



Concept versie 4 september 2023
Gebruikt als studiemateriaal 2023/24
Vak VOS 5: Game-Based Learning
Definitieve versie is in oktober beschikbaar in
<http://www.project-gamma.eu/project-outputs/io1-gamma-handbook-for-teachers/>

GAMMA

GAME-based learning in MATHematics

Handboek voor docenten

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union







GAMMA

GAME-based learning in Mathematics

Handboek voor docenten

Versie: Concept 4 september 2023





Auteurs

Hoofdstuk 1

Sonia Abrantes Garcêz Palha, Anders Bouwer en Elaheh Akin
Hogeschool van Amsterdam, Nederland

Hoofdstuk 2

Chronis Kynigos, Myrto Karavakou en Marianthi Grizioti
National and Kapodistrian University van Athene, Griekenland

Hoofdstuk 3

Anders Bouwer en Sonia Abrantes Garcêz Palha
Hogeschool van Amsterdam, Nederland

Hoofdstuk 4

Mirka Leino
Satakunta University of Applied Sciences, Finland

Hoofdstuk 5

Mirela Jukić Bokun en Ljerka Jukić Matić
J. J. Strossmayer University of Osijek, Kroatië

Chronis Kynigos, Myrto Karavakou en Marianthi Grizioti
National and Kapodistrian University van Athene, Griekenland

Sonia Abrantes Garcêz Palha, Anders Bouwer, Sander Claassen, en Daan van Smaalen
Hogeschool van Amsterdam, Nederland

Mirka Leino
Satakunta University of Applied Sciences, Finland

Hoofdstuk 6

Ljerka Jukić Matić en Mirela Jukić Bokun
J. J. Strossmayer University of Osijek, **Kroatië**

Redactie

Anders Bouwer en Sonia Abrantes Garcêz Palha
Hogeschool van Amsterdam, Nederland





© De auteurs, 2023

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1. Inleiding	8
1.1 <i>Over het handboek</i>	8
1.1.1 Het GAMMA-project en de bedoeling van het handboek	8
1.1.2 Wetenschappelijke en praktische relevantie.....	9
1.1.3 Doelgroep van het handboek.....	9
1.1.4 Structuur van het handboek.....	10
1.2 <i>Game-Based Learning: Definities en terminologie</i>	11
1.2.1 (Digitale) spelletjes.....	11
1.2.2 Educatieve games, gamification en Game-Based Learning.....	11
1.2.3 Taxonomieën en platforms voor digitale games	12
1.3 <i>Wiskunde, spelletjes en onderwijsscenario's</i>	14
1.3.1 Spellen en leerscenario's in het GAMMA-project	14
1.3.2 Lijst van wiskundige onderwerpen en spellen in voorbeelden in het Handboek	15
Referenties.....	17
Hoofdstuk 2. Leren en onderwijzen met DGBL in wiskunde: Stand van zaken	19
2.1 <i>Inleiding: Digitaal spelend leren in het wiskundeonderwijs</i>	19
2.2 <i>Gerapporteerde voordelen van DGBL in het wiskundeonderwijs en voorbeelden</i>	20
2.2.1 Motivatie en positieve attitudes.....	20
2.2.2 Vaardigheden en prestaties.....	22
2.2.3 Pedagogisch potentieel van commerciële games	25
2.2.4 Sociaal aspect	29
2.2.5 Samenvattend	30
2.3 <i>Kritische punten in bestaande DGBLM-studies</i>	30
2.4 <i>Theorieën over digitaal spelend leren en wiskundeleren</i>	33
2.4.1 Kenmerken van spellen voor wiskundeonderwijs.....	33
2.4.2 Classificatie van spellen in het wiskundeonderwijs	33
2.4.3 Naar transformatieve games: een constructionistische benadering.....	34
2.5 <i>Conclusie</i>	35
Referenties.....	36
Hoofdstuk 3. Grondslagen van het ontwerpen van educatieve spellen.....	40
3.1 <i>Ontwerp van educatieve spellen</i>	40
3.1.1 Instructieprincipes voor het ontwerpen van GBL	40
3.1.2 Educatieve doelstellingen en spelgenres	43
3.1.3 De onderwijscontext.....	45
3.1.4 Evaluatie van leerresultaten.....	45
3.2 <i>Modellen voor spelontwerp</i>	45
3.2.1 Het dek van lenzen: Elementaire Tetrade.....	46
3.2.2 Een model voor het ontwerpen van educatieve games.....	47
3.2.3 Het Smiley-model.....	50





3.3 Het ontwerp van de spelervaring	53
3.4 Gereedschap om spelletjes te maken.....	54
3.4.1 Auteurshulpmiddelen	54
3.4.2 Gerichtte schrijfsystemen	54
3.4.3 Online beschikbare spelhandleidingen.....	57
3.4.4 De volgende generatie spelontwerpen.....	58
Referenties.....	60
Hoofdstuk 4. Voorbeelden van digitale rekenspellen	63
4.1 Achtergrond.....	63
4.2 Pre-evaluatie van de spelletjes.....	64
4.3 Evaluatie van het spel	69
4.3.1 Evaluatiefactoren.....	69
4.3.2 Beschrijving en evaluatie van de spelletjes	70
4.4 Conclusie van de evaluatie van het voorbeeldspel	88
Referenties.....	90
Hoofdstuk 5. GAMMA-spellen.....	92
5.1 Gamma ProbChallenge.....	92
5.2 E(qua)scape kamer.....	95
5.3 Yoyo Bird.....	97
5.3.1 Regels van het spel Yoyo Bird	99
5.3.2 Het scorebord van het Yoyo Bird-spel	100
5.4 Luchtballon	102
5.5 Het ballonnenspel.....	104
5.6 Functie Kerker	107
5.7 GeomWiz	108
Hoofdstuk 6. Richtsnoeren en aanbevelingen	117
6.1 Instructieontwerpmodellen voor DGBL.....	117
6.2 Effectief wiskundeonderwijs met spelend leren.....	118
6.3 Enkele doeleinden van spelgebruik in de klas.....	119
6.4 Bepalen of het spel geschikt is voor instructiedoeleinden	120
6.5 Integratie van spellen in de klas - het belang van interacties.....	121
6.6 Uitdagingen en aanbevelingen.....	122
6.7 In de literatuur gerapporteerde pedagogische stappen.....	123
6.8 Onderwijsstrategieën voor DGBL.....	124
6.9 Advies van leraren aan leraren.....	126
6.10 Een lesplan maken.....	127
6.10.1 Voorbeeld van een lesplan waarin een digitaal spel wordt gebruikt voor het aanleren van nieuwe inhoud	128
6.10.2 Voorbeeld van een lesplan waarin het digitale spel wordt gebruikt om te oefenen	133





6.10.3 Voorbeeld van een lesplan waarbij het digitale spel wordt gebruikt als huiswerk in flipped classroom	136
<i>Referenties</i>	140





Hoofdstuk 1

Inleiding

Sonia Abrantes Garcêz Palha, Anders Bouwer en Elaheh Akin
Hogeschool van Amsterdam, Nederland





Hoofdstuk 1. Inleiding

Dit inleidende hoofdstuk bestaat uit drie delen. Paragraaf 1.1 beschrijft de context en de bedoeling van het handboek, de wetenschappelijke en praktische relevantie voor het beoogde publiek (wiskundedocenten en -opleiders) en een overzicht van alle hoofdstukken. Paragraaf 1.2 presenteert basisconcepten en termen die algemeen worden gebruikt in Game-Based Learning (GBL), waaronder digitale games, educatieve games en gamification. Paragraaf 1.3 geeft een overzicht van de games die in het GAMMA-project zijn ontwikkeld en de games die in de voorbeelden in het handboek worden gepresenteerd.

1.1 Over het handboek

1.1.1 Het GAMMA-project en de bedoeling van het handboek

Dit handboek is ontwikkeld in het kader van het Europese Erasmus+ project GAMMA (GAME-based learning in MAThematics). Het project wil onderwijsmateriaal ontwikkelen dat nuttig is voor wiskundedocenten die game-based learning (GBL) willen inzetten op basis van digitale technologie. Het handboek biedt achtergrondkennis over (digitaal) game-based learning, maar ook voorbeelden en praktische aanwijzingen voor toepassingen in het wiskundeonderwijs. Meer informatie over het project, het lesmateriaal en de opbrengsten is online te vinden op de projectwebsite: <http://www.project-gamma.eu/>.

Waarom GBL gebruiken bij wiskunde? In tegenstelling tot de andere vakken in het gebied van science, technologie, techniek en wiskunde (STEM), wordt wiskunde beschouwd als een abstract geheel van kennis, geïsoleerd van de echte wereld. Daarom kunnen leerlingen zich niet-verbonden voelen met de wiskundige onderwerpen. Bovendien worden traditionele onderwijsmethoden bekritiseerd omdat zij niet in staat zijn de aandacht van de leerlingen te trekken, en ook omdat zij de leerlingen niet de autonomie bieden om begrip zelf op te bouwen (Boaler, 2002). Daarom lijkt GBL, in het bijzonder Digital Game-Based Learning (DGBL), door zijn interactieve karakter een veelbelovende aanpak voor het leren en onderwijzen van wiskunde. Digitale games kunnen een veilige omgeving bevorderen waarin sociaal-wetenschappelijke kwesties (SSI) aan bod komen en de leerlingen wellicht meer gemotiveerd zijn om diepgaand te leren, niet alleen over wiskunde maar ook over maatschappelijke onderwerpen die het wiskundeonderwijs koppelen aan hun dagelijks leven. Bovendien speelt het succes of de belangstelling van leerlingen voor wiskunde in de bovenbouw van het VO een doorslaggevende rol bij de voortzetting van hun vervolgopleiding op het gebied van bèta/techniek. De leerlingen die besluiten een traject in het hoger onderwijs te volgen, kunnen aarzelen bij het kiezen van een afstudeerrichting op dit gebied. In sommige gevallen kan deze aarzeling voortkomen uit wiskunde-angst, een fenomeen waardoor mensen in hun leven en academische loopbaan de omgang met getallen en wiskunde vermijden (Richardson & Suinn, 1972; Zettle & Raines, 2000). Op het gebied van bèta/techniek hebben de meeste studenten moeite met het halen van de inleidende wiskundecursussen, omdat ze niet of nauwelijks gemotiveerd zijn. Daarom is het van vitaal belang methoden te vinden die studenten niet alleen motiveren om te leren, maar die hen ook helpen hun motivatieniveau te handhaven en te reguleren voordat zij aan hun vervolgopleiding beginnen.





Het vergroten van de motivatie van leerlingen om te leren is daarom een goede reden voor docenten om DGBL in te zetten in hun onderwijs. Veel digitale games vragen spelers om strategisch en analytisch te denken om probleemoplossend of besluitvorming toe te passen; dit zijn vaardigheden die van pas komen in de hedendaagse beroepspraktijk (Spires, 2015). Dit maakt digitale games zeer waardevol voor eenentwintigste-eeuwse studenten. Daarnaast hebben computerspellen unieke kenmerken (bijv. fantasie, regels/doelen, zintuiglijke prikkels, uitdaging, mysterie en controle) die de motivatie voor leren kunnen verhogen (Garris, Ahlers & Driskell, 2002) en resulteren in attitude- en gedragsverandering (Kors, van der Spek & Schouten, 2015).

DGBL is een efficiënt medium voor leerlingen om wiskundige concepten te leren en wiskundige vaardigheden te oefenen in het huidige onderwijs. Om de technologie en DGBL ten volle te benutten, beoogt het GAMMA-project gebruik te maken van de tijd die de leerlingen reeds aan hun elektronische apparaten besteden en van hun kennis van en ervaring met digitale games om hun wiskundige kennis en vaardigheden te vergroten. Hoe DGBL te gebruiken en te implementeren is een uitdaging in het onderwijs en leerkrachten hebben hierin een centrale rol. Docenten zijn ontwerpers, begeleiders of gidsen in de DGBL-aanpak. Daarom moeten zij worden ondersteund bij het ontwikkelen van de kennis en de competenties om deze rollen op zich te nemen. Het doel van dit handboek is dan ook wiskundeleraren en lerarenopleiders te ondersteunen om DGBL effectiever toe te passen in hun beroepspraktijk.

1.1.2 Wetenschappelijke en praktische relevantie

Hoewel er verschillende boeken zijn voor leraren om activiteiten of spellen te ontwerpen volgens de GBL-benadering, richten deze zich zelden op de behoeften van leraren in het wiskundeonderwijs. Bovendien zijn deze boeken vaak geschreven door onderzoekers voor een academisch publiek. In dit boek zijn de samenwerking en praktijkervaringen verzameld van leraren en opleiders die DGBL in hun onderwijspraktijk proberen te implementeren. De combinatie van praktijk en theorie maakt het Handboek tot een waardevolle aanvulling op de literatuur over DGBL in het onderwijs. Enerzijds is de theoretische basis van het handboek gebaseerd op recente literatuur en eerder onderzoek naar Digital Game-Based Learning in Mathematics Education (DGBLM). Anderzijds is de theoretische inhoud ingebed in de praktijkervaring van de partners die deelnemen aan het GAMMA-project. Het handboek biedt de lezer inspirerende activiteiten, mogelijkheden om enkele van de voorgestelde games te verkennen en een beter begrip van DGBL. Wij verwachten dat dit boek docenten en opleiders inzicht zal geven in de toepassing van DGBL in de dagelijkse praktijk.

De auteurs zijn onderzoekers en wiskundedocenten van GAMMA-projectpartners uit vier verschillende Europese landen, die gedurende twee jaar (2020-2022) nieuwe en praktische voorbeelden, try-now-activiteiten en instructies hebben geïnitieerd. Alle hoofdstukken hebben verschillende revisies en peer-review-processen doorlopen, waaronder een revisie van het hele boek door de docenten die aan het project deelnamen. Hun feedback was ongelooflijk waardevol voor het verbeteren van de hoofdstukken.

1.1.3 Doelgroep van het handboek

Het GAMMA-project richt zich voornamelijk op het gebruik van DGBL in de bovenbouw van de middelbare school. Sommige voorbeelden en activiteiten in het handboek kunnen echter geschikt gemaakt en aangepast worden voor onderbouwleerlingen. Dit boek kan ook nuttig zijn voor onderwijsprofessionals uit andere disciplines. De theoretische hoofdstukken zijn niet specifiek voor het wiskundeonderwijs, omdat de theorieën en modellen voor verschillende onderwijsgebieden zijn ontwikkeld. Daarnaast kunnen de praktische voorbeelden en activiteiten als inspiratie dienen voor uiteenlopende contexten.





1.1.4 Structuur van het handboek

Het handboek bestaat uit zes hoofdstukken. De inhoud van deze hoofdstukken is als volgt:

Hoofdstuk 1. Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de bedoeling, de doelgroep, het schrijfproces en de inhoud van het handboek. Het bevat ook definities en andere terminologie van GBL die in het handboek wordt gebruikt.

Hoofdstuk 2. Leren en onderwijzen met DGBL in wiskunde: Stand van zaken

Dit hoofdstuk beschrijft de huidige trends in DGBLM en de voordelen ervan, samen met enkele concrete voorbeelden van empirische studies. Verder worden enkele kritische kwesties rond DGBLM genoemd die in recente meta-reviews naar voren zijn gekomen. Het hoofdstuk sluit af met aanbevelingen uit de literatuur en mogelijke theoretische trajecten om het leren via DGBLM te bevorderen.

Hoofdstuk 3. Grondslagen van het ontwerpen van educatieve spellen

Dit hoofdstuk beschrijft de basis voor het ontwerpen van educatieve games. Het bevat een bespreking van (pedagogische) modellen en kaders voor het ontwerpen van (educatieve) games en verschillende soorten (authoring) software tools die het ontwerpen en ontwikkelen van digitale games toegankelijker maken voor docenten en studenten. Dit hoofdstuk is vooral een aanrader voor lezers die verder willen gaan dan alleen het gebruik van bestaande games en meer willen weten over hoe ze zelf educatieve games kunnen ontwerpen.

Hoofdstuk 4. Voorbeelden van digitale wiskunde games

Dit hoofdstuk beschrijft voorbeelden van digitale games voor wiskunde, met een systematische analyse van deze games. Het biedt instrumenten om het potentieel van dergelijke games voor GBL en hun rol in leer- en competentieontwikkeling te evalueren. Dit helpt docenten bij het identificeren van educatieve digitale games die geschikt zijn voor het gebruik van GBL in hun eigen wiskundeonderwijs.

Hoofdstuk 5. In het GAMMA-project ontwikkelde games

Dit hoofdstuk beschrijft de zeven digitale games die in het GAMMA-project zijn ontwikkeld en gebruikt.

Hoofdstuk 6. Richtlijnen en implementatie

Dit hoofdstuk presenteert manieren om een wiskundeles met GBL te modelleren, en hoe dit in de klas kan worden geïmplementeerd. Voordat zij een lesplan ontwikkelen, moeten leerkrachten bedenken wat zij met de les willen bereiken en hoe de les moet verlopen. Bovendien krijgen leerkrachten toegang tot tips en suggesties van leerkrachten die ervaring hebben met het gebruik van GBL in hun klas.

Over het handboek als geheel

Het handboek is bedoeld om leerkrachten en opleiders aan te moedigen DGBL in hun praktijk te gebruiken. Daarom bevat het handboek gemarkeerde *voorbeelden*, die bedoeld zijn om de lezer te helpen voorbeelden van DGBL binnen en buiten de klas te vinden en ook praktische activiteiten en suggesties voor verder lezen. Paragraaf 1.3 van dit hoofdstuk bevat een *lijst met de wiskundige onderwerpen* die aan bod komen in het boek, gebruikte voorbeelden en in de in het project ontwikkelde games. Dit kan docenten helpen bij het zoeken naar voorbeelden en games die verband houden met bepaalde wiskundige onderwerpen die voor hen van belang zijn.

Hoewel de hoofdstukken afzonderlijk kunnen worden gelezen om aan specifieke informatiebehoeften te voldoen, wordt leerkrachten aangeraden het hele boek te lezen om de verschillende aspecten van DGBL, die in elk van de hoofdstukken worden besproken, te overzien en zo een overzicht te krijgen van het volledige potentieel van DGBL voor het wiskundeonderwijs.





1.2 Game-Based Learning: Definities en terminologie

1.2.1 (Digitale) Games

Een gangbare manier om *games* te definiëren is als een vorm van vermaak. Games kunnen worden onderscheiden van andere vormen van entertainment omdat ze interactieve en uitdagende elementen bevatten. Zo vereisen games, in tegenstelling tot films, interactie met hun publiek en bevatten games, in tegenstelling tot speelgoed, voorgeschreven uitdagingen (Habgood & Overmars, 2006). Games bevatten doorgaans kenmerken als keuzemogelijkheid, doelen, regels en interacties. Een veelgebruikte definitie van games wordt gegeven door Katie Salen en Eric Zimmerman in hun boek "Rules of Play" (2003): "een systeem waarin spelers een kunstmatig conflict aangaan, gedefinieerd door regels, dat resulteert in een kwantificeerbare uitkomst" (p. 80).

Games omvatten een breed scala aan digitale en niet-digitale toepassingen. *Digitale games*, traditioneel bekend als videospelletjes, worden gespeeld met behulp van een digitaal apparaat, zoals een pc, een spelconsole, een smartphone of een tablet. Hoewel digitale en niet-digitale games (bijv. kaartspellen of bordspellen) gemeenschappelijke kenmerken hebben, kunnen digitale games een of meer kenmerken vertonen die specifiek zijn voor het medium. Deze omvatten de verwerking van input van toetsenbord, muis of spelcontroller, 2D of 3D visualisatie en animatie, virtuele werelden, virtuele personages en online multiplayer functionaliteit. Momenteel zijn veel traditionele spelletjes gedigitaliseerd en kunnen zij ook online worden gespeeld.

1.2.2 Educatieve games, gamification en Game-Based Learning

Het is nuttig een onderscheid te maken tussen educatieve (of Serious) Games, Entertainment Games, Game-based learning en Gamification. Hoewel ze allemaal een aantal overeenkomsten vertonen, kunnen deze termen niet door elkaar worden gebruikt.

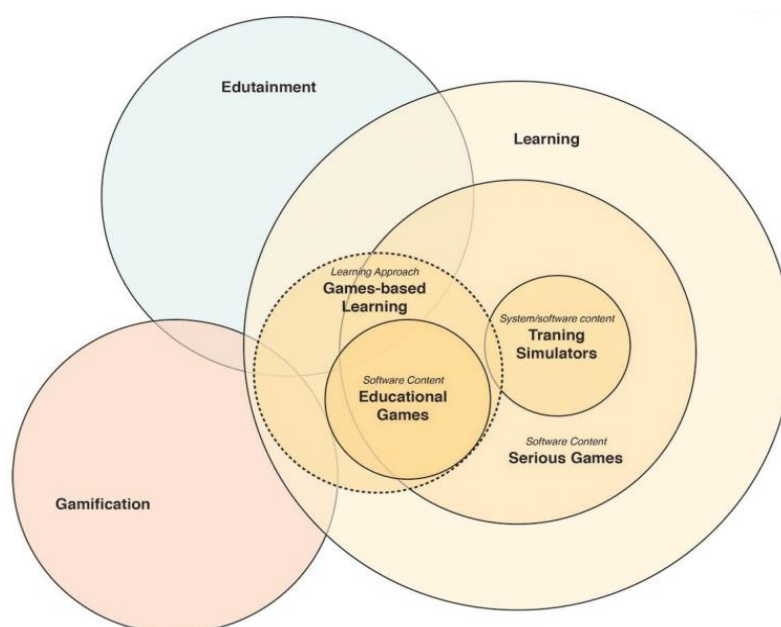
Een spel waarin leerinhoud is geïntegreerd in de spelervaring kan worden gedefinieerd als een *educatief spel*. In de game-industrie worden educatieve games vaak *serious games* genoemd om ze te onderscheiden van games die alleen gericht zijn op entertainment. Serious games omvatten vaak een soort grafische simulatie van de werkelijkheid (Martens & Muller, 2016), en zijn meestal ontworpen voor bepaalde leer- of trainingsdoelen van een specifieke belanghebbende en/of doelgroep van gebruikers. Serious games kunnen echter ook voor andere doeleinden dan onderwijs worden ontworpen, zoals gedragsverandering of therapie. De term *serious games* wordt soms bekritiseerd vanwege de inherente tegenstrijdigheid tussen het woord serious en het fun-element dat games beloven. Vandaar dat er andere termen zijn ontstaan, zoals *applied games* of *educational games*. Een applied game wordt echter niet noodzakelijk toegepast op het leren (applied games kunnen bijvoorbeeld ook worden gebruikt voor reclame of voor gezondheidszorg). Educatieve games kunnen zowel betrekking hebben op serious games voor het onderwijs als op andere, mogelijk lichtere games met educatieve inhoud.

De introductie van games in het onderwijs heeft geleid tot een onderscheid tussen de termen games en gamification. *Gamification* kan worden gedefinieerd als het gebruik van ontwerpelementen (in plaats van volwaardige games) die kenmerkend zijn voor games in niet-game contexten (Deterding et al., 2011). De term *gamification* is in 2002 ontstaan in de advieswereld (Pelling, 2011; Szyma, 2014), en wordt niet alleen gebruikt in het onderwijs, maar is ook populair in andere domeinen zoals productiviteit, financiën, gezondheid, duurzaamheid, en nieuws- en entertainmentmedia. Gamification wordt vaak beperkt geïnterpreteerd en geassocieerd met een beloningssysteem met punten, badges, levels en leaderboards.



Sommige wetenschappers bieden echter een breder perspectief op gamificatie. Zo onderscheidt Chou's Octalysis framework for gamification (2019) acht kernrijfveren (epic meaning, accomplishment, empowerment, ownership, social influence, scarcity, unpredictability, and avoidance), die individueel, of in combinaties, zijn terug te vinden in verschillende soorten games. Deze drijfveren kunnen mogelijk fungeren als motivatie om andere activiteiten te gamificeren.

Game-Based Learning is een term die doelt op het gebruik van games en spelelementen bij het leren. Figuur 1.1 geeft de raakvlakken en overlappings weer tussen educatieve games, serious games, edutainment en gamification (Martens & Muller, 2015). Landers (2014) benadrukt het belang van het integreren van inzichten uit beide velden van serious games en gamification om een theorie over "gamified learning" te ontwikkelen.



Figuur 1.1. Game-Based Learning, Serious Games, Educational Games en aanverwante concepten (Bron: Martens & Muller, 2015).

1.2.3 Taxonomieën en platforms voor digitale games

Classificaties van game genres kunnen spelers (studenten en leraren) helpen bij het zoeken naar games op distributieplatforms. Daarom kan het nuttig zijn om enkele vaak gebruikte taxonomieën in de games-industrie te kennen, zoals de volgende:

- Games werden traditioneel ingedeeld in genres als Actie games, Strategie games, Puzzel games en Rollenspel games (RPG's) (Vargas-Iglesias, 2020), die nu als supergenres kunnen worden beschouwd. De huidige gametaxonomieën omvatten nog veel meer game genres en subgenres op basis van het type gameplay, verhaal en visuele aspecten. De gameplay kan modifiers bevatten die aspecten van timing (bv. turn-based of real-time), aantal gebruikers (één of meerdere, individueel of in teamverband spelend), en grafische voorstelling, animatie of perspectief (bv. first-person shooters, top-down of side-scrolling platformgames) aanduiden (zie bv. Apperley, 2006).





- Games kunnen worden ingedeeld op basis van hun *doel* (amusement games, educatieve games, overtuigende games), *thema* (bijv. western-, sci-fi of horrorgames) en *publiek* (games voor volwassenen, kinderen of familie).
- Games kunnen worden ingedeeld in drie dimensies: Simulatie (bv. avatarwerelden), Ludologie (gericht op gameplay, zoals Tetris of computerschaak), en Narratologie (met de nadruk op het verhaal, zoals multipath films of hypertext avonturen) (Lindley, 2003).
- De vier supergenres van games zijn ook nader ingedeeld naar functie: *Intuïtief* voor actiespellen, *formeel* voor strategiespellen, *inductief* voor puzzelspellen en *deductief* voor rollenspellen) (Vargas-Iglesias, 2020). Veel spelgenres combineren meerdere functies, en de resulterende taxonomie bevat in totaal 43 genres voor videogames. In deze taxonomie worden serious games, applied games en educatieve games niet expliciet als spelgenres onderscheiden. Dergelijke games kunnen zo zijn ontworpen dat ze op elkaar lijken of elementen bevatten van veel verschillende spelgenres.

Enkele vaak gebruikte distributieplatforms voor games zijn: Valve's Steam (voor pc), Sony's Playstation Store, Microsoft's Xbox Live Marketplace, Nintendo Network, en eShop (voor console), en Apple App Store, Google Play, Huawei AppGallery, en Samsung Galaxy Store (voor mobiele apparaten), en Itch.io (voor meerdere platforms, gericht op onafhankelijke games).

Het Game Metadata and Citation Project (<https://gamecip.soe.ucsc.edu/projects>) biedt de spelers visualisaties en hulpmiddelen om soortgelijke games te vinden op basis van een ingevoerde game (GameNet), bestaande games op basis van een beschrijving van een game idee (GameSage) of een tweedimensionale visualisatie van verschillende clusterings van de games (GameGlobs).

1.3 Wiskunde, games en onderwijsscenario's

Het handboek voor docenten is een van de drie intellectuele opbrengsten van het GAMMA-project. De andere twee bestaan uit zeven educatieve games en acht onderwijsscenario's. De games en onderwijs-scenario's hebben betrekking op een aantal wiskundige onderwerpen die deel uitmaken van het nationale curriculum van de projectpartners, op het niveau van het voortgezet onderwijs. Tabel 1.1 geeft een overzicht van de wiskundige onderwerpen, onderwijsscenario's en games. Alle resultaten zullen beschikbaar zijn in het Kroatisch, Nederlands, Grieks en Fins, naast het Engels.

1.3.1 Games en onderwijsscenario's in het GAMMA-project

De in tabel 1.1 genoemde GAMMA-games worden in hoofdstuk 5 nader beschreven, met een korte beschrijving, de beoogde leerresultaten, schermafbeeldingen en links naar de spellen. De begeleidende onderwijsscenario's, die in detail beschrijven hoe de games in een onderwijsomgeving kunnen worden gebruikt, zullen als een afzonderlijk projectproduct worden gedeeld via de website van het GAMMA-project: <http://www.project-gamma.eu/>.





Tabel 1.1. Overzicht van de in het GAMMA-project geproduceerde onderwijsscenario's en games in relatie tot onderwerpen in het wiskundecurriculum in het voortgezet onderwijs.

Wiskundige onderwerpen in het voortgezet onderwijs behandeld door GAMMA-spellen	Onderwijsscenario's	Ontwikkelde games
Waarschijnlijkheid Beschrijf een zekere en onmogelijke gebeurtenis. Gebruik de algebra van gebeurtenissen (vereniging, doorsnede, complement) om de waarschijnlijkheid te bepalen.	<i>GAMMA ProbChallenge</i>	<i>GAMMA ProbChallenge</i>
Lineaire vergelijkingen Lineaire vergelijkingen en stelsels van lineaire vergelijkingen oplossen, het bestaan van een oplossing bepalen en het bestaan van een oplossing van de vergelijking bespreken, afhankelijk van de parameter	<i>E(qua)scape room</i>	<i>E(qua)scape room</i>
Goniometrische functies Gebruiken van en betekenis geven aan de dynamische voorstelling van sinusvormige en cosinusvormige functies, hun eigenschappen, domein en bereik, de rol van parameters en het verband daartussen.	<i>The Yoyo Bird game!</i>	<i>Yoyo Bird</i>
Recht- en omgekeerd evenredig Betekenis geven aan de recht-evenredige en omgekeerd-evenredige verbanden tussen twee grootheden, en het verschil tussen deze twee soorten evenredigheden begrijpen.	<i>The Air Balloon game!</i>	<i>Hot Air Balloon</i>
Afgeleiden Oefen de differentieer regels en redeneer met de snelheid van verandering	<i>Don't burst the balloon!</i>	<i>The Balloon Game</i>
Lineaire functies Opgaven oplossen met betrekking tot lineaire functies in verschillende voorstellingen, waaronder formules, tabellen, puntpatronen en grafieken. Deze verschillende voorstellingen met elkaar verbinden en eigenschappen van functies toepassen.	<i>Escape from the Dungeon</i>	<i>Function Dungeon</i>
Meetkunde: driehoeken Berekenen van oppervlakten van driehoeken	<i>GeomWiz – Area of Triangle</i>	<i>GeomWiz Level 4 – Area of Triangle</i>
Meetkunde: cosinusregel Sinus en cosinus regel	<i>GeomWiz – Cosine Rule</i>	<i>GeomWiz Level 6 – Cosine Rule</i>

1.3.2 Voorbeelden van wiskundige onderwerpen en games in het Handboek

In het hele handboek worden veel voorbeelden gegeven van spellen die geschikt zijn om te gebruiken voor wiskundig leren op verschillende onderwijsniveaus (niet beperkt tot alleen het voortgezet onderwijs). Om de lezer te helpen voorbeelden te vinden die aansluiten bij zijn belangstelling, geeft tabel 1.2 een lijst van alle





spellen die in het handboek worden besproken, in relatie tot het wiskundige onderwerp en het geschatte onderwijsniveau.

Tabel 1.2. Lijst van wiskundige onderwerpen en spellen die in de in het handboek besproken voorbeelden aan bod komen

Wiskundige onderwerpen	Games	Hoofdstuk
Voortgezet (14-18 jaar)		
• Algebra	<i>DimensionM</i>	Hoofdstuk 2
	<i>DragonBox</i>	Hoofdstuk 4
• Functies	<i>Variant: Limits</i>	Hoofdstuk 4
• Meetkunde	<i>DragonBox</i>	Hoofdstuk 4
• Meerdere onderwerpen	<i>Portal</i>	Hoofdstuk 4
• Gonometrische functies	<i>The Yoyo Bird game</i>	Hoofdstuk 3
BO/VO (10-13 jaar)		
• Coördinatensysteem	<i>Minecraft, Astra Eagle</i>	Hoofdstuk 2
• Functies	<i>League of Legends</i>	Hoofdstuk 4
• Meetkunde	<i>Minecraft, De Sims</i>	Hoofdstuk 2
	<i>Crafty Cut</i>	Hoofdstuk 4
• Irrationale getallen	<i>Dino Crunch, Irrational Veggies</i>	Hoofdstuk 6
• Wiskundig denken	<i>Math Builder</i>	Hoofdstuk 3
• Meerdere onderwerpen	<i>BrainPOP, Brilliant.org, Fortnite, King of Math 2, Legends of Learning, Math is fun, Mathblaster</i>	Hoofdstuk 4
• Bewerkingen op getallen	<i>Faktr, RoboSellers</i>	Hoofdstuk 4
• Machten	<i>Formica, International Space Station</i>	Hoofdstuk 6
• Pre-algebra	<i>Math Blaster 9-12</i>	Hoofdstuk 2
	<i>Ratio Rumble</i>	Hoofdstuk 6
• Stelling van Pythagoras	<i>Vidya Nusa</i>	Hoofdstuk 2
Basisonderwijs		
• Vroege algebra	<i>Het doel raken</i>	Hoofdstuk 2
• Delen en vermenigv.	<i>Zombie divisie</i>	Hoofdstuk 3
• Meerdere onderwerpen	<i>HOODA math, Math games, MathPlayground</i>	Hoofdstuk 4
Alle onderwijsniveaus		
Getalbewerkingen	<i>SUMICO</i>	Hoofdstuk 3
• Grondbeginselen van de mechanica	<i>Angry Birds</i>	Hoofdstuk 4





• Meerdere onderwerpen	<i>Game Builder</i> <i>Mangahigh</i>	Hoofdstuk 3 Hoofdstuk 4
• Ruimtelijke vaardigheden	<i>Pentominoes, Minecraft</i>	Hoofdstuk 2

Referenties

- Apperley, T. H. (2006). Genre and game studies. *Simulation & Gaming*, 37 (1), 6–23.
- Boaler, J. (2002). *Experiencing school mathematics: Traditional and reform approaches to teaching and their impact on student learning*. Routledge.
- Chou, Y. K. (2019). *Actionable gamification: Beyond points, badges, and leaderboards*. Packt Publishing Ltd.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining “gamification”. In *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments*, pp. 9-15.
- Deterding, S. (2015). The lens of intrinsic skill atoms: A method for gameful design. *Human-Computer Interaction*, 30(3-4), 294-335.
- Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming: An Interdisciplinary Journal*, 33, 441-467.
- Habgood, J., & Overmars, M. (2006). *The game maker's apprentice: Game development for beginners*. Apress.
- Kors, M. J. L., van der Spek, E. D., & Schouten, B. A. M. (2015). A foundation for the persuasive gameplay experience. In Nelson, M. & Boyang, L. (Eds.), *Proceedings of the 10th International Conference on the Foundations of Digital Games (FDG 2015)*, June 22-25, 2015, Pacific Grove, CA, USA.
- Landers, R. N. (2014). Developing a theory of gamified learning: Linking serious games and gamification of learning. *Simulation & gaming*, 45(6), 752-768.
- Lindley, C. A. (2003). Game taxonomies: A high level framework for game analysis and design. *Gamasutra feature article*, October 3, 2003.
- Martens, A., & Müller, W. (2015). Gamification. In: Nakatsu, R., Rauterberg, M., Ciancarini, P. (Eds.), *Handbook of Digital Games and Entertainment Technologies*. Springer, Singapore.
- Martens, A., & Mueller, W. (2016). Gamification—a structured analysis. In *2016 IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pp. 138-142, IEEE.
- Pelling, N. (2011). “The (Short) Prehistory of ‘Gamification’...”, *Funding Startups (& Other Impossibilities)*. August 9, 2011, Retrieved December 16, 2022 from nanodome.wordpress.com/2011/08/09/the-short-prehistory-of-gamification/.
- Richardson, F. C., & Suinn, R. M. (1972). The mathematics anxiety rating scale: psychometric data. *Journal of counseling Psychology*, 19(6), 551.
- Salen, K., & Zimmerman, E. (2003). *Rules of Play: Game design fundamentals*. MIT press.
- Spires, H. A. (2015). Digital Game-Based Learning: What's Literacy Got to Do With It? *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, 59(2), 125-130.
- Szyma, M. (2014). Who coined the term ‘gamification’? *Quora*, March 19, 2014.
- Vargas-Iglesias, J. J. (2020). Making sense of genre: The logic of video game genre organization. *Games and Culture*, 15(2), 158-178.
- Zettle, R. D., & Raines, S. J. (2000). The relationship of trait and test anxiety with mathematics anxiety. *College Student Journal*, 34(2).





Hoofdstuk 2

Leren en onderwijzen met DGBL in wiskunde: Stand van zaken

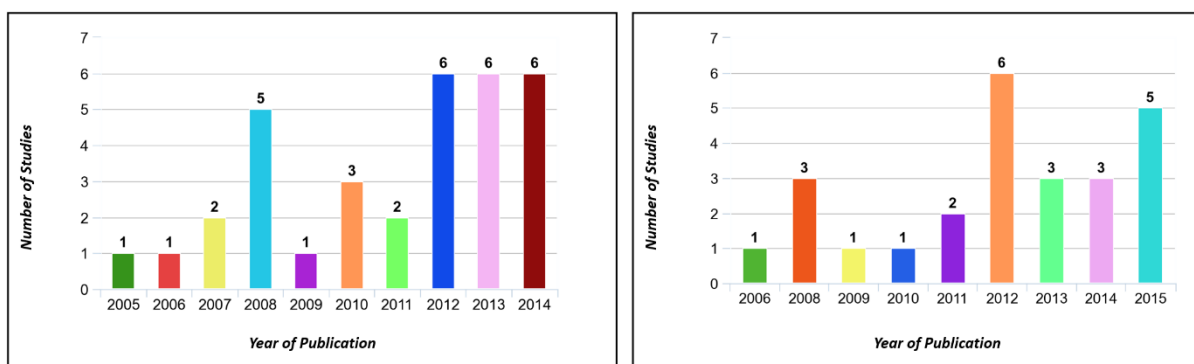
Chronis Kynigos, Myrto Karavakou en Marianthi Grizioti
Nationale en Kapodistriaanse Universiteit van Athene, Griekenland



Hoofdstuk 2. Leren en onderwijzen met DGBL in wiskunde: Stand van zaken

2.1 Inleiding: Digital Game-Based Learning in het wiskundeonderwijs

Digitale games voor Game-Based Learning zijn recentelijk een essentieel onderwerp geworden voor onderzoek naar onderwijsvraagstukken. De term "Digital Game-Based Learning" (DGBL) is in 2003 geïntroduceerd door Mark Prensky als elke leeractiviteit die gebruik maakt van digitale games (Prensky, 2003). De laatste jaren krijgen digitale games geleidelijk meer en meer aandacht binnen het wiskundeonderwijs. Byun en Joung (2018) en Tokac, Novak en Thompson (2019) voerden meta-analyses uit waarbij ze de onderzoeken naar het gebruik van DGBL voor het leren van wiskunde onder de loep namen. Beide papers meldten dat het aantal studies dat de effecten van digitale games in het wiskundeonderwijs onderzoekt de laatste twee decennia (van 2000 tot 2017) voortdurend is toegenomen (figuur 2.1). Volgens Divjak en Tomic (2011) is de reden voor deze snelle bewustwording in het wiskundeonderwijs gebaseerd op twee belangrijke factoren.



Figuur 2.1. Publicatiejaren, zoals opgehaald uit Byun en Joung (2018) [links] en Divjak en Tomic (2011) [rechts].

Ten eerste heeft deze steeds veranderende wereld van de technologie geleid tot een enorme verandering in de manier waarop leerlingen denken en leren. Studenten in traditionele klassen onder leiding van een leraar zijn passieve ontvangers van door de leraren gekozen materiaal, hebben weinig controle over wat ze leren, moeten zich aanpassen aan het tempo en het vaardigheidsniveau van de groep, en krijgen oppervlakkige, onnauwkeurige en normatieve feedback over hun werk. Leerkrachten zouden videospelletjes kunnen integreren in de leeromgeving om deze te verbeteren door leerlingen uit te dagen en te betrekken, samenwerking mogelijk te maken, criterium-gebaseerde beoordelingen te gebruiken en leerlingen meer controle te geven over het leerproces (Squire, 2003). Tegenwoordig worden we geconfronteerd met nieuwe generaties computergeletterde leerlingen - bekend als "digital natives" - die andere behoeften en verwachtingen hebben van hun onderwijs, waarbij computers een integrale rol moeten spelen. Daarnaast is het gebruik van technologie een methode om de behoeften van deze digital natives te overbruggen met de opgelegde 21e-eeuwse vaardigheden die hen moeten voorbereiden op de technologische aspecten van de wereld buiten de middelbare school.

De tweede reden is de complexiteit en de moeilijkheden die leerlingen ondervinden met het vak wiskunde. Traditionele instructie van wiskunde is verbonden met negatieve attitudes, niet betrokken voelen en lauwe interesse, gebrek aan motivatie en doelgerichtheid en gebrek aan plezier (Ashcraft 2002; Hannula, 2002;



Hwa, 2018). Bovendien is wiskunde voor de meeste leerlingen verbonden met stress, angst, een gevoel van hulpeloosheid en een gebrek aan relevantie voor hun sociaal-culturele leven, terwijl het hun nieuwsgierigheid en creativiteit verre van prikkelt (Papert, 1980; Klein, 2002). Digitale games daarentegen bieden een veelbelovende rijke leeromgeving voor digitale leerlingen die een oplossing zou kunnen zijn voor dit tijdelijke probleem. Vele studies hebben gewezen op de voordelen en de mogelijkheden van digitale games in zowel formele als informele onderwijssettings over verschillende wiskundige onderwerpen om deze stelling te ondersteunen (Byun en Joung, 2018; Divjak en Tomic, 2011). Hoewel de effectiviteit van digitale games bij het leren van wiskunde nog lang niet als voldoende empirisch of theoretisch onderbouwd wordt beschouwd, heeft deze nieuwe golf van studies een nieuwe veelbelovende onderzoekshorizon gevormd naar een zinvolle integratie van digitale games in het wiskundeonderwijs.

In dit hoofdstuk bespreken we de huidige trends van Digital Game-Based Learning in Mathematics Education (DGBLM) en presenteren we de voordelen ervan zoals die naar voren komen uit bestaande empirische studies, samen met enkele concrete voorbeelden van empirische studies waarin deze voordelen zijn vastgelegd. Vervolgens gaan we in op enkele kritische kwesties rond DGBLM-studies zoals die uit recente meta-overzichten naar voren zijn gekomen. Ten slotte geven we suggesties uit de literatuur en mogelijke theoretische trajecten die het leerpotentieel van DGBLM kunnen bevorderen. Ons doel is cruciale bestaande lacunes in het huidige onderzoek op dit gebied te presenteren en op te vullen.

2.2 Gerapporteerde voordelen van DGBL in het wiskundeonderwijs en voorbeelden

In deze paragraaf presenteren wij de voordelen van DGBL in het wiskundeonderwijs (DGBLM) zoals die in de literatuur worden gepresenteerd, gevolgd door specifieke voorbeelden van studies.

2.2.1 Motivatie en positieve attitudes

Er zijn talrijke studies die de doeltreffendheid van DGBL voor het verbeteren van de motivatie en de positieve attitude van leerlingen rapporteren. De meeste daarvan verzamelden hun gegevens via vragenlijsten en/of interviews met leerkrachten en leerlingen of gingen uit van menselijke observaties. Andere studies richten zich op de prestaties van leerlingen na het spelen van digitale games met wiskundige educatieve inhoud. Volgens de meta-reviewers geven de meeste van deze studies positieve resultaten aan en volgen zij een vergelijkbaar patroon om dit te beoordelen. De meerderheid van dit soort studies verdeelt leerlingen in twee groepen - een experimentele groep die een specifieke digitale spelactiviteit krijgt aangeboden en een controlegroep die traditionele instructie krijgt. Er zijn ook studies die zich zowel op cognitieve als op affectieve factoren richten.

De "DimensionM" game

Bai et al. (2012) gebruikten bijvoorbeeld het 3D-spel "DimensionM", waarbij leerlingen werd gevraagd wiskundige concepten in algebra te ontcijferen. Het doel van de studie was om zowel de effecten van het spel op de wiskundeprestaties van leerlingen als de motivatie van leerlingen om wiskunde te leren op het niveau van de middelbare school te onderzoeken.

DimensionM (Tabula Digita, Inc., 2007) is een wiskundig educatief, meeslepend 3D-video game, ontwikkeld voor middelbare scholieren. Het doel van het spel is wiskundige concepten te ontcijferen door middel van experimentele activiteiten in 3D-omgevingen (figuur 2.2). Het spel is ontworpen om teamwerk, samenwerking, rolverdeling en vele andere spelactiviteiten te gebruiken om leerlingen te helpen algebraïsche problemen op te lossen en de in de klas geleerde kennis te oefenen. De missies stellen doelen voor leerlingen



om na te streven tijdens het wiskunde spel. DimensionM biedt ook lesmodules met interactieve tweedimensionale verhaal-inleidingen. Docenten kunnen deze modules gebruiken als didactische ondersteuning tijdens klassikale instructies, en leerlingen kunnen ze gebruiken als een zelfgestuurd hulpmiddel wanneer ze de games spelen om de inhoud van de wiskundige onderwerpen te leren. DimensionM biedt leerlingen de mogelijkheid wiskundige kennis te ervaren en op te nemen door interacties met de problemen uit de echte wereld. De behandelgroep werkte met DimensionM in computerlokalen als aanvulling op de reguliere klassikale instructies, terwijl de controlegroep de klassikale instructies kreeg met reguliere klassikale activiteiten zonder computerhulpmiddelen. De bevindingen van deze studie suggereren dat DimensionM de wiskundeprestaties van leerlingen op middelbare scholen kan verbeteren en ook de motivatie van leerlingen om te leren en de doelen van de activiteiten na te streven, helpt ondersteunen. Bovendien bleek uit de analysesresultaten dat de behandelgroep gedurende de gehele experimentele periode hun leermotivatie licht verhoogde, hoewel deze stijgingen niet significant waren.



Figuur 2.2. Screenshots van het spel "DimensionM" (Tabula Digita, Inc., 2007).

De "MATH BLASTER 9-12" game

Evenzo richt Rodrigo (2011) zijn resultatenanalyse op de cognitief-affectieve toestanden van verveling, verwarring, verrukking, betrokkenheid, frustratie, neutraliteit en verrassing terwijl leerlingen het spel "MATH BLASTER 9-12" spelen. Het scenario van het spel is dat een galactische commandant gestrand is op een apenplaneet. Om de commandant te helpen ontsnappen, moet de speler medaillons verzamelen die de commandant vervolgens aan de apenkoning kan aanbieden. Om de medaillons te winnen moet de speler pre-algebra spelletjes doen waarbij hij of zij positieve en negatieve hele getallen, decimalen of breuken moet optellen, aftrekken, vermenigvuldigen of delen.



Figuur 2.3. Screenshots van het spel "MATH BLASTER 9-12" (Rodrigo, 2011).

De deelnemers wordt gevraagd zich te concentreren op drie activiteiten binnen het spel: Crater Crossing, Banana Splat en Bridge Builder (figuur 2.3):

- In Crater Crossing moeten de deelnemers op pods springen waarvan de oplossingen varieerden van -14 tot -1 .
- In Banana Splat moeten de deelnemers een banaan gooien naar de vliegende aap die het getal draagt dat de vergelijking oplost.
- In Bridge Builder moeten de deelnemers een brug voltooien door de combinatie van breuken en decimalen te kiezen die opgeteld 1 is.

Deze activiteiten werden geselecteerd omdat zij de directe en onmiddellijke toepassing van elementaire rekenkundige bewerkingen vereisen.

Deze studie concludeert dat het gebruik van dergelijke spelletjes in de klas leerlingen in cognitief-affectieve toestanden kan brengen die bevorderlijk zijn voor het leren, zoals verhoogde motivatie, belangstelling en betrokkenheid. De auteur wijst echter op een belangrijke uitdaging, zelfs voor dergelijke spelvormen - de overgang van een leerling uit de verveling naar een meer educatief productieve toestand.

2.2.2 Vaardigheden en prestaties

Sommige studies richten zich op specifieke wiskundige of interdisciplinaire vaardigheden die worden ontwikkeld tijdens de interactie van leerlingen met een digitaal spel en hebben positieve resultaten gerapporteerd. Gros (2007) onderzocht bijvoorbeeld de evolutie van het ontwerp van videogames om de belangrijkste bijdragen en kenmerken van DGBL-omgevingen te analyseren. Zij stelde dat digitale games door hun uitdagingen de vaardigheden kunnen verbeteren die toekomstige burgers in een digitale samenleving nodig zullen hebben, zoals het ontwikkelen van probleemoplossende strategieën en computervaardigheid.

De "Hit the target" game

Een ander voorbeeld wordt gegeven door Kolovou, van den Heuvel-Panhuizen en Köller (2013), die de effecten onderzochten van een interventie met een online game genaamd "Hit the target" op de vroege algebraprestaties van 236 basisschoolleerlingen. Het is een dynamisch spel dat online gespeeld kan worden en waarmee leerlingen het verband tussen grootheden kunnen ervaren. Het aantal geschoten pijlen, de aan elk schot toegekende punten en de totale score hangen met elkaar samen, zodat een verandering in een van deze waarden ook de andere waarden beïnvloedt. In dit spel kunnen de leerlingen de schietstand en de spelregelstand instellen. De schietstand omvat twee opties:

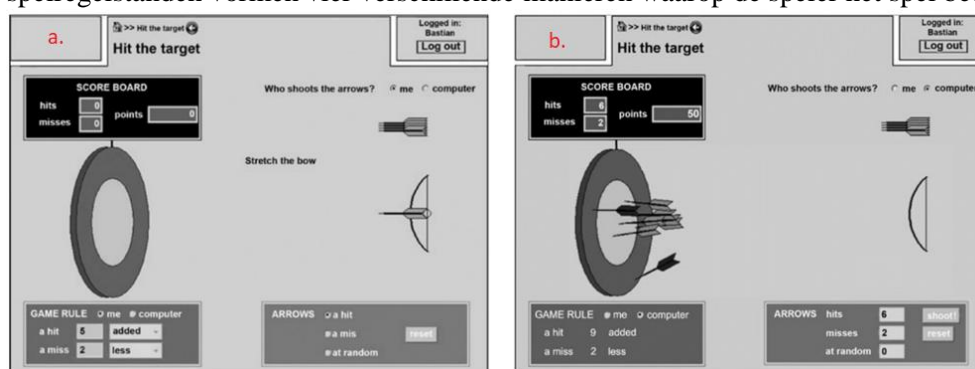
- De eerste optie is de gebruikersschietmodus (zie figuur 2.4.a), waarin de speler pijlen één voor één afschiet door ze naar de boog te slepen. Daarnaast moet de speler voordat hij een pijl afschiet

beslissen of het een misser, een voltreffer of een at-random pijl wordt. In het laatste geval weet de speler niet van tevoren of de pijl raak of mis zal zijn.

- De tweede optie is de computer-schietmodus (zie figuur 2.4.b), waarin de speler een aantal treffers, missers en willekeurige pijlen invoert en deze in één keer afschiet.

De spelregelmodus bevat ook twee opties:

- De eerste optie is de door de gebruiker gedefinieerde spelregelmodus (zie figuur 2.4.a), waarin de speler de spelregel bepaalt door de punten in te vullen die worden toegevoegd of afgetrokken in geval van een treffer of een misser.
- De tweede optie is de computergestuurde spelregelstand, waarbij de computer de spelregel willekeurig bepaalt (zie figuur 2.4.b). De twee schietstanden in combinatie met de twee spelregelstanden vormen vier verschillende manieren waarop de speler het spel bedient.



Figuur 2.4. Screenshots van de "Hit the target" game (Kolovou et al., 2013).

Tijdens het schieten worden de waarden op het scorebord onmiddellijk bijgewerkt om de leerlingen te informeren over hun score. Hetzelfde gebeurt wanneer de pijlen van het doel worden verwijderd. Op deze manier kunnen de leerlingen begrijpen dat de pijlen, de score en de spelregel aan elkaar gerelateerd zijn, zodat een verandering in de waarde van een van deze grootheden een direct effect heeft op de andere grootheden. Bovendien biedt het spel onmiddellijke visuele feedback door op het scorebord het aantal treffers en missers en het aantal punten te tonen. Dit betekent dat de leerlingen direct geconfronteerd worden met de gevolgen van hun acties. Vervolgens moeten de leerlingen de situatie op het scherm interpreteren en kunnen zij de waarden van de grootheden zo nodig aanpassen. In feite stelt dit dynamische karakter van het spel de leerlingen in staat het verband tussen de grootheden te ontdekken.

Enkele voorbeelden van uitdagingen in dit spel staan hieronder:

- *Voor elke treffer krijg je 3 punten en voor elke misser gaat er 1 punt van je score af. Hoeveel treffers en missers moet je schieten om in totaal 15 punten te krijgen?*
- *Wat is de spelregel om in totaal 15 punten te krijgen met 15 treffers en 15 missers?*
- *Zijn er andere spelregels om 15 treffers, 15 missers en 15 punten te krijgen?*
- *Wat is de spelregel om in totaal 16 punten te krijgen met 16 treffers en 16 missers?*
- *Zijn er andere spelregels om 16 treffers, 16 missers en 16 punten te krijgen?*
- *Wat is de spelregel om in totaal 100 punten te krijgen met 100 treffers en 100 missers?*
- *Zijn er andere spelregels om 100 treffers, 100 missers en 100 punten te krijgen?*
- *Voor elke treffer krijg je 2 punten en voor elke misser gaat er 1 punt van je score af. Je hebt 10 pijlen in totaal. Hoeveel treffers en missers moet je schieten om in totaal 5 punten te krijgen?*

De bevindingen van deze studie wijzen erop dat computerspelletjes geschikt zouden kunnen zijn als hulpmiddel om de prestaties van leerlingen in vroege algebra te verbeteren. Studenten werden geconfronteerd met samenhangende grootheden, om antwoorden te geven op de bovenstaande vragen en bezig te zijn met informeel wiskundig redeneren. Bovendien lijkt het 'uitbesteden' van onderwijs aan een game dat leerlingen de mogelijkheid biedt om thuis een onlinespel te spelen een idee dat verder onderzoek verdient. Met de juiste taken kan computergebruik thuis een leeromgeving creëren die het leren op school kan ondersteunen en uitbreiden.

De "VidyaNusa" game

Een ander onderzoek van Nugraha en Rusmin (2015) onderzocht het effect van een educatief spel genaamd "VidyaNusa" (zie figuur 2.5) op het leren van de stelling van Pythagoras.



Figuur 2.5. Screenshot uit het "VidyaNusa" spel (Nugraha & Rusmin, 2015).

Het instructieontwerp in dit spel was als volgt:

1. De introductie van de stelling van Pythagoras wordt gegeven wanneer de speler de bodem van de door termieten opgegeten kar moet oplappen.
2. De uitvoering van het hellend vlak en de stelling van Pythagoras werd gegeven in het tweede level, wanneer de speler een manier moet vinden om de kratten in de kar te tillen.
3. Op het laatste niveau werden oefeningen gegeven waarbij de gebruiker de kratten in de kar moet duwen door de juiste antwoorden te geven.

De auteurs van deze studie concluderen dat Game-Based Learning-methoden de leerresultaten van studenten aanzienlijk kunnen verbeteren en de motivatie en interesse van studenten om te leren kunnen bevorderen.

De digitale game "Pentomino's"

Yang en Chen (2010) onderzochten de suggestie dat het spelen van computerspellen kan helpen bij de ontwikkeling van ruimtelijke oriëntatie en ruimtelijke vaardigheden. Daartoe ontwierpen zij een computerspel gericht op de ontwikkeling van ruimtelijke vaardigheden. Pentomino is een soort polyomino, een meetkundige vorm die wordt gevormd door vijf congruente vierkanten samen te voegen die verbonden zijn langs hun randen. De 12 pentomino's kunnen 18 verschillende vormen aannemen, waarvan er 6 (de chirale pentomino's) gespiegeld zijn. In het algemeen is een standaard pentomino puzzel ontworpen om een rechthoekige doos (spelbord) te betegelen met 12 verschillende stukken. Meer specifiek moeten de leerlingen deze stukken selecteren, roteren, verschuiven, omdraaien, spiegelen en op het spelbord plaatsen, en stukken

van het bord verwijderen om een pentomino-puzzel af te maken (figuur 2.6).



Figuur 2.6. De digitale Pentomino's spelinterface (Yang & Chen, 2010).

De in deze studie gebruikte taken met het digitale pentomino-spel zijn de volgende:

- Standaard pentomino puzzelopdracht: De leerlingen wordt gevraagd de rechthoekige doos te betegelen met verschillende pentomino stukjes.
- Dieren pentomino puzzelopdracht: De leerlingen wordt gevraagd de dierenfiguur, zoals olifant, krokodil, hond, hert, vogel, schildpad, kameel, kip en kangoeroe, te betegelen met behulp van verschillende pentomino stukjes.

De deelnemers, die vrijwillig deelnamen aan deze studie, waren leerlingen van groep 5 van een basisschool. Uit de resultaten bleek dat de ruimtelijke vaardigheden van de leerlingen, namelijk ruimtelijke waarneming, mentale rotatie en ruimtelijke visualisatie, aanzienlijk waren verbeterd na het spelen van het computerspel. De resultaten tonen ook aan dat de digitale game de verschillen tussen jongens en meisjes redelijk kan verkleinen.

2.2.3 Pedagogisch potentieel van commerciële games

Naast educatieve games, die specifiek zijn ontworpen voor educatieve doeleinden, richten sommige studies - hoewel zeer weinig in vergelijking met studies die educatieve games onderzoeken - zich op het onderzoeken van het pedagogisch potentieel van commerciële games, zoals Minecraft (Al-Washmi et al., 2014; Bos et al., 2014; Foerster, 2017; Jensen et al. 2019) en The Sims (Avraamidou, Monaghan & Walker, 2012; Avraamidou, 2015). Beide commerciële games bevatten een "bouwmodus" die de creativiteit, meetkundige en ruimtelijke vaardigheden en wiskundige activiteit van leerlingen in het algemeen kunnen bevorderen.

Minecraft

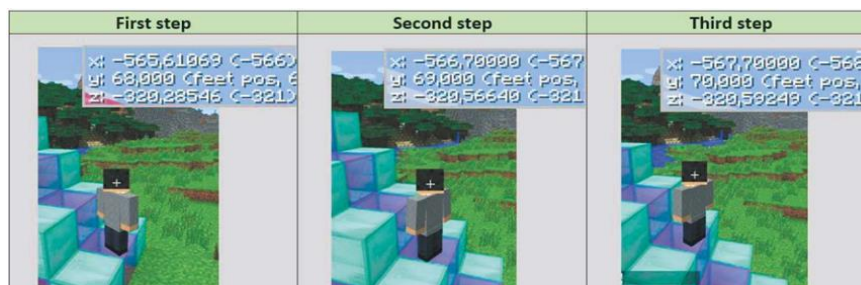
Minecraft kan worden samengevat als een (collaboratief) zandbakspel, waarin Lego-achtige blokjes kunnen worden geplaatst en verwijderd. Naast deze bouwmodus (de zogenaamde "creatieve modus") is er ook een "overlevingsmodus" beschikbaar, waarbij de spelers beginnen met een lege inventaris en alle gewenste grondstoffen moeten verzamelen/mijnen, terwijl de wereld wordt bevolkt door vriendelijke niet-spelers, dieren en vijandige monsters. Het fenomeen Minecraft vond snel zijn weg naar onderwijs en onderzoek. Kort na de release werd in artikelen gesproken over het gebruik van Minecraft in de klas voor onderwerpen als biologie, ecologie, natuurkunde, scheikunde en aardrijkskunde. Specifiek voor wiskunde zijn er verschillende studies gedaan naar algebraïsche en meetkundige concepten en naar het begrip dat leerlingen daarvan hebben.



Figuur 2.7. Het verkennen van oppervlakte en omtrek binnen Minecraft (Bos et al., 2014).

Bos et al. (2014) lieten leerlingen (groep 3) oppervlakte en omtrek verkennen met behulp van Minecraft, waarbij ook aanvullende Minecraft-wiskundige activiteiten voor leerlingen in het basisonderwijs werden gegeven: bijvoorbeeld redeneren met vormen, meetkundige maten, patronen analyseren, of schalen. De leerlingen werd gevraagd om in de creatieve modus een kustplaats te bouwen met een steiger-oppervlakte van 12 vierkante meter, een aaswinkel met een omtrek van 12 meter, een restaurant met een oppervlakte van 24 vierkante meter, en een vierkante winkel met een oppervlakte van 16 vierkante meter (figuur 2.7). Elk vierkant blok stelde een kubieke meter voor. De eenheden werden zorgvuldig gekozen om de leerlingen de keuze te geven uit stenen met verschillende afmetingen. Na het bouwen van hun structuren vergeleken en bespraken ze de overeenkomsten en verschillen tussen elkaars configuraties. Er werden vragen gesteld over de verschillende vormkeuzes voor de gebouwen (smal en dun of bijna vierkant). De verscheidenheid aan mogelijke afmetingen leidde tot een rijke discussie. De leerlingen ontdekten dat slechts één stel afmetingen mogelijk was voor de winkel (een vierkant gebouw). Deze ontdekking leidde tot vermoedens over de vormen van de structuren en hun relatie tot omtrek en oppervlakte. Het verschil tussen de twee begrippen werd duidelijker met de visuele beeldvorming toen de leerlingen de lengte van de zijde van een kubus herhaaldelijk gebruikten om de afstand rond een vorm (de omtrek) te meten en het aantal vierkante eenheden telden die de basisvorm vormden (de oppervlakte).

Jensen en Hanghøj (2019) presenteren empirische bevindingen van een kwalitatieve studie die Minecraft gebruikt als wiskundig hulpmiddel voor groep 5 om het coördinatenstelsel te begrijpen. Leerlingen werd gevraagd om het coördinatenstelsel dat is ingebed in Minecraft te gebruiken als middel om te navigeren en het spel te verkennen om wiskundige problemen op te lossen (Zie figuur 2.8). Wanneer spelers hun avatar in de virtuele wereld verplaatsen, veranderen de waarden bij de assen overeenkomstig de positie. Dus rechtstreeks omhoog of omlaag bewegen beïnvloedt de plaats op de y-as en recht vooruit bewegen verhoogt de waarde langs de x-as. Leerlingen maakten gebruik van het coördinatensysteem om te markeren waar specifieke elementen of wezens van het spel zich bevinden en om ze gemakkelijk opnieuw te bezoeken wanneer ze maar wilden.



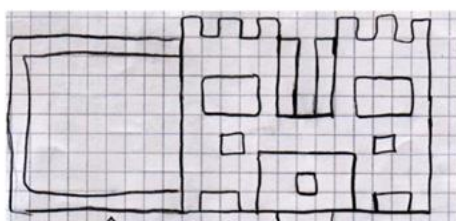
Figuur 2.8. Het verkennen van het coördinatenstelsel binnen Minecraft (Jensen en Hanghøj, 2019).

De belangrijkste bevindingen van deze studie betreffen de ervaring van de studenten met het coördinatenstelsel als onderdeel van zowel de wiskundediscipline als van hun dagelijkse domein bij het spelen van Minecraft. De auteurs vermelden dat studenten het coördinatenstelsel actief gebruikten om hun spel in Minecraft te verbeteren, maar ook nieuwe manieren ervaren van wiskundig bezig zijn.

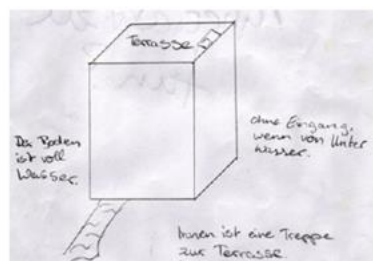
Een ander voorbeeld van educatief ontwerp waarbij Minecraft wordt gebruikt met gemelde elementen bij het begrijpen van ruimtelijke geometrie wordt gegeven door Foerster (2017). Leerlingen van de groep 5 en 6 namen deel aan twee verschillende klassen:

1. De eerste richtte zich op de transfer tussen het vlak & de ruimte en het samen bouwen. Leerlingen werd gevraagd hun getekende objecten over te brengen van het vlak naar de ruimte van de virtuele wereld.
2. De tweede les ging over schaalconstructies. De leerlingen schetsten een gewenste constructie en bouwden die dan tweemaal, eenmaal op normale grootte en eenmaal op dubbele grootte. Daarna werd het schaalproces omgekeerd, waarbij de afmetingen werden teruggebracht tot de helft.

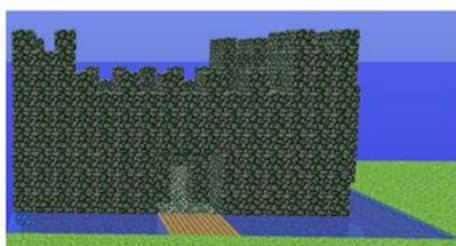
Op basis van hun bevindingen (figuur 2.9) ondersteunen de auteurs dat het juiste gebruik van Minecraft in de klas een verrijkende ervaring kan zijn met betrekking tot het begrip ruimte aan het eind van het basisonderwijs. Zij benadrukken echter het gebruik van Minecraft als een nuttig hulpmiddel om het onderwijs in het curriculum te verbeteren, in plaats van delen ervan te vervangen.



Sketch of a castle (grade 5).



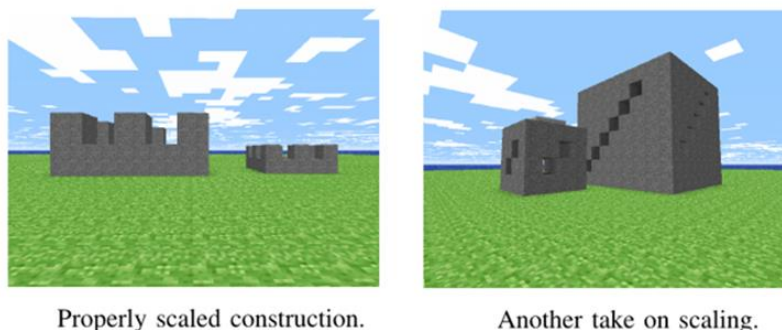
Sketch of a cubic building (grade 6).



Construction of the castle above.



Construction of the cubic building above.



Figuur 2.9. Het verkennen van ruimtelijke meetkunde binnen Minecraft (Foerster, 2017).

The Sims

Op dezelfde golflengte onderzochten Avraamidou et al. (2012) een educatieve activiteit binnen de virtuele wereld van het spel "The Sims 2". De spellen uit de Sims-serie zijn grotendeels zandbak-leven-simulatiespellen, waarin geen vastomlijnde doelen zijn vastgelegd. De speler creëert virtuele mensen, "Sims" genaamd, plaatst ze in huizen en helpt hun stemmingen te sturen en hun verlangens te bevredigen. Spelers kunnen hun Sims in vooraf gebouwde huizen plaatsen of ze zelf bouwen. Hun studie onderzocht de wiskundige activiteit van een 11-jarige jongen via het spelen van het computerspel, in de context van het bouwen van een symmetrisch, virtueel huis. De bedoeling van het spel was dat de leerling twee huizen zou bouwen:

1. de eerste die wordt gebouwd zonder budget- of vormbeperkingen, zodat hij vertrouwd kan raken met de beschikbare bouwgereedschappen
2. de tweede om een symmetrisch huis te bouwen voor een specifieke familie en met een strikt budget.

Tijdens de bouw van het tweede huis (zie figuur 2.10) was de leerling bezig met wiskundig denken in verschillende vormen, zoals:

- Om de deur van het huis - waarvan de basislengte 2 lengte-eenheden is - centraal te plaatsen, besepte hij dat hij voor de voorkant van zijn gebouw een even aantal blokjes nodig had. Daarom moest hij de funderingsblokjes van de voorkant veranderen van 15 in 14. Daartoe schrapte hij één rij blokjes aan de rechterkant.
- Nadat de leerling deze verandering had aangebracht, besepte hij dat de achterkant van het huis niet symmetrisch was. Om dit symmetrie probleem op te lossen, besloot hij nog twee kubussen toe te voegen. Vervolgens zorgde hij voor de symmetrie van elke zijde van het huis en ging hij verder met het oplossen van het eerste probleem, door de voordeur op de 7e en 8e blokjes te plaatsen.



Figuur 2.10. Het bouwen van een symmetrisch huis in De Sims 2 (Avraamidou, Monaghan & Walker, 2012).

De voorzieningen van het videospel vergemakkelijken het verband tussen de wiskundige en de alledaagse kennis van de leerling en de meeste van zijn doelen werden gestart en beëindigd, althans gedeeltelijk, door functionaliteiten van The Sims 2. Hij ontwikkelde en gebruikte, zonder hulp, een artefact en een bijbehorende strategie om ervoor te zorgen dat zijn huis symmetrisch werd. Volgens de auteurs was het computerspel een middel om de wiskundige ideeën en betekenissen voor de leerling zichtbaar te maken. Zij stellen ook dat men in een dergelijke context van zandbakspellen meetkundige kennis en vaardigheden kan ontwikkelen door te bouwen in een virtuele wereld, waar concepten niet alleen gesitueerd maar ook belichaamd zijn, d.w.z. spelers kunnen met hun virtuele zelf door de gebouwen lopen en zo begrijpen hoe de abstracte getallen en hoeken zich verhouden tot de driedimensionaliteit van de fysieke wereld.

2.2.4 Sociaal aspect

Ten slotte onderzochten verscheidene onderzoekers het sociale aspect van DGBLM en rapporteerden zij de doeltreffendheid ervan voor de attitudes of het leren van leerlingen.

De "ASTRA EAGLE" spellen

Ke (2008) onderzocht bijvoorbeeld de effecten van coöperatief spel op de houding van leerlingen ten opzichte van wiskunde (zie figuur 2.11). In deze studie werden vier wiskundegames binnen de ASTRA EAGLE set gebruikt die gericht zijn op leerlingen van groep 5. ASTRA EAGLE was een reeks webgames die waren ontworpen als oefenprogramma's om de 'academic standards' voor wiskunde aan te scherpen, die vereist zijn door het "Pennsylvania System of School Assessment (PSSA)", een op 'standards-based, aan criteria gebonden beoordeling die voor alle openbare scholen in Pennsylvania wordt vereist.

De spelprestaties van de spelers, de online tijd en de spelscores werden gearchiveerd in de database van het systeem, waardoor het gemakkelijk kon worden aangepast voor competitieve (vergelijking tussen individuen), individualistische (zelfvergelijking gedurende de experimentele periode) en coöperatieve taakstructuur (samenvoegen van de prestaties van individuele leden tot een teamscore). Elk spel bevat een achtergrondverhaal met een reeks problemen die gericht zijn op het begrijpen van een wiskundeconcept of het toepassen van een vaardigheid. Een voorbeeld was de taak om X- en Y-coördinaten te lokaliseren in het spel "Treasure Hunt", waarbij de spelers een hint konden volgen "Ga naar X15, Y3 op de kaart" om naar een schat te graven. De games gebruikten alleen corrigerende feedback.



Figuur 2.11. Screenshot van de "ASTRA EAGLE"-games (Ke, 2008).

Het onderzoek suggereerde dat coöperatieve Teams Games Toernooien (d.w.z. een coöperatieve doelstructuur die gebruik maakt van groepsbeloningen met inter-group competitie) effectiever waren dan de interpersonal competitie bij het bevorderen van positieve wiskundeattitudes. Deze studie biedt een argument

voor het combineren van de twee onderwijstechnieken, computerspellen en coöperatief leren, om het wiskundeonderwijs te verbeteren. De bevindingen suggereren dat coöperatief spelend leren bijzonder effectief is in het bevorderen van positieve attitudes bij het leren van wiskunde.

Burguillo (2010) merkte daarentegen op dat een combinatie van (niet noodzakelijkerwijs digitale) spelletjes en vriendschappelijke competitie ertoe leidde dat leerlingen sterk gemotiveerd waren om te leren. Deze combinatie verbetert ook de sociale vaardigheden en het zelfvertrouwen van de leerlingen.

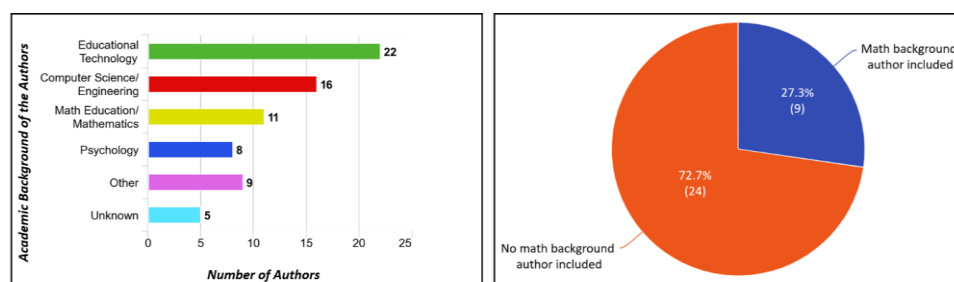
2.2.5 Samenvattend

Ook al heeft digitaal spelend leren pas sinds kort aandacht gekregen binnen het wiskundeonderwijs, er zijn, kortom, veel belangrijke voordelen die uit onderzoek naar voren zijn gekomen. De meeste daarvan zijn het eens over de verbetering van de motivatie en de houding van leerlingen ten aanzien van het leren van wiskunde, en bieden een oplossing voor een cruciaal probleem van traditioneel onderwijs: het gebrek aan belangstelling en motivatie bij leerlingen om zich met leren bezig te houden. Andere studies ondersteunen de verbetering van de wiskundige prestaties van de leerlingen, de ontwikkeling van belangrijke vaardigheden in verband met het leren van wiskunde, zoals ruimtelijke vaardigheden, probleemoplossingsstrategieën, verbeeldingskracht, enz. en hun sociale vaardigheden.

2.3 Punten van kritiek in bestaande DGBLM-studies

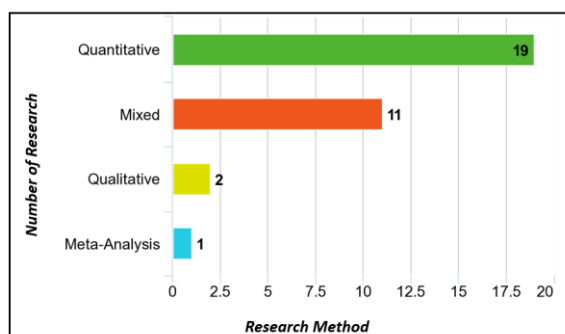
Nadat ze voor hun meta-analyse een aanzienlijke hoeveelheid studies over dit onderwerp hebben bekeken, maken Byun en Joung (2018) een aantal kritische opmerkingen waarmee rekening moet worden gehouden.

Ten eerste was het verrassend dat slechts 15,2% van de onderzochte studies over DGBLM gepubliceerd waren binnen het vakgebied wiskundeonderwijs, terwijl de meerderheid van de studies (meer dan driekwart) gepubliceerd was binnen het vakgebied onderwijstechnologie (figuur 2.12). Met andere woorden, hoewel het belangrijkste belang van deze studies het effect van DGBL op het leren van wiskunde is, zijn ze overwegend uitgevoerd door onderzoekers van onderwijstechnologie zonder wiskundige achtergrond en/of buiten het gebied van het wiskundeonderwijs.



Figuur 2.12. Academische achtergrond van de auteurs (Byun en Joung, 2018).

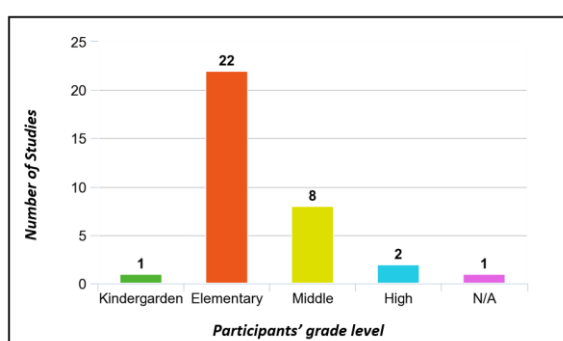
Bovendien beschrijft de bestaande literatuur voornamelijk kwantitatieve studies, wat in overeenstemming is met het feit dat DGBLM een nieuwe, nog niet onderzochte leerbenadering is, zodat kwalitatieve empirische studies kunnen worden gevormd en theoretisch kunnen worden ondersteund (figuur 2.13). Meer dan 90% van de door Byun en Joung beoordeelde studies (30 van de 33) maakte gebruik van kwantitatieve en gemengde onderzoeksmethoden.



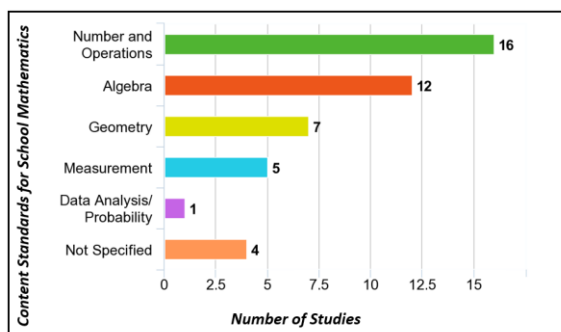
Figuur 2.13. Onderzoeksmethoden (Byun en Joung, 2018).

Bovendien maakten de meeste van de onderzochte studies voornamelijk gebruik van drill-and-practice games, een soort gamified versie van traditionele oefeningen op papier waarbij procedurele vaardigheden vereist zijn. Dergelijke digitale games hebben weliswaar enkele van de belangrijkste kenmerken van commerciële games (bv. doel, beloningen of ingebouwde stapjes), maar blijven beperkt tot het herhalen van eenvoudige berekeningen (rekenkundig of algebraïsch). Daarom spreekt het vanzelf dat deze gegamificeerde oefeningen de prestaties van leerlingen kunnen verbeteren bij soortgelijke oefeningen op papier en potlood, op dezelfde of vergelijkbare wijze als veel traditionele oefening dat zou doen. Op die manier lijkt DGBL een "met chocolade overgoten broccoli" te bieden om wiskunde minder afstotelijk te maken.

Byun en Joung (2018) concludeerden ook dat het merendeel van de bestaande onderzoeken is uitgevoerd met leerlingen op basisschoolniveau (figuur 2.14) en dat de populairste wiskundige onderwerpen waar onderzoek zich op heeft gericht getallen en algebraïsche bewerkingen, meten, data-analyse en kansberekening zijn (figuur 2.15). Eenvoudiger wiskunde technieken, zoals deze, kunnen gemakkelijk worden omgezet in oefenwedstrijden. Anderzijds kunnen complexe wiskundige onderwerpen uit hogere niveaus van het onderwijs niet effectief worden geïntegreerd in dit soort gamification. Met andere woorden, hoeveel "gaming camouflage" kan de complexe, abstracte, ongrijpbare geavanceerde wiskunde omvatten? Kafai (2006) verwijst naar deze kwestie als een diepere filosofische kwestie die verborgen ligt in de premisse van deze instructiegames: de noodzaak om het leren van moeilijke of saaie onderwerpen te "versuikeren" via games. Zij stelt de vragen: "Hebben we instructiespellen nodig om moeilijke onderwerpen gemakkelijk en leuk te leren? Welke boodschappen over leren sturen we naar leerlingen die deze spelletjes spelen?" (Kafai 2006, p.2).



Figuur 2.14. Aantal studies, gesorteerd op het niveau van de deelnemers (Byun en Joung, 2018).



Figuur 2.15. Aantal studies gesorteerd op de 5- content standards for K-12 (USA) wiskunde (Byun en Joung, 2018).

Ten aanzien van de meest onderzochte aspecten van DGBLM, hebben veel studies zich gericht op affectieve factoren zoals motivatie, vertrouwen, attitudes, interesse, zelfredzaamheid en plezier van leerlingen na het spelen van een digitaal educatief spel met wiskundige inhoud (Byun en Joung, 2018; Divjak en Tomic, 2011; Tokac, Novak en Thompson, 2019). Minder studies hebben zich gericht op meer cognitieve aspecten en er zijn voornamelijk kwantitatieve studies uitgevoerd. In de meeste van deze studies werden twee groepen leerlingen vergeleken - één die digitale games speelde en één die traditionele instructie volgde - door meestal hun prestaties op een wiskundige pen-en-papier test te evalueren (Byun en Joung, 2018; Divjak en Tomic, 2011). Hoewel er veel voordelen zijn gerapporteerd - zoals vermeld in de vorige paragraaf - werden in sommige studies geen statistisch significante verschillen tussen de groepen vastgesteld en werden er geen significant positieve resultaten gevonden voor de prestaties van leerlingen na het spelen van een digitaal spel (Byun en Joung, 2018; Divjak en Tomic, 2011).

Verder stellen Byun en Joung (2018) dat de wiskundige leerbenaderingen van DGBLM heroverwogen moeten worden. Volgens Hansen, Mavrikis, Mazziotti en Rummel (2013) kunnen we bij wiskundig leren rekening houden met procedurele en conceptuele kennis. Procedurele kennis in de wiskunde is gerelateerd aan het onthouden en toepassen van regels, algoritmische stappen voor het oplossen van problemen en routines die leiden tot een oplossing (Rittle-Johnson & Alibali, 1999) en het vereist geen diep begrip van wiskundige concepten (Skemp, 1976). Kynigos (2019) stelde dat procedurele kennis "het type wiskundige kennis is dat traditioneel op scholen over de hele wereld wordt onderwezen, begeleid en beoordeeld" (p. 18). Conceptuele kennis wordt daarentegen gedefinieerd als het diepe begrip van wiskundige concepten en ideeën (Hansen et al., 2013) en kan worden gecultiveerd in een leerlinggestuurde, open leeromgeving die leerlingen ondersteunt om hun eigen keuzes te maken, onderliggende concepten te ontdekken en te begrijpen. De meeste games die in gereviewde DGBLM-studies werden gebruikt, hadden echter betrekking op procedurele kennis (Byun en Joung, 2018). Deze observatie is in overeenstemming met het overwicht van het drill-and-practice type games in dit veld. Daarom is de behoefte aan de ontwikkeling van games en studies die conceptuele kennis ondersteunen duidelijk.

Tot slot wordt geopperd dat onderzoekshiaten beginnen bij de innerlijke fundamentele ervan. Meta-reviewers hebben gesteld dat de meerderheid van de studies over DGBLM niet gebaseerd is op een leertheorie van het wiskundeonderwijs en er is geen onderwijstheoretische onderbouwing in het algemeen (Byun en Joung, 2018; Divjak en Tomic, 2011). In feite verwijst de term "wiskunde leren", die wordt onderzocht, in de meeste bestaande studies naar de prestaties van leerlingen in pen-en-papier toetsen en dus naar hun procedurele kennis. Deze gelijkschakeling is in overeenstemming met het feit dat slechts een klein percentage van de bij deze studies betrokken onderzoekers afkomstig is uit het wiskundeonderwijs. Bovendien merkten Byun en Joung (2018) op dat er in de bestaande literatuur weinig consensus bestaat over hoe DGBL vanuit de visie op wiskundeonderwijs moet worden gedefinieerd. Zij merkten op dat de term DGBL op veel verschillende manieren werd gedefinieerd, zoals computersimulatie, het maken van spellen of zelfs gamification. Dit fenomeen heeft de definitie van DGBL, zoals bedacht door Prensky (2003), uitgebreid en



de onderzoeks aandacht in verschillende richtingen doen verwaaien, waardoor het moeilijk is gemeenschappelijke overwegingen over DGBLM te delen onder onderzoekers in het wiskundeonderwijs. Daardoor ontbreekt het DGBLM aan een precieze definitie en een theoretisch fundament vanuit het wiskundeonderwijs. Met andere woorden, er is een diepe kloof op de grondslagen van het onderzoek naar DGBLM en veel onontgonnen aspecten voor onderzoekers om zich op te richten.

2.4 Theorieën over DGBL en het leren van wiskunde

2.4.1 Kenmerken van games voor wiskundeonderwijs

Digitale games moeten worden onderzocht vanuit pedagogisch oogpunt om het leren van wiskunde te stimuleren. Sommige onderzoekers uit het wiskundeonderwijs, die het nut van digitale games onderzochten, ontwikkelden ook enkele belangrijke punten over welke kenmerken van games pedagogisch bevorderlijk zouden zijn. Deze kenmerken van games worden kort gepresenteerd door Tang, Hanneghan en El-Rhalibi (2007):

- Spellen moeten motiverend zijn en de leerlingen ertoe aanzetten hun doelen na te streven.
- Er moet voor worden gezorgd dat alle leerlingen actief deelnemen.
- In de gepresenteerde scenario's/instructies moeten duidelijke doelstellingen worden omschreven, terwijl wiskundige kennis kan worden bijgebracht door middel van verhalen en strategisch spel.
- De leerlingen moeten een zekere mate van vrijheid hebben om in de spelwereld interactief bezig te kunnen zijn via een reeks welomschreven acties.
- Strategisch spel, om de speldoelen te bereiken of van de tegenstanders te winnen, moet verbonden zijn met wiskundige kennis/denken.
- Voor elke ondernomen actie moet duidelijk omschreven onmiddellijke feedback worden gegeven. Die feedback kan rechtstreeks verband houden met de doelstellingen van het spel en impliciet gelinkt aan de wiskundige kennis achter de doelstellingen van het spel.
- Spellen moeten inclusief zijn, wat betekent dat ze zich moeten aanpassen aan het tempo en de mogelijkheden van elke leerling.
- Spellen moeten ook schaalbaar zijn, d.w.z. met ingebouwde aanwijzingen, om leerlingen voortdurend uit te dagen.
- Competitieve uitdagingen kunnen zorgen voor een zeer motiverende spelomgeving.
- De kloof tussen onderwijs en spelontwerp moet worden overbrugd. Gezamenlijk onderzoek op beide gebieden kan de resulterende producten aanzienlijk verbeteren. Een goed educatief spelontwerp moet de leerervaring in evenwicht brengen met commerciële spelkenmerken.

Er wordt gesteld dat de bovenstaande kenmerken van games een integraal onderdeel moeten vormen van game-based leren van wiskunde, aangezien zij het leerproces in vele opzichten ten goede kunnen komen. Hoewel deze kenmerken belangrijk zijn, vormen ze geen sterke theoretische basis voor het leren van wiskunde tijdens het spelen van games. De theoretische contextualisering van zowel het ontwerp van digitale games voor DGBLM als de onderbouwing van onderzoek zou helpen om hun volledige potentieel binnen het wiskunde leerproces te realiseren. In de volgende paragrafen bespreken we een alternatieve visie op DGBL in het wiskundeonderwijs die een oplossing zou bieden voor bovenstaande overwegingen.

2.4.2 Classificatie van spellen in het wiskundeonderwijs





In de bestaande literatuur is de overheersende classificatie van digitale games het onderscheid tussen commerciële games met een algemeen doel en serious games die "ontworpen zijn met de bedoeling een specifiek aspect van het leren te verbeteren" (Derryberry, 2010). Zoals gesteld door Tokac et al. (2019), betreft de overgrote meerderheid van de bestaande studies over DGBL serious games die zijn ontworpen om specifieke wiskundevaardigheden te verbeteren, terwijl zeer weinig studies commerciële games gebruikten voor hetzelfde doel (Minecraft in Foerster, 2017; Sims 2 in Avraamidou et al., 2012). Een andere indeling van games die in meta-reviews voorkomen is gebaseerd op het genre van de games, wat onnodig lijkt, aangezien de meerderheid van de studies in het wiskundeonderwijs drill-and-practice games gebruikte. Ten slotte zou een andere mogelijke classificatie gebaseerd kunnen zijn op de wiskundige inhoud die in deze games besloten ligt. Echter, vanwege aanzienlijk verschillende school-settings en een gebrek aan theoretische achtergrond, was er geen eenvoudige manier om een dergelijke classificatie toe te passen (Tokac et al., 2019).

In deze paragraaf wordt een alternatieve inhoudelijke indeling van digitale games gepresenteerd. Deze classificatie is ontleend aan het veld van Educational Technology en is gebaseerd op een belangrijke dichotomie die digitale media in twee categorieën scheidt: enhancers en transformatieve ones (Bray en Tangney, 2017; Kynigos, 2019). Volgens deze indeling gaat een medium ofwel gebruikt worden om bestaande onderwijspraktijken te verbeteren of om deze te veranderen, afhankelijk van het beoogde gebruik. Dit onderscheid kan ook worden toegepast op digitale games, zodat hun educatieve doel en pedagogische waarde naar voren komen. De eerste categorie enhancers heeft betrekking op digitale games die ontworpen zijn om bestaande onderwijspraktijken te verbeteren door rollen en vormen van het traditionele klaslokaal te vergroten of zelfs te vervangen. Het merendeel van de educatieve games die in de besproken studies in de vorige hoofdstukken zijn gebruikt, behoren tot deze categorie, aangezien zij tot doel hebben de bestaande oefenpraktijken met papier en potlood te vervangen door oefenomgevingen die vooral procedurele kennis ondersteunen. De tweede categorie van transformatieve games heeft daarentegen betrekking op een ander perspectief van het gebruik van digitale games. Transformatieve games zijn games die ontworpen zijn om onderwijspraktijken te veranderen en leerlingen transformatieve ervaringen te bieden om bezig te zijn met betekenisvolle wiskunde en wiskundig denken (Ainley et al., 2011; Kynigos, 2019). Transformatieve games kunnen commercieel zijn of serieus en ze kunnen een combinatie van wiskundige concepten en ideeën of zelfs interdisciplinaire inhoud bevatten. Hoe dan ook, dergelijke games zijn ontworpen voor leerlingen om interessante speelse wiskundige activiteiten te ondernemen; niet vanwege de "gaming cover-up", maar omdat het doen van wiskunde om een game te ontwerpen of te spelen op zichzelf echt creatief, interessant en spannend kan zijn. Dergelijke open spelomgevingen kunnen conceptuele benaderingen van leren ondersteunen (Kynigos, 2019).

2.4.3 Naar transformatieve games: een constructionistische benadering

Transformatieve games kunnen leerlingen de mogelijkheid bieden om persoonlijke betekenissen te geven aan wiskundige concepten. Deze betekenissen, geproduceerd door het gebruik van transformatieve games, zouden sterke aanwijzingen kunnen geven over de mogelijkheden van DGBL bij het leren van wiskunde. Overigens zouden transformatieve games ook een theoretische achtergrond moeten krijgen uit het veld van leertheorieën in het wiskundeonderwijs, die in overeenstemming is met het transformatieve paradigma. Kafai en Burke (2015) stellen dat discussies rond DGBL meer inclusief constructionistische benaderingen moeten zijn om het volledige potentieel ervan te begrijpen. Volgens hen is de afwezigheid van constructionistische gaming in de discussies rond DGBL verrassend, gezien het gerapporteerde potentieel ervan op het ondersteunen van het leren van wiskunde door leerlingen en de ontwikkeling van wiskundige vaardigheden door het construeren van persoonlijke betekenisvolle artefacten in digitale omgevingen (Burke & Kafai, 2014; Earp, 2015, Hayes & Games, 2008; Gee & Tran, 2016). In feite voorspelde Papert, de vader van het constructionisme, de kracht van DGBL al lang voordat het in onderwijssettings gewaardeerd begon te worden





(Kafai, 1995). Papert postuleerde voor het eerst het idee om de energie van leerlingen tijdens het spelen van videogames te verbinden met het leren van wiskunde. De leertheorie van het constructionisme werd door Papert (1991) als volgt gedefinieerd:

Het constructionisme - het N-woord in tegenstelling tot het V-woord - deelt de connotatie van het constructivisme dat leren het opbouwen van kennisstructuren is, ongeacht de omstandigheden van het leren. Vervolgens wordt het idee toegevoegd dat dit bijzonder goed gebeurt in een context waarin de leerling bewust bezig is met het bouwen van een openbaar geheel, of het nu een zandkasteel op het strand is of een theorie van het universum die met anderen kan worden gedeeld. (p. 11)

Constructionisten hebben zich altijd gericht op het creëren van transformatieve activiteiten voor leerlingen om hun eigen betekenissen in de wiskunde te maken door het construeren van betekenisvolle digitale artefacten (Ackermann, 1996; Kynigos, 2015; Papert, 1993). Volgens de constructionistische benadering kunnen leerlingen, in plaats van traditionele lessen direct in te bedden in games en game-enhancers te produceren, meer mogelijkheden krijgen om nieuwe relaties met kennis te construeren door zich bezig te houden met het proces van het maken of beheersen van een game (Kafai, 2006). Het is denkbaar dat constructionistische games rijke mogelijkheden bieden om het enthousiasme van studenten voor games in dienst te stellen van het leren.

Er zijn enkele goed gevormde ideeën van constructionistische games, die nog niet zijn toegepast en bestudeerd vanuit het wiskundeonderwijs. Een krachtig idee is bijvoorbeeld afkomstig van Kafai (2006) en heeft betrekking op de betrokkenheid van leerlingen bij het maken en delen van hun eigen spellen door middel van codering. Recentelijk hebben meer onderzoekers dit constructionistische idee aangepast door nieuwe programmeeromgevingen te ontwikkelen die de mediarijke manipulaties faciliteren die nodig zijn voor het ontwerpen van games, door game-ontwerp activiteiten te gebruiken om studenten kennis te laten maken met programmeren en door de betekenissen van studenten te onderzoeken via hun gameontwerpen (bijv. Flanagan, 2005; Grizioti en Kynigos, 2018; Kafai, 2006; Kynigos en Grizioti, 2020; Mouza et al., 2014; Ruggiero en Green, 2017). Daarnaast hebben veel commerciële digitale games manipulatieve constructie editors om het creatieve deel van het spel uit te breiden (Garrelts, 2014; Kafai en Burke, 2015). Dit ontwerpaspect zou verder ontwikkeld en uitgewerkt kunnen worden voor wiskundig leren. Een ander krachtig idee, zoals verwoord door Kafai (2015), is gebaseerd op de Logo-programmering in de context van educatieve gaming, waarbij digitale artefacten die zijn geconstrueerd door middel van programmering werken als "objects-to-think-with" (Papert, 1980). Door een spel te ontwerpen of door een digitaal artefact in de context van een spel via programmering te construeren, wordt de persoonlijke kennis dus openbaar en tastbaar om te worden gedeeld en gepubliceerd. Met andere woorden, dit soort spelactiviteiten, waarbij leerlingen zowel de rol van ontwerper als die van speler op zich nemen, zou een open venster bieden op de wiskundige betekenissen van leerlingen. Op die manier zouden substantiële gegevens over het potentieel van DGBL bij het leren van wiskunde aan het licht komen.

2.5 Conclusie

DGBL is een nieuw, onderbelicht domein waarop het wiskundeonderwijs zich nog maar net is gaan toelagen om de vooruitzichten ervan bloot te leggen. Tot op heden heeft slechts een klein, maar toenemend aantal studies melding gemaakt van vele belangrijke voordelen van digitale games in het wiskundeonderwijs die een aantal cruciale problemen van het traditionele onderwijs aanpakken, zoals een gebrek aan motivatie en





betrokkenheid van de leerlingen bij het leren en gevoelens van verveling en angst. Hun volledige potentieel op het leren van wiskunde is echter nog niet volledig bekend. De meeste instructiespellen die zijn ontworpen voor het leren van wiskunde volgen een drill-and-practice-formule, die dient als uitbreiding van de traditionele papier-en-potlood procedure, beperkt in verbeelding, creativiteit en zinvolle wiskundige contextpraktijken. Daardoor blijft de effectiviteit van DGBL op het leren van wiskunde door leerlingen onbeantwoord. Dit feit kan worden verklaard door de filosofie om een traditionele praktijk te verbeteren door de gebreken ervan te verhullen met de "spelcamouflage", aangezien dit niet kan leiden tot een opmerkelijke pedagogische verandering. Bovendien kan het worden verklaard door het gebrek aan theoretische onderbouwing dat de bestaande studies over DGBL in het wiskundeonderwijs kenmerkt.

Er is een intense behoefte aan verandering van de onderzoeksfundamenten van DGBL. Het is belangrijk om een theoretische achtergrond van leertheorieën over wiskundeonderwijs te integreren in het ontwerp van digitale games voor het leren van wiskunde en voor het analyseren van het leren van wiskunde door leerlingen. Bovendien is er behoefte aan het ontwerpen van meer transformatieve games om de traditionele praktijken te veranderen in zinvollere pedagogische benaderingen die de mogelijkheden van digitale games ten volle benutten, in plaats van ze te faciliteren in dienst van hetzelfde traditionele paradigma. Digitale games kunnen op zich niet verandering brengen in onderwijsomgevingen; er moet een pedagogische achtergrond zijn die deze verandering naast het spelontwerp ondersteunt. Een constructionistische aanpak kan worden gebruikt om de transformatie van educatieve games in die richting te ondersteunen. Door digitale artefacten of spelprincipes te programmeren en te construeren, worden studenten ontwerpers en worden hun ontwerpen het object van hun leerproces. Op die manier kan het leren van wiskundige concepten worden gepubliceerd en dus bestudeerd en geanalyseerd om duidelijke antwoorden te geven op het leerpotentieel van DGBL.

Referenties

- Ackermann, E. (1996). *Constructionism in practice: Designing, thinking, and learning in a digital world*. Routledge.
- Ainley, J., Button, T., Clark-Wilson, A., Hewson, S., Johnston-Wilder, S., Martin, D., & Sutherland, R. (2011). Digital technologies and mathematics education. *Joint Mathematical Council of the United Kingdom (JMC)*.
- Al-Washmi, R., Bana, J., Knight, I., Benson, E., Kerr, O. A. A., Blanchfield, P., & Hopkins, G. (2014). Design of a math learning game using a Minecraft mod. In Busch, I. C. (Ed.), *European Conference on Games Based Learning* (Vol. 1, p. 10-17). Academic Conferences International Limited.
- Ashcraft, M. H. (2002). Math anxiety: Personal, educational, and cognitive consequences. *Current directions in psychological science*, 11(5), 181-185.
- Avraamidou, A. (2015). Instances of mathematical thinking through collaborative gameplay. In *CERME 9—Ninth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 2453-2459).
- Avraamidou, A., Monaghan, J., & Walker, A. (2012). Abstraction through game play. *Technology, Knowledge and Learning*, 17(1-2), 1-21.
- Bai, H., Pan, W., Hirumi, A., & Kebritchi, M. (2012). Assessing the effectiveness of a 3-D instructional game on improving mathematics achievement and motivation of middle school students. *British Journal of Educational Technology*, 43(6), 993-1003.
- Bos, B., Wilder, L., Cook, M., & O'Donnell, R. (2014). Learning mathematics through Minecraft. *Teaching Children Mathematics*, 21(1), 56-59.
- Bray, A., & Tangney, B. (2017). Technology usage in mathematics education research—A systematic review of recent trends. *Computers & Education*, 114, 255-273.





- Burguillo, J. C. (2010). Using game theory and competition-based learning to stimulate student motivation and performance. *Computers & education*, 55(2), 566-575.
- Burke, Q., & Kafai, Y. B. (2014). Decade of game making for learning: From tools to communities. *Handbook of digital games*, 689-709.
- Byun, J., & Joung, E. (2018). Digital game-based learning for K–12 mathematics education: A meta-analysis. *School Science and Mathematics*, 118(3-4), 113-126.
- Derryberry, A. (2010). Serious games: online games for learning. Adobe White Paper.
- Divjak, B., & Tomić, D. (2011). The impact of game-based learning on the achievement of learning goals and motivation for learning mathematics-literature review. *Journal of Information and Organizational Sciences*, 35(1), 15-30.
- Earp, J. (2015). Game making for learning: A systematic review of the research literature. In *Proceedings of 8th international conference of education, research and innovation (ICERI2015)* (pp. 6426-6435).
- Flanagan, M. (2005). Troubling 'games for girls': notes from the edge of game design. Unpublished proceedings of Digital Games Research Association.
- Foerster, K. T. (2017). Teaching spatial geometry in a virtual world: Using minecraft in mathematics in grade 5/6. In *2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1411-1418). IEEE.
- Garrelts, N. (2014). (Ed.). *Understanding Minecraft: Essays on play, community, and possibilities*. Jefferson, NC: McFarland.
- Gee, E. R., & Tran, K. M. (2016). Video game making and modding. In *Handbook of research on the societal impact of digital media* (pp. 238-267). IGI Global.
- Grizioti, M., & Kynigos, C. (2018). Game modding for computational thinking: an integrated design approach. In *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children* (pp. 687-692).
- Gros, B. (2007). Digital games in education: The design of games-based learning environments. *Journal of research on technology in education*, 40(1), 23-38.
- Hannula, M. S. (2002). Attitude towards mathematics: Emotions, expectations and values. *Educational Studies in Mathematics*, 49(1), 25-46.
- Hansen, A., Mavrikis, M., Mazziotti, C. & Rummel, N. (2013). *State of the art for intelligent tutoring systems and exploratory learning environments* (iTalk2Learn project deliverable). Retrieved from <http://www.italk2learn.eu/>
- Hayes, E. R., & Games, I. A. (2008). Making computer games and design thinking: A review of current software and strategies. *Games and Culture*, 3(3-4), 309-332.
- Hwa, S. P. (2018). Pedagogical change in mathematics learning: Harnessing the power of digital game-based learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 21(4), 259-276.
- Jensen, E. O., & Hanghøj, T. (2019). Math in Minecraft: Changes in Students' Mathematical Identities When Overcoming In-Game Challenges. In Elbaek, L., Majgaard, G., Valente, A., & Khalid, S. (Eds.), *Proceedings of the 13th European Conference on Game Based Learning (ECGBL 2019)* (pp. 355-362).
- Kafai, Y. B. (1995). *Minds in play: Computer game design as a context for children's learning*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Kafai, Y. B. (2006). Playing and making games for learning: Instructionist and constructionist perspectives for game studies. *Games and culture*, 1(1), 36-40.
- Kafai, Y. B., & Burke, Q. (2015). Constructionist gaming: Understanding the benefits of making games for learning. *Educational psychologist*, 50(4), 313-334.
- Ke, F. (2008). A case study of computer gaming for math: Engaged learning from gameplay?. *Computers & education*, 51(4), 1609-1620.
- Klein, M. (2002). Teaching mathematics in/for new times: A poststructuralist analysis of the productive quality of the pedagogic process. *Educational Studies in Mathematics*, 50, 63-78.
- Kolovou, A., van den Heuvel-Panhuizen, M., & Köller, O. (2013). An intervention including an online game to improve grade 6 students' performance in early algebra. *Journal for Research in Mathematics Education*, 44(3), 510-549.





- Kynigos, C. (2015). Constructionism: Theory of learning or theory of design?. In *Selected regular lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 417-438). Springer, Cham.
- Kynigos, C. (2019). Adaptive Learning in Mathematics: Situating Multi Smart Øving in the Landscape of Digital Technologies for Mathematics Education.
- Kynigos, C., & Grizioti, M. (2020). Modifying games with ChoiCo: Integrated affordances and engineered bugs for computational thinking. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2252-2267.
- Mouza, C., Pan, Y., Pollock, L., Atlas, J., & Harvey, T. (2014). Partner4CS: Bringing computational thinking to middle school through game design. In *Proceedings of the Stanford University FabLearn Conference on Creativity and Fabrication*, Palo Alto, CA, USA (pp. 25-26).
- Nugraha, H. C., & Rusmin, P. H. (2015). Educational game design on Pythagorean theorem for game based learning using 6i's component. In *Proceedings of the 4th International Conference on Interactive Digital Media (ICIDM) 2015* (pp. 1-5). IEEE.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books.
- Papert, S. (1991). Situating constructionsim. In I. Harel & S. Papert (Eds.), *Constructionism* (pp. 1–12). Norwood, NJ: Ablex.
- Papert, S. (1993). *The children's machine: Rethinking school in the age of the computer*. BasicBooks, 10 East 53rd St., New York, NY 10022-5299.
- Prensky, M. (2003). Digital game-based learning. *Computers in Entertainment (CIE)*, 1(1), 21-21.
- Rodrigo, M. M. T. (2011). Dynamics of student cognitive-affective transitions during a mathematics game. *Simulation & Gaming*, 42(1), 85-99.
- Rittle-Johnson, B. & Alibali, M. W. (1999). Conceptual and procedural knowledge of mathematics: Does one lead to the other? *Journal of Educational Psychology*, 91(1), 175-189.
- Ruggiero, D., & Green, L. (2017). Problem solving through digital game design: A quantitative content analysis. *Computers in Human Behavior*, 73, 28-37.
- Skemp, R. R. (1976). Relational understanding and instrumental understanding. *Mathematics Teaching*, 77, 20-26.
- Squire, K. (2003). Video games in education. *International Journal of Intelligent Games and Simulation*, 2(1), 49-62.
- Tang, S., Hanneghan, M., & El-Rhalibi, A. (2007). Pedagogy elements, components and structures for serious games authoring environments. In *5th International Game Design and Technology Workshop (GDTW 2007)*, Liverpool, UK (pp. 26-34).
- Tokac, U., Novak, E., & Thompson, C. G. (2019). Effects of game-based learning on students' mathematics achievement: A meta-analysis. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(3), 407-420.
- Yang, J. C., & Chen, S. Y. (2010). Effects of gender differences and spatial abilities within a digital pentominoes game. *Computers & Education*, 55(3), 1220-1233.





Hoofdstuk 3

Grondslagen van educatief game design

Anders Bouwer en Sonia Abrantes Garcêz Palha
Hogeschool van Amsterdam, Nederland





Hoofdstuk 3. Grondslagen van het ontwerpen van educatieve games

De vooruitgang in de ontwikkeling van auteurssoftware maakt het ontwerpen van digitale games en gegamificeerde leeromgevingen steeds toegankelijker voor docenten en leerlingen. Docenten kunnen, zonder speciale voorkennis over game ontwikkeling, zelf digitale games ontwikkelen of aanpassen en game elementen in hun lessen integreren (gamification). Dit hoofdstuk gaat over (pedagogische) modellen en auteurstools voor het ontwerpen van educatieve games en gamified lessen. Het is vooral een aanrader voor docenten die geïnteresseerd zijn in ontwerpaspecten van Game-Based Learning (GBL) en gamification. Het bouwt voort op de definities van digitale games en aanverwante concepten die in hoofdstuk 1 zijn geïntroduceerd.

Hoofdstuk 3 bestaat uit vier delen. Paragraaf 3.1 beschrijft essentiële aspecten voor het ontwerp van educatieve games, zoals leerdoelen en spelgenres. Paragraaf 3.2 presenteert pedagogische modellen voor game design en gamification en illustreert met voorbeelden hoe docenten deze modellen kunnen gebruiken. Paragraaf 3.3 gaat over gameplay en de leerervaring van leerlingen. Paragraaf 3.4 geeft informatie over authoring tools voor het ontwikkelen van games, die door docenten kunnen worden gebruikt en bespreekt voorbeelden met betrekking tot de authoring tools die in het GAMMA-project zijn gebruikt.

3.1 Ontwerp van educatieve games

Een van de waardevolle aspecten van leren met games is dat games zich kunnen aanpassen aan het competentieniveau van de speler en kunnen reageren op manieren die de motivatie van de speler vasthouden. Om het juiste niveau van uitdaging te creëren voor elke leerling die een game speelt, is het noodzakelijk om goed ontworpen games te gebruiken (Mayer, 2016). Goed educatief spelontwerp omvat verschillende aspecten waarmee rekening moet worden gehouden, zoals instructieprincipes, educatieve doelstellingen en game genres, de educatieve context en de evaluatie van leerresultaten.

3.1.1 Instructieprincipes voor het ontwerpen van GBL

Bij het ontwerpen van een game of een gamified leeromgeving is het belangrijk om ervoor te zorgen dat de lerenden relevante cognitieve activiteiten ondernemen. Het gebruik van bepaalde instructieprincipes kan de lerenden bijvoorbeeld ondersteunen bij het selecteren van relevante informatie en bij het organiseren en integreren van nieuwe informatie (Wouters & van Oostendorp, 2013). Instructionele ondersteuning kan aanwezig zijn in het spel zelf, zoals een prompt die een speler aanzet tot het toelichten van het antwoord. De ondersteuning kan het spel ook aanvullen met andere instructiemethoden, zoals een klassikale discussie. De implementatie van instructietechnieken (ingebed in de game zelf of in de directe omgeving) maken het leren met games effectiever door het leren te verbeteren en mogelijk de motivatie te verhogen (Wouters & van Oostendorp, 2017). Tabel 3.1 geeft voorbeelden van soorten instructieondersteuning.



Tabel 3.1. Enkele instructieprincipes bij het ontwerpen van games

Instructieprincipes in game-ontwerp	
<i>Modellering</i>	Laten zien welke informatie belangrijk is om een probleem op te lossen en hoe een probleem moet worden opgelost, ondersteunt de speler bij het leren oplossen van problemen.
<i>Modaliteit</i>	Dit verwijst naar het gebruik van <i>multimodaliteitseffecten</i> . Zo is gesproken uitleg bij visuele informatie effectiever dan geschreven uitleg, omdat er niet visueel gezocht hoeft te worden.
<i>Feedback</i>	Het verstrekken van informatie of en waarom een antwoord juist is, ondersteunt de spelers bij het selecteren van relevante informatie.
<i>Reflectie</i>	Door de spelers expliciet te vragen om na te denken over hun acties of het antwoord dat zij hebben gegeven, wordt de speler gestimuleerd om zijn of haar intuïtieve kennis te expliciteren.
<i>Verhalende elementen</i>	Het opnemen van elementen als nieuwsgierigheid, verrassing, spanning, fantasie hebben een positief effect op de motivatie, omdat ze een taak zinvoller kunnen maken, leerlingen kunnen helpen ideeën uit te leggen, situaties te interpreteren en acties te sturen (Jonassen, 1999).
<i>Samenwerking</i>	Het verwijst naar manieren van samenwerken waardoor spelers tijdens het spel kennis over de leerinhoud in het spel verwoorden.
<i>Verrassing</i>	Het introduceren van speciaal ontworpen onverwachte gebeurtenissen in het spel zet de spelers ertoe aan de voorafgaande gebeurtenissen opnieuw te beoordelen in volgorde van deze gebeurtenissen. Als gevolg daarvan kan de speler niet zomaar vertrouwen op de procedure die hij had geleerd en wordt hij gedwongen deze te heroverwegen en een andere oplossing te ontwikkelen (van der Spek, 2011).
<i>Integratie van inhoud</i>	De integratie van domeininhoudelijke kennis met de spelmechanismen (de spelregels) en het toespitsen van de spellen op specifieke doelstellingen is belangrijk omdat de in het spel vereiste cognitieve verwerking nauwer zal aansluiten bij de leerdoelen.

In GBL worden games gebruikt om een bepaald educatief doel te bereiken en ze moeten goed geïntegreerd zijn met andere leeractiviteiten. De spelers/lerenden leren de wiskundige inhoud niet alleen direct door het spelen van het spel, maar ook door aanvullende activiteiten voor of na het spelen van het spel (Mayer, 2016; Garris, Ahlers, & Driskell, 2002; Landers, 2014). In de woorden van Mayer (2016) moeten games "geen op zichzelf staande activiteiten zijn die losstaan van het totale instructieprogramma, maar eerder worden gebruikt als onderdeel van een pakket instructieactiviteiten om specifieke instructiedoelen te bereiken" (p. 5).



3.1.2 Educatieve doelen en game genres

Eén manier om onderwijsdoelen te definiëren is met de herziene taxonomie van Bloom (Krathwohl, 2002). De taxonomie omvat twee dimensies: de cognitieve procesdimensie (onthouden, begrijpen, toepassen, analyseren, evalueren of creëren), en de kennisdimensie (feitenkennis, conceptuele kennis, procedurele kennis of metacognitieve kennis). Deze dimensies kunnen helpen bij het onderscheiden en specificeren van soorten inhoud en activiteiten die in GBL moeten worden opgenomen (zie bijvoorbeeld Aleven et al., 2010).

Onderwijsdoelen kunnen ook specifiek worden gedefinieerd met betrekking tot de spelervaring, bijvoorbeeld door bepaalde game genres te verbinden met doelen uit de taxonomie van Bloom (Sherry en Pacheco, 2006), zoals weergegeven in tabel 3.2. Specifieke game genres kunnen geschikter zijn om bepaalde leerdoelen te bereiken dan andere. De eerste vijf genres (schietspellen, actie-/avontuurspellen, fantasie-/rollenspellen, sportspellen en simulatiespellen) zijn allemaal rijk genoeg om alle lagen van de onderwijsdoelstellingen van Bloom te vullen. Puzzelspellen missen echter vaak mogelijkheden voor synthese en evaluatie, en quiz-/triviaspellen zijn vooral geschikt voor onderwijsdoelstellingen op de kennislaag. Tabel 3.2 kan nuttig zijn voor docenten om een game genre te kiezen dat past bij hun didactische doelstellingen.

Tabel 3.2. Educatieve doelstellingen van game genres in relatie tot de taxonomie van Bloom (aangepast van Sherry & Pacheco, 2006).

Educatieve doelstellingen →	Kennis	Begrip	Toepassing	Analyse	Synthese	Evaluatie
Spelgenres ↓						
1. <i>Schutters</i>	x	x	x	x	x	x
2. <i>Actie/Avontuur</i>	x	x	x	x	x	x
3. <i>Fantasie/rollenspel</i>	x	x	x	x	x	x
4. <i>Sport</i>	x	x	x	x	x	x
5. <i>Simulatie</i>	x	x	x	x	x	x
6. <i>Puzzel</i>	x	x	x	x		
7. <i>Quiz/Trivia</i>	x					

Verschillende game genres brengen ook verschillende leeractiviteiten met zich mee. Typische leeractiviteiten bij ontdekkend leren zijn bijvoorbeeld verkennen, probleemoplossen en spelen. Rapeepisarn, Wong, Fung en Khine (2008) illustreren de relatie tussen de pedagogische game elementen en game genres schematisch, zoals weergegeven in tabel 3.3. Een docent die bijvoorbeeld GBL wil gebruiken voor het oefenen van wiskundige vaardigheden op een interactieve manier (leren door te doen, tabel 3.3) kan op zoek gaan naar games met de genres Shooter, Action/Adventure of Fantasy/Role-Playing (tabel 3.2).

Tabel 3.3. Relatie tussen leertechnieken, leeractiviteiten en spelgenres (Silva, 2019; aangepast van Rapeepisarn et al., 2008).

Leertechnieken	Leeractiviteiten	Spelgenres (zie tabel 3.2)
Praktijk en feedback	Vragen, memoriseren, associatie, imitatie	2, 4
Leren door te doen	Interactie, oefening, oefening, imitatie	1, 2, 3
Leren van fouten	Feedback, probleem	3, 6
Ontdekkend leren	Feedback, probleem, creatief spel	1, 2, 6
Taakgericht leren	Begrijpen van principe, gegradueerde taken	5, 6
Vraaggestuurd leren	Vraag, probleem	7
Gesitueerd leren	Immersie	1, 2, 3, 4, 5
Rollenspel	Imitatie, oefening, coaching	1, 2, 3
Constructivistisch leren	Experimenteren, vragen stellen	5
Leerobject	Logica, vragen stellen	5
Coaching	Coaching, feedback, vragen stellen	2, 5
Intelligente helpers	Feedback, probleem, voortdurende oefening	2, 6

Voorbeeld: SUMICO – The Numbers Game

Figuur 3.1. Screenshot van het SUMICO-spel

Het spel SUMICO (zie figuur 3.1) valt in het *genre van de puzzelspellen*. Bij het spelen van het spel *kan de speler leren door fouten te maken*, in die zin dat hij of zij problemen probeert op te lossen en onmiddellijk feedback krijgt op zijn of haar acties. Dit sluit aan bij *onderwijsdoelen als kennis, begrip, toepassing en analyse*.

Een demonstratievideo van het spel is te vinden op:
<https://www.youtube.com/watch?v=yZVOo86AXS4>



Bij het spelen van educatieve spellen kan er enige spanning bestaan tussen de educatieve doelstellingen en de spelervaring. Hoewel leren een inherent aspect is van games (d.w.z. "de fundamentele motivatie voor alle spelletjes is leren", Crawford, 1984, blz. 16), kan het soort leren dat uit het spelen van games voortvloeit, niet aansluiten bij de doelstellingen van het leerplan. Veel pogingen om educatieve en amusementsspellen te gebruiken in schoolomgevingen hebben geleid tot slechte of suboptimale resultaten, met een aanpak die "broccoli met chocolade bedekt" wordt genoemd (Bruckman, 1999). Deze metafoer geeft aan dat "het spelelement van het product wordt gebruikt als een aparte beloning of suikerlaagje voor het voltooien van de educatieve inhoud" (Habgood & Ainsworth, 2011). Studenten die ervaren gamers zijn, raken snel verveeld door educatieve games, omdat deze games qua amusementswaarde niet kunnen concurreren met games die door professionele ontwikkelaars zijn ontwikkeld. Van Eck (2006) stelt dat het hergebruiken of creëren van variaties van bestaande amusements games voor het onderwijsdoel meestal veel kosteneffectiever is dan het proberen te ontwikkelen van educatieve games. Aan de andere kant vergt het gebruik van entertainment



games in de klas meer inspanning van de leerkracht om de spelervaring te integreren met de educatieve doelstellingen.

3.1.3 De onderwijscontext

Voor veel educatieve games zal het beoogde leereffect pas ontstaan door debriefing of reflectie na het spelen van de game. Zoals wij in punt 3.1.1 hebben vermeld, is het spelen van een game geen op zichzelf staande activiteit in GBL. Er moet rekening worden gehouden met de hele onderwijscontext, met inbegrip van het curriculum en met de lessen en materialen (bv. boeken, hand-outs en ander lesmateriaal) die aan het spel kunnen worden gekoppeld. Er kan een afweging worden gemaakt tussen enerzijds aandacht voor iets dat netjes in een bestaand curriculum past en anderzijds het streven naar een meer transformatieve ervaring, waarvoor noodzakelijkerwijs de onderwijsdoelstellingen en -context moeten worden aangepast. Omdat het gebruik van een game vaak sommige andere activiteiten zal vervangen, is bijna altijd enige aanpassing nodig.

Twee andere relevante aspecten van de educatieve context waaraan de docent-ontwerper moet denken, zijn de achtergrond van de leerlingen en de fysieke omgeving waarin de game zal worden gespeeld. De achtergrond van de leerlingen waarvoor de game is bedoeld omvat het opleidingsniveau, persoonlijke kenmerken (leeftijd, geslacht, taalvaardigheid, speelstijl), reeds bestaande kennis over het onderwerp van de game en fysieke of mentale omstandigheden die de spelinteractie beïnvloeden. Aspecten van de fysieke omgeving betreffen de plaats waar de game wordt gespeeld (in of buiten de klas, thuis, op specifieke andere locaties, het kan overal worden gespeeld), de soorten technologie die nodig zijn om te gebruiken en hoe deze zijn opgesteld; of de game al dan niet met meerdere spelers wordt gespeeld. Als er bijvoorbeeld meerdere spelers zijn, moet worden gepland wie samen kan of moet spelen en moet ervoor worden gezorgd dat zij samen kunnen beginnen en stoppen.

Inzicht in de manieren waarop de onderwijscontext GBL beïnvloedt is dus noodzakelijk om het succesvol toe te passen in de praktijk van de klas. Het is ook belangrijk dat docenten in gedachten houden dat contextuele informatie impliciet kan blijven en moeilijk te reproduceren is voor docenten (Emin-Martinez & Ney, 2013). In hoofdstuk 6 van dit Handboek worden richtlijnen gepresenteerd voor het toepassen van GBL om docenten te ondersteunen bij het overwinnen van deze problemen.

3.1.4 Evaluatie van de leerresultaten

Mogelijk zijn aanpassingen aan het spelontwerp nodig om de gewenste leerdoelen te bereiken. Om dit te bepalen is het nodig om het effect van GBL te evalueren. Serrano-Laguna et al. (2018) presenteren een methodologie voor het beoordelen van de effectiviteit van serious games en het afleiden van leerresultaten van spelers. Deze methodologie laat zien dat de leerresultaten die tijdens de Ontwerp- en Implementatiefase zijn gespecificeerd, al tijdens de formatieve evaluatie kunnen worden gevalideerd, en niet alleen in een eindevaluatie na het spelen. Door de voorlopige leerresultaten te beoordelen, kan het spelontwerp in een vroeger stadium worden aangepast.

3.2 Modellen voor Game Design

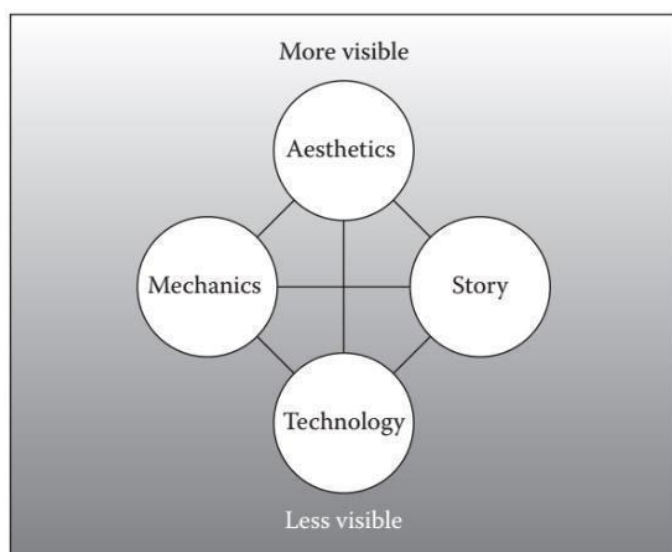
Game Design modellen kunnen zeer nuttig zijn voor docenten om games of gamified lessen te ontwerpen. We bespreken nu drie modellen die vaak worden gebruikt op het gebied van game design of in het onderwijs. Het eerste model (elemental tetrad, beschreven in Paragraaf 3.2.1) is niet specifiek voor educatieve games, maar het beschouwt ontwerpkenmerken die essentieel zijn voor het ontwerpen van spelervaring. De andere twee modellen (Aleven et al. en het Smiley-model, beschreven in respectievelijk Sectie 3.2.2 en 3.2.3)



integreren speelervaring met educatieve doelen, en kunnen daarom als meer geschikt worden beschouwd om docenten door het ontwerpproces te leiden. Het Smiley-model is wellicht het meest geschikte model om te gebruiken voor curriculum-gebaseerd game design, omdat het expliciete pedagogische aanwijzingen bevat.

3.2.1 Het dek van lenzen: Elemental Tetrad

Jesse Schell heeft vier basiselementen gedefinieerd waaruit elk spel bestaat: esthetica, mechanisme, verhaal en technologieën. Samen vormen deze elementen wat Schell (2008) de Elemental Tetrad noemt (zie figuur 3.2). Hoewel er vele andere modellen zijn om over games na te denken, wordt dit model in detail behandeld vanwege zijn eenvoud en brede toepasbaarheid. Het model is gemakkelijk te begrijpen en toe te passen bij het evalueren of ontwerpen van games. Bovendien zijn de elementen waaruit de Elemental Tetrad bestaat ook in andere modellen terug te vinden. In figuur 3.2 zijn de vier elementen weergegeven in een ruitvorm met het meest zichtbare element in een spel bovenaan (esthetiek) en het minst zichtbare element onderaan (technologie). De andere twee elementen, mechanisme en verhaal, staan in het midden. De Elemental Tetrad moet worden gezien als een geheel, waarin elk element de andere beïnvloedt en even belangrijk is.



Figuur 3.2. Elemental Tetrad, in Schell (2008)

Esthetiek gaat over hoe een game eruitziet, klinkt, ruikt, smaakt en aanvoelt. Esthetische aspecten maken de spelervaring aangenamer. "Esthetisch plezier is geen kleinigheid. Als je game vol zit met prachtig artwork, dan is elk nieuw ding dat de speler te zien krijgt een beloning op zich" (Schell, 2008, p. 385). Bij het ontwerpen van een game is het nuttig om het artwork van het spel vanuit verschillende perspectieven te bekijken, omdat de ontwerper zich dan beter kan voorstellen hoe de spelervaring door de speler wordt ervaren.

Bij mechanisme gaat het om de procedures en regels van een spel. Mechanisme beschrijft het doel van de game en hoe de speler dat bereikt en wat er gebeurt terwijl hij het doel probeert te bereiken. Schell definieert de 7 soorten mechanismen in tabel 3.4.

Tabel 3.4. Zeven soorten mechanisme in games volgens Schell (2008).

Type	Beschrijving van de game mechanismen
<i>Ruimte</i>	De plaats waar het spel zich afspeelt, die discreet of continu kan zijn.
<i>Tijd</i>	Tijd kan worden gemeten in "beurten", in "races", continu en sommige spellen gebruiken een mix van tijdsystemen.
<i>Objecten</i>	Alles wat in een spel kan worden gezien of bewogen; dat kunnen personages zijn, hints, scoreborden, enz. Objecten kunnen een of meer attributen hebben.
<i>Acties</i>	Acties bepalen wat de spelers kunnen doen; zij zijn de "werkwoorden" van de game mechanismen;
<i>Regels</i>	Het meest fundamentele mechanisme. Regels bepalen de ruimte, de timing, de voorwerpen, de acties, de gevolgen van de acties, de beperkingen op de acties en de doelen.
<i>Vaardigheden</i>	Altijd nodig om een game te spelen en vaardigheden passen goed bij de moeilijkheidsgraad van een spel. Het vaardigheidsniveau van de speler is belangrijk om zich uitgedaagd te voelen en gemotiveerd te blijven.
<i>Kans</i>	Kans betreft de wisselwerking tussen alle andere zes mechanismen en is een essentieel onderdeel van een leuke game, want kans betekent onzekerheid, en onzekerheid betekent verrassingen.

Het verhaal bepaalt de opeenvolging van gebeurtenissen die zich in de game afspelen. De verhalen ontstaan meestal tijdens het spelen van de game. Enkele elementen die bijdragen tot het ontstaan van verschillende verhalen zijn het bieden van keuzes aan spelers over hoe doelen te bereiken, het creëren van soorten conflicten, en het toestaan aan spelers om de personages en de setting te personaliseren.

Technologie kan suggereren dat het iets digitaals of materieels is, maar technologie omvat ook alle materialen en interacties (inclusief gedachten) die een spel mogelijk maken. Technologie is het medium dat wordt gebruikt voor de spelervaring.

Bij het ontwerpen van een game ontwerpen we niet alleen mechanisme of alleen een verhaal, maar een hele ervaring. De vier elementen hangen met elkaar samen en beïnvloeden elkaar. In een goed ontworpen spel versterkt bijvoorbeeld de esthetiek het verhaal, de mechanica en de technologie.

3.2.2 Een model voor het ontwerpen van educatieve games

Een model om educatieve games te analyseren en te ontwerpen wordt beschreven door Alevan et al. (2010) in een interessant artikel over het wiskundige spel *Zombie Division* (zie figuur 3.3). De methode omvat drie belangrijke stappen (doelstellingen, spelontwerpkader en instructieontwerp) en helpt de ontwerper om tijdens het ontwerpproces het hele plaatje voor ogen te houden. De methode is door Alevan en collega's gebruikt met studenten game design, niet met docenten. Onze ervaring met deze methode in het GAMMA-project is echter dat ze ook nuttig is voor docenten. De drie stappen worden hier beschreven.

1. Specificatie van de onderwijsdoelen

De eerste stap is het specificeren van de onderwijsdoelen. Dit helpt de ontwerpers ervoor te zorgen dat de game dat zij maken daadwerkelijk beantwoordt aan een beoogde en samenhangende reeks onderwijsdoelen. Het gaat om (a) een schriftelijke specificatie van de voorafgaande kennis en vaardigheden; (b) voorbeelden van taken waarmee een leerling/speler de gegeven kennis en vaardigheden zal verbeteren en (c) nadenken over de mogelijke overdracht - welke kennis en vaardigheden zouden zij kunnen leren die verder gaan dan wat zij daadwerkelijk in het spel zijn tegengekomen?

In het Zombiespel bijvoorbeeld omvat de *voorkennis* een basiskennis van vermenigvuldiging en moet de speler het begrip deling kennen om te begrijpen hoe (sommige) grotere getallen kunnen worden opgebouwd door het vermenigvuldigen van kleinere getallen. Door *Zombie Division te spelen, zal de leerling/speler waarschijnlijk een beter begrip krijgen van- en vlotter worden met het beoordelen van deelbaarheid met deeltallen tot 100 en delers tot 10. Een voorbeeld van een opgave is door welke van deze delers je 42 kunt delen: 3, 5, 6, of geen van bovenstaande? De speler wordt met dit probleemtype geconfronteerd wanneer hij Zombie 42 tegenkomt terwijl hij wapens 3, 5 en 6 draagt. In het spel Zombie Division kan een speler het begrip priemgetallen leren door het spel te spelen. De speler kan bijvoorbeeld vaststellen dat sommige zombies helemaal niet kunnen worden gedeeld en daarover nadenken.*

Voorbeeld: De game *Zombie Division*

Figuur 3.3. Screenshot van *The Zombie Division*

Zombie Division is ontworpen om 7- en 8-jarige leerlingen/spelers te helpen het begrip van deling te ontwikkelen als het omgekeerde van vermenigvuldiging en om vaardigheid en vlotheid te ontwikkelen in het beoordelen van deelbaarheid van hele getallen. De speler is een oude held die het opneemt tegen skeletten met getallen. De speler kan verschillende aanvallen gebruiken, die elk overeenkomen met een soort deling die wordt uitgevoerd op het getal dat gekoppeld is aan de vijand. De speler moet ervoor zorgen dat de aanvallen via delingen passen bij de tegenstanders, want vijanden kunnen niet gedeeld worden zonder de vereiste aanval!



2. Gebruik een specifiek kader voor spelontwerp dat de mechanismen, de dynamiek en de esthetiek van een spel met elkaar in verband brengt (het MDA-kader).

In de tweede stap gebruiken de auteurs het *MDA-kader* (Hunicke, LeBlanc, & Zubek, 2004), dat enige gelijkenis vertoont met het elementaire tetrad.

- Het *Mechanisme* (M) van een spel verwijst naar de basiscomponenten waaruit het spel is opgebouwd, namelijk de materialen, de regels, de expliciete doelen, de basisbewegingen en de besturingsmogelijkheden voor de spelers.
- De *dynamiek* (D) van het spel verwijst naar de gedragingen die het gevolg zijn van de toepassing van de spelmechanismen met de input van de speler tijdens het spel.
- De *esthetiek* (A) van een spel verwijst naar de subjectieve ervaring van de speler, zoals emoties en plezier, en omvat de onderdelen: sensatie, fantasie, verhaal, uitdaging, gemeenschap, ontdekking, expressie en onderwerping.



Bij het spelen van een spel ontstaat, door het mechanisme van het spel, een dynamiek die op haar beurt een bepaalde esthetiek oproept. Bij het ontwerp van het spel worden de drie niveaus niet alleen in deze volgorde bekeken. In feite heeft de ontwerper alleen controle over de mechanismen, terwijl de ervaring van de speler van een spel op het esthetische niveau ligt. Met het MDA-kader kan een ontwerper esthetische doelen formuleren (bv. uitdaging), mogelijke dynamieken overwegen die tot deze esthetiek kunnen leiden (bv. tijdsdruk), en verschillende mechanismen uitproberen die tot deze dynamiek kunnen leiden (bv. gebruik van een timer, of van parallel spel door meerdere spelers met bonuspunten voor wie het eerst klaar is met zijn zet) (Aleven et al., 2010, p.71).

In de *Zombie Division* game staat de *esthetische ervaring in het teken van uitdaging*. De speler wordt uitgedaagd het op te nemen tegen een groot aantal zombies en deze te verslaan. Ook de leerinhoud draagt bij tot het gevoel van uitdaging in die zin dat de wiskunde die nodig is om zombies te verslaan voor de spelers gezien hun leeftijd niet gemakkelijk is. De *spelmechanismen zorgen voor uitdagingen*, bijvoorbeeld doordat op een bepaald niveau snel achter elkaar zombies uit een gat in de vloer tevoorschijn komen. De speler wordt door dit mechanisme gedwongen om snel te reageren, waardoor hij tijdelijk meer uitdaging ervaart in het spel. De overheersende *dynamiek is spannend jagen*. De zombies zijn niet erg strijdlustig en sterven na één enkele slag met een geschikt wapen. De spelers ervaren enige druk wanneer zij dicht bij een zombie zijn of wanneer zij door zombies worden omringd, maar zij hebben enige controle over deze druk omdat zij deze kunnen vermijden door de kamer uit te lopen, of door te stoppen wanneer zij een zombie in de verte zien.

De *leerinhoud is nauw geïntegreerd in het kernmechanisme van het spel*. Om een zombie met een geschikt wapen aan te vallen, moet een speler een deelbaarheidsoordeel vellen. De relatie tussen de dynamiek van het spel en de leerinhoud is zeer gevarieerd, aangezien bepaalde dynamieken geschikter kunnen zijn voor bepaalde soorten leerinhoud dan andere. Een snelle speldynamiek is bijvoorbeeld geschikter voor het vlot leren uitvoeren van een vaardigheid, terwijl een tragere dynamiek geschikter kan zijn voor de speler om de in het spel vervatte leerinhoud te begrijpen. De *Zombie Division* genereert een tragere en een snellere dynamiek, maar ook iets daartussenin. *Deze afwisseling houdt verband met de leerdoelen*. Zo laat het medium tempo van het spel de spelers nadenken bij het oplossen van de deelbaarheidsproblemen en het gebruik van de vermenigvuldigingstabel die steeds op het scherm staat. Het langzame tempo brengt de saaiheid van het oplossen van soortgelijke oefeningen met zich mee, wat de spelers kan helpen inzien dat deling een krachtige operator is die het herhaaldelijk sorteren van "spullen" in stapels overbodig maakt.

3. Toepassen van beginselen voor instructieontwerp

In de literatuur vinden we verschillende instructieprincipes als leidraad voor het ontwerp van GBL, zoals de Multi-Media Principles gedefinieerd door Mayer en Moreno (2003); de 25 principes van het Learning Sciences onderzoek (<http://www.adesignfor.education/wp-content/uploads/2019/02/25-lifelong-learning-principles.pdf>), en de 36 principes van Jim Gee over hoe GBL wordt ondersteund binnen standaard, commerciële videospellen (Gee, 2007). Deze beginselen omvatten actief leren, semiotiek, denken op metaniveau, oefenen, multimodaal, expliciete informatie op aanvraag en just-in-time, overdracht, enz.

Het spel *Zombie Division* biedt veel mogelijkheden voor het oefenen van delen (rekenvaardigheid). Het spel bestrijkt het doelgebied van deelbaarheid/verdelingsproblemen, en past daarom goed in het instructieprincipe: "*Leerlingen krijgen heel veel oefeningen in een context waarin de oefening niet saai is.*" Het spel geeft ook onmiddellijk feedback over het succes bij elke poging om de beoogde wiskundevaardigheden toe te passen. De zombie slaat terug (negatieve feedback) of bezwijkt (positieve feedback). Het spel past ook toe het principe "*Geef onmiddellijk feedback over fouten*" alsook het principe "*Het leren van verkeerde informatie kan worden verminderd wanneer de feedback onmiddellijk is*".



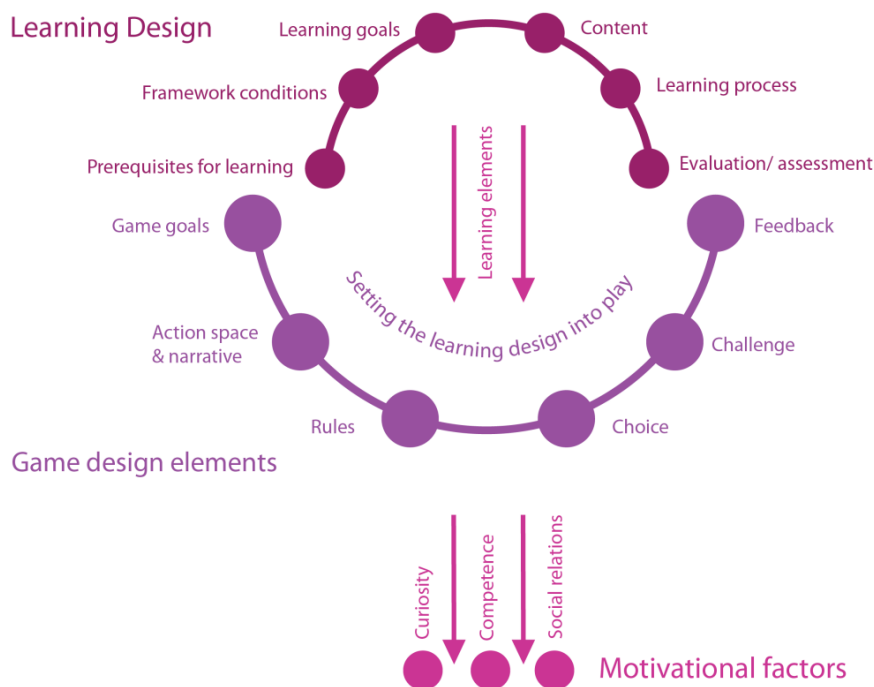
3.2.3 The Smiley Model

Het derde en laatste model voor educational game design dat we presenteren is The Smiley Model (Weitze & Ørngreen, 2012; Weitze, 2016), een raamwerk voor het ontwerpen van speelse en gameful leersituaties. Het model omvat veel van de elementen die we in de vorige paragraaf noemden als belangrijk bij het gebruik van digitale games voor leren: leerdoelen, game-ontwerpelementen en spelbeleving. In tegenstelling tot de vorige modellen omvat het smiley-model pedagogische activiteiten en heeft het een sterke band met de school- en onderwijscontext. Het model omvat drie onderdelen:

1. Het bepalen van het leer-ontwerp, dat zes elementen omvat die essentieel zijn voor het plannen en ontwerpen van leren en onderwijzen: de voorwaarden voor het leren van de leerling (leerkwalificaties); de randvoorwaarden voor de onderwijs-/leersituatie; leerdoelen, onderwijsinhoud (curriculum en onderwerp); leerproces en behoefte aan evaluatie van het leren. Deze elementen zijn weergegeven in de bovenste boog in het model in figuur 3.4.

2. Het leer-ontwerp integreren in het spel, waarbij de leraar-ontwerper de zes spelelementen in de onderste boog gebruikt om het leerontwerp 'in het spel in te passen'. De spelelementen zijn: speldoelen, actieruimte en verhaal, keuzes, regels, uitdagingen en feedback. Net als de leerelementen is elk van de spelelementen in het ontwerp van een leergame verweven met de andere spelelementen. De spelmechanismen helpen de structuur van het spel en de leerinteractie-elementen worden in het spel geïmplementeerd.

3. Motivatie-factoren in het leren, die door de docent-ontwerper worden gebruikt om motivatie in het spelontwerp te ontwerpen en te analyseren. Motiverende elementen verwijzen naar de manier waarop innerlijke motivatie wordt geactiveerd. Nieuwsgierigheid, competentie en sociale relaties zijn drie factoren (onder de bogen in figuur 3.4).



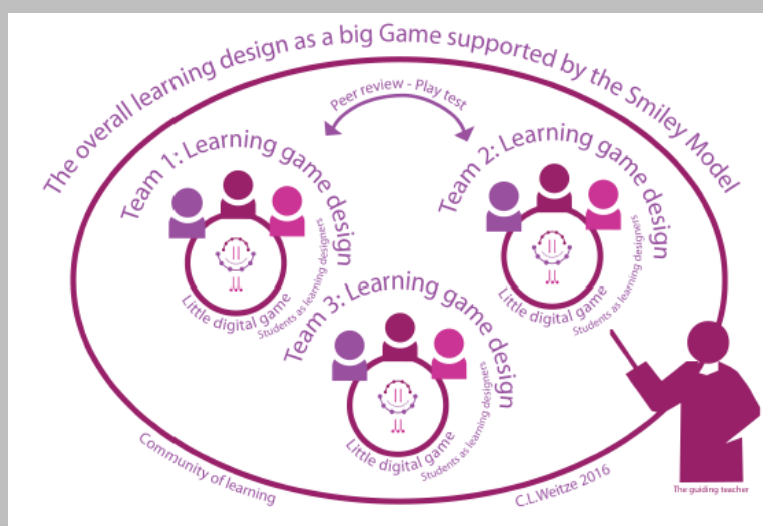
Figuur 3.4. Het Smiley Model (figuur uit Weitze, 2016).

Het model kan bijvoorbeeld worden gebruikt door docenten om leerlingen te betrekken bij het leren door middel van game design (Weitze, 2016), maar ook door docenten om zelf digitale games of gamified lessen te produceren. Doorgaans omvat het ontwerpproces meerdere iteraties, zelfs voor ervaren gamedesigners. In de eerste iteratie begint de ontwerper met het aanpakken van de leerdoelen om er zeker van te zijn dat deze in het spel worden geïmplementeerd. Ook worden leeractiviteiten ontwikkeld die de spelelementen bevatten (speldoelen, actieruimte & verhaal, regels, keuze, uitdaging en feedback) om het spel in latere iteraties leuker en motiverender te maken. In feite doorloopt de docent-ontwerper de drie stappen van het model verschillende keren en controleert of ze met elkaar in overeenstemming zijn. Het ontwerp van digitale games begint meestal met een niet-digitaal prototype (met papier of andere fysieke objecten). Pas in latere iteraties wordt een digitale versie gemaakt.

Voorbeeld: Het Smiley Model in de praktijk

Weitze (2016) gebruikte het Smiley Model om studenten te betrekken bij het leren over game-design. De volwassen studenten waren afkomstig uit twee bovenbouwklassen van VUC Storstrøm, een VAVO-opleiding in Denemarken.

Het Smiley Model werd op twee manieren gebruikt (zie figuur 3.5): om een *gamified omgeving* te creëren, de *big game*, waarin teams van studenten leren over game design en het tegen elkaar opnemen; en *small games*, waarin de studenten in kleine teams samenwerken om een educatieve game binnen een vakgebied te ontwikkelen. In de *Big game* waren er verschillende niveaus van opdrachten die de teams moesten uitvoeren en die in Google Docs-documenten aan de teams werden gepresenteerd. In de *small games* ontwikkelde elk team zijn leergameconcept door de instructies te volgen die beschreven waren in de documenten die in de big game werden gedeeld.



Figuur 3.5. Het gamified learning design in Weitze (2016)



In de *eerste iteratie* brainstormden de studenten om spelverhalen te creëren die hun gekozen leerdoelen konden omvatten en documenteerden ze hun expliciete leerdoelen voor de individuele games. Bij het ontwerp van de kleine games werden de leerlingen begeleid door een *papieren prototypefase*, gevolgd door een *softwareontwikkelingsfase*. De gebruikte auteurssystemen waren Scratch en RGBMaker. In de *laatste iteratie* implementeerden de leerlingen leerdoelen uit de vakken geschiedenis en Engels als tweede taal (ESL).



3.3 Het ontwerp van Gameplay Experience

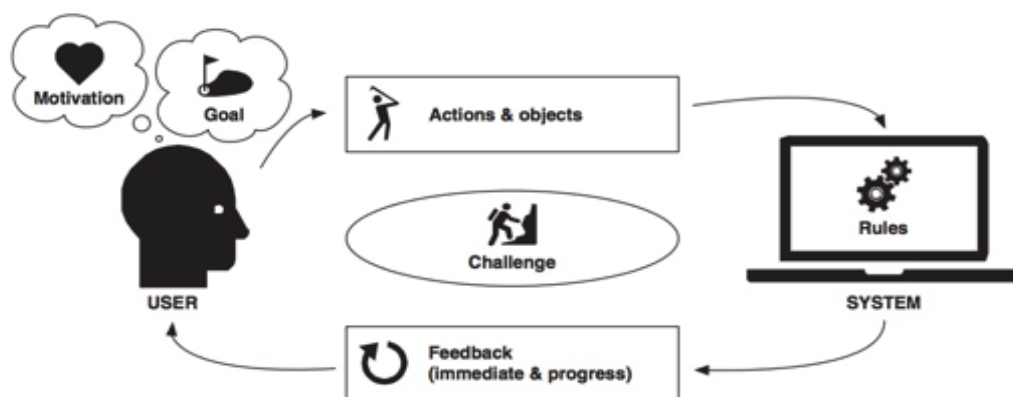
Gameplay Experience is het geheel van de beleving van de speler, zijn gedachten, gevoelens, acties en betekenis geven binnen een spel-setting.

We bespreken kort aspecten met betrekking tot het ontwerp van de gameplay en de leerervaring van de leerlingen die nuttig zijn voor leraren om in gedachten te houden bij het ontwerpen voor leren met games. Deze aspecten zijn mentale processen, betekenisvol spel, spelbeleving en hele vormgeving.

Welke *mentale processen* treden op wanneer spelers games spelen? Gee (2003) onderscheidt vier stadia bij spelers tijdens het spelen van een serious game: "proberen - hypothetiseren – opnieuw proberen - heroverwegen". De speler vormt een hypothese over een mogelijk patroon, toetst die, en reflecteert op zijn acties op basis van de gegeven feedback. Dit mentale proces staat centraal in de manier waarop leerlingen omgaan met wiskunde problemen of andere problemen in het algemeen. Evenzo beschrijven Garris, Ahlers en Driskell (2002) de spelervaring als een herhaalde cyclus, met de drie stappen "gebruikersbeoordeling, gebruikersgedrag en systeemfeedback", die ook vereist zijn bij de ontwikkeling en toepassing van probleemoplossend werken (besluitvorming, kritisch denken en strategie).

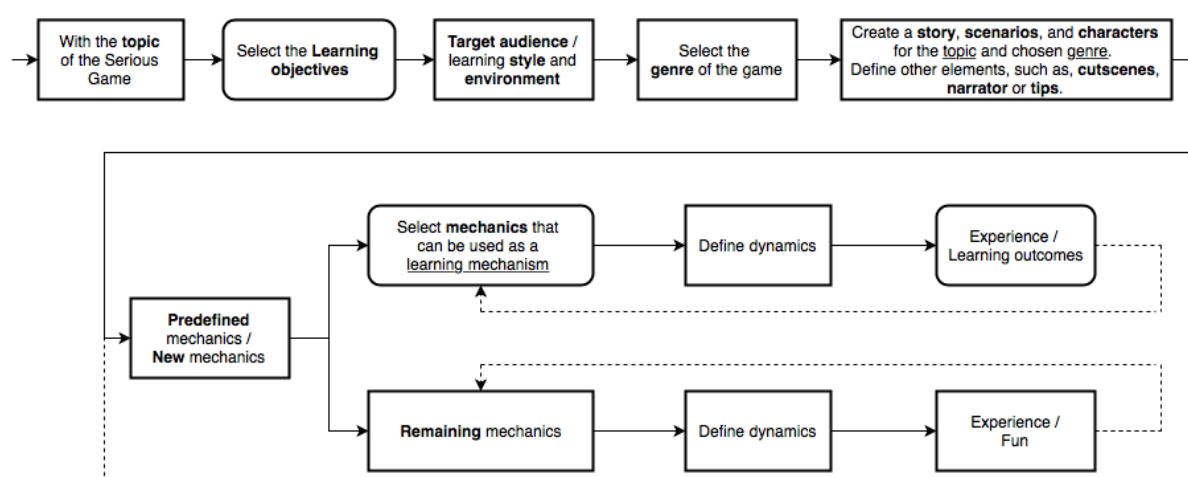
Salen & Zimmerman (2003) beschrijven een proces van "*betekenisvol spel*" dat voortkomt uit de interactie tussen spelers en het systeem van het spel en uit de context waarin het spel wordt gespeeld. Betekenisvol spel ontstaat wanneer de relaties tussen acties en resultaten zowel waarneembaar als geïntegreerd zijn in de grotere context van het spel. Een betekenisvol spel creëren is het doel van succesvol spelontwerp. Het is ook een zeer complex proces. Degenen die geïnteresseerd zijn in dit onderwerp raden wij aan het boek "Rules of Play" van Salen en Zimmerman (2003) te lezen, dat een heel hoofdstuk wijdt aan de ervaring van "Play" met veel voorbeelden van spellen.

Gameplay-ervaring is in punt 3.2 al genoemd als Esthetiek binnen de kaders Deck of Lenses en MDA-kader. Bij nadere beschouwing omvat beleving zintuigen (audiovisueel, geur, balans, haptisch, etc.), emoties (angst, woede, schuldgevoel, medeleven, etc.), en intellect (uitdaging, gemeenschap, ontdekking, expressie, etc.). Deterding (2015) beschrijft een game loop, die de interactie tussen een gebruiker (speler) en het spel (systeem) karakteriseert. Een schematische weergave van deze game loop is weergegeven in figuur 3.6. Het laat zien hoe de motivatie en het doel van een speler van invloed zijn op de selectie van de speler van acties en objecten die in het systeem beschikbaar zijn om de huidige uitdaging aan te gaan, en via verwerking in het systeem leidt tot onmiddellijke feedback en indicaties van de voortgang die aan de speler worden teruggegeven.



Figuur 3.6. Schema van een vaardigheidsatoom (figuur uit Deterding, 2015).

Het laatste aspect waarop wij willen wijzen betreft het *ontwerpproces* van een spel op zich. Figuur 3.7 presenteert een praktische methodologie die we nuttig vinden om het ontwerp van educatieve games te plannen en uit te voeren. De methodologie is een synthese van verschillende methodologieën voor het ontwerp van educatieve serious games, ontwikkeld door Silva (2019). Het integreert belangrijke inzichten van andere methodologieën en biedt een mooi overzicht van het hele ontwerpproces van leerdoelen tot spelontwerp. De belangrijkste stappen voor het definiëren van een educatieve game zijn het selecteren van de leerdoelen, het genre van de game, mechanieken die als leermechanisme kunnen worden gebruikt en de ervaring in termen van leerresultaten en plezier. Sommige van deze aspecten (bijv. leerdoelen, mechanisme) zijn al eerder genoemd in de modellen die in paragraaf 3.2 zijn beschreven. De toegevoegde waarde van Silva's methodologie is dat zij alle voorgaande elementen integreert in het proces van het ontwerpen van een game.



Figuur 3.7. Belangrijkste stappen bij het definiëren van een serious game (Figuur uit Silva, 2019)

3.4 Hulpmiddelen om games te maken

Dit deel geeft informatie over authoring tools voor het ontwikkelen van games en voorbeelden van authoring tools die door docenten en onderzoekers in het GAMMA-project zijn gebruikt.

3.4.1 Authoring Tools

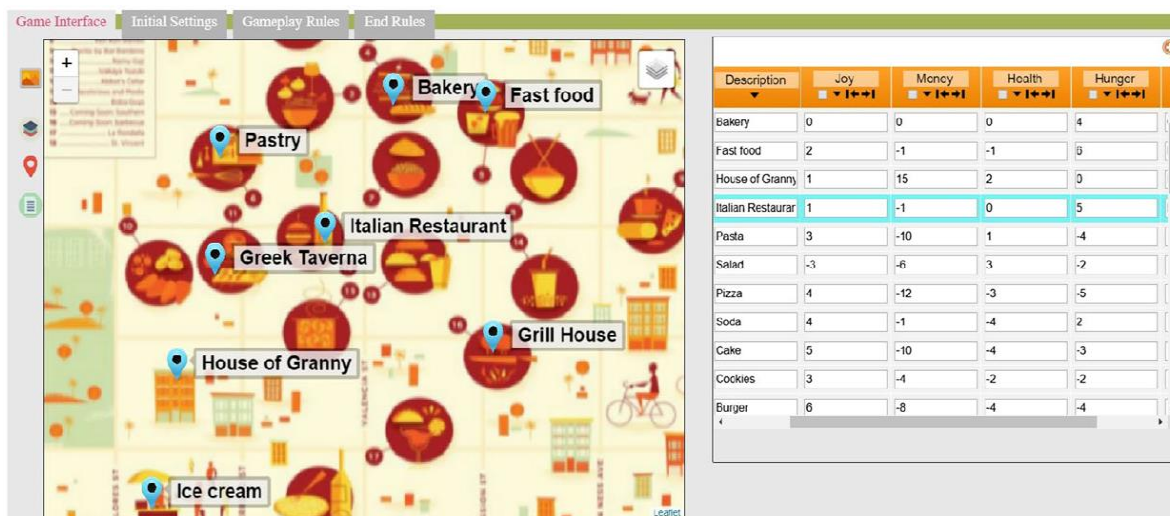
Authoring tools zijn softwarehulpmiddelen waarmee niet-experts zoals leraren en studenten een bepaald type multimedia-eindproducten, zoals games, kunnen maken. Authoring tools voor het ontwikkelen van games, ook vaak game engines genoemd, hebben verschillende voordelen. Ze bevatten bijvoorbeeld functionaliteit die complexiteit verbergt, bieden herbruikbare bouwstenen en ondersteunen een gestructureerde ontwikkelingsaanpak. Voorbeelden van auteurstools voor spelontwikkeling zijn Unity, Unreal en CryEngine. Deze zijn echter nog steeds complex qua interactie en worden daarom vooral door programmeurs gebruikt. Gebruiksvriendelijker en dus geschikter voor docenten zijn tools als *Game Maker Studio*, of de *Focused Authoring Systems* die in de volgende paragraaf worden beschreven. Webgebaseerde editors zoals *Scratch* en *Blockly* bieden ook functionaliteit voor het maken van games.

3.4.2 Gerichte schrijfsystemen

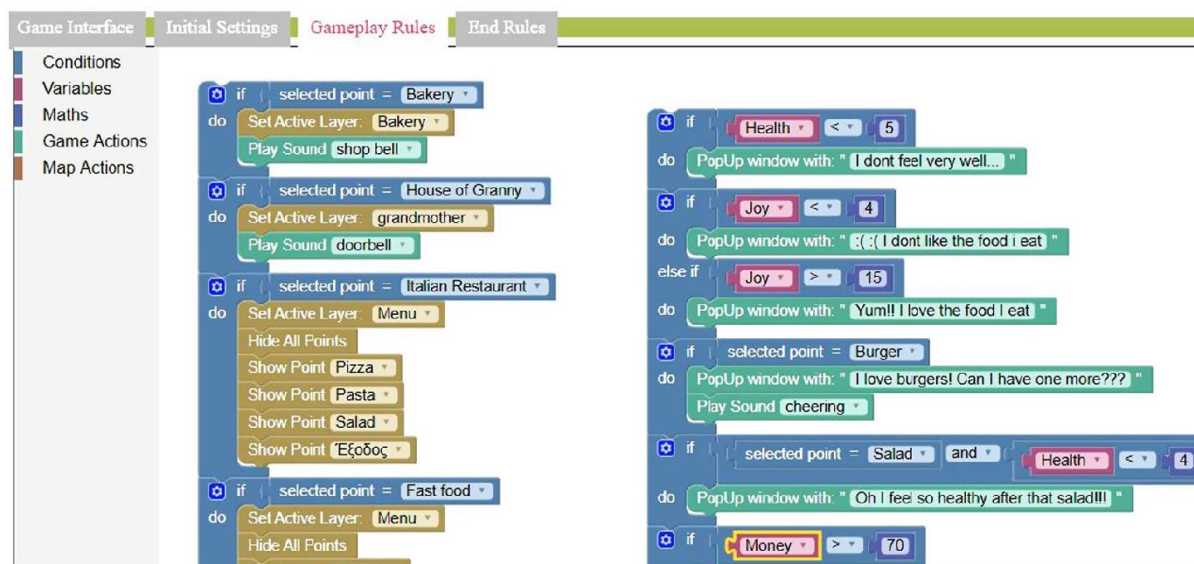
Authoring tools kunnen ook speciaal ontworpen zijn voor het maken en aanpassen van specifieke soorten games. In het GAMMA-project noemen we dergelijke tools Focused Authoring Systems (FAS). Het idee achter FAS is om leraren en studenten progressieve toegang te geven tot essentiële ideeën die inherent zijn aan spelontwerp. In plaats van te verwachten van docenten of leerlingen dat zij een complex systeem als een digitaal spel vanaf nul opbouwen of de spelstructuur volledig voor hen verbergen, kiezen Kynigos & Grizioti (2020) voor een proces van "modding". Voorbeelden van dergelijke FAS zijn ChoiCo en Malt 2, die beide in het GAMMA-project zijn gebruikt om games te ontwikkelen.

ChoiCo

ChoiCo, dat staat voor "Choices with Consequences" (Kynigos & Yiannoutsou, 2018; Kynigos & Grizioti, 2020) is een FAS voor games waarin het idee van keuzes en hun gevolgen centraal staat. Het combineert drie computational affordances: een map-based (GIS) editor waarmee de spelinterface kan worden ontworpen, inclusief de spelgebieden en de beschikbare spelkeuzes (zie figuur 3.8); een database voor het opvragen en instellen van de spelparameters en de gevolgen van de spelkeuzes; een block-based programmeertaal (zie figuur 3.9) voor het construeren van de spelregels, zoals events, eindcondities, feedback, enz.



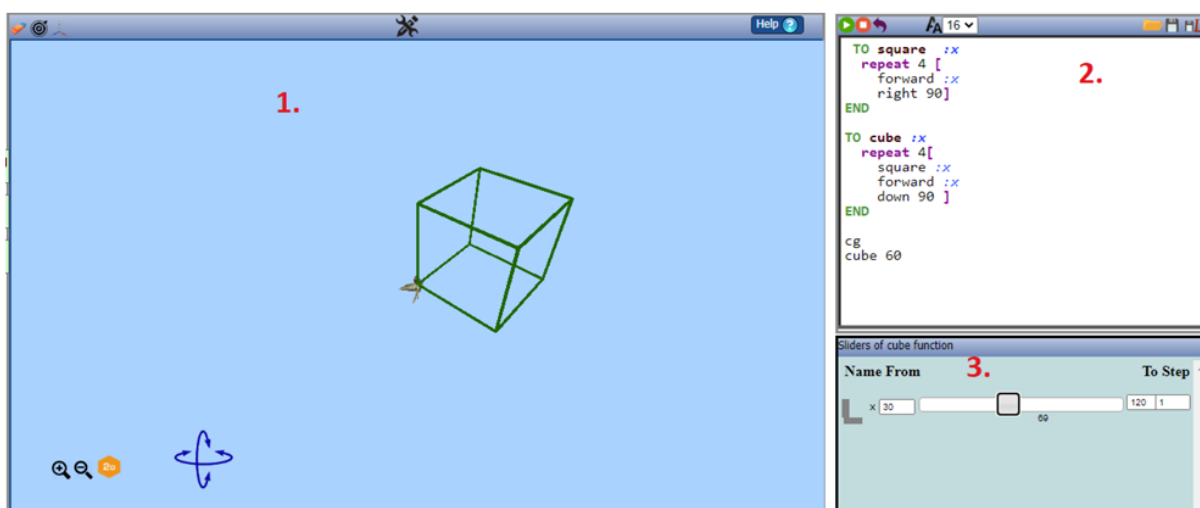
Figuur 3.8. Kaarteditor en interactieve database in ChoiCo <http://etl.ppp.uoa.gr/choico/> (Kynigos & Grizioti, 2020)



Figuur 3.9. Block-based programmeereditor in ChoiCo (Kynigos & Grizioti, 2020)

MaLT2

MaLT2 (MachineLab Turtleworlds 2) is een online tool voor symbolische expressie in wiskundige activiteit door middel van programmering voor het maken en knutselen van 3D dynamische grafische modellen. Het gereedschap is gratis te gebruiken en beschikbaar via <http://etl.ppp.uoa.gr/malt2/>. MaLT2 bestaat uit drie afzonderlijke, maar met elkaar verbonden, werkgebieden: (1) de '3D-scene', (2) de editor, en (3) de variatiegereedschappen (zie figuur 3.10). Voor een meer gedetailleerde handleiding, zie de link: <http://etl.ppp.uoa.gr/malt2/Manuals/MaLT+Tutorial.pdf>. Een voorbeeld van een met MaLT2 ontwikkeld spel is het in hoofdstuk 5 beschreven Yoyo spel.



Figuur 3.10. Screenshot van de MaLT2-omgeving



3.4.3 Online beschikbare game handleidingen

Zelf games maken is niet eenvoudig. In veel gevallen is het realistischer om bestaande (mini-)spellen aan te passen en er lessen omheen te maken. Een voorbeeld van een tutorial game design tool die online en gratis beschikbaar is, is de *Game Builder Wisc-online* (zie figuur 3.11).



Voorbeeld: Game handleiding**Game Builder**

Game Builder biedt game sjablonen om games te maken voor het leren en oefenen van kennis en vaardigheden (zie figuur 3.11). Door bijvoorbeeld het sjabloon "Flashcards" te gebruiken kan men snel een spel maken om het onthouden van feiten te oefenen. Het resulterende spel kan vervolgens worden gespeeld op een computer, tablet of smartphone.

Make Your Own Online Games! *(It's Completely Free)*

Select a game template below to learn more.

**Figuur 3.11.** Game templates beschikbaar in Game Builder<https://www.wisc-online.com/gamebuilder>

3.4.4 De volgende generatie game design

De vooruitgang op het gebied van kunstmatige intelligentie (AI) is nuttig gebleken om veel taken in verband met spelontwerp en -ontwikkeling te ondersteunen, waaronder *Procedural Content Generation*, *Automated Game Design* en *Live Game Design*.

- Procedural Content Generation is gebruikt in veel commerciële games en omvat het automatisch of semi-automatisch genereren van verschillende soorten content voor een game, waaronder aspecten van de game wereld zoals vegetatie, steden, niet-spelers personages of hele planeten. Het maakt het mogelijk om level inhoud automatisch aan te passen qua moeilijkheidsgraad, om ontwerptenties te verkennen tijdens het ontwerpproces en om de menselijke ontwerper te ondersteunen (voor een overzicht, zie Shaker, Togelius, & Nelson, 2016).
- Automated Game Design verwijst naar het onderzoeksveld dat de grenzen verkent van wat mogelijk is met AI, gerelateerd aan gamesonderzoek. Het gaat dan bijvoorbeeld om geautomatiseerde playtesting van (serious) games met behulp van gesimuleerde spelers (bijvoorbeeld Westera, 2017), of mixed-initiative design, waarbij sommige ontwerptaken door een menselijke ontwerper worden uitgevoerd, maar andere taken door de computer (Karavolos, Bouwer & Bidarra, 2015).
- Live Game Design is een aanpak die formele en visuele methoden voorstelt voor het modelleren van aspecten van spelontwerp met feedback en feed-forward suggesties over het ontwerp van een spel, om de kloof tussen spelontwerp en softwareontwikkeling en -testen te verkleinen. Het uiteindelijke doel van Live Game Design is te beschikken over intelligente hulpmiddelen waarmee games kunnen worden gemaakt en door hun ontwerpers in real time kunnen worden aangepast tijdens playtesting (van Rozen, 2020). Toekomstige generaties van dergelijke methoden en instrumenten kunnen vooral nuttig zijn wanneer zij worden toegepast op het ontwerpen van educatieve spellen, omdat zij de

spelontwerp capaciteiten van leraren kunnen aanvullen en de behoefte ondersteunen om het ontwerp van het spel af te stemmen op specifieke educatieve doelen.

Virtual en Augmented Reality Games

Nieuwe generaties games kunnen ook gebruik maken van opkomende technologieën zoals Virtual Reality (VR) of Augmented Reality (AR). Een voorbeeld van een game die gebruik maakt van AR is Math Builder (zie figuur 3.12).

Voorbeeld: Math Builder

Bij het spelen van het spel Math Builder kan een team van studenten materialen verzamelen om AR-gebouwen te bouwen door wiskunde-gerelateerde opdrachten uit te voeren. Eerst moet een team van 2-4 leerlingen worden gevormd. Elke leerling moet de rol kiezen die hij/zij wil spelen in het bouwproces (metselaar, timmerman, schilder of ontwerper). Vervolgens kunnen de leerlingen gebouwen kiezen die ze willen bouwen door de overeenkomstige bouwkaarten te scannen. De soorten en aantallen materialen die ze voor de bouw moeten verzamelen worden na het scannen gegeven.

Om materialen te verzamelen, wordt leerlingen gevraagd om individuele en groepsopdrachten met betrekking tot wiskunde in de App af te werken. Wanneer genoeg materialen zijn verzameld, worden voltooide gebouwen als 3D-modellen getoond via de AR App. Leerlingen moeten een aantal interacties kunnen doen met bestaande objecten op de kaart, waardoor ze kunnen spelen met hun levende stad.



Figuur 3.12. De Math Builder Game, gebruikmakend van een mobiele AR app

Een korte beschrijving van het ontwerp en de ontwikkeling van het Math Builder-spel is beschikbaar via de volgende link: <https://www.xiaoyu-yu.com/mathbuilder>.

Een videohandleiding over Math Builder is beschikbaar op <https://youtu.be/TMrSvViRhSk>.



Referenties

- Aleven, V., Myers, E., Easterday, M., & Ogan, A. (2010). Toward a framework for the analysis and design of educational games. In *2010 third IEEE international conference on digital game and intelligent toy enhanced learning* (pp. 69-76). IEEE.
- Bruckman, A. (1999). Can Educational Be Fun—Chocolate Covered Broccoli. *Presentation at the Game Developer's Conference*, San Jose, CA.
- Crawford, C. (1984). *The Art of Computer Game Design*. McGraw-Hill/Osborne Media.
- Deterding, S. (2015). The lens of intrinsic skill atoms: A method for gameful design. *Human-Computer Interaction*, 30(3-4), 294-335.
- Emin-Martinez, V., & Ney, M. (2013). Supporting teachers in the process of adoption of game based learning pedagogy. In *ECGBL 2013-European conference on games based learning* (pp. 156-162). ACPI.
- Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming: An Interdisciplinary Journal*, 33, 441-467.
- Gee, J. P. (2003). *What Video Games Have to Teach Us about Learning and Literacy*. New York: Palgrave/Macmillan.
- Gee, J. P. (2007). *Good video games and good learning: Collected essays on video games, learning and literacy*. New York: Peter Lang.
- Habgood, M. P. J. & Ainsworth, S. E. (2011) Motivating Children to Learn Effectively: Exploring the Value of Intrinsic Integration in Educational Games, *Journal of the Learning Sciences*, 20:2, 169-206, DOI: 10.1080/10508406.2010.508029.
- Hunicke, R., LeBlanc, M., & Zubek, R. (2004). MDA: A formal approach to game design and game research. In *Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI*, AAAI Press.
- Jonassen, D. H. (1999). Designing constructivist learning environments. In Reigeluth, C. M. (Ed.) *Instructional-design theories and models* (2nd ed., pp. 215–240), Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ.
- Karavolos, D., Bouwer, A., & Bidarra, R. (2015). Mixed-Initiative Design of Game Levels: Integrating Mission and Space into Level Generation. In *Proceedings of FDG 2015, the 10th International Conference on the Foundations of Digital Games*, June 22-25, 2015, Pacific Grove, CA, USA.
- Kynigos, C., & Grizioti, M. (2020). Modifying games with ChoiCo: Integrated affordances and engineered bugs for computational thinking. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2252-2267.
- Kynigos, C., & Yiannoutsou, N. (2018). Children challenging the design of half-baked games: Expressing values through the process of game modding. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 17, 16-27.
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into practice*, 41(4), 212-218.
- Landers, R. N. (2014). Developing a theory of gamified learning: Linking serious games and gamification of learning. *Simulation & gaming*, 45(6), 752-768.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52.
- Mayer, R. E. (2016). What should be the role of computer games in education? *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 3(1), 20-26.
- Rapeepisarn, K., Wong, K.W., Fung, C.C. & Khine, M.S. (2008). The Relationship between Game Genres, Learning Techniques and Learning Styles in Educational Computer Games. In *Technologies for E-Learning and Digital Entertainment*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. pp. 497–508.
- van Rozen, R.A. (2020). Languages of games and play: automating game design and enabling live programming. IPA dissertation series.
- Salen, K., & Zimmerman, E. (2003). *Rules of Play: Game design fundamentals*. MIT press.
- Schell, J. (2008). *The Art of Game Design: A book of lenses*. CRC press.
- Serrano-Laguna, Á., Manero, B., Freire, M., & Fernández Manjón, B. (2018). A methodology for assessing the effectiveness of serious games and for inferring player learning outcomes. *Multimedia Tools and Applications*, 77(2), 2849-2871. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11042-017-4467-6>.





- Shaker, N., Togelius, J., & Nelson, M. J. (2016). *Procedural Content Generation in Games: A Textbook and an Overview of Current Research*. Springer. ISBN 978-3-319-42714-0.
- Sherry, J., & Pacheco, A. (2006). Matching computer game genres to educational outcomes. *Electronic Journal of Communication*, 16(1), 2.
- Silva, F. G. (2019). Practical Methodology for the Design of Educational Serious Games. *Information*, 11(1), 14.
- Spek, van der, E. D. (2011). *Experiments in serious game design: A cognitive approach*. Doctoral dissertation, Universiteit Utrecht, The Netherlands.
- Van Eck, R. (2006). Digital Game-Based Learning: It's Not Just the Digital Natives Who Are Restless. *EDUCAUSE review*, 41(2), 16.
- Weitze, C. L. (2016). Designing for Learning and Play—The Smiley Model as Framework. *Interaction Design and Architecture(s)*, (29), 52-75.
- Weitze, C. L. & Ørngreen, R. (2012). Concept model for designing engaging and motivating games for learning: The Smiley-model. In *Proceedings of the Meaningful Play 2012 Conference*. Retrieved 26 Feb 2023 from <http://meaningfulplay.msu.edu/proceedings2012/mp2012submission148.pdf>.
- Westera, W. (2017). How people learn while playing serious games: A computational modelling approach. *Journal of Computational Science*, 18, 32-45.
- Wouters, P., & van Oostendorp, H. (2013). A meta-analytic review of the role of instructional support in game-based learning. *Computers & Education*, 60(1), 412-425.
- Wouters, P., & van Oostendorp, H. (2017). Overview of instructional techniques to facilitate learning and motivation of serious games. Wouters, P., & van Oostendorp, H. (Eds.), *Instructional Techniques to Facilitate Learning and Motivation of Serious Games*, 1–16.





Hoofdstuk 4

Voorbeelden van digitale wiskunde games

Mirka Leino

Satakunta University of Applied Sciences, Finland





Hoofdstuk 4. Voorbeelden van digitale wiskunde games

4.1 Achtergrond

Ook in het wiskundeonderwijs hebben diverse digitale games voet aan de grond gekregen. Games zijn te vinden op verschillende platforms, op internet en in app stores. Digitale games voor leren, die dus meer kunnen zijn dan educatieve games zoals opgemerkt in hoofdstuk 3, kunnen grofweg worden ingedeeld in drie categorieën, op basis van het game platform (Caulfield et al., 2011; Connolly et al., 2012; Battistella & Wangenheim, 2015; Giani & Wangenheim, 2016). Volgens deze indeling kunnen games pc games, console games of mobiele games zijn. In het algemeen kan gezegd worden dat digitale games gebaseerd zijn op menselijke interactie met een elektronisch platform, meestal via een gebruiksvriendelijke interface die feedback en resultaten weergeeft. PC-games worden gespeeld op een zogenaamde personal computer, consolegames op een spelcomputer (zoals een PlayStation of Xbox) die is aangesloten op een tv of monitor, en mobiele games op mobiele apparaten zoals een mobiele telefoon of tablet (Battistella & Wangenheim, 2015).

Games die zijn ontworpen met leerdoelen, doen hun intrede in het schoolonderwijs. Digitale games blijken het leren aantrekkelijker, interessanter, leuker en meer leerlinggericht te maken (zie hoofdstuk 2 voor de stand van zaken in het leren en onderwijzen met DGBL in wiskunde). Naarmate Game-Based Learning (GBL) zich heeft ontwikkeld, is het ook opgenomen in het hoger onderwijs, zoals het technisch onderwijs (Carvalho, 2012). Tot nu toe zijn de meeste GBL-games ontworpen voor jonge kinderen en basisschool-leerlingen. Zoals besproken in hoofdstuk 2, zijn het meestal drill-and-practice games die zich richten op het verbeteren van procedurele vaardigheden, met name rekenkundige bewerkingen die mogelijk al op een door de docent gestuurde manier zijn aangeleerd op school (Wangenheim & Shull, 2009; Battistella & Wangenheim, 2016). Wanneer deze games worden vergeleken volgens het SAMR-model dat in hoofdstuk 3 is gepresenteerd, vervangen of vergroten ze meestal het traditionele leren, d.w.z. ze versterken het wiskundige leren, maar transformeren het niet.

Omdat GBL-games worden ontwikkeld en geïntroduceerd als onderdeel van het onderwijs op school, is het belangrijk dat docenten beschikken over instrumenten om het potentieel van games voor GBL en hun rol in het leren en de competentieontwikkeling te verkennen (Giani & Wangenheim, 2016). Het GAMMA-project zoekt, identificeert en ontwikkelt ook Digital Game-Based Learning (DGBL) games voor het wiskundeonderwijs in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs (<http://www.project-gamma.eu/>). Tegen deze achtergrond introduceert dit hoofdstuk van het handboek, aan de hand van evaluatievoorbeelden van games, manieren en instrumenten om een docent te helpen serious games te identificeren die geschikt zijn voor het eigen GBL-onderwijs in wiskunde.

Het evalueren van games voor het leren van wiskunde en het oefenen van wiskundige vaardigheden is geen eenvoudige en goed gedefinieerde procedure. Er zijn verschillende benaderingen voorgesteld voor de vergelijkbare evaluatie van games, maar er is geen universeel geldige standaard of kader gevonden voor de evaluatie van leerdoelen en uitkomsten van games (Wang et al., 2015). Giani & Wangenheim (2016) voerden een systematisch literatuuronderzoek uit waarin ze meer dan 20.000 gerelateerde artikelen doornamen en er 11 identificeerden die specifiek gericht waren op de evaluatie van educatieve games. De artikelen presenteerden 7 benaderingen voor het evalueren van games vanuit het perspectief van leren en kennisverwerving. Op basis van de artikelen identificeerden zij de meest voorkomende factoren aan de hand waarvan games worden geëvalueerd. In dit handboek gebruiken we de factoren die in dit onderzoek zijn geïdentificeerd en samen met professionele wiskundeleraren zijn afgebakend.





Ook voor de evaluatie van game ontwerp en -functionaliteiten bestaan verschillende benaderingen. De twee vaak aangehaalde kaders voor evaluatie van gamedesign blijken MDA (Mechanics-Dynamics-Aesthetics) van Hunicke et al. (2004) en Elemental Tetrad met mechanieken, technologie, esthetiek en verhaal, van Schell (2008) (Tahir & Wang, 2017). Vanuit het oogpunt van het nut van games hebben we besloten om de Elemental Tetrad methode van Schell te gebruiken in de voorbeelden van evaluatie van game design in dit hoofdstuk.

4.2 Pre-evaluatie van de games

Het was een hele uitdaging om games voor wiskunde te vinden die specifiek bedoeld zijn voor leerlingen van de bovenbouw van het middelbaar onderwijs. We ontdekten dat er niet veel games voor wiskunde zijn in vergelijking met andere vakgebieden. Toen we digitale leergames voor het leren en oefenen van wiskundevaardigheden zochten en identificeerden, kwamen we er al snel achter dat een zeer groot deel van de games bedoeld is voor jonge kinderen en basisschoolkinderen. We gingen verder met de evaluatie door eerst uitgebreid te zoeken naar games en verschillende internetplatforms, sites van gamemakers en app stores. De uitgebreide zoektocht naar games werd uitgevoerd volgens het information search process (ISP) van Kuhlthau (1991). De zoektocht was een samenwerking tussen onderzoekers op het gebied van onderwijstechnologie en GBL in Finland en Kroatië en professionele wiskundeleraren in Finland.

Deze games werden vooraf geëvalueerd op basis van het doel van het spel en de geschiktheid van het onderwerp voor het wiskundeonderwijs in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. De resultaten van de pre-evaluatie werden vervolgens geselecteerd om het spel zo goed mogelijk aan te passen en breder te evalueren. De resultaten van de evaluatie van deze spellen worden in dit hoofdstuk besproken.

Als resultaat van de eerste zoekopdracht werden in totaal 21 verschillende spellen en game platforms/sites genoemd. Er waren veel vergelijkbare games op deze platforms en sites. De vooraf beoordeelde spellen waren:

1. Angry Birds
2. BrainPOP
3. Brilliant.org
4. Crafty Cut
5. DragonBox (Algebra 12+)
6. DragonBox (Elements)
7. Faktr – all access
8. Fortnite
9. HOODA MATH
10. Kin of Math 2
11. League of Legends
12. Legends of Learning
13. Mangahigh
14. Math Games
15. Math is fun
16. Mathblaster
17. MathPlayground
18. Minecraft
19. Portal
20. RoboSellers
21. Variant: Limits



Basisinformatie over deze spelletjes, waaronder opleidingsniveau, algemeen onderwerp, selectiecriteria, link en prijs, is opgenomen in tabel 4.1.

Tabel 4.1. Basisinformatie over de geëvalueerde spelletjes (prijzen gecontroleerd in augustus 2022)

Naam	Niveau	Algemeen onderwerp	Selectiecriteria	Link en prijs
Angry Birds	Alle leeftijden	Grondbeginselen van de mechanica	De mechanismen van het spel bevatten veel wiskundige functies, maar de speler hoeft deze niet specifiek te begrijpen of te internaliseren om verder te komen in het spel. Natuurlijk ontwikkelen zich perceptie en kennis van fysische verschijnselen zoals kracht en richting.	https://www.angrybirds.com/ Gratis (AppStore en Google Play Store), bevat in-app aankopen.
BrainPOP	Basisschool	Meerdere onderwerpen	Uitgebreide games site met leer games over diverse onderwerpen. Een functionele zoekfunctie om geschikte spellen te vinden op onderwerp, niveau van de spelersklasse en duur van het spel.	https://www.brainpop.com/ Enkele gebruiker (leraar): \$150 - 230 Eén school: Neem contact op
Brilliant.org	Voor de leeftijd van 10 tot 110 jaar	Meerdere onderwerpen	Een site die geen live games heeft, maar game-achtige oefeningen over wiskundige onderwerpen, die zeer geschikt zouden zijn voor hoger middelbaar en zelfs hoger onderwijs. In de pre-evaluatie is gekeken naar de cursussen Mathematical Fundamentals op de gratis site. Transformatieve spelelementen zijn duidelijk opgenomen in de spelachtige oefeningen.	https://brilliant.org/ 8,99 - 14,49 €/maand Groepen van 3+: €215,88
Crafty Cut	Voor 12 jaar en ouder	Meetkunde	Een add-on voor MineCraft die niet geladen werd, zodat het niet getest kon worden als onderdeel van de pre-evaluatie.	https://www.etsy.com/market/crafty_cuts \$7.99
DragonBox (Algebra 12+) en zijn nieuwere versie: Kahoot! Algebra 2 van DragonBox	Voor 9 jaar en ouder	Algebra	DragonBox (Algebra 12+) is een echt leerspel waarbij de speler aanvankelijk niet herkent dat hij een wiskundig spel speelt, maar geleidelijk vaardigheden leert die dan wiskundige vaardigheden voor het oplossen van vergelijkingen blijken te zijn. Het wordt gespeeld in een ruimte-achtige omgeving, waar elke ruimtsteen een hoofdstuk is, waarin de draak van ei tot volwassene wordt opgevoed door de levels te spelen waarvan er in elk hoofdstuk 20 zijn.	https://dragonbox.com/products/algebra-12 €9,99 (AppStore) Mogelijkheid voor bulk aankopen door contact op te nemen met support@dragonbox.com, zie https://dragonbox.com/educators .



DragonBox (Elements) en de nieuwere versie Kahoot! Geometrie door DragonBox	Voor 9 jaar en ouder	Meetkundige vormen	DragonBox (Elements) is een spel waarin de speler verschillende meetkundige vormen, hun onderdelen en de relaties van de onderdelen tot elkaar leert waarnemen, aanwijzen en bewijzen. Wordt gespeeld door vooruit te komen in een smalle, hoge toren. De toren lijkt een beetje op een stenen heuvel met 7 verschillende niveaus. Elk niveau heeft een iets anders geanimeerde omgeving, en elke taak heeft vormen om te herkennen en te bewijzen.	https://dragonbox.com/products/elements €9,99 (AppStore) Mogelijkheid voor bulk aankopen door contact op te nemen met support@dragonbox.com, zie https://dragonbox.com/educators .
Faktr - all access	Voor 12 jaar en ouder	Vermenigvuldiging en deling	Faktr is een spel waarin je leert getallen te splitsen in priemgetallen en te vermenigvuldigen om een groter getal te bereiken. Het wordt gespeeld in een zeer minimalistische, ruimte-achtige omgeving waar de speler een raket beweegt. Het spel was een beetje teleurstellend in die zin dat het maar 5 stadia heeft, en elk heeft maar 5 levels, dus het is een beetje een tussendoortje.	https://www.taptap.io/app/60591 €4.49 (AppStore)
Fortnite	Voor 12 jaar en ouder	Probleemoplossing, samenwerking en basismeetkunde.	Kan educatieve waarde opleveren voor een kind en zelfs iets leren wat op school niet wordt onderwezen. Er werd geen betekenis gezien vanuit het oogpunt van het leren van wiskunde in de bovenbouw. Geweld maakt ook deel uit van het spel, dus werd het spel buiten de evaluatie gelaten.	https://www.epicgames.com/fortnite/en-US/home Gratis, bevat in-app aankopen
HOODA MATH	Voor basisschool tot en met middelbare school	Meerdere onderwerpen	Spelletjes die de wiskundige waarneming ontwikkelen, maar niet zozeer wiskundevaardigheden ontwikkelen.	https://www.hoodamath.com/ Gratis
King of Math 2	Voor 10 jaar en ouder	Meerdere onderwerpen	King of Math 2 wordt gespeeld in een miniatuurwereld met vijf verschillende velden: platteland, stad, bos, berg en kasteel. Elk van deze velden heeft 25 niveaus, elk met 10 oefeningen. In King of Math 2 is het mogelijk om wiskundige vaardigheden te oefenen met betrekking tot getallen en rekenen, optellen, vergelijken (kleiner dan, groter dan), schatten en benaderen, wiskundige representatie, decimalen, aftrekken, vermenigvuldigen, delen, combinaties	https://play.google.com/store/apps/details?id=com.odd robo.kom2&hl=en_US&gl=US €2,99 (AppStore en Google Play)





			van berekeningen en breuken. Door het spel te spelen kan een speler vooral de procedurele kennis van deze wiskundige vaardigheden ontwikkelen.	
League of Legends	Voor 12 jaar en ouder	Functies?	Een vechtspel in teamverband dat wiskundige functies bevat en kan helpen bij de ontwikkeling van wiskundig denken, maar zelf geen wiskundeonderwerp heeft.	https://www.leagueoflegends.com/en-gb/ Gratis, bevat in-app aankopen
Legends of learning	Basisschool en middelbare school	Meerdere onderwerpen	Interessante spelletjes voor groep 1-8. De spelletjes voor groep 8 zouden gebruikt kunnen worden om ook in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs de basis te doorlopen. Gratis voor een geregistreerde leraar, maar als je een klas neemt, kun je overal een prijs voor vinden.	https://www.legendsoflearning.com/
Mangahigh	basisschool en middelbare school	Meerdere onderwerpen	Een site met veel verschillende rekenspelletjes voor verschillende leeftijden (5-16 jaar). In de pre-evaluatie leek het erop dat de site veel spellen zou kunnen hebben die nuttig zijn voor de bovenbouw van het voortgezet onderwijs, in ieder geval voor herhaling.	https://www.mangahigh.com/en-gb/ 3 maanden €21.01 6 maanden €35.01 1 jaar €60
Math Games	Basisschool en onderbouw VO	Meerdere onderwerpen	Een site met veel verschillende rekenspelletjes die per leerjaar of rekenvaardigheid kunnen worden bekeken. Voor eind onderbouw VO vindt u spelletjes die wiskundevaardigheden zoals getaleigenschappen, meetkunde, breuken, verhoudingen, decimalen, vergelijking, algebra, gemengde vergelijkingen, vermenigvuldiging, deling en statistiek kunnen herhalen of in herinnering brengen voor de start van de bovenbouw.	https://www.mathgames.com/ Gratis
Math is fun	Voor 12 jaar en ouder	Meerdere onderwerpen	Een site voor wiskundespelletjes met echt goede manieren om de basis te visualiseren en te bekijken.	https://www.mathsisfun.com/ Gratis





Mathblaster	Voor de leeftijd van 8 tot 12 jaar	Meerdere onderwerpen	Spelletjes voor max 12-jarigen, veel variatie.	http://www.mathblaster.com/ Gratis
MathPlaygrond	Basisschool en brugklas	Meerdere onderwerpen	Veel verschillende rekenspelletjes, maar niveau alleen tot en met de brugklas.	https://www.mathplayground.com/ Gratis
Minecraft	Voor 7 jaar en ouder	3D perceptie	Het spel verbetert de 3D-waarneming en het logisch denken van de speler, maar ook de creativiteit, de samenwerking en het oplossen van problemen. Het spel is echt veelzijdig en omvat veel verschillende onderwerpen, zoals wiskunde, geschiedenis, Engels en opdrachten die daarmee verband houden.	https://www.minecraft.net/fi-fi Beschikbaar op meerdere platforms €7,50 - 20, sommige versies bevatten in-app aankopen
Portal	Onderbouw VO	Meerdere onderwerpen	Een theoretisch onderzoek van een breed scala aan wiskunde onderwerpen die ook geschikt zijn voor de onderbouw. In Puzzle Maker kun je dingen uitproberen en onderzoeken. Niet noodzakelijkerwijs enthousiaste leerlingen van alle soorten, dus de leraar moet games kiezen op basis van het niveau en de leerstijl van de leerlingen.	https://store.steampowered.com/app/400/Portal/ €8,19
RoboSellers	Adolescent	Basisberekeningen	Het spel ontwikkelt koop- en verkoopdenken. De speler moet enig begrip van het Engels hebben, wat betekent dat kennis van wiskundige methoden alleen niet voldoende is. Alleen elementaire rekentaken in verband met aan- en verkopen.	https://www.filamentgames.com/project/robosellers/ Gratis
Variant: Limits	Bovenbouw VO	De aard van punten, functies, functierelaties met limieten en limietwetten	Variant: Limits is een wiskundig spel waarin de speler de aard van punten, functies, functierelaties tot limieten en limietwetten leert kennen, waarbij continuïteit wordt gerelateerd aan limiet en asymptoten. Het wordt gespeeld in een geanimeerde kasteelstad die het verleden en de toekomst visueel combineert, waarbij je van het ene opdrachtgebied naar het andere rent.	https://triseum.com/variant-limits/ 30





4.3 Evaluatie van de games

Naar aanleiding van de pre-evaluatie werden vijf wiskunde games geselecteerd om te spelen. Deze vijf games werden geselecteerd op grond van het feit dat de onderwerpen ervan het meest geschikt waren van de voorgeselecteerde spellen voor het wiskundeonderwijs in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Bij de selectie is ook gekozen om voorbeelden te geven van DGBL-games over verschillende wiskundige onderwerpen. De auteurs van dit hoofdstuk hebben alle geselecteerde spellen van begin tot eind gespeeld en vervolgens geëvalueerd, zowel volgens de Elemental Tetrad-methode als vanuit het oogpunt van factoren die verband houden met de geschiktheid en speelbaarheid van de game op basis van het literatuuronderzoek. De auteurs zijn vrouwelijke onderzoekers die zich voornamelijk bezighouden met de ontwikkeling van technische mogelijkheden, met ervaring in wiskundeonderwijs aan leerlingen van de bovenbouw van het middelbaar onderwijs. De evaluaties zijn gemaakt als voorbeelden van de acties en onderwerpen van de games, met de subjectieve kijk van deze twee onderzoekers. De voor evaluatie geselecteerde spelletjes zijn:

1. King of Math 2
2. DragonBox (Algebra 12+)
3. Variant: Limits
4. Faktr
5. DragonBox (Elements)

De spelevaluaties zijn in tabelvorm geschreven. In de volgende paragrafen wordt per game eerst de basisinformatie van het spel gepresenteerd, vervolgens de evaluatieresultaten volgens de Elemental Tetrad-methode en tenslotte de resultaten van de evaluatie op basis van de geselecteerde factoren.

4.3.1 Evaluatiefactoren

Bij het plannen van de evaluatie van de games en het bepalen van de evaluatiecriteria was het een uitdaging om vast te stellen welke factoren belangrijk zijn vanuit het oogpunt van het wiskundeonderwijs in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Vanuit het perspectief van dit schoolniveau waren er duidelijk merkbare tekortkomingen in de DGBL-onderzoeksresultaten. Op basis van de review van de onderzoeksartikelen hebben we uiteindelijk de in hoofdstuk 3 gepresenteerde Elemental tetrad gebruikt om het spelontwerp te evalueren. Besloten is om voor het evalueren van games vanuit een leer- en kennisverwervingsperspectief de factoren te gebruiken die door Giani & Wangenheim (2016) zijn geïdentificeerd en geclassificeerd naar gebruiksfrequentie en samen met professionele wiskundedocenten zijn afgebakend. Volgens de identificatie en afbakening werden de volgende factoren geselecteerd om de gespeelde games te evalueren: Leren, Sociale interactie, Uitdaging, Competentie, Immersie, Plezier, Relevantie, Duidelijk doel, Bruikbaarheid, Motivatie, Tevredenheid, Feedback en Nieuwsgierigheid. Deze factoren werden gekozen omdat de geschiktheid van games vanuit het perspectief van het leren en oefenen van wiskunde in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs in dit hoofdstuk als het belangrijkste criterium werd gezien bij de evaluatie van games.

Op basis van de systematische literatuurstudie van Giani & Wangenheim (2016) kunnen de factoren die zijn geselecteerd om in deze evaluatie te worden gebruikt, worden toegelicht zoals weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.2. Geselecteerde factoren en hun beschrijvingen

Factor	In dit handboek gebruikte beschrijving
Leren	Het spel verbetert de bekwaamheid van de speler in een onderwerp.
Sociale interactie	Het gevoel van samen spelen, in dezelfde ruimte of met dezelfde handelingen.





Uitdaging	Een beginniveau dat geschikt is voor de speler en een toenemend competentieniveau in een passend tempo.
Bekwaamheid	Het is goed voor de speler om zijn bekwaamheidsniveau te bepalen om verder te gaan zoals gepland in het spel.
Immersie	Het spel laat de speler opgaan in het spel, zodat de wereld buiten het spel wordt vergeten.
Leuk	De speler voelt plezier en geluk.
Relevantie	De speler vindt de moeilijkheidsgraad en het onderwerp van het spel geschikt voor hem/haar.
Duidelijk doel	De doelstellingen van het spel zijn duidelijk aangegeven.
Bruikbaarheid	Hoe duidelijk en begrijpelijk is het voor een speler in een spel om van de ene taak naar de andere of van het ene niveau naar het andere te gaan.
Motivatie	Hoe goed het spel de speler motiveert om te spelen en terug te keren.
Tevredenheid	De speler vindt dat het spelen van het spel nieuwe kennis oplevert.
Feedback	Het spel geeft de speler informatie over hoe goed de speler heeft gepresteerd tijdens de verschillende fasen van het spel.
Nieuwsgierigheid	Het spel wekt nieuwsgierigheid op bij de speler, bijvoorbeeld aan de hand van verschillende spelsituaties of opdrachten of eventueel mysteries.

4.3.2 Beschrijving en evaluatie van de spelletjes

In deze paragraaf worden de geëvalueerde spellen een voor een gepresenteerd, waarbij eerst de basisbeginselen van het spel worden uitgelegd en vervolgens de evaluaties van hetzelfde spel worden doorlopen, te beginnen met de evaluatie van de Elementaire Tetrade en eindigend met de evaluatie van het leren en de kennisverwerving van het spel op basis van de in de vorige paragraaf gepresenteerde factoren. De prijzen zijn weergegeven in euro's zoals ze waren bij de laatste controle van spellen uit Finland in augustus 2022. De prijzen kunnen variëren in andere landen.

4.3.2.1 King of Math 2

King of Math 2 wordt gespeeld in een miniatuurwereld met vijf verschillende velden: platteland, stad, bos, berg en kasteel (figuur 4.1). Elk van deze velden heeft 25 niveaus, elk met 10 oefeningen (figuur 4.2). In King of Math 2 kunnen wiskundige vaardigheden worden geoefend met betrekking tot getallen en rekenen, optellen, vergelijken (kleiner dan, groter dan), schatten en benaderen, wiskundige representatie, decimalen, aftrekken, vermenigvuldigen, delen, combinaties van berekeningen en breuken. Door het spel te spelen kan een speler vooral de procedurele kennis van deze wiskundige vaardigheden ontwikkelen.

The King of Math 2 behoort tot het genre quiz/trivia en heeft vooral betrekking op de kennisdimensie bij de in hoofdstuk 3 gepresenteerde onderwijsdoelstellingen van Bloom. De belangrijkste leertechniek is vraaggestuurd leren, aangezien de leeractiviteiten bestaan uit vragen en problemen. Het aantal wiskundegebieden in het spel neemt toe naarmate het spel vordert, en de onderwerpen worden afwisselend behandeld, zodat naarmate de gebieden vorderen, de opgaven voor elk onderwerp geleidelijk moeilijker worden.





Figuur 4.1. De speelvelden in King of Math 2.



Figuur 4.2. Voorbeelden van niveaus en een oefening in King of Math 2.

The King of Math 2 is een mobiel spel dat kan worden gedownload in de App store of Google Play. Het volledige spel kost 2,99 € in Google Play en in de App store. Het is te vinden in het Duits, Chinees, Engels, Noors, Spaans, Deens, Japan, Italiaans, Zweeds, Russisch, Fins en Nederlands.

Elemental Tetrad evaluatie van King of Math 2

Elementaire tetrad	King of Math 2
Mechanisme: Ruimte	Een miniatuurwereld met vijf verschillende velden: platteland, stad, bos, berg en kasteel. Elk veld heeft 25 niveaus, elk met 10 oefeningen.
Mechanisme: Tijd	Op elk niveau heeft de speler de volledige score volgens het niveau. Wanneer de eerste opdracht verschijnt, begint de score te dalen. Als de score tot nul daalt voordat de speler alle tien opdrachten heeft gespeeld, eindigt het level en gaat de speler naar het begin van het level. De tijdslimiet kan worden uitgeschakeld in de instellingen. In dat geval is het voltooiën van het level alleen gebaseerd op het al dan niet maken van drie fouten door de speler.
Mechanisme: Objecten	Wanneer het spel begint, kiest de speler een personage uit een paar verschillende opties en geeft zijn/haar personage een naam. Naarmate het spel vordert, evolueert het personage van een beginner via personages van verschillende niveaus om steeds koning of koningin te worden. De spelomgeving is zeer kleurrijk, en er zijn veel personages en elementen ingebracht die op geen enkele manier in het spel worden gebruikt.
Mechanisme: Acties	Wanneer de speler het spel begint te spelen zijn alleen het plattelandsveld en het eerste niveau open. Als een speler door het eerste niveau heen is, gaat het volgende niveau open. Als alle niveaus van het eerste veld zijn doorlopen, gaat het tweede veld open, enzovoort. Verplaatsen tussen de velden gebeurt door het veld waar de speler naartoe wil aan te klikken en de speler daar naartoe te slepen. Toegang tot de taken op elk niveau gebeurt door het niveau-icoon aan te klikken. De opdrachten worden uitgevoerd door de juiste antwoorden te selecteren door ze aan te klikken.
Mechanisme: Regels	Regels en doelen zijn concreet. Elk niveau heeft een symbool om aan te geven welke wiskundige vaardigheid op dat niveau wordt geoefend. Sommige niveaus combineren de vaardigheden van voorgaande niveaus. Elk niveau heeft 10 oefeningen. Als een speler tijdens een niveau 3 keer fout antwoordt, eindigt het niveau en moet de speler het niveau van voren af aan beginnen. Het level begint ook opnieuw als een speler zo lang bezig is met oefeningen in het level dat de continue dalende punten van het level naar nul gaan. Levelpunten worden bepaald door hoeveel punten er over zijn nadat alle 10 oefeningen zijn voltooid. De speler krijgt ook 1-3 sterren per level, afhankelijk van hoeveel fouten de speler heeft gemaakt. Je krijgt 3 sterren voor foutloos presteren, 2 sterren voor één foutprestatie en 1 ster voor twee foutprestaties. Elk level heeft een bepaald aantal punten waarbij de speler een medaille krijgt. De scores die nodig zijn voor een medaille zijn vrij hoog. De speler die meerdere medailles heeft verzameld, heeft zich de wiskundige vaardigheden van het spel duidelijk eigen gemaakt.
Mechanisme: Vaardigheden	Wiskundige vaardigheden met betrekking tot getallen en rekenen, optellen, vergelijken (kleiner dan, groter dan), schatten en benaderen, wiskundige representatie, decimalen, aftrekken, vermenigvuldigen, delen, combinaties van berekeningen en breuken. De moeilijkheidsgraad van de oefeningen op elk gebied neemt toe en tegelijkertijd ontwikkelt het wiskundig waarnemingsvermogen zich.
Mechanisme: Kans	Oefeningen kunnen steeds opnieuw worden geprobeerd om een niveau te halen of betere resultaten te behalen.



Technologie: Materialen en interacties die een spel mogelijk maken	De slotsymbolen geven duidelijk aan welke velden nog niet speelbaar zijn en vraagtekens geven aan welke velden op een bepaald veld nog gesloten zijn. Wanneer een veld wordt geopend, verschijnt het onderwerp ervan. In de veldenweergave ziet de speler hoeveel sterren en medailles er op verschillende velden zijn behaald. In de beginweergave ziet de speler het totaal aantal punten, sterren en medailles voor het hele spel.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontvouwen: Gebeurtenissen	De speler gaat van het ene veld naar het andere in het spel door de oefeningen op de niveaus van de velden in volgorde uit te voeren.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontvouwen: Drama	Als een speler een level niet haalt, kan ze niet door naar de volgende levels in het spel. Een speler kan echter proberen het level zo vaak als ze wil te halen.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontvouwen: Karakter	Aan het begin van het spel kiest de speler een boerenkarakter uit zes optionele karakters. Het karakter ontwikkelt zich naargelang de vaardigheden van de speler naarmate het spel vordert. Met een bepaalde score bereikt het karakter de volgende personage. Wanneer alle niveaus en velden zijn voltooid, heeft het karakter de personage van een koning of koningin bereikt.
Esthetiek: Hoe een spel wordt ervaren (uiterlijk, geluid, gevoel)	Het spel heeft een kleurrijke miniatuurwereld en er speelt achtergrondmuziek als een speler daarnaar wil luisteren. De voortgang verloopt soepel en de spelomgeving is verleidelijk om door te gaan naar het volgende level en veld.

Geselecteerde factorgebaseerde evaluatie van leren en kennisverwerving in King of Math 2

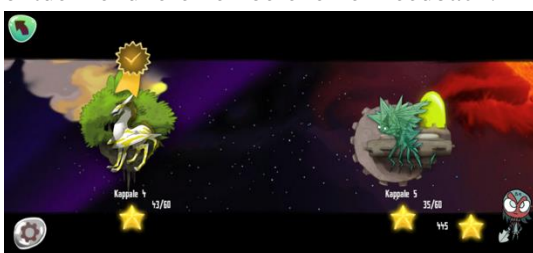
Geselecteerde factoren	King of Math 2
Leren	Er zijn geen speciale lesonderdelen in dit spel. In het spel kunnen wiskundige vaardigheden worden geoefend met betrekking tot getallen en rekenen, optellen, vergelijken (kleiner dan, groter dan), schatten en benaderen, wiskundige representatie, decimalen, aftrekken, vermenigvuldigen, delen, combinaties van berekeningen en breuken. Door het spel te spelen kun je vooral de procedurele kennis van deze wiskundige vaardigheden ontwikkelen.
Sociale interactie	Spelers kunnen met elkaar in contact komen en zo hun spelresultaten vergelijken voor het hele spel, elk veld en individueel niveau. De speler kan ook zijn eigen prestaties vergelijken met de prestaties van iedereen die het spel heeft gespeeld. Er is echter geen communicatie tussen de spelers onderling.
Uitdaging	Het spel kan worden gespeeld om belangrijke wiskundige vaardigheden onder de aandacht te brengen. Het spel verloopt systematisch zodat het vaardigheidsniveau geleidelijk toeneemt.
Bekwaamheid	Spelers die zijn uitgedaagd door de onderwerpen van het spel kunnen zich de onderwerpen goed herinneren en hun procedurele kennis verbeteren.
Immersie	Er werd geen significante immersie waargenomen. Als een speler weet dat de wiskundige onderwerpen van het spel moeten worden geoefend, zal hij/zij zeker terugkeren naar het spel, maar het spel zelf veroorzaakt geen immersie. Aan de andere



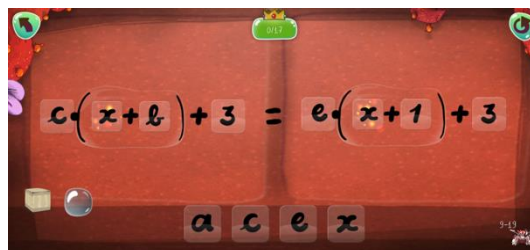
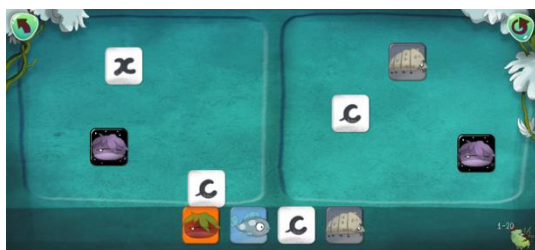
	kant kost één niveau van het spel zeer weinig tijd, zodat de speler in een flow-modus kan komen door het ene na het andere niveau te spelen.
Leuk	Voor de speler voor wie het spel uitdagend genoeg is, is er ook een element van plezier in dit spel te vinden. De speler kan het plezier ervaren als hij/zij van de ene uitdagende taak naar de andere gaat.
Relevantie	Het is voor de speler gemakkelijk om de relevantie van het spel in te zien vanuit het oogpunt van het leren van wiskundige vaardigheden.
Duidelijk doel	Vanaf de eerste aanblik van het spel is duidelijk hoeveel velden er in het spel zijn en hoe het spel vordert door van niveau naar niveau en van veld naar veld te gaan.
Bruikbaarheid	De bruikbaarheid van het spel is heel duidelijk vanaf het begin van het spel.
Motivatie	Als de wiskundige onderwerpen die in het spel worden geoefend interessant en relevant zijn voor de speler, is het gemakkelijk voor de speler om gemotiveerd te zijn om het spel te spelen.
Tevredenheid	Het verbeteren van spelscores en het slagen op moeilijkere niveaus geeft voldoening.
Feedback	Na elk niveau en veld krijgt de speler duidelijke informatie over zijn vorderingen.
Nieuwsgierigheid	Het enige wat duidelijk nieuwsgierigheid opwekt in het spel is hoe ver de ontwikkeling van de wiskundige vaardigheden gaat.

4.3.2.2 DragonBox (Algebra 12+)

DragonBox (Algebra 12+) en zijn nieuwere versie: Kahoot! Algebra 2 van DragonBox is een echt leerspel waarbij de speler aanvankelijk niet herkent dat hij een wiskundig spel speelt, maar geleidelijk vaardigheden leert die zich vervolgens ontpoppen als vaardigheden voor het oplossen van wiskundige vergelijkingen. Het wordt gespeeld in een ruimte-achtige omgeving, waar elke ruimtsteen een hoofdstuk is, waarin de draak van ei tot volwassene wordt opgevoed door de levels te spelen waarvan er 20 zijn in elk hoofdstuk (figuur 4.3). Op elk niveau bestaat het speelveld uit twee delen, zodat de helften wiskundig kunnen worden geïdentificeerd als de linker- en rechterkant van een vergelijking (figuur 4.4). Het spel DragonBox (Algebra 12+) behoort voornamelijk tot het genre actie/avontuur en heeft vooral betrekking op de dimensie cognitief proces van de in hoofdstuk 3 gepresenteerde onderwijs-doelstellingen van Bloom. De belangrijkste leertechnieken zijn ontdekkend leren en oefenen en feedback.



Figuur 4.3. Links Ruinterotsen (hoofdstukken) in DragonBox (Algebra 12+) en rechts de stadia van draak ontwikkeling (niveaus) op één rots.



Figuur 4.4. Voorbeelden van tweedelige spelvelden, links uit het eerste hoofdstuk en rechts uit het negende hoofdstuk.

DragonBox (Algebra 12+), of de nieuwere versie Kahoot! Algebra 2 van DragonBox, is een mobiel spel dat kan worden gedownload in de App store of Google Play. Het volledige spel kost 9,99 € in beide winkels. Het is te vinden in het Engels, Frans, Noors, Zweeds, Spaans, Japan, Italiaans, Portugees, Dansk, Duits, Russisch, Chinees, Fins, Nederlands, Baskisch, Ests, Turks, Tsjechisch, Litouws, Koreaans, Hongaars, Servisch, Galicisch, Roemeens en Pools.

Elementaire Tetrad evaluatie van DragonBox (Algebra 12+)

Elementaire tetrade	DragonBox (Algebra 12+)
Mechanisme: Ruimte	Gespeeld wordt in een ruimte-achtige omgeving waar je van de ene naar de andere ruinterots beweegt. Elke ruinterots is steeds een hoofdstuk bestaande uit levels die achter elkaar worden gespeeld. Het spel heeft 10 ruinterotsen, met andere woorden 10 hoofdstukken, elk met 20 levels. De eigenlijke acties vinden plaats op een rechthoekig veld dat in twee helften is verdeeld (een beetje zoals een tennisveld). De speler kan voorwerpen in en tussen deze twee delen verplaatsen.
Mechanisme: Tijd	Er is geen tijdslimiet in het spel. Elk level kan zo lang gespeeld worden als een speler wil.
Mechanisme: Objecten	De speler verschijnt als een automatisch aangeboden personage in het spel, maar kan niet worden bewerkt. Op elke ruinterots (hoofdstuk) heeft de speler een soort draken op het eerste niveau. Door elk level te halen ontwikkelt de draak zich zodat na het laatste level van het hoofdstuk de draak volwassen is. Het speloverzicht toont ruimte rotsen en elke draak in de huidige geëvolueerde vorm. In de eerste levels zijn de voorwerpen op de speelvelden concreet, zoals dieren. Later worden ze steeds abstracter tot ze cijfers en letters zijn. Elk voorwerp heeft zijn "tegengestelde" versie, die wordt weergegeven door zijn "inverse" kleuren. Een van de voorwerpen is een doos (waarin de draak op de oplossing wacht). Het doel in elk veld is om alle voorwerpen zo te verplaatsen dat de doos alleen in één van de twee helften van het veld blijft en dat alle andere voorwerpen in de andere helft zijn verplaatst. Bovendien moet de oplossing vereenvoudigd worden en in een bepaald aantal stappen bereikt worden. Voor elk van deze drie doelstellingen kan de speler een ster verdienen.
Mechanisme: Acties	Aan het begin van het spel is alleen de eerste ruinterots (hoofdstuk) speelbaar. Een nieuw hoofdstuk opent als alle levels van het vorige hoofdstuk zijn gehaald. Binnen



	<p>een hoofdstuk kun je niet van het ene naar het andere level, tenzij je het vorige level hebt gehaald.</p> <p>Tijdens het spel moet de speler het ei/de draak gelukkig maken door voorwerpen te verplaatsen. In de loop van het spel worden steeds meer "magische krachten" geïntroduceerd, die overeenkomen met algebraïsche bewerkingen. Bijvoorbeeld: een voorwerp verplaatsen door het aan te raken/slepen/druppelen van de ene helft van het veld naar de andere leidt ertoe dat het voorwerp verandert in zijn "tegenovergestelde" versie. Of het slepen van een voorwerp op zijn tegengestelde versie (binnen een van de helften van het veld) resulteert in het oplossen van beide in het niets. Een teller berekent de bewegingen die de speler maakt om de oplossing te vinden. De bewegingen worden steeds complexer en komen overeen met bewerkingen als delen, vermenigvuldigen, breuken vereenvoudigen, enz.</p>
Mechanisme: Regels	<p>De spelregels zijn aan het begin van het spel niet erg concreet. Er is geen besef dat dit een rekenspel is. Naarmate het spel vordert, krijgt de speler instructies met betrekking tot de nieuwe mogelijkheden, waardoor hij vooruitgang kan boeken door te experimenteren. Als er een probleem is met het halen van het level, verschijnt er een gloeilamp-icoon op het scherm, waarop kan worden geklikt om een video te tonen van de voorbeeldmatige doorgang door het level. Pas na het spelen van een paar hoofdstukken begint de speler overeenkomsten in de spelregels te zien die het wiskundig denken ontwikkelen. Dit vereist wel dat de speler enige voorkennis heeft van de basismethoden om de vergelijking op te lossen.</p>
Mechanisme: Vaardigheden	<p>Het spel ontwikkelt met name wiskundige vaardigheden die de identificatie van mogelijkheden tot uitzetting en inkrimping en het begrip van tegengestelde waarden van negatieve en positieve getallen vereisen. Delen in factoren wordt ook zeer vertrouwd in het spel, hoewel niet specifiek met getallen. In de laatste hoofdstukken gaat het spel duidelijk in op het vereenvoudigen van algebraïsche vergelijkingen. Door het spel te spelen kan de vaardigheid hiervan zich ontwikkelen zonder dat de speler beseft dat zij vergelijkingen leert vereenvoudigen. Soms kan de dynamiek van het spel de speler dwingen andere zetten te doen dan wat men zou doen bij het oplossen van de overeenkomstige vergelijking. Dit is te merken aan het aantal stappen dat nodig is om de opgave op te lossen: soms verwacht het spel minder stappen dan wat een gevorderde speler in werkelijkheid gebruikt; het bekijken van de animatie met de oplossing kan in die situaties informatief zijn.</p>
Mechanisme: Kans	<p>Er is geen enkele factor van toeval in dit spel, behalve misschien in welke personages telkens verschijnen.</p>
Technologie: Materialen en interacties die een spel mogelijk maken	<p>Hoofdstukken die al open zijn verschijnen in het spel veelkleurig en multidimensionaal, maar hoofdstukken die nog niet open zijn, dus speelbaar, verschijnen in eenvoudige vormen en hebben het slotsymbool aan. Binnen het hoofdstuk verschijnen de open levels als drakenfiguren die al geëvolueerd zijn, en de nog gesloten levels verschijnen als silhouetten van draken in verschillende stadia van evolutie met een slotsymbool erop. Tijdens het spelen bepalen de regels (d.w.z. de bijbehorende algebraïsche operaties) welke bewegingen met de beschikbare voorwerpen gemaakt kunnen worden. Verderop in het spel worden meer regels toegevoegd, zodat de speler meer zetten kan doen.</p>
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die	<p>De speler vordert in het spel door de levels van de hoofdstukken in een bepaalde volgorde te voltooien. De moeilijkheidsgraad van het spel neemt steeds toe naarmate een speler van het ene hoofdstuk naar het andere gaat. De gebeurtenissen in het spel</p>





zich ontvouwen: Gebeurtenissen	zijn zodanig dat een speler zich niet realiseert dat ze wiskundig denkt, ook al doet ze dat wel.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontvouwen: Drama	In principe kan het spelen van een level niet eindigen met een mislukte prestatie, maar gaat het door tot het level is gehaald. Na een tijdje verschijnt er een lampje op het scherm voor videotips over hoe het level te voltooien.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontvouwen: Karakter	Het karakter van de speler is niet aanpasbaar, maar met elke ruimtsteen ontwikkelt de speler een draak door levels te voltooien. Als alle levels in een hoofdstuk zijn gehaald, is het drakenpersonage in dat hoofdstuk volwassen.
Esthetiek: Hoe het spel wordt ervaren (uiterlijk, geluid, gevoel)	Het spel heeft een kleurrijke, broodachtige omgeving. Elke ruimtsteen, evenals het hoofdaanzicht, heeft zijn eigen muziek, die in de spelinstellingen kan worden uitgezet. Evoluerende drakenkarakters zijn treffend uit deze wereld.

Geselecteerde factorgebaseerde evaluatie van leren en kennisverwerving in DragonBox (Algebra 12+)

Geselecteerde factoren	DragonBox (Algebra 12+)
Leren	Het spel is duidelijk een instructief spel, ontworpen volgens de methode van het spelend leren. Aan het begin van het spel beseft de speler niet dat zij een wiskundig spel speelt, maar eerder een traditioneel probleemoplossend spel. Het spel vordert zodanig dat beetje bij beetje verschillende krachten voor de speler beschikbaar komen, zoals vereenvoudiging en uitbreiding, alsmede andere bewerkingen die verband houden met de vereenvoudiging van de expressie. In het begin van het spel worden geen cijfers of letters gebruikt, maar worden wiskundige bewerkingen geleerd met behulp van fantasierijke dierfiguren. Het basisidee van de spel-gebaseerde leermethode is in het spel uitgekristalliseerd; d.w.z. de speler leert een expressie te vereenvoudigen zonder te weten dat het gaat om het vereenvoudigen van een expressie of verwante bewerkingen. De speler die op de een of andere manier met deze dingen vertrouwd is, begint de overeenkomsten te herkennen tijdens het eerste en tweede spoor.
Sociale interactie	Geen sociale interactie.
Uitdaging	Het spel is zeer geschikt om het oplossen van elementaire algebra-vergelijkingen in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs vanaf het begin te oefenen.
Bekwaamheid	Het spel is het meest geschikt om leerlingen kennis te laten maken met methoden voor het oplossen van vergelijkingen.
Immersie	Als een speler eenmaal door de eerste paar hoofdstukken heen is en dit soort spel leuk vindt, kan zij zich gemakkelijk op het spel storten.
Leuk	Het plezier van het spel is vanaf de eerste velden goed te merken. Een speler die graag iets nieuws leert en problemen oplost, zal dit spel zeker ook met plezier spelen.





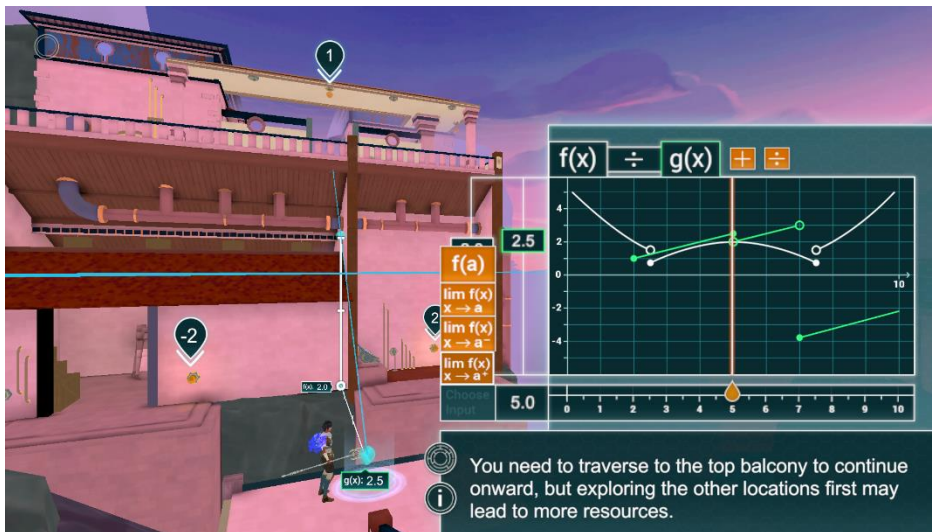
Relevantie	Na de eerste niveaus en hoofdstukken is het voor de speler gemakkelijk om de relevantie van het spel in te zien vanuit het oogpunt van het leren van wiskundige vaardigheden.
Duidelijk doel	Na de eerste levels en de eerste nieuwe krachten heeft het spel een heel duidelijk doel. In het begin van het spel kan de speler het gevoel hebben dat ze een kinderspel aan het spelen is.
Bruikbaarheid	De bruikbaarheid van het spel wordt pas duidelijk als de speler met vallen en opstaan een paar levels verder is gekomen.
Motivatie	Als de wiskundige dingen die in het spel worden geoefend interessant en relevant zijn voor de speler, is het gemakkelijk voor de speler om gemotiveerd te zijn om het spel te spelen.
Tevredenheid	Wanneer een speler ontdekt dat hij een wiskundige oplossing voor een vergelijking heeft geleerd zonder erbij na te denken, levert het leren van iets nieuws zeker voldoening op.
Feedback	Na elk level en hoofdstuk krijgt de speler duidelijke informatie over zijn vorderingen.
Nieuwsgierigheid	Het spel zelf wekt de nieuwsgierigheid van de speler naar wat er nu te leren valt.

4.3.2.3 Variant: Limits

Variant: Limits is een wiskundig spel waarin de speler de aard van punten, functies, de relatie tussen functies en limieten en limietwetten leert kennen, waarbij continuïteit aan limiet wordt gerelateerd, evenals asymptoten. Het wordt gespeeld in een geanimeerde kasteelstad die het verleden en de toekomst visueel combineert, waarbij je van het ene opdrachtgebied naar het andere rent (zie figuur 4.5).

Variant: Limits game behoort tot ten minste het genre Action/Adventure of simulatiegames en heeft vooral betrekking op de dimensie cognitief proces bij de in hoofdstuk 3 gepresenteerde onderwijsdoelstellingen van Bloom. De belangrijkste leertechnieken zijn ontdekkend leren en taakgebaseerd leren en de leeractiviteiten zijn meestal problemen en het begrijpen van principes. Het aantal wiskundegebieden in het spel neemt toe naarmate het spel vordert, en de onderwerpen worden afwisselend behandeld, zodat de taken voor elk onderwerp geleidelijk moeilijker worden naarmate de gebieden vorderen.





Figuur 4.5. Voorbeeld van een opdracht in Variant: Grenzen.

Variant: Limits is een PC-spel van Triseum dat kan worden gedownload van hun eigen website (<https://triseum.com/variant-limits/>). Het volledige spel kost \$30 en is alleen in het Engels te vinden. Het spel heeft geen digitale handtekening, dus als je het probeert te installeren krijg je een waarschuwing over de betrouwbaarheid.



Elementaire Tetradevaluatie van Variant: Limits

Elementaire tetrade	Variant: Limits
Mechanisme: Ruimte	Gespeeld wordt in een geanimeerde kasteelstad die het verleden en de toekomst visueel combineert, waarbij je van het ene opdrachtgebied naar het andere rent. Er is duidelijk moeite gedaan om de spelwereld te ontwikkelen en deze is zeer spectaculair. Er zijn verschillende zones in het spel, die elk bepaalde wiskundige onderwerpen aan de orde stellen.
Mechanisme: Tijd	Er zijn geen tijdslimieten in het spel.
Mechanisme: Objecten	Het spel wordt gespeeld met een krijger karakter. Er zijn verschillende elementen bij een opdracht betrokken die na het oplossen van de opdracht beschikbaar blijven. Objecten die een opdracht uitdrukken zijn gemakkelijk herkenbaar in de wereld.
Mechanisme: Acties	Je kunt alleen vooruitgang boeken in het spel door opdrachten te voltooien. Sommige opdrachtobjecten hebben aparte opdrachten, die allemaal moeten worden opgelost om de entiteit te activeren die nodig is om verder te komen. Een speler kan de voortgang van het spel ook bekijken via de kaart, maar ook zonder dat kan de speler verder gaan via het navigatiepad, dat desgewenst te zien is. De speler loopt van opdracht naar opdracht in een driedimensionale spelwereld met behulp van de toetsen w , a , s en d op het toetsenbord om vooruit, achteruit, links en rechts te bewegen.
Mechanisme: Regels	Vanuit het oogpunt van voortgang in het spel zijn de regels zeer duidelijk. Er zouden duidelijk meer instructies nodig zijn om de opdrachten uit te voeren en de oplossingen te activeren. Op deze punten kan de speler gefrustreerd raken door de technische oplossingen van het spel. Er zijn goede instructies voor de spelbewegingen aan het begin van het spel, maar soortgelijke instructies zouden ook voor andere functies nodig zijn. Aan Opdrachten kan zo lang en zo vaak als gewenst is, worden gewerkt. De speler wordt beloond met de mogelijkheid om verder te komen, wat wordt bereikt door opdrachten te voltooien en oplossingen te activeren. De moeilijkheidsgraad van de opdrachten neemt vrij snel toe, direct na de eerste opdrachten in het spel.
Mechanisme: Vaardigheden	Wiskundige vaardigheden van verschillende zones met betrekking tot zone 1: de aard van punten, zone 2: functies, de relatie tussen functies en limieten en limietwetten; zone 3: het verband tussen continuïteit en limieten en zone 4: asymptoten.
Mechanisme: Kans	De speler kan proberen opdrachten op te lossen zolang hij/zij verder kan. Er is geen tijdslimiet en door het mislukken van opdrachten kan de speler leren wat de juiste manier zou zijn om een opdracht te voltooien.
Technologie: Materialen en interacties die een spel mogelijk maken	Het spel kan alleen in een bepaalde volgorde verlopen. Opdrachten moeten worden uitgevoerd en hun oplossingen moeten worden geactiveerd voordat de speler naar de volgende opdracht en zone kan gaan. De speler ziet de volgende zones op geen enkele manier totdat ze in volgorde moeten worden uitgevoerd. De speler kan van een afstand de opdrachtzones zien van de zone waar hij/zij zich op dat moment bevindt, maar kan niet zelf de volgorde van uitvoering kiezen. Het spel wordt gespeeld op een computer die duidelijk de bevoegdheden van een spelcomputer moet hebben.





Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontvouwen: Gebeurtenissen	De speler vordert in het spel door opdrachten te vervullen. Sommige opdrachten vereisen het activeren van eerdere oplossingen in de volgorde van het speelveld. De speler moet de noodzakelijke volgorde uitzoeken door het speelveld te onderzoeken. De speler ziet in het spel niet in welke fase de zone of het hele spel zich bevindt, maar de speler gaat alleen van de ene opdracht naar de andere totdat op een gegeven moment de zone verandert.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontvouwen: Drama	Als de speler niet weet hoe hij de opdracht moet oplossen, geeft het spel geen extra hints en kan het gebeuren dat het spel van de speler daar eindigt omdat er geen andere manier is om verder te komen.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontvouwen: Karakter	Het spel wordt gespeeld met een krijgerfiguur die een staafachtig wapen in de hand houdt.
Esthetiek: Hoe het spel wordt ervaren (uiterlijk, geluid, gevoel)	De spelwereld is een mooie ouderwetse stad, maar met een zeer futuristische inkleuring. De spelomgeving is verleidelijk om te spelen, maar het bewegen van het spelkarakter gaat stroef. Het spel kan gebruik maken van verschillende geluiden zoals hoofdaudio, geluidseffecten, achtergrondmuziek en voice overs.

Geselecteerde factorgebaseerde evaluatie van leren en kennisverwerving in Variant: Limits

Geselecteerde factoren	Variant: Limits
Leren	Een educatief spel gebaseerd op de game-based learning methode. In het begin is er veel aandacht voor het leren van de betekenis en notatie van continuïteit en discontinuïteit van functies. Vooral in het begin van het spel is er veel herhaling en wordt er "gerend" van opdracht naar opdracht. De tweede zone gaat meer in op de wereld van discontinuïteiten van functies en op de relatie tussen functies en limieten en limietwetten. Wiskundige bewerkingen en hun relaties worden geleidelijk aan geleerd door oefening naarmate men van de ene opdracht naar de andere gaat. Sommige opdrachten zijn een beetje vaag, waardoor de speler de omgeving moet doorzoeken en verkennen om verder te komen.
Sociale interactie	Geen sociale interactie.
Uitdaging	Het spel is zeer geschikt voor het in de bovenbouw vwo oefenen van continuïteit van functies, limietgedrag en hun onderlinge relaties.
Bekwaamheid	Spelers die willen leren over continuïteit, limieten en limietwetten, en asymptoten van functies, kunnen hun vaardigheden en begrip ontwikkelen.





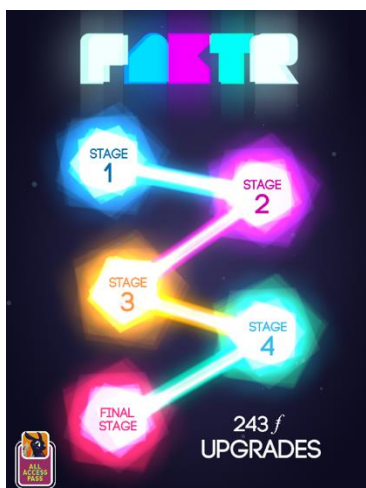
Immersie	Als een speler plezier heeft in het spel, begint hij te begrijpen hoe opdrachten worden uitgevoerd en hoe ze met elkaar in verband staan, kan hij/zij wel in het spel opgaan.
Leuk	Het leuke element is zeer goed te ontdekken. Een speler die het leuk vindt om iets nieuws te leren en problemen op te lossen, zal dit spel zeker ook met plezier spelen.
Relevantie	Het is voor de speler gemakkelijk om de relevantie van het spel in te zien vanuit het oogpunt van het leren van wiskundige begrippen en vaardigheden.
Duidelijk doel	De opdrachten van het spel zijn vrij duidelijk, maar speltechnisch moet het spel nog ontwikkeld worden om er een spel met een duidelijk passend doel van te maken. Er zijn te weinig duidelijke zonewisselingen in het spel.
Bruikbaarheid	De bruikbaarheid van het spel is vrij duidelijk, maar de bewegingen en perspectieven van het spel zijn wat onhandig.
Motivatie	Als de wiskundige dingen die in het spel worden geoefend interessant en relevant zijn voor de speler, is het gemakkelijk voor de speler om gemotiveerd te zijn om het spel te spelen. Er kunnen zich echter situaties in het spel voordoen waarin de speler niet onmiddellijk weet hoe hij verder moet gaan of waarom de opdracht mislukt. Dit kan de motivatie van de speler verlagen, d.w.z. dat de probleemoplossende context kan fungeren als een motiverende factor voor leerlingen om het te begrijpen.
Tevredenheid	Tevredenheid ontstaat door concrete, visuele vooruitgang in het spel.
Feedback	Van de ene opdracht naar de andere gaan is eigenlijk de enige feedback die een speler krijgt. Het is meestal duidelijk in welke zone men zich bevindt, maar verder blijft de status van de speler in het spel vrij onduidelijk. Het spel is alleen bedoeld om uit te spelen.
Nieuwsgierigheid	Er zijn verschillende merkwaardige elementen in het spel.

4.3.2.4 Faktr

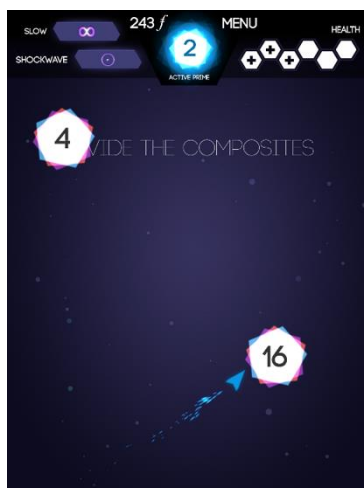
Faktr richt zich op het identificeren van de factoren van de getallen en het gebruik van de factoren om getallen op te splitsen in priemgetal-factoren en om te vermenigvuldigen om een groter getal te bepalen. Het wordt gespeeld in een zeer minimalistische, ruimte-achtige omgeving waarin de speler een raket beweegt (figuur 4.6 en 4.7). Het spel was een beetje teleurstellend in die zin dat het maar 5 stadia heeft met elk slechts 5 niveaus.

Faktr behoort tot het actie-/avonturen genre van games en heeft vooral betrekking op de kennisdimensie, in de onderwijsdoelstellingen van Bloom in hoofdstuk 3. De belangrijkste leertechniek is vraaggestuurd leren, aangezien de leeractiviteiten bestaan uit vragen en problemen. De wiskundige reikwijdte van Faktr is klein, maar voor het leren splitsen van getallen in (priem)factoren en het kennen van de factoren van getallen heeft het spel zeker een belangrijke plaats en doelgroep.

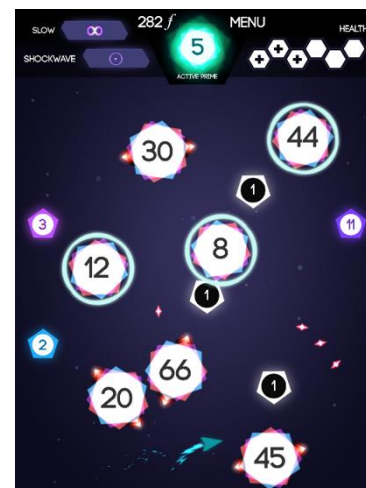




Figuur 4.6 Voorbeelden van stadia in Faktr.



Figuur 4.7. Voorbeelden van verschillende niveaus in Faktr.



Faktr is een mobiel spel dat kan worden gedownload in de App store. Het volledige spel kost €4,49. Het kan alleen in het Engels gespeeld worden.

Elementaire evaluatie van Faktr

Elementaire tetrade	Faktr
Mechanisme: Ruimte	Het spel wordt gespeeld in een ruimte-achtige omgeving waar de speler een raket beweegt. De spelomgeving is zeer minimalistisch.
Mechanisme: Tijd	Er is geen tijdslimiet in het spel. Elk level kan zo lang gespeeld worden als een speler wil.
Mechanisme: Objecten	Met de ruimteraket wordt een vijfhoekige coëfficiënt gekozen, en worden ruimtestenen aangedreven.
Mechanisme: Acties	Aan het begin van de eerste twee etappes ziet de speler welke genummerde ruimtestenen zich in het level bewegen. Op basis daarvan richt de speler een deler om het nummer van de ruimtesteen met zo min mogelijk treffers te verdelen in priemgetallen. De verdeling vindt plaats door een ruimteraket te besturen door deze naar een ruimtesteen te slepen. Als een speler bijvoorbeeld een ruimtesteen met het getal 25 ziet, sleept hij/zij de ruimteraket eerst door de deler 5 en botst dan op die ruimtesteen met deze keuze. De ruimtesteen wordt verdeeld in een priemgetal 5 en verlaat het spelgebied door de score te verhogen. Bij de derde en vierde etappe worden naast de delers nog kansen toegevoegd. Afhankelijk van waar je naar toe sleept, vindt er een vermenigvuldiging of deling plaats en daardoor wordt de score verhoogd.
Mechanisme: Regels	De regels van het spel zijn niet erg duidelijk; de speler moet ze tijdens het spelen zelf uitzoeken. Afhankelijk van wat er rond de ruimtestenen ligt, zal de speler anders moeten handelen. Het doel is om de getallen te delen en te vermenigvuldigen met verschillende priemgetallen om met zo min mogelijk berekeningen de voorgeschreven getallen te verkrijgen. Met de verzamelde punten kan de speler verschillende upgrades voor de spelopstelling kopen. Deze kunnen bijvoorbeeld de slagvastheid van de speler vergroten, het spel even vertragen en de mogelijkheid om een schokgolf te gebruiken vergroten.



Mechanisme: Vaardigheden	Het spel leert de speler zowel priemgetallen als de factoren van verschillende getallen te herkennen. Naarmate het spel vordert, zijn er afleidende elementen die vermeden moeten worden en dus moet er sneller gerekend worden.
Mechanisme: Kans	De speler kan nadenken over het gebruik van verschillende delers bij het omgaan met ruimtestenen. Een ruimtesteen met het getal 24 kan bijvoorbeeld gedeeld worden door een deler van 4, een deler van 3, of een deler van 2. Niet alle getallen komen als deler voor. Hoe minder botsingen een speler krijgt, hoe meer punten hij/zij krijgt.
Technologie: Materialen en interacties die een spel mogelijk maken	Er zijn vijf verschillende stadia in het spel, elk met vijf verschillende niveaus. Je kunt alleen van het ene niveau naar het andere en van het ene stadium naar het andere in het spel als het vorige niveau of stadium is voltooid. De opdrachten voor de volgende levels en etappes zijn pas zichtbaar als de vorige levels en etappes zijn voltooid. Het spelen van het spel vereist duidelijk betere mobiele spelbesturing.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontvouwen: Gebeurtenissen	De speler vordert in het spel door telkens één niveau van opdrachten te voltooien, waarna het volgende niveau wordt geopend. Wanneer een speler alle vijf niveaus van het stadium uitspeelt, bereikt hij/zij het volgende stadium.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontvouwen: Drama	Omdat de spelactiviteiten een beetje uitdagend zijn, kan de speler op een bepaald niveau vastlopen, zelfs als de wiskundige taken gemakkelijk te voltooien zijn.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontvouwen: Karakter	De speler bestuurt een ruimteraket-karakter en probeert de verdeler, vermenigvuldiger en ruimtesteen-karakters te raken.
Esthetiek: Hoe het spel wordt ervaren (uiterlijk, geluid, gevoel)	Er zijn geen extra elementen in het spel, alleen een zeer schoon speelveld met basis spelfiguren. Het spel heeft achtergrondmuziek en eigen piepjes voor elke slag.

Geselecteerde factorgebaseerde evaluatie van leren en kennisverwerving in FaktR

Geselecteerde factoren	FaktR
Leren	Er zijn geen speciale lesonderdelen in dit spel. De bewegingen en handelingen die inherent zijn aan het spel moeten zelf worden aangeleerd. Het spel leert de speler priemgetallen en de factoren van verschillende getallen te herkennen. Naarmate het spel vordert, zijn er afleidende elementen die moeten worden vermeden en dus moet er sneller worden gerekend.
Sociale interactie	Geen sociale interactie.
Uitdaging	De speltechnische functies zijn een beetje te uitdagend in vergelijking met de eisen aan wiskundige vaardigheden.



Bekwaamheid	Het spel is geschikt als oefenspel voor een speler die het opsplitsen in priemgetallen en het vermenigvuldigen van verschillende getallen wil oefenen.
Immersie	Het verzamelen van punten en upgrades motiveert de speler om zich in het spel te verdiepen. De wiskundige uitdaging van het spel is echter niet van dien aard dat het een speler zou hebben gemotiveerd om zich in het spel te verdiepen.
Leuk	Het spel werd niet als bijzonder leuk ervaren, omdat het erg repetitief was, maar ook vanwege de te uitdagende spelbewegingen op het scherm van de mobiele telefoon.
Relevantie	De relevantie van het spel komt naar voren als je opdelen in en vermenigvuldigen met priemgetallen begrijpt.
Duidelijk doel	De nieuwe levels en hun prestatie-eisen veroorzaken even verwarring, maar zodra de speler de doelen van het level begrijpt, wordt de bedoeling duidelijk.
Bruikbaarheid	In de eerste plaats bedoeld voor een tabletcomputer, omdat het scherm van een mobiele telefoon te klein is om de vereiste bewegingen nauwkeurig uit te voeren.
Motivatie	Als de wiskundige dingen die in het spel worden geoefend interessant en relevant zijn voor de speler, is het gemakkelijk voor de speler om gemotiveerd te zijn om het spel te spelen. Het spel is beperkt in termen van wiskundige vaardigheden.
Tevredenheid	Als het doel is om de procedurele uitvoering van ontbinden in factoren te leren, zal het slagen voor het spel zeker voldoening geven.
Feedback	Er worden punten toegekend voor geslaagde activiteiten. Niveau- en stadiumdoorgang zijn duidelijk zichtbaar.
Nieuwsgierigheid	Het enige wat duidelijk nieuwsgierigheid opwekt in het spel is hoe ver de ontwikkeling van de rekenvaardigheden gaat. Het spel leek in het midden te eindigen.

4.3.2.5 DragonBox (Elements)

DragonBox (Elements) en de nieuwere versie Kahoot! Geometry by DragonBox is een spel waarin de speler verschillende meetkundige vormen, hun onderdelen en de relaties van de onderdelen tot elkaar leert waarnemen, aanwijzen en bewijzen. DragonBox (Elements) wordt gespeeld door verder te gaan in een smalle, hoge toren. De toren lijkt een beetje op een stenen heuvel met 7 verschillende niveaus. Elk niveau heeft een iets andere geanimeerde omgeving en een wisselend aantal opdrachten. Elke taak heeft verschillende vormen die moeten worden geïdentificeerd en gebruikt om meetkundige wetten te bewijzen (zie figuur 4.8 en 4.9).

Het spel DragonBox (Elements) behoort tot het actie-/avonturen-genre en heeft vooral betrekking op de dimensie cognitief proces bij de in hoofdstuk 3 gepresenteerde onderwijsdoelstellingen van Bloom. De

en



belangrijkste
leertechnieken zijn
ontdekkend leren
oefenen en
feedback.

Figuur 4.8. Het eerste niveau (links) en het laatste niveau (rechts) van de toren in DragonBox (Elements).



Figuur 4.9. Een voorbeeld van een taakweergave vóór het afspelen van een taak (links) en na het doorgeven van een taak (rechts) in DragonBox (Elements).

DragonBox (Elements) en de nieuwere versie Kahoot! Geometry by DragonBox is een mobiel spel dat kan worden gedownload in de App store of Google Play. Het volledige spel kost 9,99 € in beide winkels, maar als de speler DragonBox (Algebra 12+) al heeft gekocht, kan er een korting zijn voor DragonBox (Elements). Het is te vinden in het Engels, Frans, Noors, Zweeds, Spaans, Japan, Italiaans, Dansk, Duits, Russisch, Chinees, Fins, Nederlands, Baskisch, Ests, Tsjechisch, Litouws, Koreaans, Hongaars, Galicisch, Roemeens en Portugees.

Elementaire Tetradevaluatie van DragonBox (Elements)

Elementaire tetrade	DragonBox (Elements)
Mechanisme: Ruimte	Het spel wordt gespeeld door verder te gaan in een hoge toren. De toren lijkt een beetje op een stenen heuvel met 7 verschillende niveaus. Elk niveau heeft een iets anders geanimeerde omgeving.
Mechanisme: Tijd	Er is geen tijdslimiet in het spel. Elk level kan zo lang gespeeld worden als een speler wil.
Mechanisme: Objecten	Elke meetkundige vorm heeft zijn eigen objectkarakter dat wordt geleerd naarmate het spel vordert. Daarnaast zijn er personages op verschillende niveaus die met behulp van die objectfiguren de meetkundige vormen opvragen die ze in de opdrachten zoeken. De speler heeft geen eigen personage, maar gaat van taak naar taak en van niveau naar niveau volgens genummerde objecten.
Mechanisme: Acties	Aan het begin van het spel is alleen het laagste niveau van de toren zichtbaar, en is er een pad waarlangs zich 12 opgaven bevinden. De speler vordert in het spel door deze opgaven te voltooien, waarbij het zoeken naar een nieuwe meetkundige vorm wordt aangeleerd zodra die vorm voor het eerst in het spel verschijnt. De taken van het spel zijn gericht op het identificeren en voorstellen van verschillende meetkundige vormen door deze met de vingers aan te wijzen, en op het vinden en benutten van de



	relaties en overeenkomsten tussen meetkundige vormen door deze met de vingers op het aanraakscherm te selecteren en aan te wijzen.
Mechanisme: Regels	Het spel heeft veel regels over hoe meetkundige vormen en hun onderdelen worden gepresenteerd en getoond wanneer ze in de opgaven worden herkend. Aanvankelijk zijn er veel regels voor het herkennen van vormen, zodat het voor een speler een uitdaging kan zijn om te onthouden hoe elke vorm of deel van een vorm wordt toegewezen. Er is altijd de mogelijkheid om de instructies voor elke taak te lezen. Dan kan de speler uitzoeken welke taak als volgende moet worden gedaan of welke andere taken op dat niveau worden gebruikt.
Mechanisme: Vaardigheden	In het spel leert de speler verschillende vormen herkennen zonder dat hij die vormen van tevoren hoeft te kennen. Het spel behandelt ook verbanden en relaties tussen de vormen, bijvoorbeeld hoe gelijke hoeken worden gebruikt om te bewijzen dat een trapezium inderdaad een trapezium is en niet gewoon een rechthoek.
Mechanisme: Kans	Het begin van het spel is zo ontworpen dat een speler die niet van wiskunde houdt onbewust meetkundige vormen en hun relaties kan leren.
Technologie: Materialen en interacties die een spel mogelijk maken	De speltoren heeft 7 verschillende niveaus, elk met 12-25 verschillende opgaven waarbij een speler meetkundige vormen en hun verbanden leert herkennen en definiëren. In het spel worden geen punten verzameld, maar de speler probeert alle niveaus te doorlopen door de opgaven één voor één op te lossen. Het spel heeft alternatieve moeilijkheidsgraden voor de hele toren; makkelijk, normaal en moeilijk.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontploegen: Gebeurtenissen	De gebeurtenissen in het spel hebben betrekking op de identificatie, selectie, definitie en het bewijs van meetkundige vormen binnen de opgaven.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontploegen: Drama	In principe kan het spelen van een level niet eindigen met een mislukte prestatie, maar gaat het door totdat het level is gehaald. Als de speler de vereiste handelingen niet meer weet, kan hij/zij de instructies voor elke taak bekijken.
Verhaal: Opeenvolging van gebeurtenissen die zich ontploegen: Karakter	De speler heeft geen personage, maar de belangrijkste karakters in het spel zijn degene die verschillende meetkundige vormen vertegenwoordigen. Bovendien heeft elk level een karakter dat, in verband met elke opdracht, de speler vraagt verschillende meetkundige vormen te identificeren, aan te tonen en/of te bewijzen.
Esthetiek: Hoe een spel wordt ervaren (uiterlijk, geluid, gevoel)	Het spel wordt gespeeld in een heuvelachtige, hoge en smalle toren met verschillende niveaus en verschillende opdrachten in elk niveau. De niveaus verschillen in herhalende kleurrijke, geanimeerde details. Het spel kan worden gespeeld met achtergrondmuziek en geluid van verschillende functies.

Geselecteerde factorgebaseerde evaluatie van leren en kennisverwerving in DragonBox (Elements)

Geselecteerde factoren	DragonBox (Elements)
-------------------------------	-----------------------------





Leren	Het spel leert de speler verschillende meetkundige vormen, hun onderdelen en hun verbanden te herkennen en zo de vormen vast te leggen. Door het spel wordt het de speler duidelijk welke delen de vorm vastleggen en hoe. De speler leert ook, door vergelijking, identiteiten, tegengestelde en aangrenzende hoeken en de relaties tussen delen van verschillende vormen met elkaar te bepalen.
Sociale interactie	Geen sociale interactie.
Uitdaging	Het spel is geschikt voor het introduceren en oefenen van meetkundige vormen, delen van vormen en de relaties ertussen voor verschillende schoolniveaus, want het heeft drie verschillende moeilijkheidsgraden voor de hele toren.
Bekwaamheid	De moeilijkste niveaus van het spel zijn zeer geschikt om kennis te maken met meetkundige vormen en de verbanden daartussen.
Immersie	Het spel verleidt spelers om zich in het spel te verdiepen, want elk level is steeds een beetje uitdagender dan het vorige. Zo kan de speler gemakkelijk nog een level verder spelen.
Leuk	De spelfiguren stellen meetkundige vormen voor die een beetje grillig zijn. Wanneer een speler in het spel opgaat, is het zeker leuk om te doen.
Relevantie	De relevantie van het spel is duidelijk als de speler meetkundige vormen leert herkennen en bewijzen en vooral hun onderlinge relaties.
Duidelijk doel	In het begin is het spel niet helemaal duidelijk, maar dit kan te wijten zijn aan een zeer gemakkelijke start. Naarmate het moeilijker wordt om de vormen te identificeren en de relaties tussen de verschillende vormen een rol gaan spelen, wordt het doel van het spel duidelijker. De speler merkt aan het begin van het spel misschien niet hoe lang het spel is, maar zal de opdrachten één voor één gaan uitvoeren.
Bruikbaarheid	De bruikbaarheid van het spel neemt toe naarmate de moeilijkheidsgraad stijgt. Het spel kan met jonge kinderen alleen worden gebruikt om vormen te identificeren, maar tieners kunnen dan via het spel al de relaties en het bewijs van meetkundige vormen en delen van vormen leren.
Motivatie	Naarmate de moeilijkheidsgraad van het spel stijgt tot een niveau dat bij de speler past, motiveert het spel de speler altijd om nog een niveau te spelen en zo steeds meer te leren.
Tevredenheid	Het voltooien van de opdrachten en levels in het spel, vooral bij de moeilijkere opdrachten, geeft een gevoel van voldoening.
Feedback	Na elke missie en elk level krijgt de speler aanvaardbare feedback.
Nieuwsgierigheid	Het spel wekt nieuwsgierigheid op in de ontwikkeling van steeds dieper denken.

4.4 Conclusie van de evaluatie van de voorbeeld games

Het vinden en identificeren van wiskunde games die geschikt zijn voor de bovenbouw van de middelbare school is niet altijd gemakkelijk. De meeste sites die veel verschillende spellen aanbieden zijn gericht op wiskunde games voor de basisschool. Games voor de bovenbouw zijn vaak gericht op het herhalen en herinneren van zaken aan het begin van de wiskunde in de bovenbouw. Een ander aspect dat opvalt is de prijs van de games. De prijzen van de in dit hoofdstuk besproken games zijn genoemd in het kader van de





presentatie van de spellen. Tegelijkertijd is geconstateerd dat er weinig gratis games zijn die geschikt zijn voor het bestuderen van wiskunde in de bovenbouw. Voor betaalde games kan dit hoofdstuk gezien worden als een introductie tot praktische GBL- games. Docenten kunnen deze games gebruiken om te leren over GBL door zelf games te spelen. Na enige speelervaring kan het gemakkelijker worden om te overwegen zelf een game te ontwerpen, of leerlingen daarbij te helpen.

Vooraf bij het spel DragonBox (Algebra 12+) was het geweldig om te zien hoe er echt rekening was gehouden met spelend leren. Tijdens het spelen van het spel realiseerde de speler zich aanvankelijk helemaal niet dat ze een wiskunde game aan het spelen was, maar de spelelementen waren visuele "kaarten" en de spelfuncties waren verschillende functies die bekend zijn uit digitale games, zoals koppelen, slepen en bewegen. Ze gingen echter geleidelijk over in elementen en functies die bekend zijn uit de wiskunde. Voor de beoordelaars die vertrouwd waren met de wiskunde van het spel, kwamen deze als een aangename verrassing omdat zij wachtten op het spelen van een wiskundig spel. Voor spelers die niet vertrouwd zijn met de onderwerpen van het spel, kunnen deze functies iets leren dat zij moeten weten bij het oplossen van wiskundige vergelijkingen zonder te beseffen dat zij wiskunde leren.

In Variant: Limits daarentegen is wiskunde duidelijk zichtbaar in elke taak, maar tegelijkertijd is de studie van het onderwerp gebaseerd op het begrijpen en oefenen van afzonderlijke dingen en het steeds breder en/of diepgaander combineren van de geleerde dingen. Beide manieren van leren en oefenen leken zeer vruchtbaar, althans voor de beoordelaar, die wiskundevaardigheden heeft.

Voor de evaluatie werden twee methoden gekozen omdat er geen eenvoudige, aan de normen beantwoordende methode werd gevonden. Een dergelijke evaluatie werd als een geschikte methode beschouwd omdat de aldus geëvalueerde spelletjes konden worden vergeleken vanuit het oogpunt van verschillende factoren. Dit evaluatieproces was bedoeld als een voorbeeld van spelevaluatie en tegelijkertijd een voorbeeld van hoe subjectief spelevaluaties kunnen zijn. Het spel kan vanuit het ene perspectief geschikt zijn om wiskunde te oefenen, maar vanuit een ander perspectief ongeschikt. Het proces van het spelen en evalueren van games deed de beoordelaars het belang inzien van een evaluatiekader vanuit het perspectief van zowel de theorieën over games als de theorieën over wiskundeonderwijs om de effectiviteit van de evaluatie te vergroten.

Deze evaluatie van vijf specifieke wiskunde games en hun mogelijkheden bood een manier om naar games te kijken en zowel hun spel- als hun leereigenschappen te evalueren. Uit de voorevaluatie bleek dat er een aantal spellen te vinden is voor het onderwijzen en oefenen van wiskunde in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. De onderwerpen, didactische benaderingen en kenmerken van deze games lopen sterk uiteen. De huidige evaluatie heeft de voor- en nadelen van de games tot op zekere hoogte aan het licht gebracht, maar er is duidelijk meer informatie en onderzoek nodig om de werkelijke leerimplicaties van GBL- games vast te stellen. De evaluatie van de games heeft echter de hoop gewekt en het enthousiasme vergroot dat GBL- games kunnen worden gebruikt als onderdeel van het wiskundeonderwijs in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Op basis van het zoeken, identificeren en evalueren van de spellen en andere hoofdstukken van dit handboek is het duidelijk dat er nog veel wiskundeonderwerpen zijn waarvoor geen op grote schaal verspreide games zijn gemaakt. Anderzijds kunnen de GBL-kenmerken en de wiskundige diepgang van de games nog veel verder worden ontwikkeld.





Referenties

- Battistella, P. & Wangenheim, C. G. (2015). ENgAGED: Games development process for Computing Education. Technical Report 01/2015, Brazilian Institute for Digital Convergence, Department of Informatics and Statistics, Federal University of Santa Catarina, Brazil.
- Battistella, P. & Wangenheim, C. G. (2016). Games for Teaching Computing in Higher Education – A Systematic Review. *IEEE Technology and Engineering Education (ITEE) Journal*, 9(1), 8-30.
- Carvalho, C. V. (2012). Is game-based learning suitable for engineering education? In *Proceedings of the Global Engineering Education Conference*, IEEE, pp.1-8.
- Caulfield, C., Xia, J., Veal, D., Maj, S. P. (2011). A systematic survey of games used for software engineering education, *Modern Applied Science*, 5(6), 28-43.
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games, *Computers & Education*, 59(2), 661-686, 2012.
- Giani, P. & Wangenheim, C. G. (2016). How to Evaluate Educational Games: a Systematic Literature Review. *Journal of Universal Computer Science*, 22(7), 992-1021.
- Kuhlthau, C. C. (1991). Inside the search process: Information seeking from the user's perspective. *Journal of the American Society for Information Science*, 42 (5), 361-371.
- Tahir, R. & Wangmar, A. I. (2017). State of the art in Game Based Learning: Dimensions for Evaluating Educational Games. In *Proceedings of 11th European Conference on Games Based Learning (ECGBL 2017)*, pp. 641-650.
- Wang, Y., Liu, X., Lin, X. and Xiang, G. (2015). An Evaluation Framework for Game-Based Learning. In *15th Global Chinese Conference on Computers in Education*.
- Wangenheim, C. G., Shull, F. (2009). To Game or Not to Game? *Software, IEEE*, 26(2), 92-94.





Hoofdstuk 5

GAMMA Games

Mirela Jukić Bokun en Ljerka Jukić Matic

J. J. Strossmayer University of Osijek, Croatia

(Sectie 5.1 en 5.2)

Chronis Kynigos, Myrto Karavakou en Marianthi Grizioti National
and Kapodistrian University of Athens, Greece

(Paragraaf 5.3 en 5.4)

**Sonia Abrantes Garcêz Palha, Anders Bouwer, Sander Claassen, en
Daan van Smaalen**

Hogeschool van Amsterdam, Nederland

(Paragraaf 5.5 en 5.6)

Mirka Leino

Satakunta University of Applied Sciences, Finland

(Sectie 5.7)





Hoofdstuk 5. GAMMA-games

In dit hoofdstuk presenteren we de games die binnen het project zijn ontwikkeld:

1. *Gamma ProbChallenge*
2. *E(qua)scape room*
3. *Yoyo Bird*
4. *Hot-Air Balloon*
5. *The Balloon Game*
6. *Function Dungeon*
7. *GeomWiz*

Alle games kunnen worden gespeeld in het Engels, Kroatisch, Nederlands, Fins en Grieks.

De volgende secties bevatten voor elke game een korte beschrijving, een link naar de game, de beoogde leerresultaten en illustratieve screenshots. Meer informatie over hoe de games kunnen worden gebruikt in onderwijs settings is te vinden in een apart projectrapport over de onderwijsscenario's, dat zal worden gedeeld via de website van het GAMMA-project: <http://www.project-gamma.eu/>

5.1 Gamma ProbChallenge

Beschrijving van de game

GAMMA ProbChallenge is een game voor één speler. De speler is een stagiair die in het laboratorium komt werken. Tijdens het spel maakt hij/zij kennis met basisbegrippen over kansrekening en berekent kansen om een volwaardig lid van het laboratorium te worden. Het spel heeft vijf levels (zie figuur 5.1). De speler kan kiezen welk van de eerste vier levels hij/zij wil spelen, terwijl hij/zij voor het vijfde level een bepaald resultaat moet behalen in het vierde level. Het eerste level is het makkelijkst en laat de speler kennismaken met de basisbegrippen die in de volgende levels nodig zijn. In het tweede level wordt de klassieke definitie van waarschijnlijkheid geïntroduceerd en worden de waarschijnlijkheden van eenvoudige gebeurtenissen berekend. In het derde level worden geleidelijk de waarschijnlijkheden van complexe gebeurtenissen berekend. In het vierde level worden alle in de vorige levels geïntroduceerde begrippen gesystematiseerd en wordt de berekening van waarschijnlijkheden geoefend. In het vijfde levels lost de speler verschillende kansopgaven op.

In alle levels wordt de tekst geleidelijk geladen door op de geanimeerde tekstballon te klikken (zie figuur 5.2). In de eerste drie levels heeft de speler toegang tot een woordenlijst (door te klikken op het teken in de linkerbovenhoek) met definities van de belangrijkste termen die in deze niveaus worden geïntroduceerd. Als de speler de vraag goed beantwoordt, krijgt hij/zij een punt. Als de speler de vraag niet juist beantwoordt, krijgt hij/zij in de meeste gevallen (uitzonderingen zijn ja/nee-vragen) hulp en de gelegenheid de vraag opnieuw te beantwoorden (zie figuur 5.3). Als de speler die keer goed antwoordt, krijgt hij/zij een half punt. Antwoordt hij/zij weer fout, dan krijgt hij/zij het goede antwoord en een uitleg waarom dat het goede antwoord is. Nadat het level is uitgespeeld, krijgt de speler feedback op zijn/haar prestaties. De score die de speler behaalt bij het voor de eerste keer spelen van een bepaald level is beschikbaar door op het icoontje naast dat level te klikken.

Link naar het spel



Het GAMMA ProbChallenge-spel is beschikbaar voor pc, mobiele telefoons (Android en iPhone) en tablets. De PC-versie kan worden gedownload van de GAMMA-website: <http://www.project-gamma.eu/>, terwijl de mobiele en tablet-versies kunnen worden gedownload in de Google Play Store of de App Store.

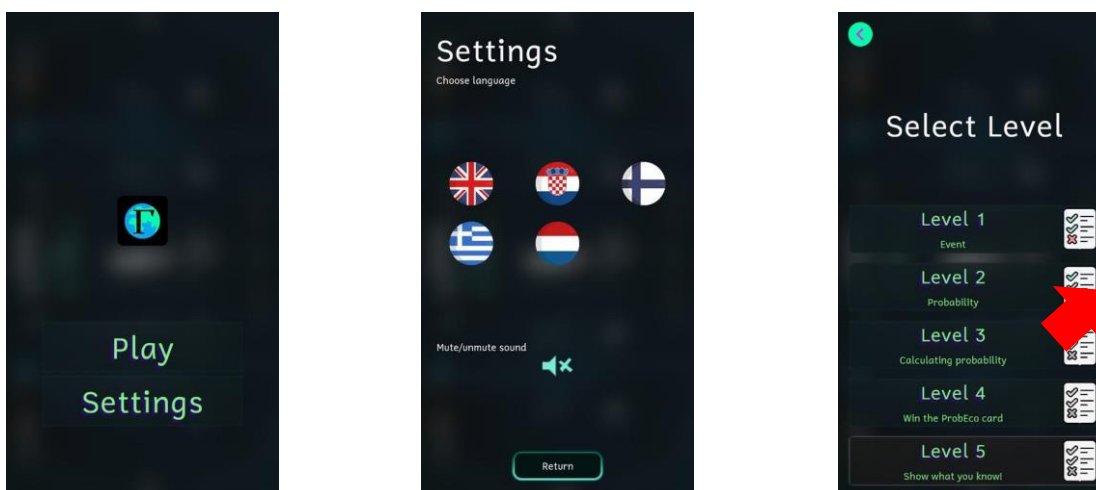
Leeropbrengsten

Domein: Data, statistiek en kans

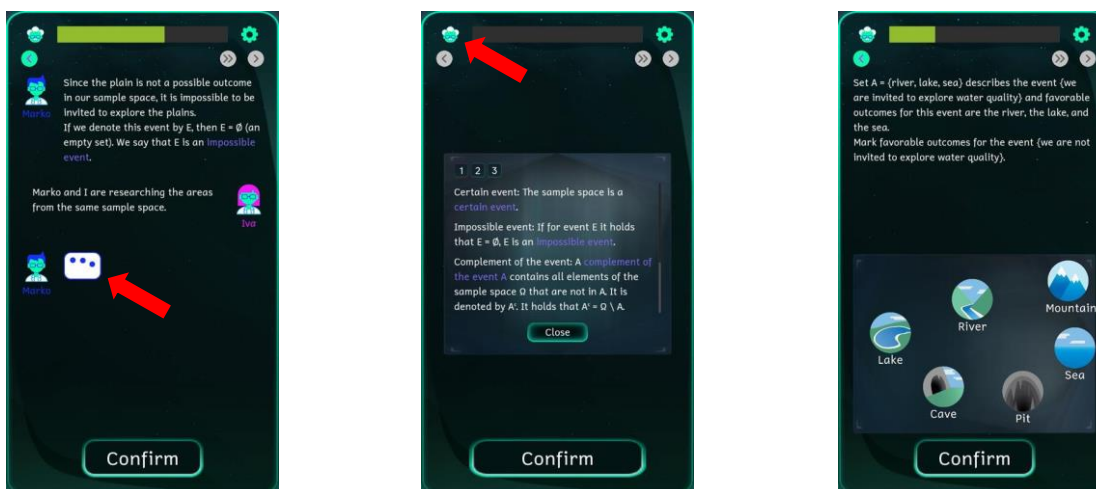
Onderwerp: Kansrekening

Leeropbrengsten: een onmogelijke en zekere gebeurtenis verklaren, gunstige gebeurtenissen selecteren uit de steekproefruimte, de waarschijnlijkheid berekenen van een eenvoudige gebeurtenis, de waarschijnlijkheid berekenen van de vereniging en doorsnede van gebeurtenissen, de waarschijnlijkheid berekenen van een complement van de gebeurtenis

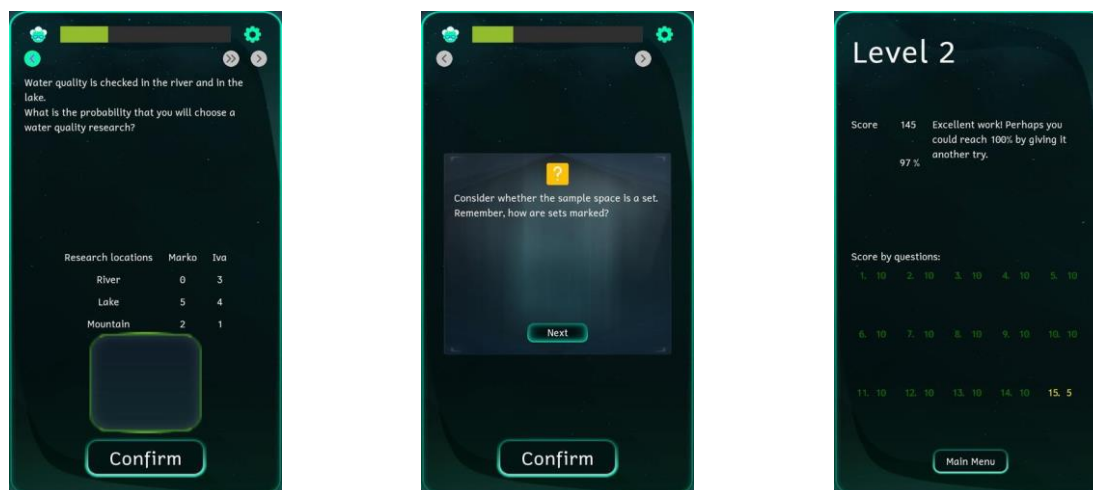
Screenshots



Figuur 5.1. Screenshots van het GAMMA ProbChallenge-spel met van links naar rechts (1) startscherm, (2) instellingen, (3) levels en icoontje met de score die de speler haalt als hij een bepaald level voor het eerst speelt.



Figuur 5.2. Van links naar rechts (1) een geanimeerde tekstballon, (2) een woordenlijst en (3) een voorbeeldvraag met betrekking tot de aanvulling van het evenement.



Figuur 5.3. Van links naar rechts (1) een voorbeeldvraag met betrekking tot de kansberekening, (2) een hulpbericht bij een fout antwoord, en (3) feedback op de prestaties.

5.2 E(qua)scape room

Beschrijving van de game

E(qua)scape room is een escape room game (zie figuur 5.4) waarin een stelsel lineaire vergelijkingen moet worden opgelost met behulp van MaLT2+ simulatie (zie figuur 5.5). Het spel heeft verschillende levels. Het is noodzakelijk de opgave correct op te lossen en met behulp van de oplossing een wachtwoord te creëren dat het volgende niveau opent.

Leerlingen spelen het spel door sliders in de simulatie te verplaatsen. Dat helpt hen de opdracht te interpreteren en op te lossen. Sliders vertegenwoordigen parameters die te maken hebben met de tijd en de snelheid en het veranderen ervan beïnvloedt de uitkomst van de opdracht. Onjuiste wachtwoorden verschijnen ook bij het verplaatsen van de schuifregelaar. Dit voorkomt het per ongeluk ontdekken van wachtwoorden.

De leerlingen moeten ook sommige opgaven met de hand berekenen.

Link naar het spel

Het spel kan online worden gespeeld via de volgende link:

<http://etl.ppp.uoa.gr/malt2/?equescapegame>

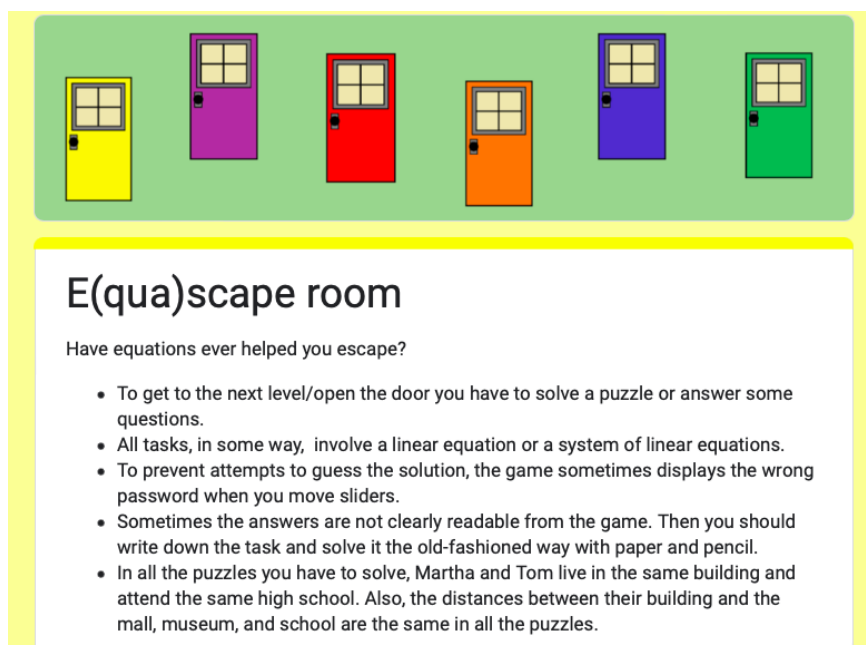
Leeropbrengsten

Domein: Algebra en functies

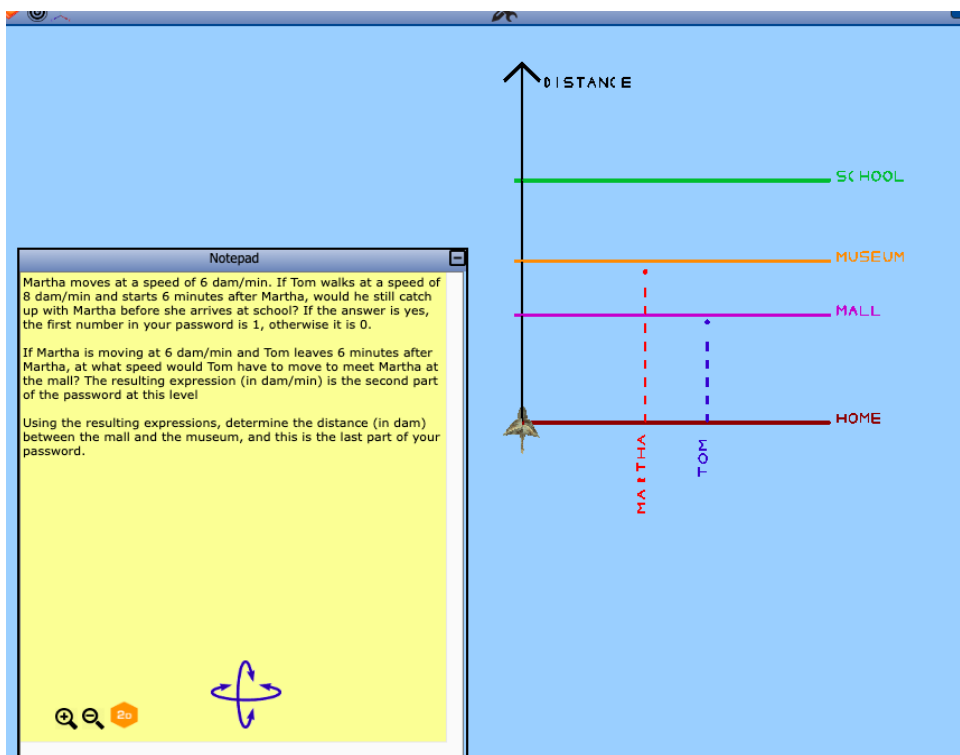
Onderwerp: Toepassing van lineaire vergelijkingen

Leeropbrengsten: Creëren van algebraïsche uitdrukkingen en toepassen van lineaire vergelijkingen en stelsels van twee vergelijkingen.

Screenshots



Figuur 5.4. Een screenshot van het E(qua)scape room game ter introductie van het doel van het spel.



Figuur 5.5. Een screenshot van de E(qua)scape game die de afstand van de personages tot verschillende plaatsen illustreert, en de regels om een wachtwoord af te leiden.



5.3 Yoyo Bird

Beschrijving van de game

De Yoyo Bird game is een spel voor twee spelers (speler A tegen speler B) (zie figuur 5.6 tot en met 5.8). Het is een digitaal spel in MaLT2. Spelers kunnen de beweging van een vogel en een bal controleren door een specifieke goniometrische functie te kiezen voor de beweging van vogel en bal om de meeste punten te krijgen.

De game wordt gespeeld aan de hand van een gedrukt scorebord. Het scorebord is online te vinden via deze link: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1UHNHCd4Akk8JpParQSUlnFMAEEXyx4s> en in paragraaf 5.3.2. Een voorbeeld van het gebruik van het scorebord tijdens het spel wordt getoond in figuur 5.9.

De gedetailleerde spelregels zijn online te vinden via deze link:

<https://drive.google.com/file/d/11VfVLiuU6EW7RRTZeMsojrXhzqPn22-O/view> en in punt 5.3.1.

Het verdient aanbeveling dat zowel het scorebord als de spelregels voor elke groep leerling-spelers worden afgedrukt.

Tijdens het spelen moeten de leerlingen de juiste goniometrische functie kiezen uit zeven specifieke opties, op het juiste domein, om de beweging van de vogel te controleren, met als doel dat de vogel de bijbehorende finishlijn raakt. Evenzo moeten zij de passende goniometrische functie kiezen om de beweging van de bal te controleren, met als doel dat deze de vogel raakt terwijl de andere speler aan de beurt is. Dus om (1) een punt te behalen, (2) te voorkomen dat de vogel de bal raakt of (3) het de andere speler moeilijk te maken om te voorkomen dat de vogel de bal raakt, moeten zij nadenken over eigenschappen van goniometrische functies.

Link naar het spel

Het spel kan online worden gespeeld via de volgende link:

<http://etl.ppp.uoa.gr/malt2/?yoyobirdgame>

Leeropbrengsten

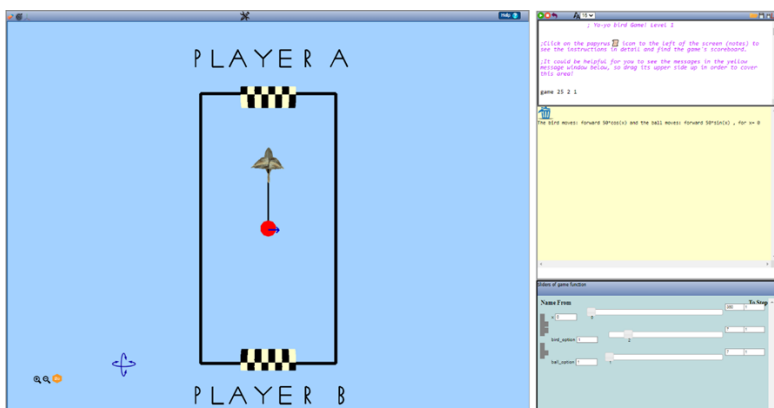
Domein: Meetkunde, Goniometrie, Algebra

Onderwerp: Goniometrische functies

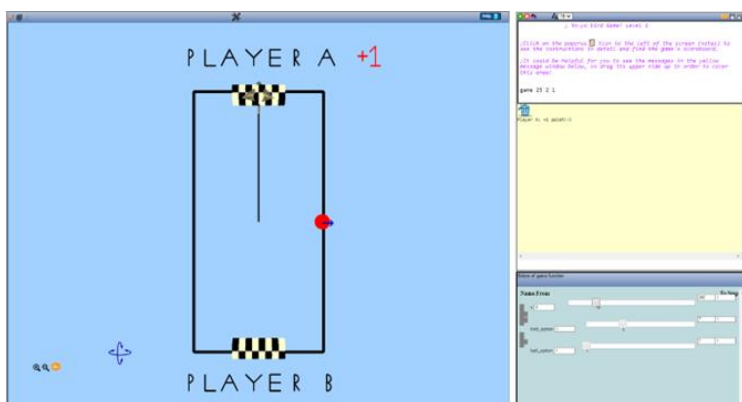
Leeropbrengsten: de eigenschappen van de goniometrische functies en hun grafieken herkennen en bepalen, zoals monotonie, domein en bereik, symmetrieën en de rol van elke parameter [bijvoorbeeld a_1 en b_1 in $f(x)=a_1 \cdot \sin(b_1 \cdot x)$ en $g(x)=a_2 \cdot \cos(b_2 \cdot x)$], goniometrische functies verbinden met periodieke verschijnselen en goniometrische concepten toepassen bij het oplossen van problemen.



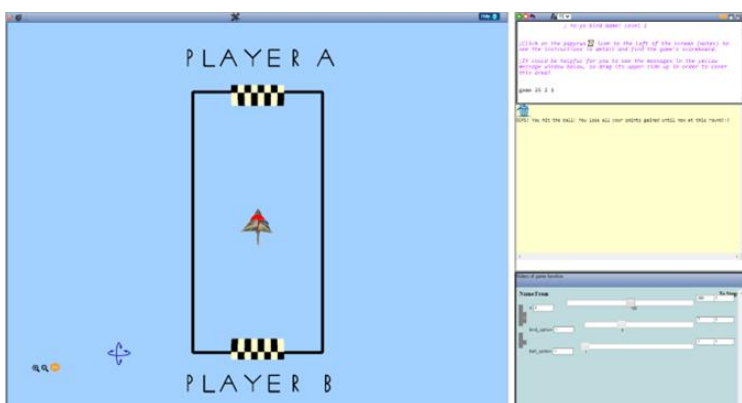
Screenshots



Figuur 5.6. Een screenshot van de Yoyo Bird game: het begin van het spel.



Figuur 5.7. Een screenshot: Speler A krijgt +1 punt, als de vogel de bijbehorende finishlijn raakt.



Figuur 5.8. Een screenshot: De speler verliest al zijn punten die hij tot nu toe tijdens deze specifieke ronde heeft behaald, als de vogel de rode bal raakt.

The yo-yo bird game Scoreboard

Round	Moves and Score ¹	Player A	Player B
1.	Function for bird movement 🐦 (*)	3	4
	Value of x	x=100	x=50
	SCORE	1	0
	Function for red ball movement ● (**)	2	5
2.	Function for bird movement 🐦	1	7
	Value of x	x=200	x=4
	SCORE	0	1
	Function for red ball movement ●	7	5

Option (slider value)	Bird's movement 🐦 (*)	Red ball's movement ● (**)
1	$f(x)=50\sin(x)$	$g(x)=50\sin(x)$
2	$f(x)=50\cos(x)$	$g(x)=100\cos(x)$
3	$f(x)=100\sin(x)$	$g(x)=50\sin(2x)$
4	$f(x)=100\cos(x)$	$g(x)=50\cos(2x)$
5	$f(x)=100\sin(2x)$	$g(x)=30\sin(3x)$
6	$f(x)=100\cos(2x)$	$g(x)=30\cos(3x)$
7	$f(x)=50\tan(x)$	$g(x)=30\tan(3x)$

Figuur 5.9. Het scorebord van de Yoyo Bird game: een voorbeeld van het vullen ervan (rode letters) tijdens het spelen van de eerste twee rondes.

5.3.1 Regels van het spel Yoyo Bird

Regels van de Yoyo Bird game






Spelers en speldoel:

Het is een game voor twee spelers (speler A tegen speler B). De winnaar is de speler die de meeste punten haalt uit **8 (korte versie)** of **16 (lange versie)** rondes!




Elke speler volgt tijdens zijn beurt de volgende stappen:

- VOOR HET SPELEN (voordat de sliders worden bewogen)** schrijft de speler op het [scorebord](#):
 - de beweging van de vogel 🐦:** Noteer een getal van **1 tot 7** dat overeenkomt met de functie $f(x)$ voor de beweging van de vogel (zie de tabel op het scorebord) die bij *Stap 3 moet worden* ingesteld.
 - de waarde van x:** Noteer de waarde van x (een getal van **0 tot 360**) waarnaar het schuifje van de variabele x bij *stap 4 zal* worden verplaatst.



2. **Stelt de beweging van de bal in **: (Behalve vanaf de 1e ronde wanneer ball_option=1 standaard is) Stelt de "ball_option" waarde via zijn schuifknop in op de waarde (1 tot 7) die zijn tegenstander (de andere speler) aan het einde van de vorige ronde heeft genoteerd.
3. **Stelt de beweging van de vogel in **: Stelt de "bird_option" waarde via zijn schuifknop in op de waarde (1 tot 7) die de speler eerder noteerde (*Stap 1a*).
4. **Beweegt de jojo-vogel **: **Beweegt** langzaam de schuif van de variabele "x", van de waarde waarop zijn tegenstander hem in de vorige ronde had achtergelaten naar de waarde die de speler noteerde (*stap 1b*) door slechts in één richting te slepen (naar links of naar rechts) terwijl hij observeert en de score berekent.
5. **Noteer de score** voor deze ronde voor beide spelers (zie: **SCORE regels** hieronder).
6. **Noteert de beweging van de bal voor de volgende ronde **: Noteert op het scorebord een getal van **1 tot 7** dat overeenkomt met de functie $g(x)$ voor de beweging van de rode bal (zie de tabel op het scorebord) die bij *stap 2* van de volgende ronde moet worden ingesteld.
7. **Spelers wisselen van beurt **!

SCORE regels:

Speler A krijgt +1 punt , elke keer dat de vogel de bovenste finishlijn () van speler A raakt - hetzij tijdens de beurt van speler A of speler B.	Evenzo krijgt speler B +1 punt , telkens als de vogel de onderste finishlijn () van speler B raakt.
Als een speler tijdens zijn ronde de rode bal  aanraakt, verliest hij alle punten die hij tot dit moment in de ronde heeft behaald. De andere speler verliest echter niet de in deze ronde behaalde punten (indien aanwezig).	

5.3.2 Het scorebord van het Yoyo Bird-spel





Round	Moves and Score ¹	Player A	Player B
1.	Function for bird movement 🐦 (*)		
	Value of x		
	SCORE		
2.	Function for red ball movement ● (**)		
	Function for bird movement 🐦		
	Value of x		
3.	SCORE		
	Function for red ball movement ●		
	Function for bird movement 🐦		
4.	Value of x		
	SCORE		
	Function for red ball movement ●		
5.	Function for bird movement 🐦		
	Value of x		
	SCORE		
6.	Function for red ball movement ●		
	Function for bird movement 🐦		
	Value of x		
7.	SCORE		
	Function for red ball movement ●		
	Function for bird movement 🐦		
8.	Value of x		
	SCORE		
	Function for red ball movement ●		
TOTAL POINTS			

Option (slider value)	Bird's movement 🐦 (*)	Red ball's movement ● (**)
1	$f(x)=50\sin(x)$	$g(x)=50\sin(x)$
2	$f(x)=50\cos(x)$	$g(x)=100\cos(x)$
3	$f(x)=100\sin(x)$	$g(x)=50\sin(2x)$
4	$f(x)=100\cos(x)$	$g(x)=50\cos(2x)$
5	$f(x)=100\sin(2x)$	$g(x)=30\sin(3x)$
6	$f(x)=100\cos(2x)$	$g(x)=30\cos(3x)$
7	$f(x)=50\tan(x)$	$g(x)=30\tan(3x)$





5.4 Hot Air Balloon

Beschrijving van de game

De Hot Air Balloon game (zie figuur 5.10 t/m 5.12) is een online spel voor één speler, dat in een klaslokaal kan worden gespeeld met computers of tablets (idealerweise) of mobiele telefoons (de graphics passen misschien niet perfect op het scherm). De spelers maken hun eigen keuzes, waarbij ze kiezen uit verschillende opties met verschillende gevolgen voor de waarde die specifieke velden (massa, volume, plezier, comfort) beïnvloeden. Het doel van het spel is om zoveel mogelijk keuzes te maken - spelers concurreren ofwel met hun klasgenoten, ofwel met zichzelf. De spelers kunnen een gasfles kiezen om daarmee de ballon te vullen met een bepaald soort- en hoeveelheid gas, of een ventiel om lucht uit de ballon te laten ontsnappen.

Elke keuze heeft specifieke gevolgen voor:

1. de massa (in kg) lucht die zal worden toegevoegd aan of verwijderd van de luchtballon
2. het volume (in kl) lucht dat zal worden toegevoegd aan of verwijderd van de luchtballon
3. het niveau van het plezier van de passagiers
4. het niveau van het comfort van de passagiers.

Om niet te verliezen moeten de spelers de volgende regels in gedachten houden:

1. de totale dichtheid van de ballon moet tussen 0,05 en 1,8 kg/kl blijven ($0,05 < \rho < 1,8$)
2. de totale luchtmassa van de ballon moet meer zijn dan 0 en minder dan 50 ($0 < \text{Air_Mass} < 50$)
3. het totale luchtvolume van de ballon moet meer zijn dan 0 en minder dan 50 ($0 < \text{Volume} < 50$)
4. Het plezier en het comfort van de speler moeten meer zijn dan 0 ($\text{Plezier} > 0 \ \& \ \text{Comfort} > 0$).

Het spel bevat 6 levels. Een speler stijgt na elke 10 juiste keuzes, als volgt:

- A. Op level 1 kunnen alle luchtcilinders dezelfde hoeveelheid luchtvolume ($V = 10$ kl) in de ballon vullen - alleen de hoeveelheid luchtmassa verschilt.
- B. Op level 2 kunnen alle luchtcilinders dezelfde hoeveelheid luchtmassa ($m = 6$ kg) in de ballon vullen - alleen de hoeveelheid luchtvolume verschilt.
- C. Op level 3 verschillen zowel de hoeveelheid luchtmassa als het luchtvolume dat via luchtcilinders aan de ballon kan worden toegevoegd voor elke keuze.
- D. Op level 4 wordt voor elke keuze van de gasfles die de lucht in de ballon zou kunnen vullen, de waarde van de dichtheid van de toegevoegde hoeveelheid lucht gegeven, in plaats van het volume ervan.
- E. Op level 5 wordt voor elke keuze van een gasfles die de lucht in de ballon zou kunnen vullen, de waarde van de dichtheid van de toegevoegde hoeveelheid lucht gegeven, in plaats van de massa ervan.
- F. Op level 6 (laatste) zijn zowel het luchtvolume als de luchtmassa (die kunnen worden toegevoegd of verwijderd) voor elke keuze van gasfles of uitlaatklep willekeurige getallen uit een specifieke reeks getallen (die bij elke keuze anders is).

Tijdens het spelen van de game denken de leerlingen na over recht- en omgekeerd evenredigheid, omdat die cruciaal zijn voor het 'overleven', d.w.z. voor het maken van zoveel mogelijk keuzes zonder te verliezen. Na afloop kunnen ze hun scores vergelijken, hun strategieën bespreken en delen en, als er genoeg tijd is, het spel bewerken door regels en keuzes toe te voegen/te wijzigen.

Link naar het spel

Het spel kan online worden gespeeld via de volgende link:

<http://etl.ppp.uoa.gr/choico/?hotairballgame>



Leeropbrengsten

Domein: Rekenen, Algebra

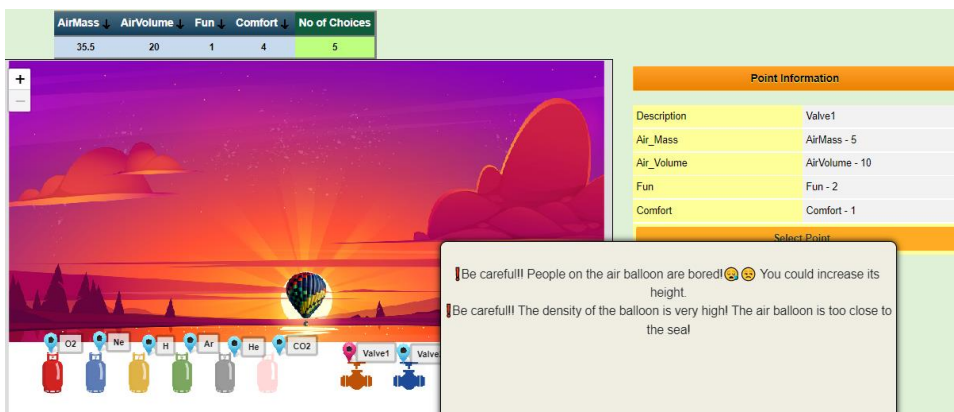
Onderwerp: recht- en omgekeerd evenredig

Leeropbrengsten: Betekenis geven aan het recht- en omgekeerd evenredig verband van twee grootheden (dichtheid en hoogte/luchtmassa en luchtvolume/hoogte en plezier/hoogte en comfort), de juiste relatie gebruiken om een doel te bereiken en het verschil tussen deze twee soorten relaties begrijpen. De leerlingen kunnen evenredigheidsverbanden tussen twee grootheden herkennen, het recht- of omgekeerd evenredige verband gebruiken bij het oplossen van reële problemen en een probleem modelleren en oplossen met behulp van een vergelijkingen waarbij recht- of omgekeerd evenredig een rol spelen.

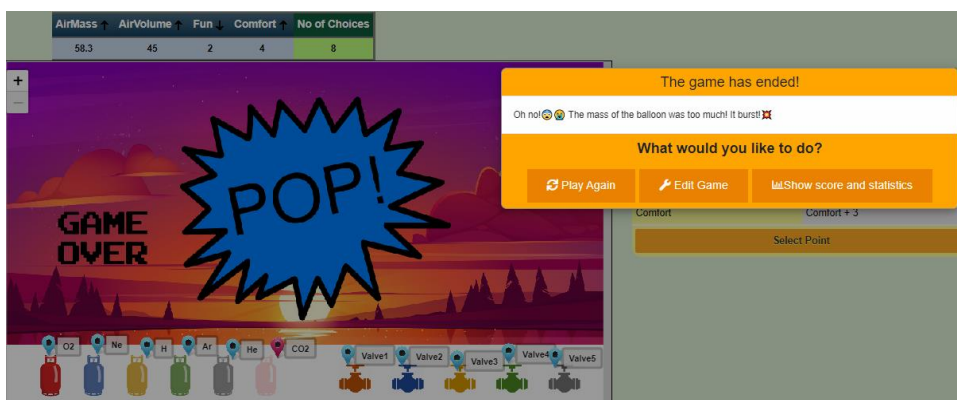
Screenshots



Figuur 5.10. Een screenshot van de Hot Air Balloon game: begin van het spel (aantal keuzes = 0)



Figuur 5.11. Een screenshot van de Hot Air Balloon game: Melding tijdens het spelen (Aantal keuzes = 5)



Figuur 5.12. Een screenshot van de Hot Air Balloon game: Game over (Eindscore: aantal keuzes = 8)

5.5 De Balloon Game

Beschrijving van de game

De Balloon Game is een spel voor twee spelers, die tegen elkaar spelen, hoewel het ook mogelijk is om samen te spelen, of individueel. Er zijn twee niveaus: Formules en Grafieken.

Het doel is om de grootte van de ballon te controleren door de juiste regels voor de magische pomp te kiezen - functies die worden weergegeven als formules (in niveau Formules) of grafieken (in niveau Grafieken), en tegelijkertijd te voorkomen dat de ballon barst of leegloopt (zie figuur 5.13).

Elke speler kiest bij elke beurt een regel voor de pomp. Hierdoor zal de waarde van de variabele Grootte van de ballon toenemen of afnemen. Als de Grootte bij 50 komt, barst de ballon; als de Grootte nul wordt, loopt de ballon leeg. De verandering mag niet meer zijn dan +10 of minder dan -10. De speler die de andere speler heeft gedwongen de ballon te laten barsten of leeg te laten lopen is de winnaar. Als er meerdere teams spelen, wint het team met de meeste keuzes.

De speler moet kennis over afgeleiden toepassen om een strategische beslissing te nemen:

- in het geval van het level Formulas, moet de leerling, om de pompen te selecteren, de waarde van een functie in één punt en de afgeleide in hetzelfde punt berekenen;
- in het geval van het level Graphs kan de speler de waarde van de grootte aflezen uit de grafiek en de mate van verandering ook schatten op basis van de grafiek.

Link naar het spel

De twee niveaus van het spel kunnen online worden gespeeld via de volgende links:

- Ballonformule: <http://etl.ppp.uoa.gr/choico/?BalloonFormula2P>
- Ballongrafiek: <http://etl.ppp.uoa.gr/choico/?BalloonGraph2P>

De Balloon game is alleen beschikbaar voor PC.

Leeropbrengsten

Domein: Functies

Onderwerp: Afgeleiden, globale en lokale analyse van functies

Leeropbrengsten: De afgeleide in één punt berekenen, de regels toepassen om veeltermfuncties te differentiëren, een functie en zijn afgeleide verbinden binnen symbolische (level Formules) en grafische (level Grafieken) voorstellingen en redeneren met de hellingsfunctie (gegeven een bepaalde functie). Als

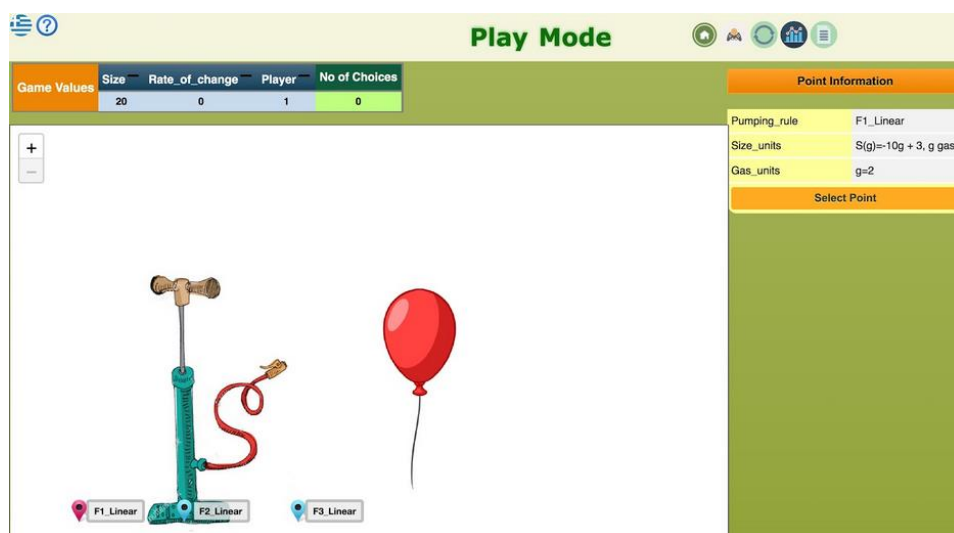




bijvoorbeeld de grafiek van de hellingsfunctie positief is, stijgt de functie. Het omgekeerde is ook waar. Zo zegt de steilheid van een grafiek iets over de mate van verandering en dus over de afgeleide (en de hellingsfunctie). Veeltermfuncties lokaal en globaal analyseren en deze informatie gebruiken om een strategische keuze te maken in de game.



Screenshots



Figuur 5.13. Een screenshot van de Balloon game met de formule voor de geselecteerde pompregel.



5.6 Function Dungeon

Beschrijving van de game

In Function Dungeon is de speler een ontdekkingsreiziger die een weg door een labyrint probeert te vinden (zie figuur 5.14). Om dit doel te bereiken moet de speler een labyrint van verschillende kamers doorkruisen. Veel kamers zijn oorspronkelijk afgesloten, dus het is aan de spelers om een manier te vinden om ze te openen. De spelers kunnen dit bereiken door interactie met verschillende objecten in een kamer. Hierdoor kunnen ze functie-gerelateerde problemen vinden die in de kamers verborgen zitten. Het oplossen van deze problemen opent de weg naar andere kamers. Tijdens het verkennen kan de speler vrienden maken door verborgen voorwerpen naar niet-speelbare personages (NPC: een personage in een computerspel dat niet wordt bestuurd door iemand die het spel speelt) te brengen.

Het belangrijkste educatieve doel van het spel is leerlingen de gelegenheid te bieden te oefenen met en te leren over wiskundige functies in een aantrekkelijke en boeiende spelomgeving. Het spel moet de leerlingen helpen de (fundamentele) kenmerken van wiskundige functies (voorlopig alleen lineaire functies) te begrijpen en toe te passen bij het oplossen van vragen en problemen.

Link naar het spel

Het spel Function Dungeon kan online worden gespeeld via de volgende link:

<https://play.unity.com/mg/other/function-dungeon>

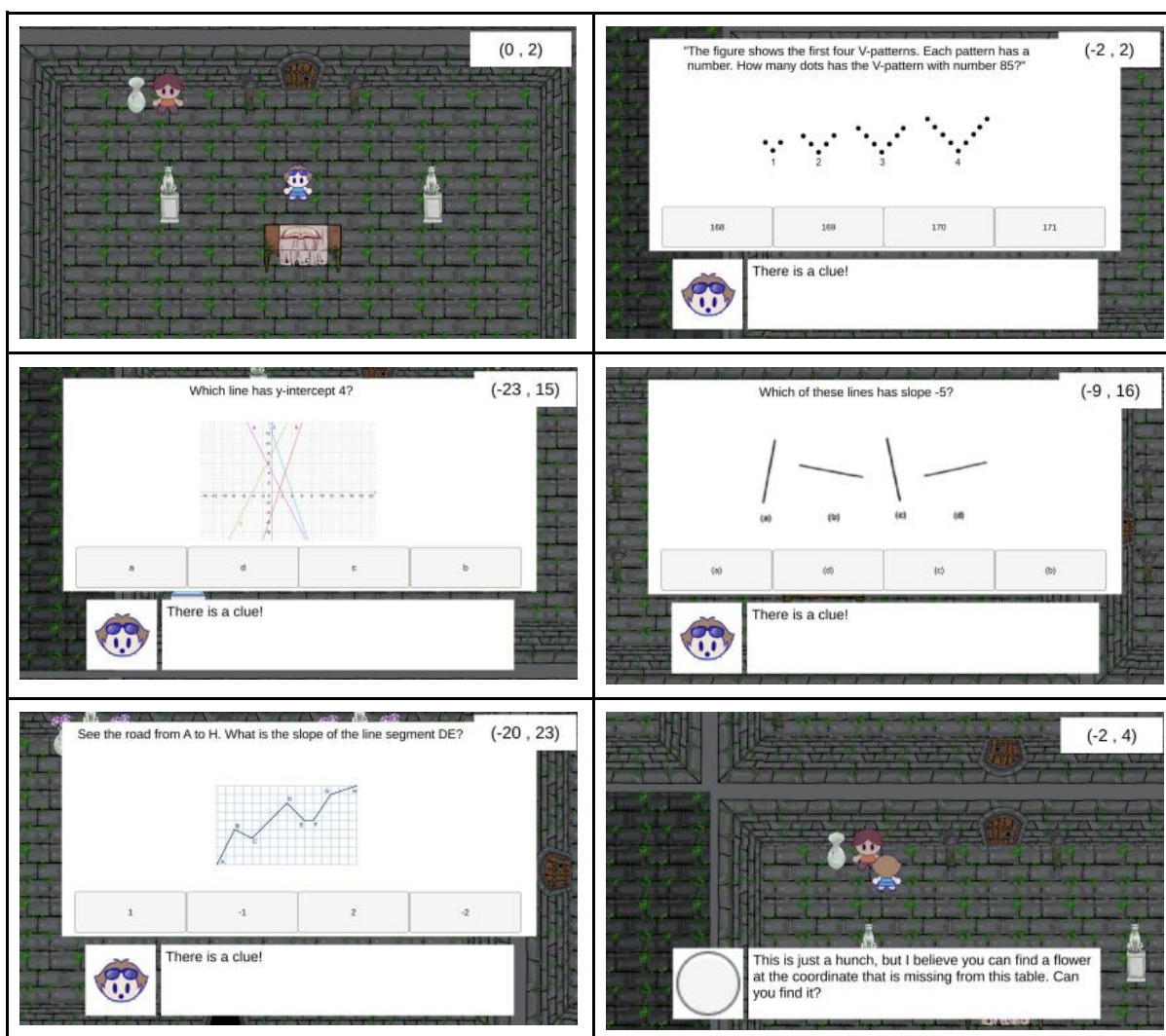
Leeropbrengsten

Domein: Functies

Onderwerp: Lineaire functies

Leeropbrengsten: De fundamentele kenmerken (constante veranderingssnelheid, snijpunt met de y-as, teken en grootte van de helling) van een lineaire functie bepalen, verschillende representaties (verbaal, grafiek, formule & tabel) van een lineaire functie met elkaar verbinden.





Figuur 5.14. Screenshots van de Function Dungeon game ter illustratie, van links naar rechts en van boven naar beneden, (1) een kamer met het spelerspersonage, verschillende voorwerpen en een NPC naast een vaas, (2) een wiskunde-oefening met puntpatronen, (3) een oefening met een grafiek met vier lijnen die bij verschillende functies horen, (4) een oefening waarin gevraagd wordt naar een lijn met een specifieke helling, (5) een oefening over de helling van een specifiek lijnstuk in een grafiek, en (6) een bonusopdracht van de NPC waarin gevraagd wordt naar een bloem die op een specifieke plaats in het labrynt te vinden is.



5.7 GeomWiz

Beschrijving van de game

GeomWiz is een digitaal mobiel spel voor één speler om meetkunde te leren en aan te vullen. Het idee is om zoveel mogelijk punten te halen, zonder tijdslimiet. Spelers kunnen vrij van het ene naar het andere level gaan zonder dat ze het vorige level moeten hebben afgerond (zie figuur 5.15). Dit maakt het mogelijk om altijd een level te spelen met opdrachten van het gewenste onderwerp. Elk niveau heeft zijn eigen leeropbrengst. Elk level heeft kamers van waaruit de speler naar de volgende kamer kan gaan door ten minste één van de vragen in de kamer juist te beantwoorden. Elke kamer heeft vier verschillende niveaus van vragen over hetzelfde onderwerp (zie figuur 5.16). De moeilijkheidsgraad van de makkelijkste vraag is één ster en de moeilijkste vraag heeft vier sterren. De speler kan kiezen voor makkelijkere of moeilijkere vragen. Hoe meer sterren, hoe meer punten de speler krijgt.

Aan het begin van elk level maakt de speler zich vertrouwd met de leerdoelen van het level en bevestigt dat hij/zij het nodige heeft geleerd voordat hij/zij het level gaat spelen (zie figuur 5.17 t/m 5.24). Bij elke vraag kan de speler het vraagteken aanraken, waaruit een hint voor de vraag verschijnt. Als de speler een fout antwoord geeft, krijgt hij/zij ook een hint om het juiste antwoord te kiezen. Hierna kan de speler opnieuw proberen te antwoorden, zodat het vorige foute antwoord uit de antwoordmogelijkheden is verdwenen. Als de speler het level verlaat en terugkeert naar het hoofdmenu, begint het level altijd opnieuw vanaf de eerste kamer van het level als hij daar terugkeert. Aan het eind van elk level gaat de speler naar een trofee toe en door deze aan te raken krijgt hij/zij informatie over de statistieken van het level (zie figuur 5.25 en 5.26). Vanuit het hoofdmenu heeft de speler toegang tot de Diploma-website, die de statistieken van alle velden toont.

Leeropbrengsten

Domein: Meetkunde, goniometrie, Algebra

Onderwerp: Meetkunde

Leeropbrengsten: Meetkundige vormen, hoeken van een driehoek, rechte hoek, oppervlakte van een driehoek, sinusregel en cosinusregel. De speler kan het zelf leren of oefenen.

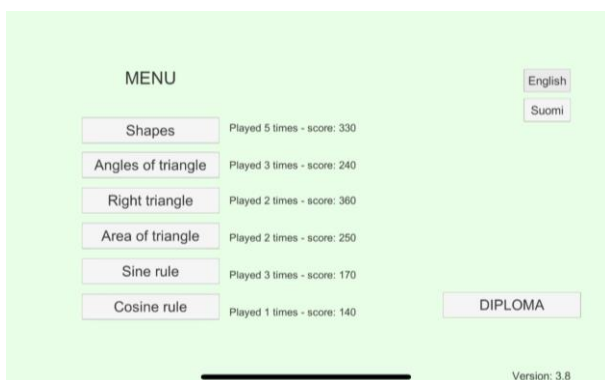
Link naar de game

Het GeomWiz spel kan worden gevonden en gedownload in zowel de App Store als Google Play store onder de naam (GeomWiz).

Het spel kan ook op een PC worden gespeeld. In dat geval kan het spel worden gedownload van <https://tki.samk.fi/geomwiz.zip>.

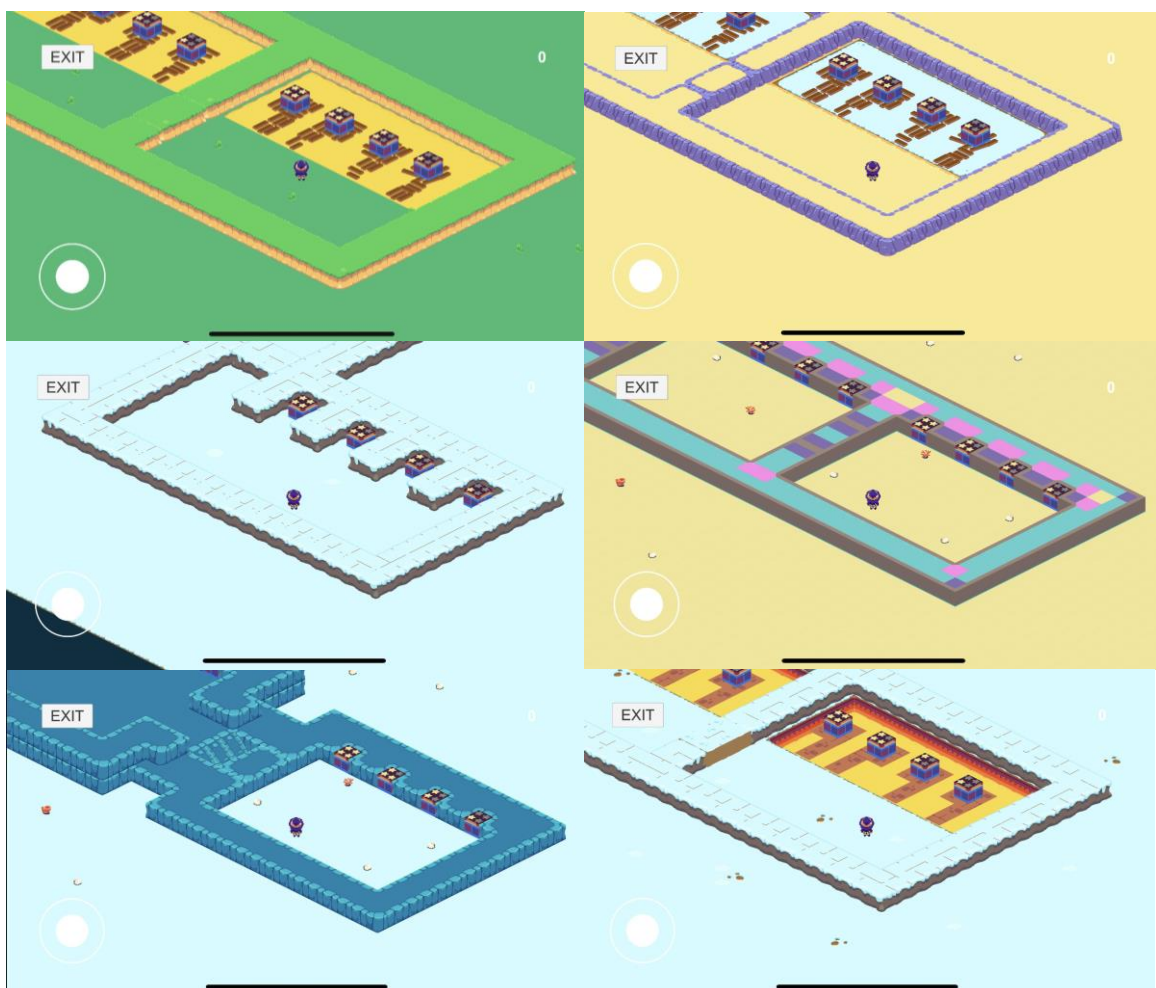
Screenshots





Figuur 5.15. Een screenshot van het GeomWiz: Hoofdmenu





Figuur 5.16. Screenshots van de eerste kamers met vier vragen van verschillende moeilijkheidsgraad op zes verschillende levels van GeomWiz

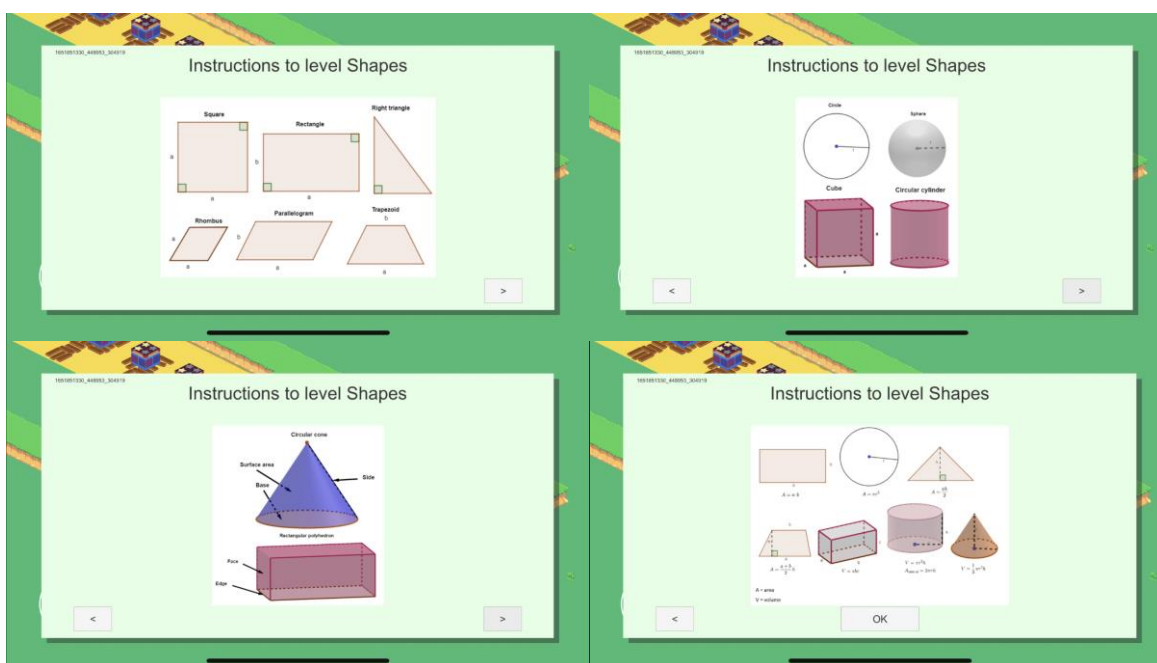


Figure 5.17. Screenshots van de instructies aan het begin van level 1

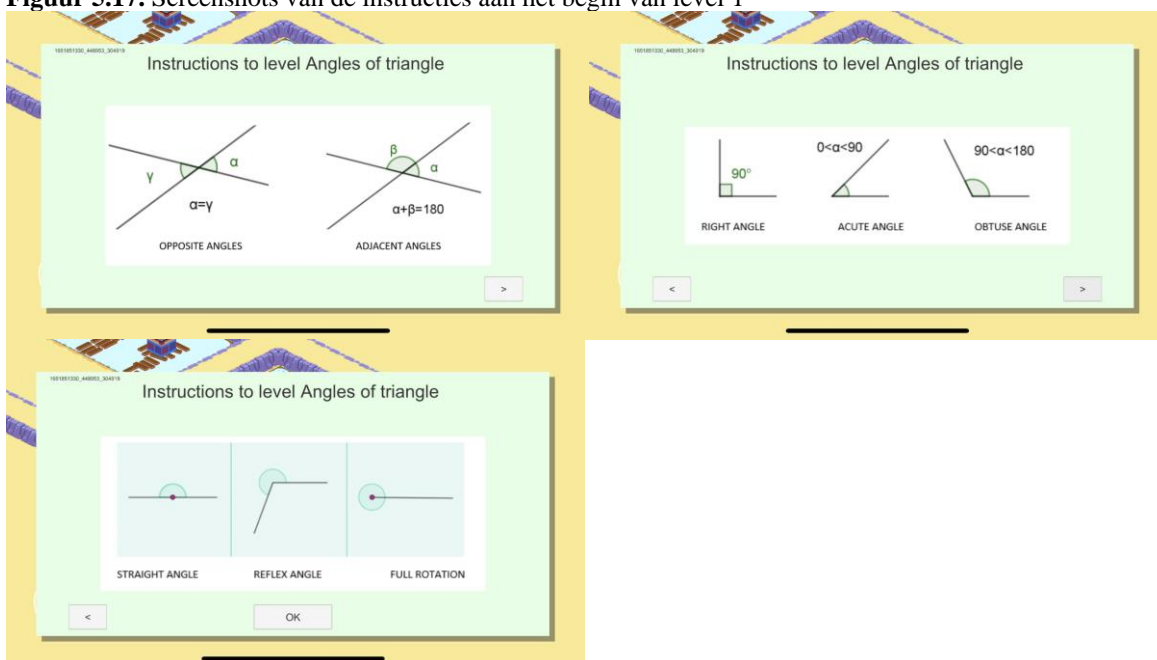
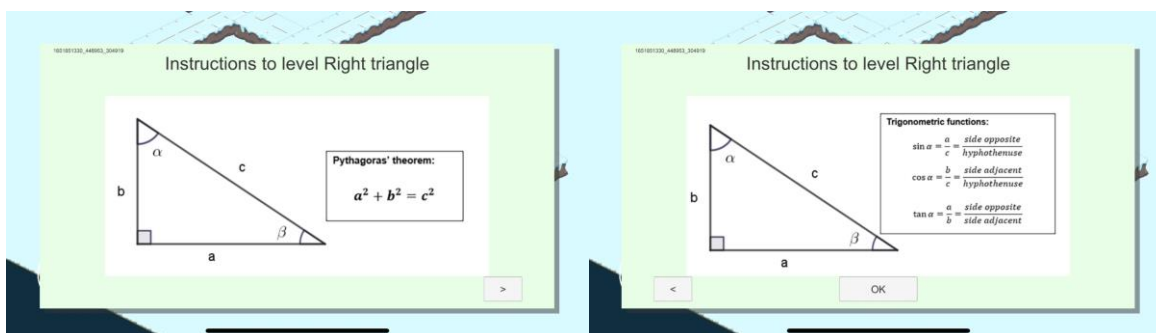
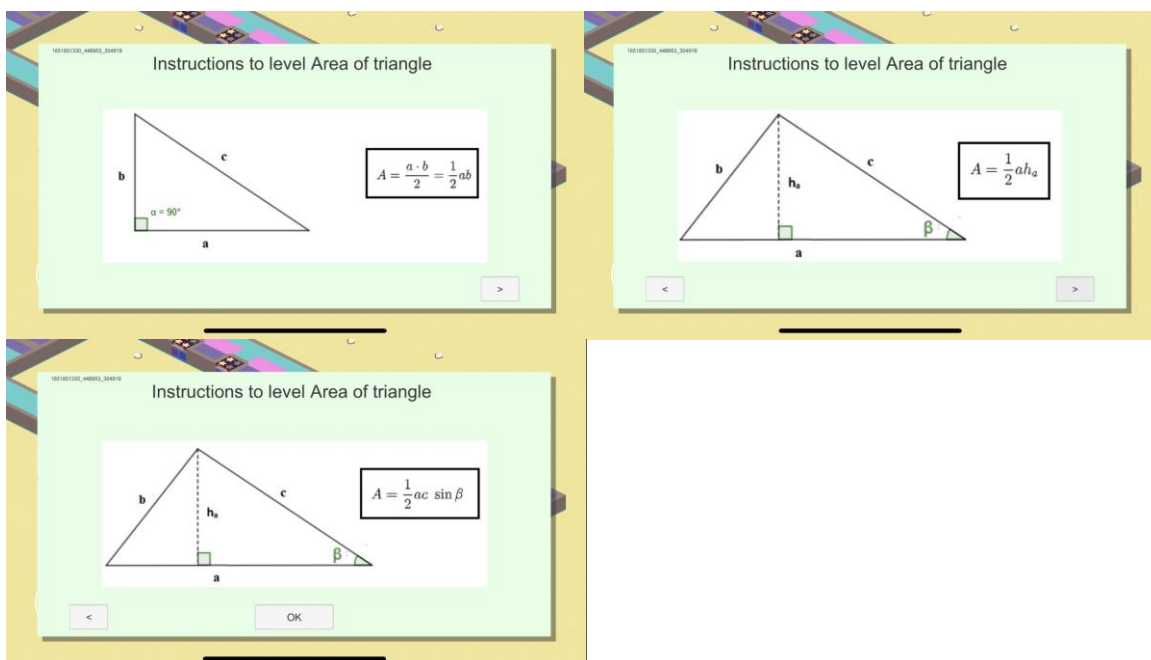


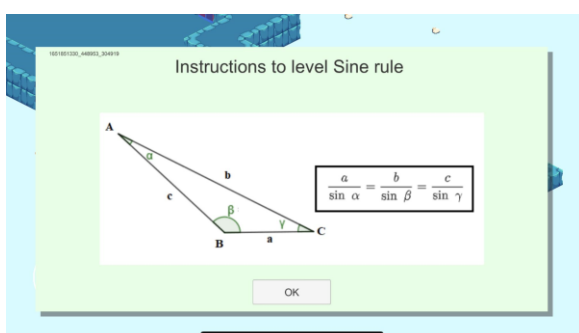
Figure 5.18. Screenshots van de instructies aan het begin van level 2



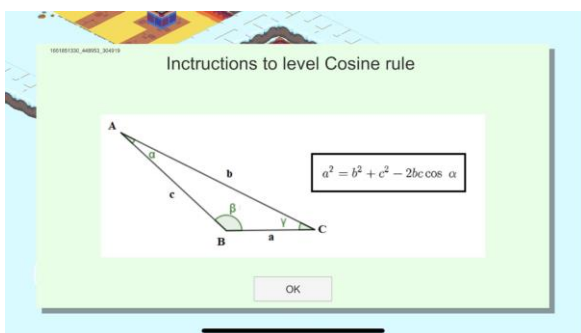
Figuur 5.19. Screenshots van de instructies aan het begin van level 3



Figuur 5.20. Screenshots van de instructies aan het begin van level 4



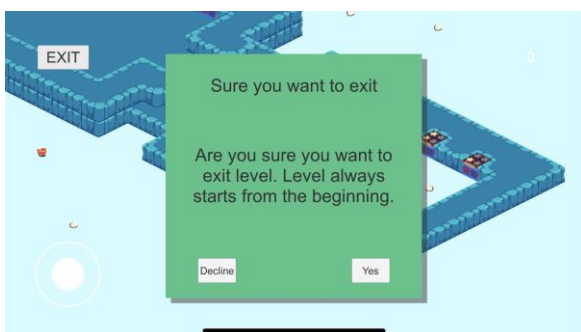
Figuur 5.21. Screenshot van de instructies aan het begin van level 5



Figuur 5.22. Screenshot van de instructies aan het begin van level 6



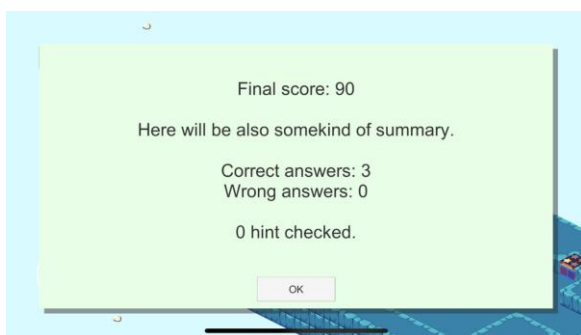
Figuur 5.23. Screenshot van het bevestigingsvenster wanneer de speler op het punt staat de introductie aan het begin van het level te verlaten.



Figuur 5.24. Screenshot van het bevestigingsvenster wanneer de speler op het punt staat een veld te verlaten zonder het volledig uit te spelen.



Figuur 5.25. Screenshot van het einde van een level met een trofee.



Figuur 5.26. Screenshot van de niveaustatistieken.





Hoofdstuk 6

Richtlijnen en aanbevelingen

Ljerka Jukić Matić en Mirela Jukić Bokun
J. J. Strossmayer University of Osijek, Kroatië





Hoofdstuk 6. Richtlijnen en aanbevelingen

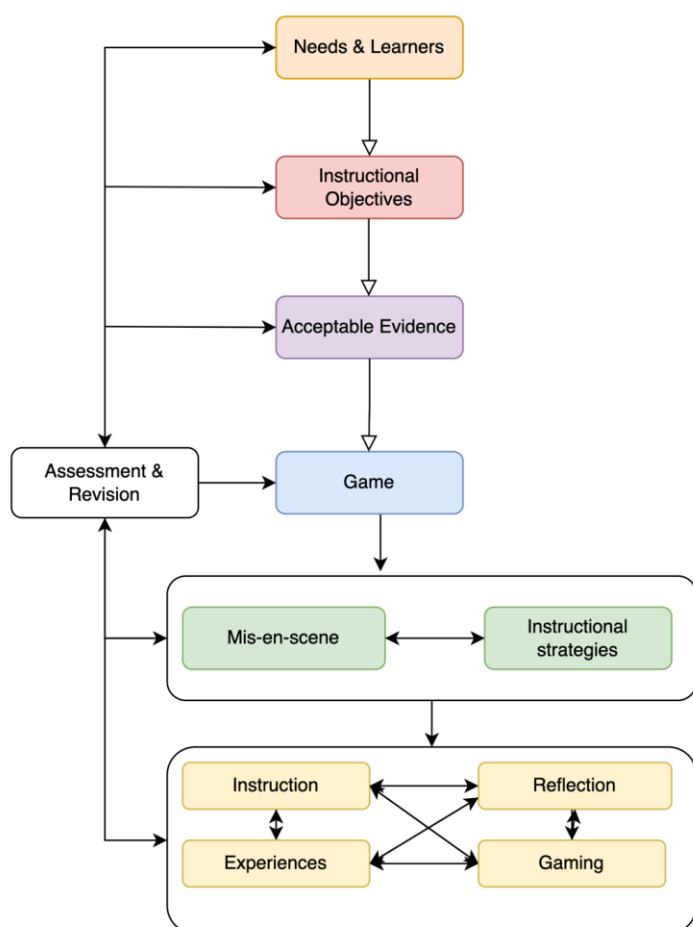
Voordat een docent een volledig uitgewerkt lesplan maakt voor een bepaalde DGBL-wiskundeles, moet hij/zij bedenken wat hij/zij met de les wil bereiken en hoe de les moet verlopen. In dit hoofdstuk leert u hoe u een GBL-wiskundeles kunt modelleren, waar u aan moet denken bij het plannen van een GBL-les, en hoe u deze kunt uitvoeren. Bovendien krijgt u advies van leraren die besloten hebben GBL in hun klas te gebruiken.

6.1 Instructional Design modellen voor DGBL

Om lessen met games te ontwerpen en te profiteren van de voordelen die zij bieden, is het nuttig een instructional design model voor GBL te gebruiken. Het model biedt handvatten voor het ontwerpen van effectief leren met games. Het model in figuur 6.1 is voorgesteld door Becker (2017), die het ADDIE-instructiemodel (Analyze, Design, Develop, Implement, and Evaluate) heeft aangepast. Met deze grafische voorstelling kunnen we visualiseren dat het plannen van een goede les geen lineair proces is, maar iteratief of cyclisch.

1. *Bepaal de behoeften en kenmerken van de leerlingen:* Het is vaak nuttig te bepalen wat de leraar weet over zijn of haar leerlingen. Dit kan in latere ontwerpen worden herzien om ervoor te zorgen dat de les voor hen geschikt is.
2. *Bepaal de instructiedoelen:* Dit deel geeft de beoogde leerresultaten weer, d.w.z. wat de leraar met deze game wil bereiken.
3. *Bepaal aanvaardbaar bewijs:* De leerkracht moet bepalen wat aanvaardbaar bewijs is voor het leren van de leerlingen. Dan kan hij/zij verder gaan met de lesplanning.
4. *Bepaal een geschikt spel:* De leraar moet een voorspellende spelevaluatie ontwerpen en uitvoeren, het spel selecteren, plannen en technische ondersteuning ontwikkelen.
5. *Plan tijd, ruimte en middelen:* Deze fase gaat over de terminologie die tijdens het spel in de les zal worden gebruikt, de voorbereiding van het spel en de fysieke omgeving waarbinnen de leerlingen de game spelen. Het kan ook gaan om andere aspecten zoals timing.
6. *Selectie van onderwijsstrategieën:* In dit onderdeel moet de leerkracht instructiestrategieën selecteren terwijl hij plant hoe hij de middelen zal gebruiken.
7. *Planning en ontwikkeling van instructie:* Deze fase omvat het plannen en ontwikkelen van lessen, leerervaringen, reflectie en speelsessies.





Figuur 6.1. Instructiemodel volgens Becker (2017)

6.2 Effectief wiskundeonderwijs met GBL

Bij het ontwerpen van een DGBL-les voor wiskunde moet de leraar nadenken over de onderwijspraktijken die effectief *wiskundeonderwijs* mogelijk maken. De ontworpen les moet effectief zijn met betrekking tot games, maar ook tot de wiskunde. NCTM (2014) noemt acht effectieve onderwijspraktijken voor wiskunde:

1. Wiskunde doelen stellen die gericht zijn op leren
2. Taken uitvoeren die het redeneren over en het oplossen van problemen bevorderen
3. Wiskundige representaties gebruiken en verbinden
4. Een zinvol wiskundig gesprek bevorderen
5. Doelgerichte vragen stellen
6. Vlotheid in procedures opbouwen vanuit conceptueel begrip
7. Ondersteuning van productieve strijd bij het leren van wiskunde
8. Het tonen van het denken van de leerlingen uitlokken en gebruiken

De onderwijspraktijken voor wiskunde vormen het centrale deel van het onderwijs dat het meest waarschijnlijk het leren van leerlingen beïnvloedt. Bovenstaande onderwijspraktijken helpen wiskundeleraren hun lessen vorm te geven. Hoe verhoudt GBL zich tot die praktijken? Neem bijvoorbeeld



productieve worsteling. Hiebert en Grouws (2007, p. 387) beschrijven een productieve worsteling als een belangrijk kenmerk van wiskundeonderwijs dat het conceptuele begrip van leerlingen consequent stuurt en verbetert. Leerlingen moeten proberen een situatie te begrijpen en een handelwijze te bepalen wanneer een oplossingsstrategie niet vermeld, geïmpliceerd of onmiddellijk voor de hand liggend is. Productieve worsteling is het proces van inspannend leren dat doorzettingsvermogen en creatieve probleemoplossing ontwikkelt. Een van de belangrijkste kenmerken van GBL is het uitlokken en ondersteunen van leerlingen bij productieve worsteling door middel van het volgende:

- Een probleemgerichte benadering van leren;
- Leren door te falen;
- Informatieve feedback om te leren;
- Ervaring met geleidelijke groei.

De game kan worden gezien als een manifestatie van "problem space" (Schrier, 2018). In de kern van het spel is er problem-solving of het proces van het vinden van oplossingen voor problemen (bijvoorbeeld het vermijden van vijanden in Super Mario Run of het verzamelen van voldoende Pokemon wezens in Pokemon Go).

6.3 Enkele doelstellingen van game gebruik in de klas

Het spelen van games kan verschillende doelen hebben. Enkele daarvan worden hieronder opgesomd (Becker, 2017; Plass, Mayer & Homer, 2020):

- *Nieuwe inhoud leren*
Sommige games hebben een inhoud die rechtstreeks betrekking heeft op bepaalde leerbehoeften. Dergelijke spellen hebben concepten van procedures die verband houden met een deel van het curriculum. Tot die spellen behoren zeker spellen waarbij moet worden geoefend of waarbij specifieke quizvragen worden gesteld, maar het kunnen ook spellen zijn waarbij de handelingen die de speler moet verrichten, verband houden met de doelstellingen van het leerplan wiskunde.
- *Proces*
Games die betrekking hebben op het proces stellen leerlingen in staat te begrijpen hoe ze iets moeten doen of te beantwoorden waarom iets is zoals het is. Het proces wordt gezien als een reeks stappen die moeten worden genomen om een bepaald doel te bereiken. Dergelijke games kunnen passen bij een bredere leerlijn in het curriculum.
- *Voorbeeld en tegenvoorbeeld*
De game kan worden gebruikt als voorbeeld ter ondersteuning van wat wordt onderwezen. Ook kan het spel concepten bevatten die onjuist of inconsistent zijn, of het is op een andere manier een tegenvoorbeeld van iets dat wordt onderwezen.
- *Motivatie*
Docenten kunnen een game gebruiken als motivatie om voor te sorteren op komende lessen. Het kan ook een les start zijn in een kort spel. Aan het begin van het leerproces kan een spel worden gebruikt om leerlingen nieuwsgierig te maken, hun aandacht vast te houden en hen uit te dagen de komende onderwerpen te leren. Een goed gekozen spel kan leerlingen meer intrinsieke motivatie geven om





nieuwe inhoud te gaan leren dan veel andere instructiestrategieën. Als docenten games introduceren of bespreken waarmee leerlingen al vertrouwd zijn, kan dat een goed begin zijn voor hen om met betrokkenheid en nieuwsgierigheid aan de les deel te nemen.

- *Het geleerde versterken*
Om een game voor dit doel te kunnen gebruiken, moet de leerinhoud van de game open en divers zijn. Dit betekent dat het spel verschillende onderwerpen moet bevatten die verband houden met wat de spelers hebben geleerd. Daarom moet het spel de nadruk leggen op onderling nauw verbonden onderwerpen en worden aangepast aan de behoeften en interesses van individuele spelers. Het spel moet inhoud bevatten voor interpretatie, begrip en generalisatie in plaats van gedetailleerde concepten en feiten te presenteren. Het spel moet dus verdere en opvolgende studies voor de spelers presenteren.
- *Het geleerde samenvatten en evalueren*
Games kunnen doeltreffend worden gebruikt om het geleerde samen te vatten door een duidelijke samenvatting te presenteren met fascinerende elementen, zoals simulaties en animaties. De prestaties van een speler kunnen ook worden geëvalueerd met behulp van een eenvoudige puzzel en/of quiz die is ingebed in een avonturenspeel of een rollenspel. Aan het einde van het spel krijgen de spelers feedback die als aanwijzing wordt gebruikt om het verdere leertraject te bepalen.
- *Huiswerk*
Games kunnen thuis worden gebruikt, buiten de lessen om, ter voorbereiding op activiteiten die de volgende keer in de klas aan bod komen.

6.4 Hoe kan worden vastgesteld of het spel geschikt is voor instructiedoeleinden?

Er zijn enkele zaken die docenten moeten overwegen voordat ze besluiten games in de klas te gebruiken. Turkey et al. (2014) geven een lijst met vragen die leraren moeten overdenken om te bepalen of de game geschikt is voor hun instructiedoelen. Een studie die als onderdeel van het project werd uitgevoerd, identificeerde verschillende succesfactoren voor het construeren van een goede educatieve game die overwogen moeten worden bij het ontwerpen van succesvolle GBL-scenario's. In dit project zijn vergelijkbare dimensies geïdentificeerd: spelaspecten, leeraspecten en technische aspecten. Wij hebben zaken geselecteerd die wij bijzonder belangrijk vinden.

Leer-, games spelen en technische aspecten

Leeraspecten	<ul style="list-style-type: none">• Past de inhoud?• Past de specifieke vaardigheid?• Biedt het spel conceptueel leren of oefening?• Biedt het spel een eerste les of versterking?• Biedt het spel een persoonlijk leerproces volgens de profielen van de leerlingen?
---------------------	---





<i>Spelaspecten</i>	<ul style="list-style-type: none">• Geeft het spel onmiddellijke feedback?• Vergelijkende feedback op basis van de prestaties van anderen?• Vertraagde feedback?• Directe "ja/nee" of "goed/fout" feedback?• Zijn ondersteuning en feedback toegankelijk op momenten dat dat waarschijnlijk nodig is?• Zal het spel de aandacht van iedereen vasthouden?• Verschilt de spelervaring per speler en tussen verschillende spelreeksen?• Is het spel 'herspeelbaar'?• Biedt het spel de leerling keuzes om de instructie-elementen van het spel aan te passen (bv. avatar/instructeur, soort feedback, presentatie van de inhoud)?• Biedt het spel de leerling opties om vroeg (voordat het spel begint) en/of later, naarmate het spel vordert, keuzes te maken?
<i>Technische aspecten</i>	<ul style="list-style-type: none">• Is het spel/de interface geschikt voor mijn onderwijssituatie?• Heb ik extra randapparatuur nodig (bijv. een koptelefoon) om de afleiding van niet-spelende leerlingen te voorkomen?• Is de technologie op school compatibel met het spel?• Kan de leerling de instellingen van de spelinterface aanpassen (bv. kleuren of grootte van de tekst)?• Is het spel flexibel en gemakkelijk aan te passen?• Kunnen de computers van de leerlingen het spel aan?

Becker (2017) wijst er ook op dat leren deel moet uitmaken van de game en niet alleen via verhalen moet worden geleverd. Iemand moet het spel niet kunnen winnen door simpelweg te onthouden welke dingen hij moet aanklikken zonder te weten waar ze voor staan. Ook moet het niet mogelijk zijn om het spel te leren zonder het educatieve gedeelte te leren.

6.5 Games inpassen in de les: het belang van interacties

Games stellen docenten in staat om op verschillende manieren interactie te hebben met leerlingen. Tijdens het spel observeren en sturen leerkrachten de handelingen van de leerlingen: leerlingen bespreken en tonen handelingen en reacties als onderdeel van ontdekkend leren, leren door oefening en leren door ervaring. Wanneer het spel voorbij is, vindt een nieuwe interactie plaats. Leerlingen moeten praten over hun prestaties, hun acties, hun opdrachten, hun fouten en hun plannen voor de volgende keer om meer succes te hebben. De leerlingen leren de strategieën die zij nodig hebben om het spel te voltooien en de leerstof onder de knie te krijgen. Dit wordt hieronder nader toegelicht (Felicia, 2009):

- Pre-game (briefing)
Docenten moeten de leerlingen informeren over de verwachtingen, de spelervaring, de vorm en wat de docent van plan is te doen. De leerlingen moeten begrijpen dat dit een leeractiviteit is en dat ze het spel niet alleen voor de lol moeten gebruiken.
- In-game (Activiteit)
Tijdens de game moeten de leerlingen het spel steeds opnieuw spelen. Ze moeten gemotiveerd worden om hun score te verbeteren, beter als team te werken, meer te communiceren en te plannen.





Een goed ontworpen game zal de leerlingen aanmoedigen om te blijven spelen, hun score te verbeteren of hun vriend te verslaan.

- Na de game (debriefing)
Hoewel games belangrijk zijn voor de leerervaring, vindt het leren ook plaats buiten de game en het is belangrijk de leerlingen aan te moedigen om na het spel te reflecteren op de activiteit. Reflecterend leren is een even belangrijke stap in het gebruik van games als leermiddel. De docent moet, tijdens de hele les, tijd uittrekken voor reflectie. In de volgende tekst worden enkele onderwijsstrategieën voor debriefing en reflectie beschreven. Ze kunnen individueel, met zijn tweeën of in groepen worden gebruikt.

Reflectie en debriefing leiden er vaak toe dat leerlingen wat ze in de game hebben gedaan in verband brengen met de echte wereld, waardoor transfer wordt bereikt. De leerling kan dan terugkeren naar de game en zijn nieuw-verworven kennis toepassen; de leercyclus begint opnieuw.

6.6 Uitdagingen en aanbevelingen

Docenten die GBL willen gebruiken hebben verschillende uitgangspunten. Sommige docenten omschrijven zichzelf als "gamers" en kunnen bij het plannen van hun GBL-lessen putten uit hun eigen kennis en ervaring met games. Er zijn echter ook docenten die geen bijzondere belangstelling voor of expertise in games hebben, maar die wel inzien dat hun leerlingen ermee aan de slag kunnen. Dergelijke docenten stelden verschillende strategieën voor om met games te beginnen (Bolstad & McDowall, 2019):

- Vraag de leerlingen te vertellen wat ze weten over games.
- Werk samen met een collega die verstand heeft van games.
- Ga op zoek naar workshops en conferenties over GBL om te leren van meer ervaren beoefenaars.
- Ontmoet en kom in contact met game-ontwikkelaars.
- Lees boeken over GBL en zoek naar gratis en toegankelijke online inhoud, waaronder online artikelen, blogs, podcasts en YouTube-kanalen.
- Gebruik online communities en sociale media om vragen te stellen over games en advies en aanbevelingen te vragen aan collega's.
- Neem de tijd om games te zoeken en te spelen, of probeer zelfs een eenvoudige game te ontwerpen.

Docenten die GBL gebruiken, noemen meestal vergelijkbare uitdagingen of belemmeringen bij de invoering van GBL in de klas. Het gaat onder meer om de beoordeling van game evaluaties op hun geschiktheid binnen het budget, de technische of logistieke beperkingen van hun school of klas. Hoe nuttig is bijvoorbeeld een digitale game als uw leerlingen het niet kunnen gebruiken op de apparaten waarover zij beschikken of als het niet betaalbaar is? Moet elke leerling in de klas individueel toegang hebben tot het spel, wil het nuttig zijn voor het leren en onderwijzen, of werkt het als verschillende leerlingen om de beurt het spel spelen? Als computers en apparatuur beperkt zijn, kan een spel dan worden gebruikt als "station" in een reeks leeractiviteiten in een drukke klas? Om sommige van deze problemen op te lossen, beveelt het project GBL4ESL aan dat scholen openstaan voor "Bring Your Own Device" (BYOD) als scholen niet zijn uitgerust met verschillende apparaten die spelend leren mogelijk maken. De opzet zou ook een flexibele klasindeling kunnen omvatten waarbij leerlingen vrijer in verschillende formaties kunnen zitten en zich naar behoefte kunnen verplaatsen voor de verschillende games. Een sterke Wi-Fi-verbinding is ook vereist. Zonder die verbinding is de leraar beperkt in de games die kunnen worden gespeeld.





De laatste uitdaging voor GBL is tijd - het inpassen ervan tussen alle andere tijdsbeperkingen en verplichtingen in een drukke klas of school. Games met complexe strategieën, met een steile leercurve, of met herhaalde speelmogelijkheden voor diepere ervaringen vergen tijd. Het kost ook tijd om leerlingen de kans te geven veel verschillende games uit te proberen. Leraren in Bolstad & McDowall (2019) hebben creatieve manieren gevonden om met tijdsbeperkingen om te gaan, zoals het eerder in de curriculumplanning opnemen van andere wiskunde-inhoud om ruimte te maken voor GBL, GBL gebruiken als roulerende activiteit tussen andere leeractiviteiten, of tijd en ruimte creëren voor buitenschoolse activiteiten.

6.7 Pedagogische stappen, zoals in de literatuur gerapporteerd

Hoe digitale games te integreren in de klas en hoe te verwijzen naar games kan een probleem zijn voor docenten die geen ervaring hebben met het implementeren van DGBL. Hieronder volgen enkele pedagogische stappen die docenten in hun klassenpraktijk kunnen gebruiken:

1. *Betrokkenheid van de leraar bij de game tijdens het spelen.*

De docent moet de spelervaringen van de leerlingen kunnen begeleiden en ondersteunen tijdens de spelactiviteiten. Het belangrijkste element is om de game zelf te ervaren, zodat de docent zijn of haar eigen ervaringen kan delen tijdens het spelen van het spel, inclusief het helpen van leerlingen bij het overwinnen van obstakels in het spel. Dit delen kan in de vorm van groepsgesprekken of individuele gesprekken met leerlingen. Docenten kunnen met de leerlingen praten over hoe ze zich tijdens het spel op de taak kunnen concentreren en waar ze tijdens het spel op moeten letten. Docenten kunnen rondlopen om vragen te stellen, de aandacht van de leerlingen op verschillende aspecten van het spel te vestigen en het spel aan de leeractiviteit te koppelen.

2. *Gericht en doelgericht spel.*

Tijdens de game moeten de docenten de aandacht van de leerlingen richten op een specifieke leeractiviteit. Het spel moet altijd doelgericht zijn en gericht op het bereiken van een specifiek doel in de activiteit. Leerlingen kunnen bijvoorbeeld een paar niveaus van het spel spelen en van de docent de opdracht krijgen om te letten op de veranderingen die plaatsvinden (zie 6.9.1).

3. *Samen spelen*

De docent kan discussies over het spel op gang brengen en de inhoud van het spel koppelen aan het bredere curriculum. De leerkracht kan de leerlingen aanmoedigen om samen te spelen of samen leeractiviteiten te ondernemen.

4. *Zinvolle leeractiviteiten*

Docenten moeten leeractiviteiten ontwerpen, waarbij hogere-ordevaardigheden zoals analyseren of creëren worden toegepast. Bij dergelijke activiteiten kan de leerlingen worden gevraagd informatie, observaties of gevolgtrekkingen uit het spel op te schrijven.

5. *Passend leerpad en duidelijke verwachtingen.*

Docenten moeten specifieke tijdlijnen geven voor het voltooien van taken. Hébert & Jenson (2019) stellen bijvoorbeeld voor dat een inleidende activiteit van 5 minuten wordt gevolgd door 20 minuten gestructureerd en doelgericht spel, en dat de laatste 15 minuten van de periode kunnen worden





gebruikt voor discussies in kleine groepen rond een leeractiviteit. Het is raadzaam om leerlingen te herinneren aan de tijd die ze hebben om de taken te voltooien.

6. *De game als te lezen tekst*

Docenten kunnen de game ontwerpen als een tekst waarnaar leerlingen kunnen verwijzen ter ondersteuning van hun leren in de klas, om DGBL uit te breiden tot meer dan spelonderwijs leren. Het spel kan worden gekoppeld aan video's die in de klas worden bekeken, tekstboeken en discussies in de klas. In een studie van Hébert & Jenson (2019) begeleidde een docent studenten om materiaal te gebruiken dat in het spel en het tekstboek was geleerd om hun antwoorden te ondersteunen.

7. *Verbindingen met eerdere leerervaringen en de wereld buiten de spelomgeving.*

Docenten kunnen de game verbinden met eerder leren en met materiaal dat buiten de spelcontext is bestudeerd. In een studie van Hébert & Jenson (2019) herinnerden docenten leerlingen aan het leren bij eerdere spelsessies en aan vakspecifiek en vakoverstijgend leren tijdens klassikale discussies.

8. *Flipped classroom*

De combinatie van game-based activiteiten en flipped classroom verschilt van de traditionele flipped classroom, die zich richt op het bekijken van video's of het gebruik van statisch digitaal instructiemateriaal (Tao, Huang & Tsai, 2016). Zo'n flipped classroom wordt een digitale game-based flipped classroom. Het integreren van e-learning materialen met fysieke activiteiten bevordert flipped classroom leren meer dan het gebruik van statisch digitaal lesmateriaal (Wang, 2019).

6.8 Onderwijsstrategieën voor DGBL

Deze paragraaf geeft een lijst van mogelijke strategieën die gebruikt kunnen worden bij GBL-instructie. Veel van deze strategieën bestaan al en worden al lang gebruikt, maar Becker (2017) heeft ze aangepast voor DGBL. De strategieën moeten altijd worden aangepast aan de context van de game die wordt gespeeld.

3-2-1 (Drie-Twee-Een)

Dit is een activiteit die wordt uitgevoerd na een game sessie. Ze is bedoeld om de leerlingen te helpen hun kennis te consolideren en zich voor te bereiden op het volgende deel van de les. De leerlingen moeten zes dingen opschrijven, verdeeld over drie categorieën:

3	3 kernbegrippen/ideeën/feiten die zij uit de spelsessie hebben opgepikt,
2	2 ideeën waarover zij meer zouden willen leren, of 2 concepten of vaardigheden die zij denken te beheersen
1	1 vraag die ze beantwoord zouden willen zien, of 1 vaardigheid die- of concept dat ze zouden willen beheersen

Vragenlijst kritische voorvallen

Een kritisch voorval is een gebeurtenis die gemakkelijk wordt herinnerd omdat hij duidelijk in het geheugen ligt. Vragenlijsten over kritieke voorvallen kunnen worden gebruikt om feedback te geven aan de docent om





de instructie beter af te stemmen op de behoeften van de leerlingen of om leerlingen te helpen nadenken over hun eigen leren. De volgende vragen kunnen worden gebruikt met DGBL aan het einde van een spelsessie of wanneer leerlingen klaar zijn met spelen:

1. Op welk moment tijdens jouw spelsessie voelde je je het meest betrokken bij wat er gebeurde?
2. Op welk moment tijdens uw spelsessie was u het meest verwijderd van wat er gebeurde?
3. Welke actie die iemand (in de game of daarbuiten) ondernam tijdens jouw spelsessie vond je het meest bevestigend of nuttig?
4. Welke actie die iemand tijdens u jouw spelsessie ondernam (in de game of daarbuiten) vond je het meest raadselachtig of verwarrend?
5. Wat tijdens jouw spelsessie verraste je het meest?

CROWN

CROWN is een afsluitende strategie die leerlingen aanmoedigt na te denken over de hele les, het spel, of zelfs maar één onderdeel van de les of het spel.

C =	Communiceer wat je geleerd hebt.
R =	Reactie.
O =	Geef één zin die samenvat waar de hele les over ging.
W =	Waar kun je het geleerde op verschillende plaatsen gebruiken?
N =	Merk op hoe goed je het vandaag hebt gedaan.

Game commentaar

De leerlingen maken samen een commentaar dat de belangrijkste bevindingen van het spel samenvat.

Send-A-Problem

Elke leerling/groep moet een probleem oplossen of een taak uitvoeren in de game. Elke leerling/groep speelt het spel en probeert het probleem op te lossen of de taak uit te voeren, waarbij ze aantekenen wat ze hebben gedaan en hoe het is afgelopen.

KWHL (Know, What, How, Learned)

Deze strategie kan zowel op de leerdoelen in het spel als op het spel zelf worden toegepast. Wanneer zij wordt toegepast op het spel, kan zij dienen als een soort spelplan dat ook als leidraad kan worden gebruikt. De strategie is een schema dat vóór de activiteit wordt bezocht en na afloop opnieuw wordt bekeken. Het bestaat uit vier kolommen:

K =	Weten - wat de leerling al weet over het onderwerp.
W =	Willen weten - wat de leerling wil uitvinden.
H =	Hoe erachter te komen - een strategie voor hoe de leerling erachter wil komen.
L =	Geleerd - een reflectie na de activiteit die samenvat wat de leerling heeft geleerd.

Precisie spelen

Wanneer deze strategie op gaming wordt toegepast, gaat het om een doelgericht spel dat gericht is op het verbeteren van specifieke leerdoelen. Het spel kan zonder of onder begeleiding van de leraar worden





gespeeld. Het is een manier om het onderwijs te plannen en aan te passen op basis van de meting van de vorderingen van de leerling.

Recall, Summarize, Question, Comment, and Connect

Deze strategie vraagt de leerlingen na te denken over de dingen die ze geleerd hebben tijdens de game en die verband houden met de leerdoelen.

- R = Maak een lijst van de belangrijkste punten (vanuit een leerperspectief) van de spelsessie en rangschik ze.
- S = Vat elk van de bovenstaande kernpunten in één zin samen.
- Q = Welke vraag over het spel is onbeantwoord gebleven en welke vraag over wat je moet leren is onbeantwoord gebleven?
- C = Verbind het spel met de doelstellingen van de les.
- C = Wat vond je het leukst/minst leuk aan deze spelactiviteit?

S.W.O.T. (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)

De SWOT-strategie kan worden gebruikt als een manier om uitdagingen in het spel te benaderen.

S = Sterke punten Wat zijn de sterke punten van het personage in de situatie of van de voorwerpen waartoe de speler toegang heeft?	W = Zwakke punten In welke opzichten is het personage zwak, of wat zijn de zwakke punten van de hulpmiddelen die de speler kan gebruiken?
O = Kansen Welke kennis, vaardigheden of eigenschappen van de tegenstander, de omgeving of de situatie kunnen in het voordeel van de speler worden benut?	T = Bedreigingen Wie of wat kan de speler problemen bezorgen en hem belemmeren zijn doel te bereiken?

Exit Slips

Deze strategie kan worden gebruikt na de les of na de speelsessie. Exit Slips zijn schriftelijke antwoorden op vragen die de docent aan het einde van een les of speelsessie stelt om na te gaan of de leerlingen belangrijke concepten hebben begrepen. Het duurt niet langer dan 5 minuten om ze in te vullen. Ze zijn bedoeld om de docent in staat te stellen te bepalen wie op schema ligt en wie extra hulp nodig heeft.

6.9 Advies van docenten aan docenten

Toen de docenten die deelnamen aan studie van Bolstad & McDowall (2019), werd gevraagd wat zij zouden zeggen tegen beginners in DGBL, gaven de docenten het volgende advies:

1. Sta open voor de mogelijkheid om games te gebruiken voor het leren.
2. Bespreek games en gamen met je leerlingen.
3. Je hoeft zelf geen gamer te zijn, en je hoeft niet alles over games te weten.
4. Hou je soms in en laat de leerlingen de leiding nemen.
5. Wees niet bang om verschillende soorten games in de klas uit te proberen en te zien wat er gebeurt.
6. Speel zelf wat games!





6.10 Een lesplan maken

Voordat u een volledig uitgewerkt lesplan maakt, moet u nadenken over de elementen die in de les aan bod zullen komen. Het is nuttig om het onderwerp en het wiskundige gebied waartoe het onderwerp behoort te definiëren. Het beperken van het onderwerp zal docenten helpen zich te concentreren op een les of meerdere opeenvolgende lessen waarin zij een bepaalde game voor GBL zullen gebruiken.

Hieronder beschrijven wij de elementen die in de lesplanning kunnen worden opgenomen. Deze lijst van elementen is echter niet volledig. Elke docent kan elementen toevoegen die hij of zij belangrijk vindt voor de praktijk in de klas.

- ***Leerresultaten en onderwijsdoelstellingen***

De leerresultaten en instructiedoelstellingen moeten duidelijk en beknopt zijn.

Een instructiedoel is een beschrijving van wat de docent wil dat de leerlingen bereiken of verwezenlijken tegen het einde van een bepaalde periode. Leerresultaten zijn beschrijvingen van de kennis of vaardigheden die leerlingen aan het eind van een bepaalde opdracht, les of cursus moeten hebben verworven.

- ***Voorkennis***

Voorkennis omvat wiskundige concepten, vaardigheden of procedures waarover de leerlingen voor deze les moeten beschikken. Deze lijst moet de concepten bevatten die in deze les verder ontwikkeld zullen worden. Op die manier kan de docent nagaan of het gewenste leerproces wordt bereikt en de les in de juiste richting sturen.

- ***Trefwoorden***

De opsomming van de sleutelwoorden helpt de docent zich te concentreren op specifieke ideeën van de les.

- ***Beschrijving van de game***

Er moet een korte beschrijving van de game worden gegeven. Bovendien zou het zeer nuttig zijn aan te geven hoe het spel aansluit bij de leerresultaten en de onderwijsdoelstellingen. Alle middelen die nodig zijn voor het gebruik van de game moeten worden vermeld.

- ***Middelen***

Maak een lijst van alle middelen die nodig zijn voor de huidige les. Deze middelen kunnen bestaan uit lesmateriaal, zoals werkbladen of technologische apparaten zoals computers, tablets of smartphones. Schrijf ook op of er een koptelefoon nodig is. Als het spel geluiden bevat of de personages in het spel praten, kunnen de leerlingen elkaar storen tijdens het spelen.

De les kan ook thuis plaatsvinden (flipped classroom), dus het is raadzaam aan te geven waar de les plaatsvindt.

Maak een lijst van alle materialen die je nodig hebt, bijv. pennen, online materiaal, boek.

- ***Lesactiviteiten***

Hier moet worden beschreven wat hij/zij en zijn/haar leerlingen zullen doen vóór het spelen (pre-game), tijdens (in-game) en na het spelen van de game (post-game). Bovendien moet de leraar beschrijven welke instructiestrategieën met de leerlingen zullen worden gebruikt en hoe. Voor elke lesactiviteit is het raadzaam de duur van de activiteit te vermelden.

- ***Beoordeling***





Formatieve beoordeling moet ook worden gepland en geïntegreerd in de instructie. Afhankelijk van de vereisten van het spel of de nagestreefde doelen, kan de beoordeling tijdens of na het spel plaatsvinden. Beoordelingsresultaten moeten worden gekoppeld aan instructie-doelstellingen en voorgeschreven leerresultaten. Enkele vragen die u zich kunt stellen bij het maken van een beoordeling:

- Is het begrip van de leerlingen van het onderwerp verbeterd?
 - Zijn ze beter in staat om problemen op te lossen en relaties te verklaren?
 - Kunnen zij het geleerde toepassen in nieuwe situaties?
- **Activiteiten met aanpassingen voor studenten met een handicap**
Denk aan de leerlingen met een handicap in uw klas. Beoordeel of deze leerlingen aan deze les kunnen deelnemen of dat u delen van de les moet aanpassen.
 - **Activiteiten voor begaafde leerlingen**
Hoogbegaafde leerlingen zullen sommige activiteiten waarschijnlijk eerder afronden dan andere. Voor deze leerlingen kunnen extra activiteiten worden voorbereid.



Nu volgen gedetailleerde lesplannen voor drie soorten lessen. Naast deze lesplannen zijn ook lesscenario's gemaakt voor de in het project ontwikkelde spellen. De lesscenario's vertegenwoordigen een reeks ideeën om het lesproces te moderniseren, waarbij de leerling als actieve deelnemer centraal staat. Een lesplan is de routekaart van de docent voor wat de leerlingen moeten leren en hoe dat effectief zal gebeuren tijdens de lestijd.

6.10.1 Voorbeeld van een lesplan waarin een digitaal spel wordt gebruikt voor het aanleren van nieuwe inhoud

Het volgende lesplan is aangepast van MathSnacks.

<i>Leerresultaten</i>	<ul style="list-style-type: none">● Identificeer en maak gelijkwaardige verhoudingen.● Gebruik vermenigvuldiging en deling om gelijkwaardige verhoudingen af te leiden.● Organiseer gelijkwaardige verhoudingen in een tabel.
<i>Voorkennis van de studenten</i>	Breuken, veelvouden
<i>Trefwoorden</i>	Verhouding, gelijkwaardige verhouding
<i>Beschrijving van het spel</i>	Het spel Ratio Rumble kan worden gebruikt als een inleiding tot verhoudingen en vereist geen voorafgaand onderwijs. In dit spel kiezen de leerlingen een personage en nemen het in elk level op tegen een andere tegenstander. Het spel bestaat uit 14 niveaus. De leerlingen gaan van eenvoudige tweedelige verhoudingen $\{1 : 2\}$ naar moeilijkere driedelige verhoudingen $\{1 : 2 : 4\}$ en decimale verhoudingen $\{2,5 : 5\}$. De spelers krijgen een verhoudingsrecept en moeten die verhouding of een gelijkwaardige verhouding maken door te kiezen uit de gekleurde drankjes op het bord.



<p><i>Middelen</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Digitaal spel: Ratio Rumble <ul style="list-style-type: none"> - Computers of iPads ● Computer/projector <ul style="list-style-type: none"> - Internetverbinding - Werkbladen ● Drie verschillende sets fiches (er moeten minstens 20 van elke verschillende manipulatievorm zijn voor elke leerling of elk leerlingenpaar)
<p><i>Benodigde tijd</i></p>	<p>Twee lessen (elk 40 minuten)</p>
<p>Activiteiten</p>	
<p><i>Voor de les</i></p>	<p>U moet de game spelen zodat u vertrouwd raakt met de mechaniek ervan en met de manier waarop de wiskundige concepten tijdens het spel worden aangeleerd. Zorg ervoor dat elke leerling het juiste aantal computers of iPads heeft om het spel te spelen. Open indien mogelijk Ratio Rumble op alle computers vóór de les in het computerlokaal of op de iPads, omdat dit de speeltijd in het lokaal maximaliseert.</p>
<p><i>Tijdens de les</i></p>	
<p>Game sessie 1</p>	<p>Pre-game: Informeer de leerlingen over uw verwachtingen, over het spel dat ze zullen doen en hoe ze het spel moeten spelen. Vraag de leerlingen om de levels in volgorde te spelen (alle levels zijn open en toegankelijk in elke volgorde en de leerlingen kunnen doorgaan waar ze gebleven waren).</p> <p>Activiteit 1: Laat de leerlingen 15-20 minuten het spel Ratio Rumble spelen. Loop door de klas en richt de aandacht van de leerlingen op verschillende aspecten van het spel (verschillende verhoudingen) en verbind het spel met het leerdoel. Stel de leerlingen vragen als: Hoe gaat het? Heb je hulp nodig? Weet je wat je moet doen? Wat is je opgevallen?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>



	<p>Activiteit 2: De leerlingen pauzeren het spel en u voert een discussie met de leerlingen over het spelverloop. U kunt de strategie <i>Herinneren, Samenvatten, Vragen, Commentaar en Verbinden</i> gebruiken:</p> <p>R = Welke wiskundige vaardigheden heb je tot nu toe ontdekt in dit spel? Noem de belangrijkste.</p> <p>S = Vat elk van de bovenstaande kernpunten in één zin samen.</p> <p>V = Wat is één vraag over wat je moest leren die onbeantwoord is gebleven? Vraag de leerlingen of ze hebben bedacht dat ze het niveau ook kunnen voltooien met 2:4 of 3:6 als de verhouding 1:2 is.</p> <p>C = Koppel het spel aan de doelstellingen van de les.</p> <p>C = Wat vond je het leukst/minst leuk aan deze spelactiviteit?</p> <p>Activiteit 3: Laat de leerlingen na de discussie het spel nog 20 minuten spelen. Als de leerlingen 20 minuten hebben gespeeld, projecteer dan de volgende vragen op het bord en vraag hen de antwoorden op te schrijven in de schriften:</p> <ul style="list-style-type: none">- Wat is volgens jou een verhouding?- Wat is een gelijkwaardige verhouding?- Kun je mij voor de verhouding 1:3 voorbeelden geven van gelijkwaardige verhoudingen?- Waarom zijn gelijkwaardige verhoudingen belangrijk in dit spel? <p>Vraag de leerlingen hun antwoorden voor te lezen. U kunt dit onderdeel zo organiseren dat elke vraag door meerdere leerlingen wordt beantwoord, en dan overgaan naar een andere vraag.</p>															
<p>Game sessie 2</p>	<p>Activiteit 4: Verdeel de leerlingen in groepjes van 2-4 leerlingen. Verdeel een stapel fiches in drie kleuren of vormen. Geef de leerlingen de verhouding 2 rood: 3 blauw. Laat de leerlingen deze verhouding maken met behulp van de fiches. Laat de leerlingen ook gelijkwaardige verhoudingen creëren met behulp van de fiches. Maak met hulp van de leerlingen een lijst van deze verhoudingen in de vorm van een tabel op het bord.</p> <table border="1" data-bbox="606 1585 1214 1776"><thead><tr><th>Rode chips</th><th>Blauwe chips</th><th></th></tr></thead><tbody><tr><td>2</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>6</td><td>tweevoud</td></tr><tr><td>6</td><td>9</td><td>drievoud</td></tr><tr><td>8</td><td>12</td><td>viervoud</td></tr></tbody></table> <p>Vraag de leerlingen het volgende:</p> <ul style="list-style-type: none">• Welke bewerking gebruik je om gelijkwaardige verhoudingen te maken? <p>Antwoord: vermenigvuldiging of deling.</p>	Rode chips	Blauwe chips		2	3		4	6	tweevoud	6	9	drievoud	8	12	viervoud
Rode chips	Blauwe chips															
2	3															
4	6	tweevoud														
6	9	drievoud														
8	12	viervoud														





Een misvatting die leerlingen aanvankelijk kunnen hebben is dat zij verhoudingen creëren door aan beide zijden hetzelfde getal op te tellen of af te trekken. Het is belangrijk dat leerlingen zich realiseren dat gelijkwaardige verhoudingen worden bepaald door vermenigvuldiging en deling.

- In welk opzicht is dit hetzelfde als Ratio Rumble?
- Waarom is het belangrijk om de equivalente verhoudingen te labelen?

Antwoord: één blauw en twee rood is niet hetzelfde als één rood en twee blauw. Zorg ervoor dat de leerlingen begrijpen dat etikettering belangrijk is.

Wijs elke groep drie verschillende verhoudingen toe en laat ze gelijkwaardige verhoudingen maken met hun fiches. Laat de leerlingen een tabel met gelijkwaardige verhoudingen maken voor elke verhouding die u hen geeft. Gebruik zo nodig gedifferentieerde instructie. Hieronder staat een lijst met verhoudingen van verschillende moeilijkheidsgraad:

Gemakkelijk
2:5
3:4
1:3
2:4

Midden
1.5:3
2.5:5
0.5: 1
0.5:2

Opmerking: Voor de decimale verhoudingen moeten de leerlingen worden aangemoedigd om eerst een equivalente verhouding voor hele getallen op te stellen.

Moeilijk
1:2:3
1:2:5
2:3:5

Activiteit 5: Vraag de leerlingen het spel 10 -15 minuten te spelen om het spel te verbinden met een eerdere activiteit. Moedig hen aan om tijdens het spel gelijkwaardige verhoudingen te gebruiken.

Vertel de leerlingen na 10-15 minuten dat ze het spel moeten pauzeren. Stel de volgende vragen:

- Hoe worden de levels in Ratio Rumble moeilijker?
- Welke strategieën gebruikte je om door de moeilijkere levels te komen?
- Hoe houden de latere niveaus verband met activiteit 5?


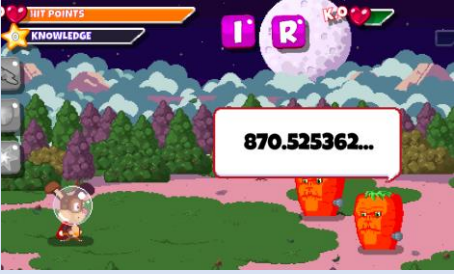
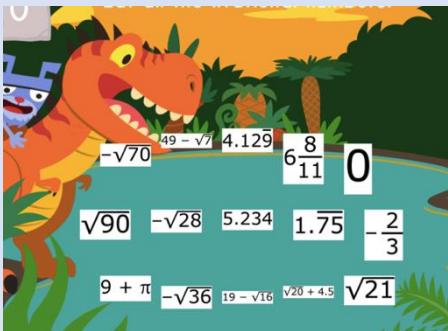




	<p>Activiteit 6: Geef de leerlingen als laatste activiteit in de les de volgende 3-2-1 strategie:</p> <ul style="list-style-type: none">● Noem 3 ideeën/feiten die je hebt opgepikt uit de spelsessies/lessen.● Schrijf 2 ideeën op waarvan je denkt dat je ze beheerst.● Schrijf 1 vaardigheid of concept op dat je zou willen beheersen.
--	---



6.10.2 Voorbeeld van een lesplan waarin het digitale spel wordt gebruikt om te oefenen

<p><i>Leerresultaten</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Afhankelijke en onafhankelijke variabelen bepalen in reële situaties. • Algebraïsche uitdrukkingen en vergelijkingen formuleren om situaties in de echte wereld weer te geven. • Algebraïsche vergelijkingen oplossen bij een waarde van een variabele. • uitdrukkingen en vergelijkingen met positieve en negatieve rationale getallen oplossen
<p><i>Voorkennis van de studenten</i></p>	<p>Breuken, decimale getallen, gehele getallen, vierkantswortels, eindige decimale getallen, repeterende decimale getallen, verhouding</p>
<p><i>Trefwoorden</i></p>	<p>Rationaal getal, irrationeel getal, verhouding</p>
<p><i>Beschrijving van het spel</i></p>	<p>Irrational Veggies from Outer Space is een spel op het platform Legends of Learning. (https://www.legendsoflearning.com). Groenten uit de ruimte zijn gekomen om de melkweg te regeren. Spelers moeten de groenten terugsturen naar waar ze vandaan komen en de konijnenplaneet redden. Het doel van het spel is dat de speler rationale en irrationele getallen herkent om krachten te gebruiken en terug te kunnen vechten. Op het platform kun je de vorderingen van de leerlingen zien.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Dino Crunch Irrational Numbers is een leuke manier om leerlingen te leren irrationele getallen te herkennen. Met drie spelrondes kunnen leerlingen volop oefenen met het onderscheiden van rationale en irrationele getallen.</p> 
<p><i>Middelen</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Digitale games: <ul style="list-style-type: none"> ○ Irrational Veggies from Outer Space ○ Dino Crunch Irrational Numbers • Bord/Interactief whiteboard

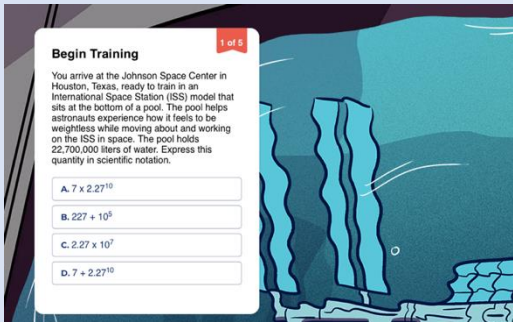


	<ul style="list-style-type: none">• Computer/projector aansluiting• Internetverbinding• Computers voor kleine groepen en/of alle leerlingen
<i>Benodigde tijd</i>	Eén les (40 minuten)
Activiteiten	
<i>Voor de les</i>	<p>U moet de games vóór de les spelen, zodat u vertrouwd raakt met de mechaniek en de manier waarop de wiskundige concepten tijdens het spel worden onderwezen. Zorg ervoor dat er een internetverbinding beschikbaar is en dat elke leerling of groep leerlingen een apparaat heeft om het spel te spelen. Indien mogelijk opent u het spel vóór de les in het computerlokaal op de computer, zodat de lestijd optimaal is. Vergeet niet dat u gebruikersnamen voor de leerlingen moet aanmaken voordat ze het spel Irrational Veggies spelen. De gebruikersnamen zijn nodig om in te loggen.</p> <p>Zorg ervoor dat de leerlingen thuis een internetverbinding en een geschikt apparaat hebben voor huiswerk voor het spelen van Dino Crunch Irrational Numbers</p>
<i>Tijdens de les</i>	<p>Open de les door de leerlingen te vertellen dat ze nieuwe soorten getallen gaan leren. Vraag hen welke getallen ze kennen. Laat de leerlingen alle soorten getallen opnoemen die ze zich herinneren. Schrijf hun suggesties op het bord. Vraag hen wat de naam is van de verzameling waartoe ze allemaal behoren en in welke vorm al deze getallen geschreven kunnen worden.</p> <p>Herinner hen eraan dat rationale getallen ook kunnen worden geschreven als eindige decimalen en repeterende decimalen aan de hand van voorbeelden (bv. $\frac{3}{2}$ en $\frac{1}{3}$).</p> <p>Activiteit 1: In deze activiteit moeten de leerlingen zich de decimale notatie van de getallen π en $\sqrt{2}$ herinneren. Vraag hen: Waarom schrijven we de genoemde getallen niet in decimale notatie, maar gebruiken we de letters van het Griekse alfabet en het teken?</p> <p>Laat de leerlingen hier even over nadenken. Laat de leerlingen dan hun mening geven.</p> <p>Activiteit 2: Projecteer voorbeelden van niet-repeterende oneindige decimale getallen op het bord zonder uitleg. Vraag de leerlingen om ze in tweetallen gedurende enkele minuten te analyseren. Laat de leerlingen hun analyse in het schrift schrijven. Kies enkele tweetallen om hun uitleg voor te lezen over wat hen opvalt aan die getallen. Help hen de term <i>een oneindig (niet-afbrekend) niet-repeterend decimaal getal</i> te formuleren. Formuleer met behulp van klassikale discussie de definitie van een oneindig niet-repeterend decimaal getal</p> <p>Activiteit 3: De leerlingen schrijven hun eigen oneindig niet-repeterend decimaal getal. Definieer een irrationeel getal en een verzameling irrationele getallen:</p>



	<p>Een irrationeel getal is een getal dat niet als breuk $\frac{p}{q}$ kan worden geschreven, voor alle gehele getallen p en q.</p> <p>Irrationale getallen hebben een decimale expansie die noch eindigt noch repeterend wordt. Zij kunnen worden geschreven als oneindige, niet-repeterende decimale getallen.</p> <p>De leerlingen maken een lijst van irrationale getallen die ze tot nu toe zijn tegengekomen (π, wortels van natuurlijke getallen die geen volledige kwadraten zijn).</p> <p>Definieer de verzameling reële getallen als de vereniging van rationale en irrationele getallen.</p> <p>Activiteit 4: De leerlingen spelen het spel Irrational Veggies gedurende 20 minuten. Geef ze hun gebruikersnaam zodat ze kunnen inloggen. In het spel moeten ze onderscheid maken tussen rationale getallen (repeterende decimalen en breuken) en irrationele getallen (niet-repeterende decimalen). Het spel gaat snel, dus het is raadzaam dat elke leerling een eigen toestel heeft. Terwijl de leerlingen het spel spelen, loopt u door de klas om te zien of ze het spel kunnen spelen. Bied hulp als iemand die nodig heeft (met behulp van de spelbesturing of met getallen die op het scherm verschijnen).</p> <p>Voer na het spel een groepsdiscussie. Op het platform kunt u de vorderingen van de leerlingen zien, dus gebruik de resultaten om ook met minder vaardige leerlingen een gesprek op gang te brengen.</p> <ol style="list-style-type: none">1. Op welk moment tijdens jouw spelsessie voelde je je het meest betrokken bij wat er gebeurde?2. Op welk moment tijdens jouw spelsessie voelde je je het minst betrokken bij wat er gebeurde?3. Welke actie die je ondernam tijdens je spelsessie vond je het meest bevestigend of nuttig?4. Welke actie die je tijdens jouw spelsessie ondernam, vond je het meest raadselachtig of verwarrend? <p>Geef huiswerk. Laat de leerlingen oefenen met het Dino Crunch Irrational Numbers. Vertel de leerlingen dat het hun taak is dinosaurussen te voeren met irrationale getallen in verschillende vormen door erop te klikken. Het spel is kort en geeft informatie of de leerlingen het juiste getal hebben gekozen of niet. Het spel eindigt na drie rondes. Leerlingen moeten aangemeld zijn om het spel te kunnen spelen.</p>
--	---

6.10.3 Voorbeeld van een lesplan waarbij het digitale spel wordt gebruikt als huiswerk in een flipped classroom

<i>Leerresultaten</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Zeer grote of zeer kleine getallen uitdrukken in wetenschappelijke notatie. • Zeer grote of zeer kleine getallen vergelijken met behulp van wetenschappelijke notatie. • Bewerkingen uitvoeren met getallen in wetenschappelijke notatie.
<i>Voorkennis van de studenten</i>	Machten, gehele getallen, bewerkingen met machten
<i>Trefwoorden</i>	Wetenschappelijke notatie, exponent, positief, negatief, standaardvorm, macht van 10
<i>Beschrijving van het spel</i>	<p>Welcome to Formica is een spel van het platform Legends of Learning (https://www.legendsoflearning.com). In dit spel moeten leerlingen getallen schrijven in wetenschappelijke notatie en bewerkingen uitvoeren op die getallen, wat betekent dat de getallen machten van het grondtal zijn. Wanneer de officier een vraag stelt, moeten de leerlingen kaarten trekken en die op de vakjes leggen om het juiste antwoord te vinden. Ze kunnen ook het toetsenbord gebruiken om de antwoorden te typen.</p> <p>International Space Station</p> <p>In deze missie sluiten de leerlingen zich aan bij de bemanning van het internationale ruimtestation, een onderzoekslaboratorium in een baan om de aarde. In dit spel gebruiken ze hun kennis van wetenschappelijke notatie om hun bevindingen te analyseren en mee te delen aan de bemanningsleden. De leerlingen hebben waarschijnlijk potlood en papier nodig om de berekeningen uit te voeren. Het spel geeft feedback bij onjuiste invoer.</p> 
<i>Middelen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Digitale Games Welcome to Formica en International Space Station • Interactief whiteboard of aansluiting computer/projector • Internetverbinding • Computers/tablets voor kleine groepen of voor alle leerlingen
<i>Benodigde tijd</i>	Huiswerk (20 minuten) + een les (40 minuten)
Activiteiten	

<p><i>Voor de les</i></p>	<p>De game Welcome to Formica staat op het platform Legends of Learning. Maak gratis uw account aan als docent.</p> <p>U moet de games vóór de les spelen, zodat u vertrouwd raakt met de mechaniek ervan en met de manier waarop de wiskundige concepten tijdens het spel worden onderwezen.</p> <p>Zorg ervoor dat leerlingen thuis een internetverbinding en een geschikt apparaat hebben voor huiswerk voor het spelen van Welcome to Formica. Houd er rekening mee dat u gebruikersnamen voor leerlingen moet aanmaken voordat u huiswerk toewijst. De gebruikersnaam is nodig om in te loggen.</p> <div data-bbox="435 712 1375 994" style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Zorg ervoor dat er in de klas een internetverbinding is en dat elke leerling of groep leerlingen een apparaat heeft om het spel International Space Station te spelen. Open het spel zo mogelijk vóór de les in het computerlokaal op de computers, omdat dit de lestijd maximaliseert.</p> <p>Geef de leerlingen de dag tevoren een huiswerkopdracht in de vorm van een spel. Laat de leerlingen inloggen op de website en het spel Welcome to Formica spelen. Geef de leerlingen een beschrijving van het spel. Leg uit dat het spel de leerlingen zal helpen bij het leren over wetenschappelijke notatie. Vraag de leerlingen zo lang mogelijk te spelen (maximaal 20 minuten). Op het platform kunt u de vorderingen van de leerlingen zien, dus bekijk hun vorderingen vóór de les.</p> <p>Gebruik na het spel de CROWN-strategie om na te gaan wat en of de leerlingen iets geleerd hebben.</p> <ul style="list-style-type: none"> C = Communiceer wat je geleerd hebt. R = Reactie. O = Geef in één zin aan waar het hele spel over ging. W = Waar kun je het geleerde op verschillende plaatsen gebruiken? N = Noteer hoe goed je het deed met het spel. <p>Deel deze opdracht online uit om reacties van leerlingen te verzamelen (u kunt bijvoorbeeld Google Forms Office 365 Forms of Geogebra Class gebruiken). De vorderingen van de leerlingen en de CROWN-strategie kunnen je helpen voor de volgende les.</p>
<p><i>Tijdens de les</i></p>	<p>Activiteit 1: Begin de les door de leerlingen de volgende vragen voor te leggen:</p>



- Waar ging het huiswerk over?
- Wat is wetenschappelijke notatie?
- Hoe schrijven we getallen in wetenschappelijke notatie? Schrijf een voorbeeld op

Laat de leerlingen in groepjes van twee werken. Geef de leerlingen 2 minuten om rustig te werken, vraag hen dan hun zinnen te delen met hun partner, gevolgd door een discussie met de hele klas.

Help hen de volgende conclusie te formuleren:

- Een getal kan worden uitgedrukt als **een enkel cijfer** vermenigvuldigd met een macht van tien door de plaatswaarden te tellen tot je bij een **enkel cijfer** uitkomt en het aantal plaatswaarden te gebruiken als de macht van tien.

Activiteit 2: Om het begrip van de leerlingen te controleren, geeft u hen de volgende getallen om ze in wetenschappelijke notatie op te schrijven: 85 400 000 en 0,000094.

Vraag verschillende leerlingen naar de oplossing en om hun oplossingsproces te beschrijven.

Activiteit 3: De leerlingen moeten ook getallen kunnen omrekenen van de wetenschappelijke vorm naar de decimale vorm. Daarom moeten de volgende voorbeelden op het bord worden geprojecteerd: 3.5×10^6 en 7.8×10^{-4} .

Geef de leerlingen 2 minuten om rustig te werken en vraag hen dan om hun oplossingen met hun partner te delen. Laat verschillende leerlingen antwoorden geven en vraag dan aan anderen in de klas of ze het ermee eens zijn.

Activiteit 4: Vertel de leerlingen dat de Egyptenaar Ahmed Gabr in 2014 het wereldrecord voor de diepste SCUBA-duik brak door ongeveer $1,09 \times 10^3$ voet diep in de Rode Zee te duiken. Een onbemande onderzeeër, Nereus ROV (remote operated vehicle), dook ongeveer $3,2814 \times 10^1$ keer dieper. Hoe diep dook de Nereus ROV?

Laat de leerlingen, om het antwoord te bepalen, de standaardvorm van 10^3 en 10^1 (1.000 en 10) bepalen. Vertel de leerlingen dat ze deze twee waarden moeten vermenigvuldigen ($1.000 \times 10 = 10.000$ of 10^4). Wat merken ze op bij het antwoord? ($10^4 = 10^{3+1}$) Laat de leerlingen vervolgens vermenigvuldigen $1,09 \times 3,2814$ (ongeveer 3,5767). Dus de Nereus ROV dook tot ongeveer of $35,767 \times 10^4$ ofwel 35.767 voet diep.

Activiteit 5: Laat de leerlingen zelfstandig oefenen met de game [International Space Station](#). Geef ze instructies over wat ze in de game moeten doen. Vertel ze dat ze misschien een potlood en papier nodig hebben.







Referenties

- Becker, K. (2017). *Choosing and using digital games in the classroom: A practical guide*. Springer.
- Bolstad, R. & McDowall, S. (2019). Games, gamification, and game design for learning. *New Zealand Center for Education Research*.
- Felicia, P. (2009). *Digital games in schools: A handbook for teachers*. European Schoolnet EUN Partnership AISBL.
- Hébert, C., & Jenson, J. (2019). Digital game-based pedagogy: Developing teaching strategies for game-based learning. *Journal of Interactive Technology and Pedagogy*, 15. Retrieved from <https://jitp.commons.gc.cuny.edu/digital-game-based-pedagogies-developing-teaching-strategies-for-game-based-learning/>
- Hiebert, J., & Grouws, D. A. (2007). The effects of classroom mathematics teaching on students' learning. In F. K. Lester, Jr. (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning*, (pp. 371–404.) Information Age.
- NCTM (National Council of Teachers of Mathematics). (2014). *Principles to actions: Ensuring mathematical success for all*. Reston, VA.: National Council of Teachers of Mathematics.
- Plass, J. L., Mayer, R. E., & Homer, B. (Eds.) (2020). *Handbook of game-based learning*. The MIT Press.
- Schrier, K. (2018). Guiding questions for game-based learning. In J. Voogt, G. Knezek R. Christensen, K.W. Lai (Eds.), *Second handbook of information technology in primary and secondary education*, (pp. 887–905). Springer. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-71054-9_59.
- Tao, S.-Y., Huang, Y.-H., & Tsai, M.-J. (2016). Applying the Flipped Classroom with Game-Based Learning in Elementary School Students' English Learning. 2016 International Conference on Educational Innovation through Technology (EITT). Retrieved from <https://doi.org/10.1109/eitt.2016.19>
- Turkay, S., Hoffman, D., Kinzer, C. K., Chantes, P., & Vicari, C. (2014). Toward understanding the potential of games for learning: learning theory, game design characteristics, and situating video games in classrooms. *Computers in the Schools*, 31(1-2), 2–22. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/07380569.2014.890879>.
- Wang Y. H. (2019). Exploring the effectiveness of adopting anchor-based game learning materials to support flipped classroom activities for senior high school students, *Interactive Learning Environments*. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1579238>.

Projects

- [GBL4ESL] Game-based learning to alleviate early school leaving, <https://toolkit-gbl.com/start>.
- [ProActive] Fostering teacher's creativity through game base learning, www.proactive-project.eu.





Het GAMMA-project

Dit handboek is ontwikkeld in het kader van het Europese Erasmus+ project GAMMA (GAME-based learning in MAThematics). Meer informatie over het project, het lesmateriaal en de resultaten zijn online te vinden op de projectwebsite: <http://www.project-gamma.eu/>.

