Hierdie opmerking vind aanklank by my inskrywing in my refleksiejoernaal op 19 Mei:

Leerders toon toenemende begrip van die verband tussen koderingsinstruksies en fisiese robotgedrag – hulle begin voorspel hoe 'n verandering in kode die beweging van die robot sal beïnvloed.

Daar kon afgelei word dat al vier HBDI[®]-kwadrante tydens hierdie siklus geaktiveer is:

- Analitiese denke (kwadrant A): benut in die presiese programmering van bewegingsreekse, waar leerders moes beplan watter kodes nodig was om die robot suksesvol deur 'n bepaalde baan te laat beweeg.
- Praktiese denke (kwadrant B): aangespreek deur die fisiese aanpassings aan die robot, soos die regstelling van motors, posisionering van sensors en stabilisering van komponente.
- Relasionele denke (kwadrant C): versterk deur groepwerk, waar leerders idees verduidelik, verskillende oplossings oorweeg en samewerking gebruik het om foutsoeking te vergemaklik.
- Eksperimentele denke (kwadrant D): geaktiveer deur toetsing van bewegings en die ontdekking van nuwe koderingsvariasies, aangesien leerders dikwels alternatiewe instruksies moes uitvoer om gewenste presisie te bereik.

Leerders het hul robotte self geëvalueer deur middel van 'n eenvoudige rubriek (sien tabel 3), wat daarop gemik was om selfrefleksie en bewuste foutanalise te bevorder. Die selfassesserings dui op groeiende metakognitiewe bewustheid, aangesien leerders nie slegs probleme geïden-

tifiseer het nie, maar ook doelbewus strategieë vir verbetering geformuleer het. So skryf Leerder 10 in 'n selfassessering:

Ek het gesien watter deel van my kode nie werk nie en dit verander – volgende keer sal ek dit eers toets voordat ek alles finaliseer.

Die rubriek het klem gelê op kernaspekte soos beweging en akkuraatheid, doeltreffendheid van die kode, meganiese ontwerp, probleemoplossingsvaardighede en spanwerk. Kort refleksievrae het leerders gehelp om te identifiseer watter dele van hul robot of kode die beste gewerk het, watter dele verbeter moes word, en watter nuwe idees hulle in die volgende poging wou toets. Hierdie kombinasie van selfevaluering en refleksie het die leerervaring verdiep deur leerders se verantwoordelikheid vir eie leer te bevorder en deurlopende verbetering van tegniese en samewerkende vaardighede te ondersteun.

Tabel 2. Rubriek vir selfevaluering van robotprestasie

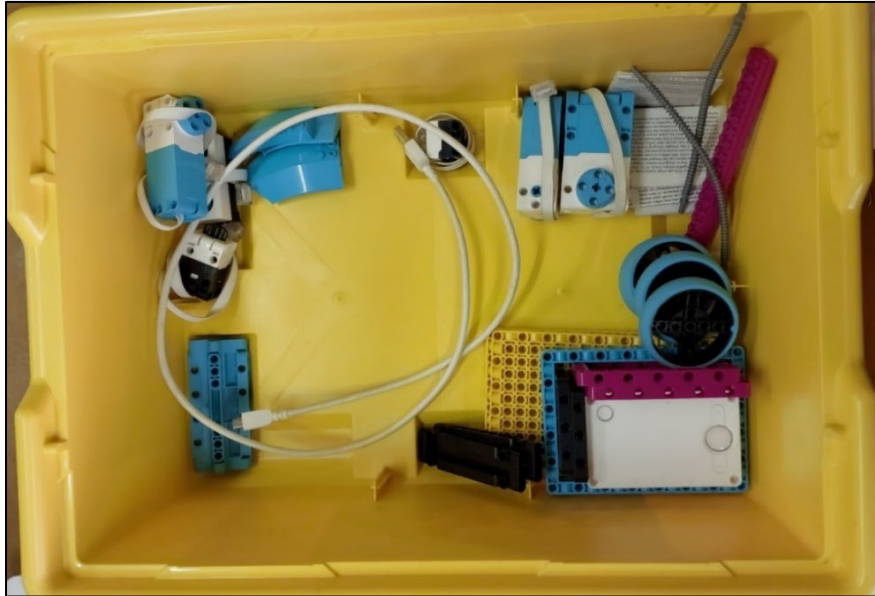
Kriteria	4 – Uitstekend	3 – Goed	2 – Redelik	1 – Beperk
Beweging en akkuraatheid	Robot het die baan presies voltooi sonder foute	Robot het klein foute gemaak, maar die baan meestal gevolg	Robot het slegs 'n gedeelte van die baan voltooi	Robot kon nie die baan voltooi nie
Kodering	Kode het foutloos gewerk en instruksies was duidelik	Klein aanpassings was nodig, maar die meeste instruksies het gewerk	Basiese bewegings het gewerk, maar die kode was onvolledig	Kode het min of geen funksionele uitkoms gehad nie
Meganiese ontwerp	Robot was stabiel en komponente was goed aangepas	Klein probleme met balans of komponente	Robot was onstabiel en moes dikwels reggemaak word	Robot het meganiese nie gefunksioneer nie
Probleemoplossing	Ek/ons het kreatiewe oplossings gevind en dit vinnig toegepas	Oplossings was bruikbaar, maar nie altyd volhoubaar nie	Min nuwe oplossings is probeer	Geen poging om oplossings te vind nie
Spanwerk (indien groepe)	Almal het aktief bygedra en goed saamgewerk	Die meeste lede het bygedra	Slegs 'n paar lede het bygedra	Geen samewerking nie

Hierdie siklus het leerders nie net blootgestel aan komplekse koderingsvaardighede nie, maar ook aan die interaktiewe aard van probleemoplossing in robotika, waar digitale en fisiese elemente voortdurend geïntegreer moet word. Dit vorm 'n belangrike stap in die uitbreiding van hul begrip van kodering as 'n praktiese en kreatiewe instrument.

7.3.9 Siklus 9: Verbetering van organisatoriese vaardighede vir LEGO® Spike Prime™-stelle

Hierdie siklus het gefokus op die ontwikkeling van leerders se organisatoriese vaardighede deur die sistematiese rangskikking en verpakking van LEGO® Spike Prime™-stelle. Die doel

was om 'n gestruktureerde leeromgewing te skep waarin orde en doeltreffendheid die leerproses ondersteun. Leerders moes leer om komponente korrek te kategoriseer, bergingspasië optimaal te benut en maniere te vind om skade of verliese van belangrike onderdele te minimaliseer (sien figuur 18).



Figuur 18. Organisering van LEGO® Spike Prime™-stelle

Hierdie proses het hulle geleer dat die aanleer en toepassing van tegnologiese vaardighede nie slegs die bou en programmering van robotte behels nie, maar ook die ontwikkeling van netjiese organisasie, sistematiese werk en verantwoordelikheid vir hulpmiddele. Leerder 6 het tydens die aktiwiteit opgemerk:

As ek alles in dieselfde bakkie sit, kan ek vinniger die dele kry en my robot regkry sonder om te soek.

In my refleksiejoernaal op 2 Junie skryf ek:

Die proses van sorteer en kategoriseer het leerders geleer om vooruit te beplan en sistematies te werk, wat hulle organisasievaardighede aansienlik verbeter het.

Die siklus het al vier HBDI®-kwadrante aangespreek:

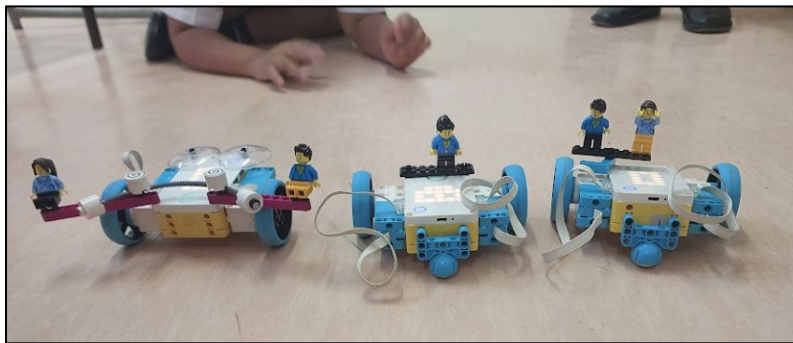
- **Relasionele denke (kwadrant C):** versterk deur samewerking in groepe om 'n gesamentlike stelsel van organisasie te ontwikkel en toe te pas. Leerder 9 het byvoorbeeld gesê:
Ek en my span het besluit om motors by motors te hou en sensor by sensor – dit maak dit makliker vir almal om te werk.
- **Praktiese denke (kwadrant B):** aangespreek deur die fisiese sortering en kategorisering van onderdele, wat presisie en aandag aan besonderhede vereis het.
- **Analitiese denke (kwadrant A):** geaktiveer deur kritiese besluitneming oor die effektiwste manier om stelle te orden en bergingspasië optimaal te benut.

- Eksperimentele denke (kwadrant D): benut deur leerders wat kreatiewe variasies probeer het, soos deur etikette te gebruik of klein onderdele in bakkies te plaas.

Hierdie proses het leerders geleer dat tegniese vaardighede nie slegs die bou en programmering van robotte behels nie, maar ook die dissipline van netjiese organisasie en verantwoordelikheid vir hulpmiddele. Spanwerk het 'n gevoel van kollektiewe verantwoordelikheid versterk, wat in toekomstige projekte waardevol sou wees. Hierdie siklus het dus nie net logistieke vaardighede ontwikkel nie, maar ook 'n belangrike bewustheid van orde en sistematiese werk as deel van tegniese sukses.

7.3.10 Siklus 10: Bevordering van geometriese koderingsvaardighede met lusse ("loops")

In hierdie siklus het die klem geval op die toepassing van herhalende patrone in kodering deur middel van lusse. Leerders het 'n beweegbare robot deur 'n doolhof laat beweeg deur algoritmes te ontwikkel wat rigtings, afstande en draaie presies gekombineer het (sien figuur 19 en 20).



Figuur 19. Opstel van robotte vir doolhofnavigasie



Figuur 20. Navigasie van 'n doolhof deur algoritmiese kodering

Die lusse te gebruik het leerders ervaar hoe herhalende bewegings gekodeer kan word om 'n komplekse taak eenvoudiger en meer doeltreffend te maak. Hierdie gestruktureerde benadering tot programmering het die belangrikheid van algoritmiese beplanning en probleemoplossing beklemtoon. Leerder 8 het opgemerk:

Ek sien nou hoe ek dieselfde rigting kan herhaal sonder om elke keer die kode te skryf – dit maak dinge baie makliker!

Hierdie waarneming illustreer hoe die gestruktureerde gebruik van lusse die begrip van herhaling en algoritmiese beplanning versterk het. In my refleksiejoernaal van 19 Junie noteer ek:

Leerders het geleer om patrone in beweging te identifiseer en dit te vertaal na lusse, wat beide die logika en die doeltreffendheid van hul kode verbeter het.

Die siklus het al vier HBDI[®]-kwadrante aangespreek:

- Analitiese denke (kwadrant A): geaktiveer deur die logiese opbreek van bewegingsreekses in herhalende patrone en die presiese programmering van hierdie reekse.
- Eksperimentele denke (kwadrant D): versterk deur die toetsing van verskillende algoritmes en die ontdekking van nuwe oplossings wanneer die robot onverwags verkeerd beweeg het of nie die doolhof suksesvol kon voltooi nie. Leerder 11 het byvoorbeeld gesê: Ons het probeer om die draaie anders te kodeer – dit het uiteindelik baie vinniger gewerk.
- Relasionele denke (kwadrant C): aangespreek deurdat groepe saam strategieë moes ontwikkel, kode moes verduidelik en oplossings met mekaar moes toets en verfyn.
- Praktiese denke (kwadrant B): geaktiveer deur die fisiese implementering van die robot se bewegings en die akkuraatheid van draaie en afstande.

As deel van die assessering het leerders hul eie werk ná elke doolhofpoging geëvalueer met behulp van 'n selfassesseringsrubriek (tabel 3), wat fokus op kernaspekte soos die gebruik van lusse, doolhofvoltooiing, algoritmiese beplanning, probleemoplossing en spanwerk. Leerder 9 het in die refleksievrae geskryf:

Ek verstaan nou beter hoe ek my kode kan toets en verbeter – elke fout leer my iets nuuts oor die robot en die lusse.

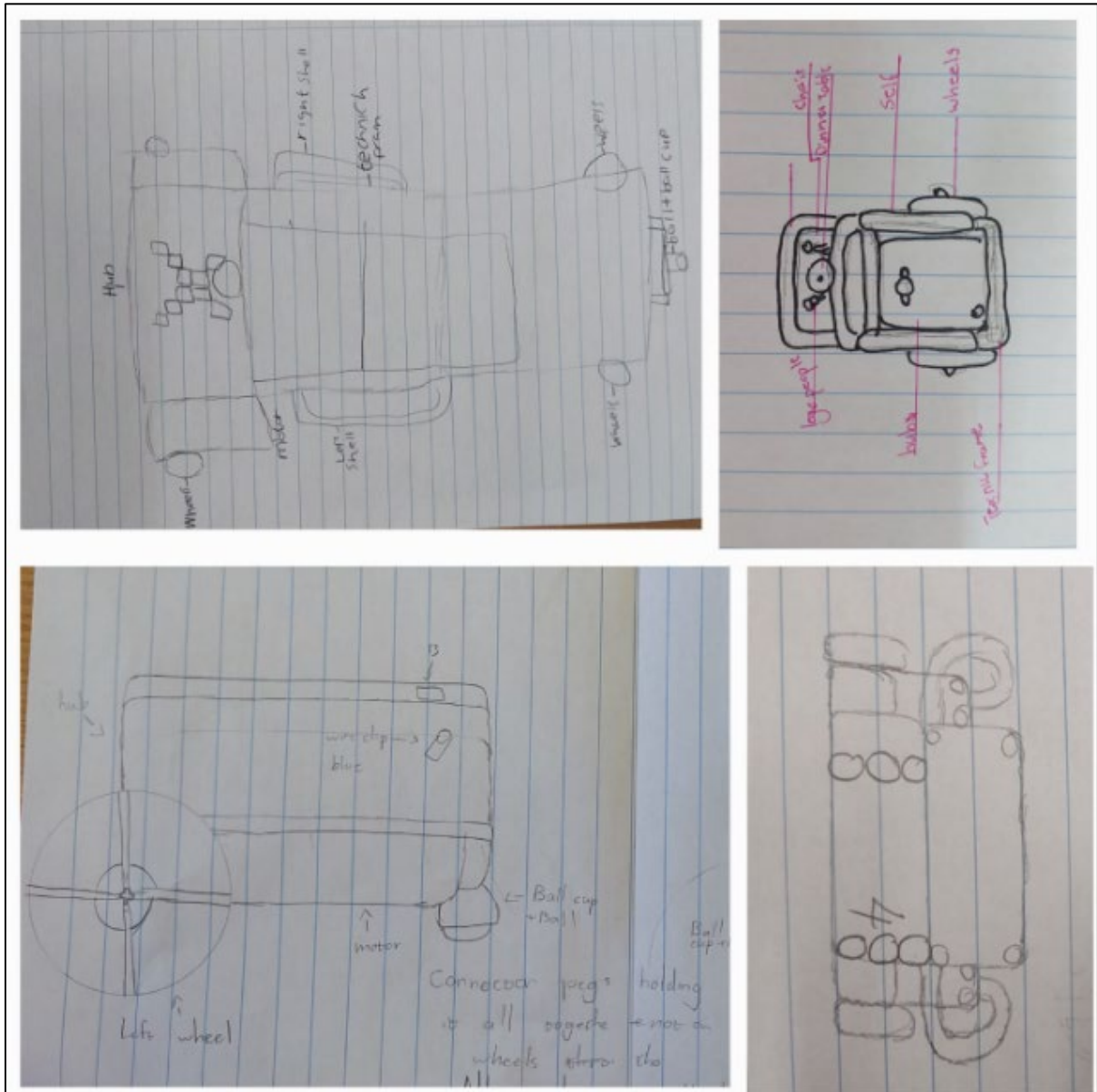
Tabel 3. Rubriek vir robotsselfassessering

Kriteria	4 – Uitstekend	3 – Goed	2 – Redelik	1 – Beperk
Gebruik van lusse	Lusse word korrek en doeltreffend gebruik om komplekse bewegings te vereenvoudig	Lusse meestal korrek; geringe ondoeltreffendhede	Basiese lusse gebruik; herhalings werk nie altyd funksioneel nie	Min of geen gebruik van lusse nie
Doolhof-voltooiing	Robot voltooi die doolhof foutloos	Robot voltooi die doolhof met geringe foute of aanpassings	Robot voltooi die doolhof gedeeltelik	Robot voltooi nie die doolhof nie
Algoritmiese beplanning	Bewegings goed gestruktureer en logies beplan	Beplanning meestal logies	Beplanning onvolledig	Min of geen beplanning nie
Probleem-oplossing en eksperimentering	Aktief getoets, aangepas en kreatiewe oplossings toegepas	Sommige aanpassings gemaak	Min aanpassings of idees probeer	Geen poging om oplossings te vind nie
Spanwerk en kommunikasie	Uitstekende samewerking en duidelike verduideliking van idees	Goeie samewerking	Gedeeltelike deelname	Geen samewerking nie

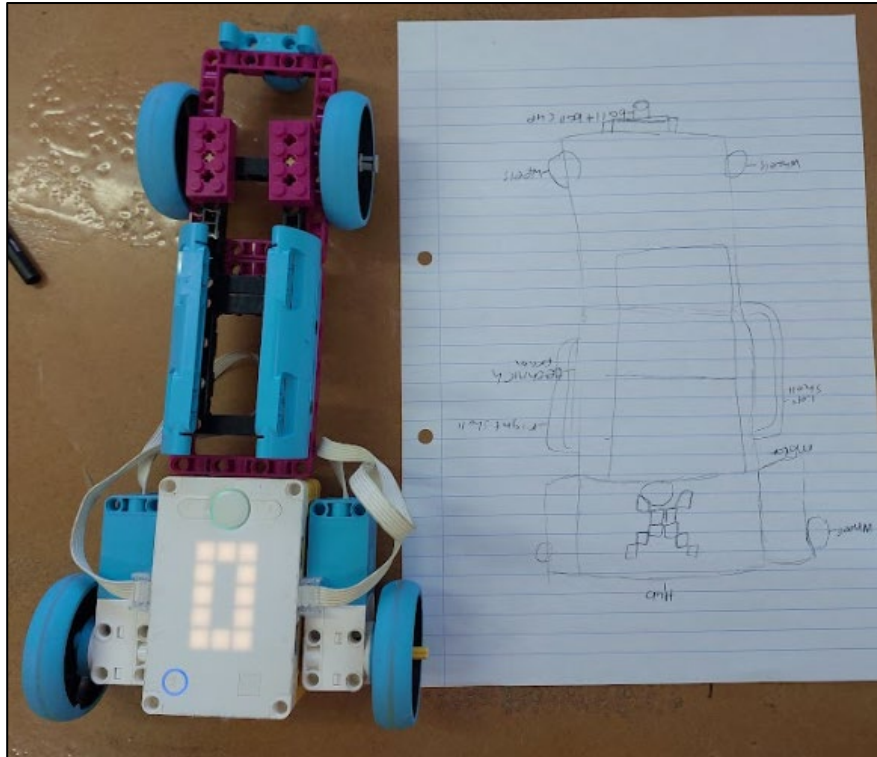
Hierdie kontinuering van toetsing, refleksie en verbetering het nie net die tegniese en logiese vaardighede van leerders versterk nie, maar ook hul eksperimenterende en samewerkende denke bevorder. Die siklus het dus die kombinasie van tegniese vaardigheid, kreatiewe eksperimente, samewerking en gestruktureerde beplanning duidelik beklemtoon.

7.3.11 Siklus 11: Iteratiewe prototipering en verbeterde koderingsvaardighede

In hierdie siklus het leerders gefokus op iteratiewe prototipering en die ontwikkeling van gevorderde koderingsvaardighede deur miniatuurmotors te ontwerp, bou en programmeer om spesifieke take uit te voer (sien figuur 21 en 22). Die proses is gestruktureer as 'n siklus van ontwerp, toets, verfyn en hersien, wat leerders se begrip van volgehoue verbetering en herontwerp as kernaspekte van tegnologiese innovasie versterk het.



Figuur 21. Voorbeelde van miniatuumotorontwerpe



Figuur 22. Voorbeeld van miniatuurmotorontwerp en motor

Tydens die toetsfase het dit duidelik geword dat leerders toenemend selfstandig foute begin identifiseer en doelbewus aanpassings maak. In hierdie verband het Leerder 12 die volgende opgemerk:

Elke keer as die motor nie die taak regkry nie, dink ek na oor wat verkeerd is en probeer iets anders – ek sien nou hoe klein veranderinge 'n groot verskil maak.

Hierdie opmerking dui op die ontwikkeling van reflektiewe probleemoplossing en 'n groeiende begrip van iterasie as leerstrategie. Dit word ondersteun deur my refleksiejoernaalinskrywing van 22 Junie, waarin ek opmerk:

Leerders het hul eie foute opgespoor, verbeterings aangebring en terugvoering van medeleerders geïntegreer – 'n duidelike aanduiding van analitiese en eksperimentele denke in aksie.

Die beskrywings van foutontleding en sistematiese verbetering dui op analitiese denke (kwadrant A), aangesien leerders die logiese struktuur van hul kode ontleed het om optimale funksionaliteit te bereik. Die praktiese implementering van aanpassings aan die miniatuurmotors en die presiese toetsing daarvan weerspieël praktiese denke (kwadrant B), waar orde, akkuraatheid en strukturele integriteit noodsaaklik was. Die integrasie van terugvoering van medeleerders en deelname aan groepsbesprekings het relasionele denke (kwadrant C) versterk, aangesien besluitneming kollektief plaasgevind het. Die bereidheid om alternatiewe oplossings te probeer en nuwe kombinasies van sensors en koderingsopsies te verken, demonstreer eksperimentele denke (kwadrant D).

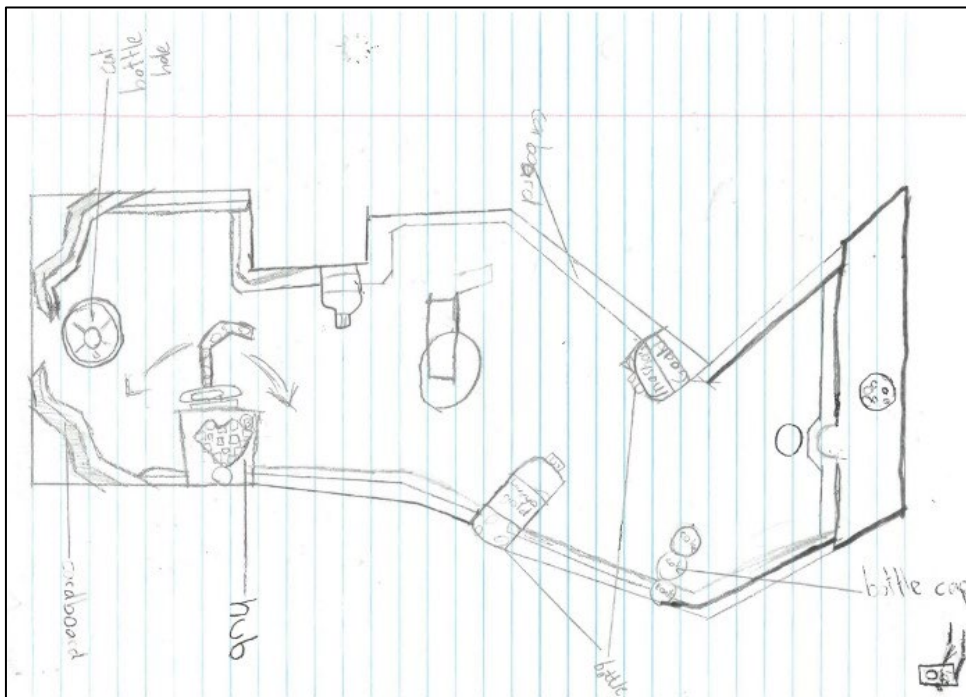
Ten einde die ontwikkeling van selfregulering verder te ondersoek, is selfassessering as deel van die refleksieproses gebruik. In hierdie verband het Leerder 14 geskryf:

Ek het geleer dat klein aanpassings in die kode en motorontwerp 'n groot invloed op die uitkoms het. Ek verstaan nou beter hoe herhaling en toetsing my kan help om suksesvol te wees.

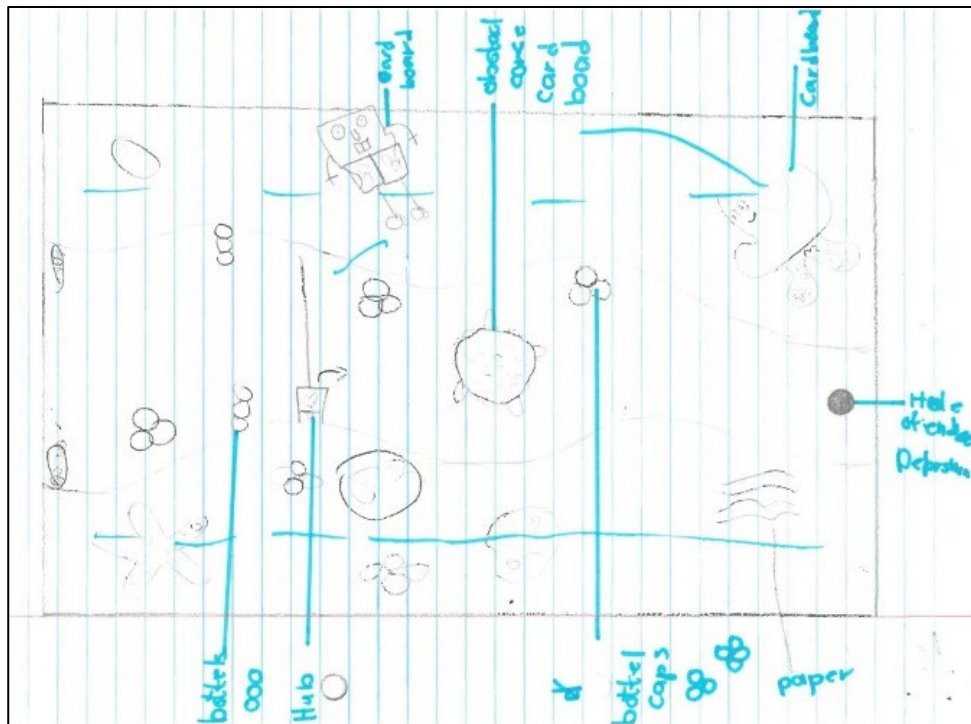
Hierdie refleksie bevestig dat leerders nie slegs tegniese vaardighede ontwikkel het nie, maar ook 'n dieper begrip van iteratiewe verbetering en metakognitiewe bewuswording verwerf het.

7.3.12 Siklus 12: Verkenning van volhoubare oplossings en verbeterde beplanning en ontwerp (3 weke)

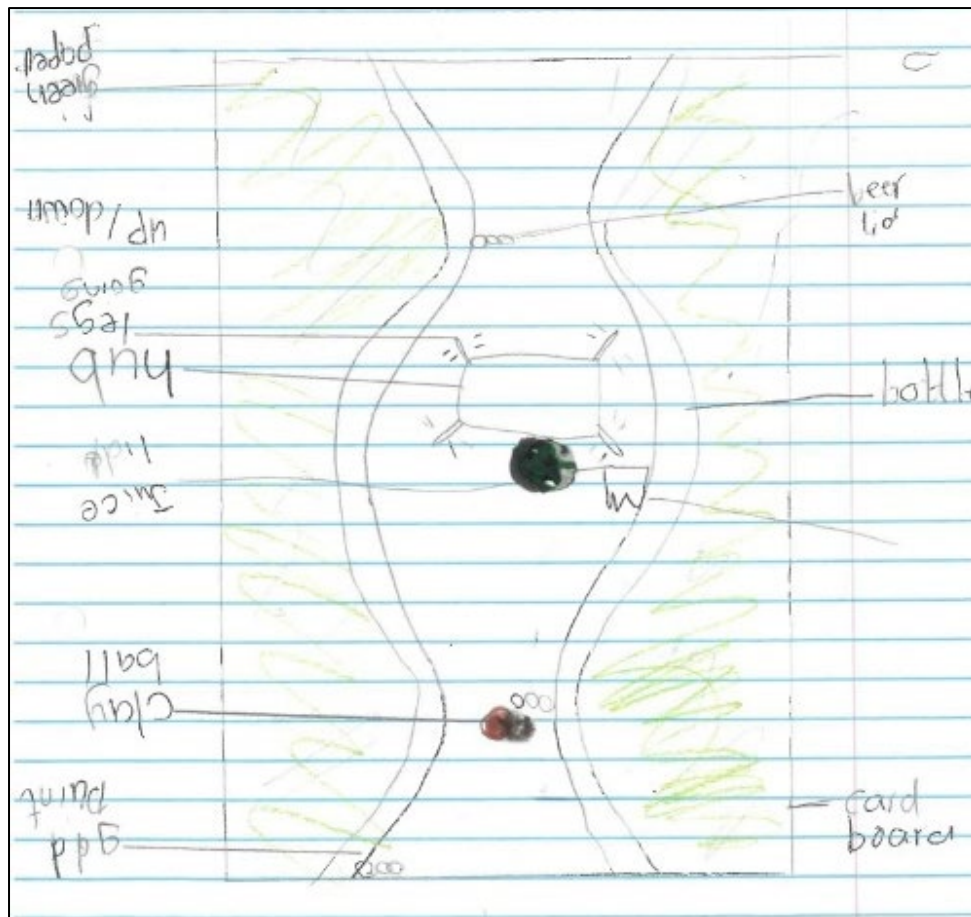
Hierdie drieweeksiklus het gefokus op die integrasie van volhoubare ontwerp, kritiese beplanning en kreatiewe probleemoplossing. Groepe het begin deur verskeie putt-putt-baanontwerpe te konseptualiseer en die funksionaliteit, estetika, bruikbaarheid en omgewings-impak van verskillende materiaalopsies sistematies te evalueer. Figuur 23, 24 en 25 toon voorbeelde van hierdie vroeë ontwerpe.



Figuur 23. Voorbeeld van 'n putt-putt-baanontwerp



Figuur 24. Nog 'n voorbeeld van 'n putt-putt-baanontwerp



Figuur 25. 'n Derde voorbeeld van 'n putt-putt-baanontwerp

Reeds tydens die beplanningsfase het leerders analitiese en praktiese denke geïntegreer deur ontwerpbesluite sistematies te oorweeg voordat enige fisiese konstruksie begin het. Hierdie fase was belangrik omdat dit die grondslag gelê het vir doelgerigte, volhoubare ontwerpkeuses in die daaropvolgende bouproses. Leerders het onder meer vergelyk watter ontwerp die grootste stabiliteit sou bied, hoe hellings die bal se bewegings sou beïnvloed en watter materiale bruikbaar maar terselfdertyd volhoubaar sou wees. In my refleksiejoernaal van 2 September merk ek in hierdie verband op:

Groepe vra doelgerig na materiaalsterkte, herbruikbaarheid en omgewingsimpak. Hulle redeneer reeds op 'n vlak waar funksionaliteit en volhoubaarheid gelyktydig weeg.

Hierdie waarneming bevestig dat leerders nie bloot estetiese of praktiese oorwegings maak het nie, maar volhoubaarheidsbeginsels aktief in hul besluitneming geïntegreer het.

Nadat elke groep op 'n voorlopige konsep besluit het, is planne in besonderhede ontwikkel. Ek het volhoubare beginsels doelbewus beklemtoon, en leerders het herwinbare materiaal met LEGO®-komponente gekombineer. Hierdie proses het kreatiewe denke geaktiveer, aangesien groepe unieke maniere gevind het om afvalmateriaal struktureel en esteties funksioneel te benut.

Tydens 'n groepsbespreking oor materiaalkeuses en strukturele stabiliteit het Leerder 19 die volgende opgemerk:

Ons probeer om minder plastiek te gebruik, maar steeds iets te bou wat sterk genoeg is – dis moeilik, maar interessant.

Hierdie opmerking illustreer die spanning tussen strukturele funksionaliteit en volhoubaarheid, asook die bewuste afweging van ontwerpkeuses. Dit dui op analitiese denke in die evaluering van materiaalsterkte, praktiese denke in die oorweging van konstruksie-implikasies, en eksperimentele denke in die soeke na alternatiewe oplossings.

Die groepe het gereeld hul planne aan my voorgelê, terugvoer ontvang en daarna aanpassings maak. Hierdie interaksies het relasionele denke bevorder en 'n samewerkende klasdinamiek geskep waarin elke stem gehoor is en elke voorstel oorweeg is. Die drie weke het geleidelik oorbeweeg van vrye ideevorming na meer gestruktureerde beplanning, wat leerders voorberei het om in die volgende siklus doelgerig en verantwoordelik tot fisiese implementering oor te gaan.

7.3.13 Siklus 13: Integrasie vir Kodering en robotika

In hierdie siklus is projekte na 'n nuwe vlak geneem deur kodering en robotika doelbewus te integreer. Leerders het die ontwerp van hul gholfbane en troeteldiere voortgesit, maar moes nou kodering gebruik om beweging, interaksie en funksionaliteit te beheer.

Byvoorbeeld: In die gholfbaanprojekte het groepe kodering gebruik om die bewegings van 'n meganiese spil te beheer, terwyl troeteldiere reaksie op aanraking of lig getoon het. Leerder 15 het gesê:

Ek verstaan nou hoekom die motor slegs werk as die sensor reg geplaas is – dis soos 'n geheime kombinasie!

Hierdie integrasie het analitiese denke aangespreek, terwyl praktiese denke nodig is om die LEGO®-elemente akkuraat te monteer. Kreatiewe denke het na vore gekom toe groepe nuwe interaktiewe elemente geskep het. Relasionele denke is gestimuleer omdat leerders mekaar se logika moes verstaan, foute bespreek en kode verfyn. Leerder 21 het opgemerk:

Ons het eers nie verstaan hoe die sensor en motor saamwerk nie, maar toe werk dit mooi nadat ons saam besin het.

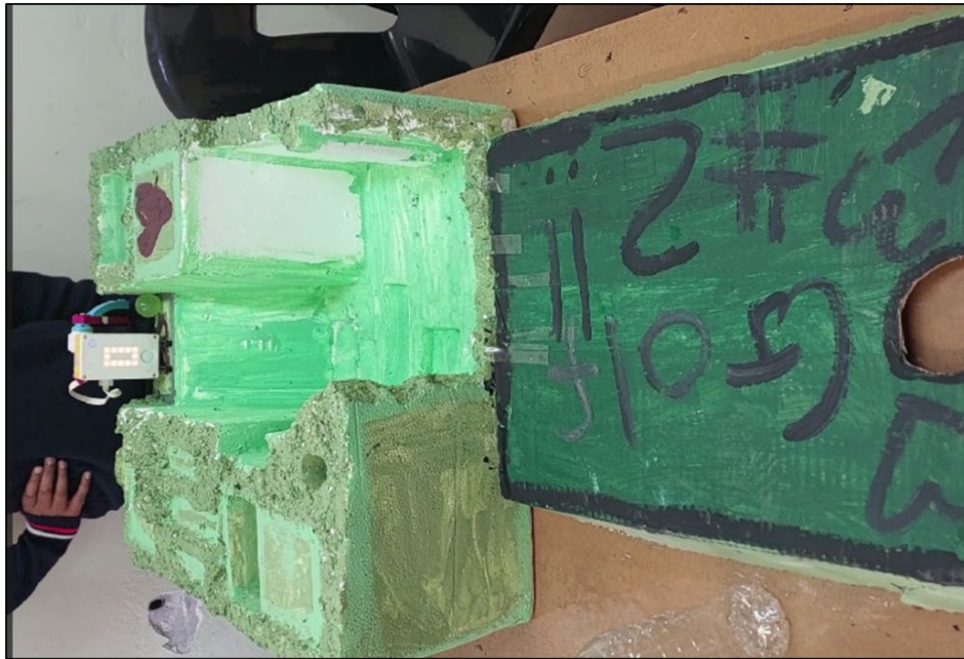
Hierdie siklus het duidelik gewys dat kodering nie in isolasie bestaan nie, maar funksioneel met ontwerp en samewerking verweef is. Leerders het begin besef dat tegnologie kreatief én verantwoordelik aangewend kan word.

7.3.14 Siklus 14: Toetsing, iterasie en aanbieding

Die finale siklus het op die toetsing, verfyning en aanbieding van projekte gefokus. Leerders het hul projekte volledig getoets, funksionaliteitskwessies geïdentifiseer, oplossings ontwikkel en herhaaldelik getoets. Figuur 26–28 illustreer voltooide projekte.



Figuur 26. Voorbeeld van 'n voltooide putt-putt-projek



Figuur 27. Nog 'n voorbeeld van 'n voltooide putt-putt-projek



Figuur 28. 'n Derde voorbeeld van 'n voltooide putt-putt-projek

Ek het riglyne saam met die leerders ontwikkel om die toetsing te struktureer en om iteratiewe verbeterings sistematies te beplan. Hulle het begin deur hul projekte volledig te toets en spesifieke funksionaliteitskwessies te identifiseer. Daarna het hulle oplossings ontwikkel, dit geïmplementeer en weer getoets. Die doeltreffendheid van hierdie benadering word deur twee leerders se opmerkings bevestig. Leerder 17 het gesê:

Ons bal rol nie reguit nie, so ons moet die helling aanpas – ek het dit probeer en dit werk beter.

Leerder 23 was van mening dat hulle elke keer iets nuuts leer:

Elke keer as ons iets verander, leer ons nuwe dinge oor hoe die motor en sensor saamwerk.

Leerders is tydens hierdie siklus gedwing om analities en prakties te dink, aangesien hulle voortdurend aandag aan besonderhede moes gee en met presisie moes aanpas om resultate te verbeter.

In hierdie siklus het leerders analitiese en praktiese denke toegepas, aangesien hulle voortdurend aandag aan besonderhede moes gee en presies moes aanpas om resultate te verbeter. Die toetsing het nie slegs op tegniese aspekte gefokus nie, maar ook op volhoubaarheid en bruikbaarheid. Terugvoerprosesse binne groepe het samewerking versterk, aangesien leerders nuwe idees ingebring en ontwerpe aangepas het.

Groepe het hul finale produkte aan die klas aangebied en moes verduidelik watter ontwerp- en koderingskeuses hulle gemaak het, hoe kodering en fisiese ontwerp geïntegreer is, en watter strategieë gebruik is om probleme te oorkom. Hierdie aanbiedings het nie slegs tegniese begrip getoets nie, maar ook leerders se vermoë om hul denke te verwoord en reflektief oor hul leerproses te rapporteer. In hierdie verband het Leerder 20 die volgende opgemerk:

Ek kan nou verduidelik hoekom ons hierdie strategie gebruik het en hoe ons probleme opgelos het – dis soos 'n storie van ons projek.

Hierdie opmerking dui op die ontwikkeling van metakognitiewe bewustheid en kommunikasievaardighede, aangesien die leerder nie slegs die tegniese oplossing verstaan nie, maar ook die onderliggende denkproses kan artikuleer. Dit bevestig dat die aanbiedingsfase as reflektiewe integrasiepunt gefunksioneer het waar analitiese, praktiese en relasionele denke saamgesnoer is.

Die afsluitende refleksie het die waarde van iterasie beklemtoon. Leerders het erken dat aanvanklike foute en mislukkings noodsaaklike dele van die leerproses vorm, en dat die kombinasie van analitiese, praktiese, relasionele en kreatiewe denke nodig is om tegnologieprojekte suksesvol te voltooi.

Assessering is gestruktureer rondom toetsing, iterasie, samewerking en aanbieding. Leerders is beoordeel op hul vermoë om projekte sistematies te toets, probleme te identifiseer, oplossings te ontwikkel en aanpassings deur iterasie toe te pas (tabel 4).

Tabel 4. Assesseringsrubriek vir projektoetsing en aanbidding

Kriteria	4 – Uitstekend	3 – Goed	2 – Redelik	1 – Beperk
Projektoetsing	Alle funksies sistematies getoets; probleme volledig geïdentifiseer en gedokumenteer	Die meeste funksies getoets; sleutelfoute geïdentifiseer	Basiese funksies getoets; sommige probleme nie opgemerk nie	Min of geen toetsing nie; probleme bly onopgelos
Herhaling en verbetering	Oplossings kreatief en doeltreffend geïmplementeer; projek toon duidelike verbetering na elke herhaling	Verbeterings goed toegepas; doeltreffendheid is duidelik	Sommige aanpassings gemaak; beperkte verbetering	Min of geen aanpassings nie; projek toon geen verbetering nie
Analitiese en praktiese denke	Projek toon duidelike logiese beplanning en presiese aanpassings; analitiese en praktiese denke geïntegreer	Redelik logiese beplanning; die meeste aanpassings werk	Basiese beplanning; aanpassings werk nie altyd effektief nie	Beplanning en aanpassings minimaal of onfunksioneel
Relasionele denke en samewerking	Groep werk uitstekend saam, deel idees en integreer terugvoer; konstruktiewe kritiek gebruik	Goeie samewerking en terugvoer; die meeste idees geïntegreer	Beperkte samewerking; sommige terugvoer gebruik	Min of geen samewerking nie; terugvoer nie benut nie
Aanbidding en kommunikasie	Duidelike, gestruktureerde aanbidding; keuses en strategieë deeglik verduidelik	Goeie aanbidding; die meeste keuses en strategieë verduidelik	Basiese aanbidding; slegs dele van keuses of strategieë verduidelik	Swak of geen aanbidding; keuses nie verduidelik nie
Volhoubaarheid en refleksie	Volhoubare praktyke duidelik toegepas; refleksie toon diep insig in die leerproses	Volhoubaarheid oorweeg; refleksie toon goeie begrip	Beperkte volhoubaarheid en refleksie	Volhoubaarheid en refleksie afwesig

Uit tabel 4 kan afgelei word dat die doel van die finale aanbidding en portuurassessering nie bloot was om tegniese vaardighede te versterk en te assesser nie, maar ook om kritiese denke, kreatiewe probleemoplossing, kommunikasie en refleksie te bevorder, versterk en assesser. Dit het daartoe bygedra dat die leerders geleer het om hul eie leerproses doelbewus te evalueer.

Die 14 siklusse het gesamentlik 'n progressiewe en geïntegreerde leerpad geskep waarin leerders stelselmatig hul kodering- en robotikavaardighede ontwikkel het terwyl hulle gelyktydig heel-

breindenke en 21ste-eeuse vaardighede versterk het. Elke siklus het voortgebou op die vorige een en het spesifieke klem geplaas op die ontwikkeling van analitiese, praktiese, relasionele en kreatiewe denke binne realitiese en volhoubare ontwerpkontekste. Die kombinasie van beplanning, prototipering, toetsing, iterasie, aanbieding en refleksie het leerders nie net tegniese kundigheid laat opdoen nie, maar hulle ook toegerus om kompleksiteit en onsekerheid op 'n gestruktureerde en innoverende wyse te hanteer. Hierdie proses het uiteindelik die waarde van die HBDI[®] tot onderrig bevestig en gewys hoe geïntegreerde kurrikulumontwerp betekenisvolle geleenthede kan skep vir die ontwikkeling van volhoubare oplossings, kritiese denke en kreatiewe probleemoplossing in die konteks van kodering en robotika.

Ter opsomming, word die verband tussen die drie figure en die 14 aksienavorsingsiklusse as volg uiteengesit: Figuur 1 (die HBDI[®]-kwadrante) dien as teoretiese vertrekpunt wat die diversiteit van denkvoorkeure beskryf. Hierdie kwadrante is vervolgens geïntegreer in figuur 2, wat die kurrikulumontwerpmodel illustreer en aantoon hoe leerervarings gestruktureer is om al vier denkvoorkeure te aktiveer. Figuur 3 bou hierop voort deur die aksienavorsingsiklus te wys wat die praktiese implementering van die ontwerp moontlik maak. Binne elkeen van die 14 siklusse is aktiwiteite spesifiek beplan en uitgevoer volgens die beginsels van figuur 2, met verwysing na die HBDI[®]-stimulasie soos uiteengesit in figuur 1. Die observasies, refleksies en verbeterings wat tydens elke siklus plaasgevind het, sluit dus aan by die sikliese aard van aksienavorsing (figuur 3), terwyl die inhoud en aktiwiteite in die HBDI[®] geanker bly (figuur 1). Deur hierdie integrasie is dit moontlik gemaak om die kurrikulum iteratief te verfyn en te verseker dat dit beide teoreties begrond én prakties toepasbaar is.

8. Bespreking van bevindinge

Die bevindinge is rondom die hoofnavorsingsvraag en subnavorsingsvrae gestruktureer, en gekoppel aan die bevindinge van die 14 aksienavorsingsiklusse, die HBDI[®]-kwadrante en die VOD-temas.

Die eerste bevinding in antwoord op die hoofnavorsingsvraag is dat 'n HBDI[®]-gebaseerde benadering doelbewus en sistematies geïntegreer kan word in 'n graad 4-kurrikulum vir Kodering en robotika wanneer leeraktiwiteite gestruktureer word om analitiese (A), praktiese (B), relasionele (C) en kreatiewe (D) denke gelyktydig te aktiveer binne 'n sikliese aksienavorsingsraamwerk. Die 14 aksienavorsingsiklusse het 'n gestruktureerde leerproses geskep waarin ontwerp, toetsing, refleksie en herontwerp mekaar sistematies opgevolg het. Hierdie sikliese proses het nie bloot tegniese vaardighede ontwikkel nie, maar het 'n geïntegreerde denkraamwerk gevestig waarin leerders verskillende denkmodaliteite moes kombineer om probleme op te los. Die bevinding toon verder dat hierdie geïntegreerde benadering die ontwikkeling van 21ste-eeuse vaardighede versterk het, insluitend probleemoplossing, kritiese denke, samewerking en kreatiewe innovasie. Deur die doelbewuste koppeling van leertake aan Volhoubare Ontwikkelingsdoelwitte (VOD 4, 5, 8, 9, 10 en 16) is tegnologiese leer eksplisiet binne 'n breër sosiale en volhoubare konteks geplaas. Die integrasie was dus nie toevallig nie, maar sistematies beplan en konsekwent toegepas.

Die tweede bevinding is dat die HBDI[®]-gebaseerde kurrikulum kognitiewe diversiteit aktief bevorder het deur aktiwiteite te ontwerp wat alle vier denkvoorkeure doelbewus stimuleer. Leerders het analitiese denke toegepas deur motors en sensors te kodeer (A-kwadrant),

praktiese denke deur LEGO®-komponente te manipuleer en strukture te bou (B-kwadrant), relasionele denke deur in groepe saam te werk en terugvoer te integreer (C-kwadrant), en kreatiewe denke deur unieke ontwerpopslossings te ontwikkel (D-kwadrant). Hierdie gelyktydige aktivering van verskillende denkprosesse het 'n inklusiewe leeromgewing geskep waarin uiteenlopende sterkpunte erken en benut is. In hierdie verband het Leerder 5 tydens 'n groepbespreking die volgende opgemerk:

Ons moet saam dink hoe om die wiel reg te stel, anders werk niks nie.

Hierdie opmerking dui op 'n bewustheid van interafhanklikheid en samewerkende probleemoplossing, wat kenmerkend is van die C-kwadrant (relasionele denke). Dit bevestig dat leer nie as 'n individuele aktiwiteit plaasgevind het nie, maar as 'n gedeelde kognitiewe proses waarin verskillende denkvoorkeure geïntegreer is. Die bevinding toon dus dat die kurrikulum nie slegs tegniese vaardighede ontwikkel het nie, maar ook 'n inklusiewe klasdinamiek bevorder het wat direk by VOD 4 (Gehalteonderwys) en VOD 5 (Geslagsgelykheid) aansluit.

Derdens het ek bevind dat sikliese projekte wat kodering, robotika en volhoubare ontwerp kombineer, die ontwikkeling van 21ste-eeuse vaardighede betekenisvol versterk het. Veral in siklus 12–14 moes leerders hul projekte sistematies toets, probleme identifiseer, oplossings implementeer en weer toets. Hierdie iteratiewe proses het kritiese denke, probleemoplossing, volharding en veerkragtigheid vereis. In hierdie verband het Leerder 17 tydens die toetsfase die volgende opgemerk:

Ons bal rol nie reguit nie, so ons moet die helling aanpas – ek het dit probeer en dit werk beter.

Hierdie opmerking weerspieël analitiese evaluering (identifisering van die probleem), praktiese aanpassing (verandering van die helling) en reflektiewe evaluering van die resultaat. Dit bevestig dat leerders nie bloot instruksies gevolg het nie, maar selfstandig hipoteses gevorm en getoets het. Die bevinding toon dat tegniese kennis geïntegreer is met praktiese toepassing en sosiale samewerking, wat direk by VOD 8 (Waardige werk en ekonomiese groei) en VOD 9 (Nywerheid, innovasie en infrastruktuur) aansluit, aangesien leerders voorberei word om probleemoplossend en innoverend binne tegnologiese kontekste te funksioneer.

Die vierde bevinding is dat kodering betekenisvol geïntegreer is met ontwerp-, bou- en toetsprosesse, wat leerervaringe konkreet en toepaslik gemaak het. In plaas daarvan dat kodering as 'n afsonderlike tegniese vaardigheid aangebied is, is dit geïntegreer met tasbare projekte soos interaktiewe troeteldiere (siklus 13), waar sensors en motors funksioneel moes saamwerk. In hierdie verband het Leerder 21 tydens refleksie verduidelik:

Ons het eers nie verstaan hoe die sensor en motor saamwerk nie, maar toe werk dit mooi nadat ons saam besin het.

Hierdie opmerking dui op konseptuele begrip wat deur samewerkende refleksie ontwikkel is. Dit illustreer hoe analitiese begrip (hoe komponente funksioneer) en relasionele denke (gesamentlike besinning) geïntegreer is om betekenisvolle leer te fasiliteer. Hierdie bevinding bevestig dat tegnologie-onderrig op laerskoolvlak betekenisvol kan wees wanneer dit konkreet, geïntegreerd en samewerkend gestruktureer word, en ondersteun VOD 4 en 5 deur toeganklike en inklusiewe leergeleenthede te skep.

Die laaste bevinding is dat die ontwerp van die kurrikulum leerervarings doelbewus met Volhoubare Ontwikkelingsdoelwitte belyn het, waardeur leerders tegnologiese ontwerp binne 'n breër etiese en volhoubare raamwerk geplaas het. Tydens siklus 12–14 moes leerders materiaalkeuses, ontwerpbesluite en kodering in lyn bring met beginsels van volhoubaarheid. Die fokus was nie slegs op funksionaliteit nie, maar ook op verantwoordelike materiaalgebruik. In hierdie verband het Leerder 19 tydens 'n groepsbespreking die volgende opgemerk:

Ons probeer om minder plastiek te gebruik, maar steeds iets te bou wat sterk genoeg is – dis moeilik, maar interessant.

Hierdie opmerking toon 'n bewuste spanning tussen funksionaliteit en volhoubaarheid, wat dui op gevorderde kritiese denke. Dit bevestig dat leerders tegniese ontwerp binne 'n sosiale en omgewingsbewuste konteks begin plaas het. Hierdie bevinding wys dat die kurrikulum nie bloot tegnologievaardighede ontwikkel het nie, maar leerders toegerus het om sosiale, ekonomiese en omgewingsuitdagings verantwoordelik te benader, in ooreenstemming met VOD 10 en 16.

9. Gevolgtrekking

Daar kan afgelei word dat die HBDI® 'n doeltreffende teoretiese grondslag bied om 21ste-eeuse vaardighede en volhoubare onderrigpraktyke in die Kodering en robotika-kurrikulum vir graad 4-leerders te integreer. Om daarin te slaag, moes ek aksienavorsing, terugwaartse ontwerp en die beginsels van kognitiewe diversiteit in ag neem om 'n handpasgemaakte kurrikulum vir die leerders in my klaskamer te ontwikkel, maar ook om dit in hierdie spesifieke skoolkonteks te implementeer. Die resultate toon dat inklusiewe onderrigstrategieë wat verskillende denkvoorkeure akkommodeer, leerders aktief en betekenisvol by tegnologiegedrewe leer betrek. Daar kan bevestig word dat die HBDI® nie bloot 'n teoretiese model is nie, maar eerder 'n raamwerk vir transformasie bied aangesien pedagogie, kurrikulumontwerp en volhoubare ontwikkeling suksesvol verbind kan word. Ek het verder gedemonstreer hoe die belyning met volhoubare ontwikkelingsdoelwitte (veral VOD 4, 5, 8, 9, 10 en 16) 'n hefboom kan bied om sosiale geregtigheid en ekonomiese deelname in klaskamers te bevorder. Dit verg egter dat onderwys doelgerig en kognitief sensitief gestruktureer moet word.

Die HBDI®-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum het nie bloot op die ontwikkeling van tegniese vaardighede in Kodering en robotika gefokus nie, maar ook op die ontwikkeling van kritiese denke, kreatiwiteit, samewerking en probleemoplossingsvaardighede. Die projekgebaseerde leer en praktiese ervarings het leerders ook aangemoedig om kennis in nuwe kontekste toe te pas en as innoverende probleemoplossers op te tree.

Die fokus op VOD's kan gehalteonderwys bevorder, veral ten opsigte van geslagsgelykheid, menswaardige werk en die vermindering van ongelykhede. In die proses kon ek 'n sin van sosiale verantwoordelikheid en etiese bewustheid by leerders kweek. Daar word afgelei dat die kurrikulum 'n brug tussen onderwys en volhoubare ontwikkeling kan bou en geleenthede vir leerders uit diverse agtergronde skep om betekenisvol met tegnologie te werk. Die fokus op geslagsgelykheid en vermindering van ongelykhede het daartoe gelei dat die kurrikulum kon bydra om 'n regverdiger, volhoubare toekoms moontlik te maak.

Die kurrikulum is in een skool met beperkte hulpbronne en 'n klein leerdergroep geïmplementeer en tydsbeperkings kon die diepte van leerervarings beïnvloed. Gevolglik word veralgemening van die bevindinge na ander kontekste beperk. Die volledige beskrywing van die navorsingsproses en resultate kan egter as riglyn dien vir die ontwikkeling van soortgelyke kurrikulums in ander skole.

Aangesien ek as navorser en onderwyser betrokke was, het ek eerstehands waargeneem hoe aktiewe betrokkenheid bevorder is en leerders selfvertroue ontwikkel deur toegang tot inklusiewe, tegnologiese gedrewe leergeleenthede. Aangesien die HBDI®-raamwerk waarde toegevoeg het, kan ek dit as praktiese, transformerende model vir ander skole aanbeveel. Toekomstige navorsing kan fokus op die langtermynimpak van die HBDI®-gebaseerde Kodering en robotika-kurrikulum of die toepassing daarvan in diverse kontekste. Dit is noodsaaklik om te verstaan hoe toegang tot hoëgehalteonderwys leerders met die nodige vaardighede kan toerus om as verantwoordelike wêreldburgers in 'n vinnig veranderende wêreld te floreer.

Bibliografie

Aarav, V. 2025. Education as a catalyst for achieving the United Nations sustainable development goals. <https://www.economicdiplomacy.in/post/education-as-a-catalyst-for-achieving-the-united-nations-sustainable-development-goals> (20 Januarie 2025 geraadpleeg).

Amri, S., C. Budiyo en R. Yuana. 2019. Beyond computational thinking: Investigating CT roles in the 21st century skill efficacy. *AIP Conference Proceedings*, 2194(1):020052. International Conference on Mathematics and Science Education, Malang, Indonesië. <https://doi.org/10.1063/1.5139735>.

Barbazzeni, B. 2021. 21st century skills to succeed in industry 4.0: A revised education to prepare future exponentials. ExO Insight. <https://insight.openexo.com/21st-century-skills-to-succeed/> (26 Januarie 2025 geraadpleeg).

Braun, V. en V. Clarke. 2006. Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2):77–101.

Budhai, S.S. en L.M. Taddei. 2015. *Teaching the 4Cs with Technology: How do I use 21st century tools to teach 21st century skills?* Aleksandrië, VA: Association for Supervision and Curriculum Development (ASCD).

Creswell, J.W. 2014. *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches*. 4de uitgawe. Thousand Oaks, CA: Sage.

Departement van Basiese Onderwys (DBO). 2011. *National Curriculum Statements (NCS) Grades R–12*. <https://www.education.gov.za/Curriculum/NationalCurriculumStatementsGradesR-12.aspx> (20 Desember 2024 geraadpleeg).

—. 2024. *Curriculum and Assessment Policy Statement Coding and Robotics Intermediate Phase*. <https://www.education.gov.za/LinkClick.aspx?fileticket=O1vKQbbwwy0%3d&tabid=572&portalid=0&mid=13087&forcedownload=true> (20 Desember 2024 geraadpleeg).

Derry, S.J., R.D. Pea, B. Barron, R.A. Engle, F. Erickson, R. Goldman, R. Hall, T. Koschmann, J.L. Lemke en M.G. Sherin. 2010. Conducting video research in the learning sciences: Guidance on selection, analysis, technology, and ethics. *The Journal of the Learning Sciences*, 19(1):3–53. <https://doi.org/10.1080/10508400903452884>.

Du Toit, P.H. 2013. Social transformation starts with the self: An autobiographical perspective on the thinking style preferences of an educator. *South African Journal of Education*, 33(4):1–12. <https://doi.org/10.15700/201412171325>.

Du Toit-Brits, C. en H. Blignaut. 2019. Posisionering van voortgesette selfgerigte leervaardighede in een-en-twintigste-eeuse onderwys. *Tydskrif vir Geesteswetenskappe*, 59(4):512–29. <https://doi.org/10.17159/2224-7912/2019/v59n4a4>.

Global Education Monitoring Report. 2019. Migration, displacement and education: Building bridges, not walls. UNESCO. <https://en.unesco.org/gem-report/report/2019/migration> (20 Januarie 2025 geraadpleeg).

—. 2022. The Whole Brain[®] thinking model. <https://www.thinkherrmann.com/whole-brain-thinking> (20 Julie 2025 geraadpleeg).

Herrmann, N. 1999. The theory behind the HBDI and Whole Brain[®] technology. https://www.thinkherrmann.com/hubfs/Articles/Theory_Behind_The_HBDI___and_Whole_Brain___Technology.pdf.

Herrmann-Nehdi, A. 2010. Whole Brain[®] thinking ignore it at your peril. https://www.thinkherrmann.com/hubfs/UK/Articles_UK/Whole_Brain_THinking_Ignore_it_at_Your_Own_Peril.pdf.

Kayembe, C. en D. Nel. 2019. Challenges and opportunities for education in the Fourth Industrial Revolution. *African Journal of Public Affairs*, 11(3):79–94. <https://hdl.handle.net/10520/EJC-19605d342e>.

Lathifah, A., C. Budiyanto en R. Yuana. 2019. The contribution of robotics education in primary schools: Teaching and learning. *AIP Conference Proceedings*, 2194(1):020053. American Institute of Physics. <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2194/1/020053/819418/The-contribution-of-robotics-education-in-primary> (22 Julie 2025 geraadpleeg).

Magagula, M.M. en O.A. Awodiji. 2024. The implications of the fourth industrial revolution on technical and vocational education and training in South Africa. *Social Sciences & Humanities Open*, 10, 100896. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.100896>.

McAteer, M. 2013. *Action research in education*. Thousand Oaks, CA: Sage.

McNiff, J. 2016. *You and your action research project*. 4de uitgawe. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315693620> (22 Julie 2025 geraadpleeg).

Ornstein, A.C. en F.P. Hunkins. 2016. *Curriculum: Foundations, principles, and issues*. 7de uitgawe. New Jersey, NJ: Pearson.

Prinsloo, L. 2024. Coding and robotics for the young child: A developing country's perspective. *EDULEARN24 Proceedings*. pp. 9794–9803. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2024.2358>.

SA News. 2022. Big changes for schools in South Africa including new subjects and a specialised curriculum. *BusinessTech*. <https://businesstech.co.za/news/trending/588454/big-changes-for-schools-in-south-africa-including-new-subjects-and-a-specialised-curriculum/> (10 Junie 2025 geraadpleeg).

Stauffer, B. 2020. What are the 4 C's of 21st century skills? <https://www.aeseducation.com/blog/four-cs-21st-century-skills> (10 Junie 2025 geraadpleeg).

—. 2022. What are 21st century skills? <https://www.aeseducation.com/blog/what-are-21st-century-skills> (11 Junie 2025 geraadpleeg).

Tilbury, D. 2011. Education for sustainable development: An expert review of processes and learning. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000191442> (20 Junie 2025 geraadpleeg).

Tyler, R.W. 1949. *Basic principles of curriculum and instruction*. Chicago: University of Chicago Press.

United Nations Educational Scientific and Cultural Organisation (UNESCO). 2017. *Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444> (12 Junie 2025 geraadpleeg).

Veldman, S., E. Dicks, H. Suleman, J. Greyling, J. Freese en T. Majake. 2021. The status of Coding and Robotics in South African schools. Academy of Science of South Africa. https://www.youtube.com/watch?v=hMHgnEY-41U&ab_channel=AcademyofScienceofSouthAfrica (20 Julie 2025 geraadpleeg).

Verenigde Nasies. 2015. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/2030agenda> (4 Julie 2025 geraadpleeg).

—. 2022. Envision 2030 Goal 4: Quality Education. <https://www.un.org/development/desa/disabilities/envision2030-goal4.html> (4 Julie 2025 geraadpleeg).

Wiggins, G.P. en J. McTighe. 2005. *Understanding by design*. 2de uitgawe. Alexandrië: Association for Supervision and Curriculum Development (ASCD).

World Bank. 2018. World Development Report 2018: Learning to Realize Education's Promise. <http://hdl.handle.net/10986/28340> (6 Julie 2025 geraadpleeg).

Zohoorian, Z. 2015. A needs analysis approach: An investigation of needs in an EAP context. *Theory and Practice in Language Studies*, 5(1):58. <https://doi.org/10.17507/tp15.0501.07>.