

De impact van Minelabs: game-gebruikerservaring en leren in kaart aan de hand van het GLEE-model

Kenniscentra Onderzoek Levenslang Leren en Innoveren & Media, Design en IT

Dr. Laura Herrewijn, Yasmine Wauthier, Florian Stigter Van Thillo, Ellen De Bruyne,
Dr. Gert Vanthournout & Dr. Veerle Van Assche

Gepubliceerd: september 2025



0 Inhoudstafel

0	Inhoudstafel.....	1
1	Inleiding: naar een praktijkmodel voor game-based learning	2
1.1	Het GLEE-model	2
1.1.1	Game-gebruikerservaring (Game user experience).....	4
1.1.2	Leereffectiviteit (Learning effectiveness)	5
2	Het opzet van de Minelabs casestudie	5
2.1	Procedure	6
2.2	Vragenlijsten.....	6
2.2.1	Pretest.....	6
2.2.2	Posttest.....	7
2.3	Participanten.....	9
3	Resultaten van de Minelabs casestudie.....	9
3.1	Game-gebruikerservaring.....	9
3.2	Leereffectiviteit: flow, attitude en gepercipieerd leren	12
3.3	Leereffectiviteit: leerwinst	13
3.4	Leereffectiviteit: leerwinst opgesplitst naar type kennisvragen in de toets	15
3.4.1	Onthouden	15
3.4.2	Begrijpen.....	16
3.4.3	Toepassen	16
3.4.4	Analyseren.....	16
3.4.5	Evalueren.....	17
3.4.6	Creëren	17
3.5	Relaties tussen leereffectiviteit en game-gebruikerservaring.....	17
3.5.1	Flow	17
3.5.2	Attitude.....	19
3.5.3	Gepercipieerd leren	19
3.5.4	Leerwinst.....	22
4	Discussie	23
4.1	De effectiviteit van Minelabs.....	23
4.2	Relatie tussen game-gebruikerservaring en leereffectiviteit	24
4.2.1	Implicaties	24
4.2.2	Vervolgonderzoek.....	25
5	Contactinformatie en dankwoord	26
6	Referenties	27

1 Inleiding: naar een praktijkmodel voor game-based learning

Educatieve games zijn een populaire trend in het onderwijs, maar hoe kun je vaststellen wat leerlingen tijdens het spelen daadwerkelijk ervaren en leren? De impact meten die een educatieve game heeft op leerlingen blijft een uitdaging. Binnen het onderzoeksproject *GLaDoS (Game-based Learning and Development of Skills)* buigen kenniscentra ‘Onderzoek Levenslang Leren en Innoveren’ en ‘Media, Design en IT’ van AP Hogeschool Antwerpen zich over de volgende vragen:

- **Onderzoeksvraag 1:** Hoe verhouden de gebruikerservaring van en een educatieve game en diens leereffectiviteit zich tot elkaar?
- **Onderzoeksvraag 2:** Hoe kunnen we de gebruikerservaring en leereffectiviteit van educatieve games op een betrouwbare en valide manier meten?

Om deze vragen te beantwoorden, onderzoeken Dr. Laura Herrewijn, Yasmine Wauthier, Florian Stigter Van Thillo en Ellen De Bruyne hoe educatieve games effectief kunnen bijdragen aan leerresultaten. Ze worden hierbij ondersteund door de coördinatoren van hun kenniscentra, Dr. Gert Vanthournout (coördinator Onderzoek Levenslang Leren en Innoveren) en Dr. Veerle Van Assche (coördinator Media, Design en IT). Concreet **ontwikkelen en testen ze een praktijkmodel voor game-based learning**: een gids die de impact van educatieve games meetbaar maakt en praktische tips biedt om verbeteringen door te voeren. Dit model helpt spelontwikkelaars bij bewuste ontwerpkeuzes en ondersteunt hen in het meten en evalueren van educatieve impact.

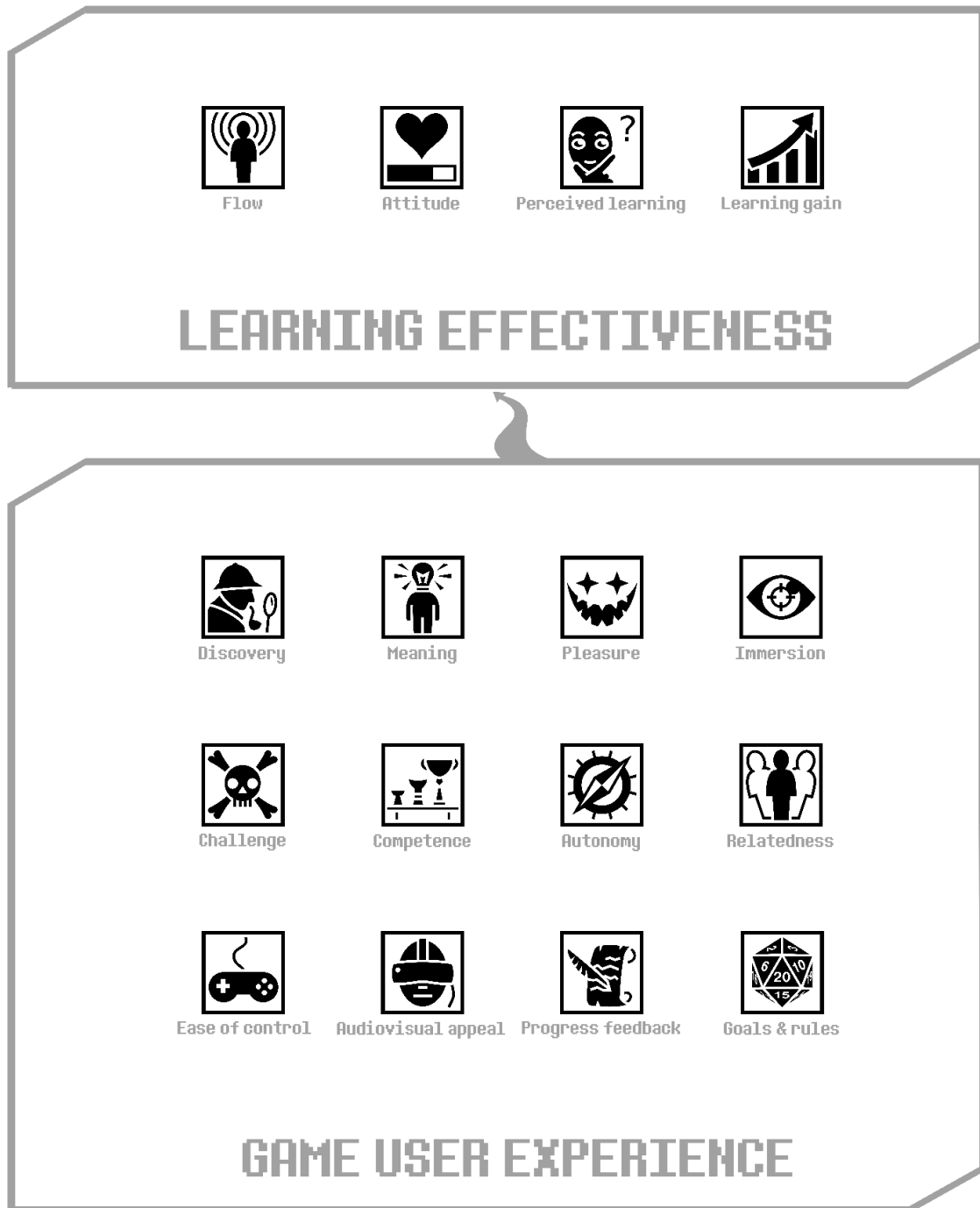
Voor de uitwerking van het praktijkmodel baseerden de onderzoekers zich in het voorjaar van 2024 op **praktijkgerichte en academische literatuur**, aangevuld met **interviews met 16 Vlaamse en Nederlandse makers van educatieve games**. Het doel was om theorieën en principes uit game design, instructional design, onderwijskunde en psychologie te integreren in een nieuw theoretisch model. Dit resulteerde in het **Game-based Learning Experience and Effectiveness (GLEE) model** (zie *Figuur 1* en *sectie 1.1*), dat dimensies van game-gebruikerservaring (*game user experience*) relateert aan leereffectiviteit (*learning effectiveness*). Daarnaast werd onderzocht hoe deze elementen kunnen worden gemeten en geëvalueerd, bijvoorbeeld via vragenlijsten en psychofysiologische metingen (zoals eyetracking en huidgeleiding).

Het praktijkmodel wordt momenteel getest en verder verfijnd via **quasi-experimenteel onderzoek met een pretest-posttest design**. Hiervoor gebruiken de onderzoekers bestaande educatieve games ontwikkeld door Vlaamse makers. Dit onderzoeksrapport bespreekt het opzet en de resultaten van het eerste quasi-experiment, uitgevoerd in najaar 2024, met als casestudie **Minelabs**.

1.1 Het GLEE-model

Om de effectiviteit van game-based learning in kaart te brengen onderscheidt het GLEE-model twee niveaus: game-gebruikerservaring en leereffectiviteit. Deze niveaus bouwen op elkaar voort en laten zien hoe de bouwstenen van de gebruikerservaring van een educatieve game uiteindelijk bijdragen aan diens impact. Het model is gebaseerd op inzichten uit theorieën zoals het Game UX Framework (Hodent, 2017), Player Involvement Model (Calleja, 2011), Self-Determination Theory (Ryan & Deci, 2023), Flow Theory (Csikszentmihalyi, 1990), Zone of Proximal Development (Vygotsky, 1978), en Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (Venkatesh et al., 2003). Deze theorieën bieden complementaire inzichten in hoe (educatieve) games spelers kunnen boeien, leerprocessen kunnen ondersteunen, en effectief kunnen worden geadopteerd en toegepast (Krath et al., 2021).

GLEE MODEL



Figuur 1. Het Game-based Learning Experience and Effectiveness (GLEE) model.

Iconen door Lorc, Delapouite & medewerkers via <https://game-icons.net/>, CC BY 3.0.

1.1.1 Game-gebruikerservaring (Game user experience)

Game-gebruikerservaring omvat het onderste niveau van het model, en bestaat uit de functionele en psychosociale (of emotionele) gevolgen van game design keuzes op spelers (Abeele et al., 2020).

Functionele gevolgen houden de mechanische, visuele en auditieve elementen in van de game en hoe spelers deze ervaren in termen van interactie, toegankelijkheid en moeilijkheid (Abeele et al., 2020). Hier gaat het bijvoorbeeld om hoe aansprekend spelers de game vinden, hoe gemakkelijk ze hun weg door de game wereld vinden, of ze de speldoelen en uitdagingen begrijpen en kunnen volbrengen, enzovoort. Deze functionele elementen zijn belangrijk omdat ze de eerste indruk van de speler vormen en bijdragen aan een soepele en gebruiksvriendelijke ervaring (Abeele et al., 2020; Calleja, 2011; Cziksentmihalyi, 1990; Sweetser & Wyeth, 2005).

Belangrijke functionele elementen van de game-gebruikerservaring zijn:

- **Gebruiksgemak** (*Ease of control*): Hoe intuïtief, duidelijk en eenvoudig de besturing van de game is.
- **Audiovisuele aantrekkingskracht** (*Audiovisual appeal*): De ervaren kwaliteit van de graphics, geluidseffecten en muziek tijdens het spelen.
- **Voortgangsfeedback** (*Progress feedback*): De mate waarin spelers inzicht krijgen in hun prestaties en verbeteringen.
- **Doelen en regels** (*Goals & rules*): De structuur van de speldoelen en hoe duidelijk de spelregels zijn.
- **Uitdaging** (*Challenge*): Hoe moeilijk de game is en hoe goed de moeilijkheidsgraad is afgestemd op de vaardigheden van de speler.

Daarnaast verwijzen **psychosociale gevolgen** naar de emotionele en cognitieve betrokkenheid van de speler tijdens het spelen van de game. Terwijl de functionele elementen gaan over de directe, tastbare gevolgen van game design keuzes, omvatten de psychosociale elementen de emotionele ervaringen die hieruit voortkomen, zoals gevoelens van immersie, betekenisgeving en sociale verbondenheid (Abeele et al., 2020). Dit niveau is cruciaal omdat het bepaalt in hoeverre een speler zich in de game verliest en intrinsiek gemotiveerd raakt om door te spelen en te leren (Abeele et al., 2020; Calleja, 2011; Cziksentmihalyi, 1990; Sweetser & Wyeth, 2005).

Belangrijke psychosociale elementen van de game-gebruikerservaring zijn:

- **Competentie** (*Competence*): De mate waarin spelers zich bekwaam en vaardig voelen in het spelen van de game.
- **Autonomie** (*Autonomy*): In hoeverre spelers het gevoel hebben dat ze vrij zijn in hun keuzes en speelstijl binnen de game.
- **Sociale verbondenheid** (*Relatedness*): De ervaring van betekenisvolle sociale interacties en relaties tijdens het spelen van een game, zoals tijdens de samenwerking of competitie met anderen.
- **Ontdekking** (*Discovery*): De mate waarin de game spelers motiveert om verder te verkennen en nieuwe dingen te ontdekken.
- **Betekenisgeving** (*Meaning*): De mate waarin spelers een diepere waarde of relevantie in het spel ervaren.
- **Plezier** (*Pleasure*): De mate waarin spelers tijdens het spelen positieve emoties zoals plezier, vreugde en voldoening ervaren.
- **Immersie** (*Immersion*): Hoezeer een speler opgaat in de game en de buitenwereld tijdelijk uit het oog verliest.

1.1.2 Leereffectiviteit (Learning effectiveness)

Het bovenste niveau van het model omvat de **leereffectiviteit** van educatieve games: de mate waarin de game op een effectieve manier bijdraagt aan de beoogde leerdoelen. Dit omvat zowel subjectieve ervaringen als objectieve leeruitkomsten.

Belangrijke subjectieve leeruitkomsten zijn:

- **Flow:** "Being in the zone", de optimale beleving van spelbetrokkenheid en intrinsieke motivatie, gekenmerkt door het voelen van optimale uitdagingen die niet te frustrerend en niet te saai zijn, (bijna) automatische handelingen, en een hoge onderdompeling in de game-ervaring.
- **Attitude:** De mate waarin spelers een positieve houding ontwikkelen ten opzichte van leren met de game.
- **Gepercipieerd leren** (*Perceived learning*): Hoeveel een speler denkt geleerd te hebben door het spelen van de game.

Wat betreft objectieve leereffectiviteit is volgende component cruciaal:

- **Leerwinst** (*Learning gain*): De objectieve, daadwerkelijke kennis of vaardigheden die een speler heeft opgedaan dankzij de game.

2 Het opzet van de Minelabs casestudie

In deze eerste casestudie evalueerden we de impact van de Vlaamse educatieve game [Minelabs](#). Minelabs is een Smart Education @ Schools-project uitgevoerd door UAntwerpen, PITO en KLA met steun van de Vlaamse Overheid en IMEC. Het project werd verwezenlijkt door een team van fysici, chemici en informatici, namelijk Bert Jorissen, Ine Arts, Maja Verstraeten, Pierre Franck, Joey De Pauw, Dante De Koning, Randy Paredis en Robbe Nooyens.

De game is een wetenschappelijke uitbreiding op *Minecraft* en biedt een interactieve en speelse manier voor **leerlingen uit het secundair onderwijs** om belangrijke **chemische en natuurkundige concepten aan te leren**. Binnen de virtuele Minecraft-wereld bouwen de leerlingen atomen en moleculen en experimenteren ze met onderwerpen zoals covalente bindingen, atoombouw, stoffeigenschappen, Coulombkracht, elementaire deeltjes en radioactiviteit. Deze aanpak stelt hen in staat om theoretische kennis praktisch toe te passen en concepten beter te begrijpen door middel van hands-on activiteiten in een veilige digitale omgeving. Voor elk onderwerp binnen de game (bijvoorbeeld covalente bindingen) werd ook een werkblad ontwikkeld met instructies en oefeningen die tegelijkertijd kunnen worden gemaakt.

Om de impact van de game Minelabs te onderzoeken, zetten we een quasi-experimenteel onderzoek op met een *repeated measures design*. Dit is een onderzoeksdesign waarbij dezelfde deelnemers meerdere metingen ondergaan, bijvoorbeeld vóór en na een interventie. Dit maakt het mogelijk om veranderingen binnen dezelfde groep te analyseren en de effecten van een interventie nauwkeuriger te meten. Het Minelabs onderzoek bestond concreet uit drie fases:

- 1) Een **pretest**: respondenten vulden een vragenlijst in om hun achtergrondkenmerken (bijv. gender en bekendheid met Minecraft) en bestaande kennis over het lesonderwerp te meten;
- 2) De **interventie**: de deelnemers speelden de educatieve game Minelabs voor 1 lesuur;
- 3) Een **posttest**: respondenten vulden een tweede vragenlijst in om hun ervaring en betrokkenheid met de game (bijv. gebruiksgemak, immersie) te evalueren en hun kennis over het onderwerp opnieuw te testen.

In overleg met de makers van Minelabs werd gekozen voor het lesonderwerp **covalente bindingen** als focus van de test. Dit maakte het mogelijk om het experiment te beperken tot **twee lesuren** en de vragenlijsten specifiek af te stemmen op het lesonderwerp. Doordat de beoogde leerdoelen zowel voor en na het spelen van de educatieve game werden getoetst, kon hun objectieve leerwinst in kaart worden gebracht.

De doelgroep van Minelabs bestaat uit leerlingen uit de 2^{de} en 3^{de} graad van het secundair onderwijs. Voor de test werden daarom twee scholen gecontacteerd. Het **Provinciaal Instituut voor Technisch Onderwijs (PITO) Stabroek**, een partner in het Minelabs-project, stemde in met deelname aan het quasi-experiment in **september 2024**. Afsproken werd dat twee klassen zouden deelnemen: één uit het **3^{de} leerjaar secundair onderwijs** en één uit het **5^{de} leerjaar**, beide binnen de richting STEM Wetenschappen. De leerlingen uit het 3^{de} leerjaar hadden nog geen les gehad over covalente bindingen, terwijl de 5dejaars dit onderwerp al hadden behandeld. Hierdoor konden we de impact van de game vergelijken tussen leerlingen **met en zonder voorkennis**.

In **november 2024** sloot ook school **PiusX** aan bij de Minelabs-test met een extra klas uit het 3^{de} leerjaar STEM Wetenschappen. Dit zorgde voor meer respondenten en hielp om het aantal leerlingen uit het 3^{de} en 5^{de} leerjaar beter in balans te brengen.

2.1 Procedure

De onderzoekers trokken samen met de makers van Minelabs naar de deelnemende scholen met laptops waarop de game Minelabs was geïnstalleerd. Het onderzoek werd klassikaal uitgevoerd, waarbij de onderzoekers de uitleg voor iedereen tegelijkertijd gaven. Op voorhand werd via de school **toestemming voor deelname gevraagd aan de ouders van de leerlingen**.

De deelnemers werden tijdens het onderzoek eerst en vooral verwelkomd en geïnformeerd over het doel van de studie. De onderzoekers stelden zichzelf voor, gaven aan dat deelname aan het onderzoek volledig vrijwillig was en dat deelnemers hun sessie op eender welk moment en voor eender welke reden konden stopzetten. Ze benadrukten hierbij dat ze kwamen om de game testen en niet de leerlingen. Ze vroegen vervolgens ook de deelnemers expliciet om hun **toestemming voor deelname** door hen een toestemmingsformulier te laten invullen.

Deelnemers kregen vervolgens een **eerste vragenlijst**, die hun achtergrondkenmerken en huidige kennis met betrekking tot covalente bindingen in kaart bracht. Na het invullen van de eerste vragenlijst mochten deelnemers de **Minelabs game spelen**, op hun eigen tempo en voor ongeveer één lesuur. Na het spelen van de game kregen deelnemers ten slotte een **tweede vragenlijst** om in te vullen, die hun spelbetrokkenheid, gepercipieerde leereffecten en kennis over het onderwerp opnieuw testte. De gehele onderzoekssessie nam ongeveer twee lesuren van elk 50 minuten in beslag.

2.2 Vragenlijsten

2.2.1 Pretest

2.2.1.1 Achtergrondkenmerken

De eerste vragenlijst peilde naar verschillende **achtergrondkenmerken** van de deelnemers, namelijk:

- **Geboortjaar:** de deelnemers werd gevraagd hun geboortjaar in te vullen om hun leeftijd te kunnen bepalen.
- **Gender:** deelnemers konden aangeven hoe ze zichzelf identificeren met de opties: 'jongen', 'meisje', 'X' (non-binair) of 'dat zeg ik liever niet'.
- **Gebruik van games:** de frequentie waarmee deelnemers games spelen werd bevraagd op een 5-punts schaal gaande van '(bijna) nooit' tot 'elke dag'.

- **Bekendheid met Minecraft:** de deelnemers werd gevraagd in welke mate ze vertrouwd waren met Minecraft (de game waarop Minelabs een uitbreiding is) op een 5-punts schaal variërend van 'helemaal niet bekend' tot 'zeer bekend'.

2.2.1.2 Leereffectiviteit: leerwinst

Vervolgens werd een **schriftelijke kennistest** afgenomen om de kennis van de leerlingen over het lesonderwerp, covalente bindingen, te beoordelen. Deze test was zo ontworpen dat hij zowel vóór als na het spelen van Minelabs kon worden afgenomen. Het doel van deze pre- en posttest was om de **leerwinst** (*learning gain*) op korte termijn te meten, oftewel in welke mate de leerlingen hun kennis en vaardigheden over covalente bindingen door het spelen van de game hadden verbeterd. Door de pretest- en posttestscores te vergelijken, konden we bepalen hoeveel de leerlingen daadwerkelijk hadden bijgeleerd.

De kennistest werd samengesteld door de onderzoekers, in overleg met de makers van de game en de deelnemende leerkrachten van PITO Stabroek. Bij het opstellen van de kennistest hielden we rekening met de vooropgestelde leerdoelen, de inhoud van de game (over covalente bindingen) en het hierbij toebehorende werkblad, opgesteld door de makers van de game. Om verschillende soorten vragen in de kennistest te kunnen opnemen die verschillen in moeilijkheidsgraad, werd er gebruikgemaakt van de **gereviseerde Bloom Taxonomie** (Anderson & Krathwohl, 2001). Deze taxonomie wordt vaak toegepast voor het opstellen van toetsen om op verschillende cognitieve niveaus te kunnen testen, zoals feitelijke, conceptuele, procedurele en metacognitieve kennis. Deze taxonomie biedt een hiërarchie van leerdoelen die vaak worden gebruikt in het onderwijs om leerdoelen en evaluatiemethoden te structureren. Bloom's Taxonomie bestaat uit 6 niveaus van cognitieve vaardigheden: **onthouden, begrijpen, toepassen, analyseren, evalueren en creëren**. Voor elk van deze niveaus werden er drie vragen opgesteld, wat resulteerde in een kennistest met in totaal 18 vragen. De meeste niveaus (van onthouden tot en met evalueren) werden geëvalueerd met meerkeuzevragen waardoor we de leerlingen hun kennis snel konden toetsen. Voor het hoogste niveau, creëren, werden open vragen gebruikt. Deze vragen van de leerlingen om zelf een antwoord te formuleren, bijvoorbeeld door formules toe te passen of oplossingen te bedenken voor specifieke problemen. Enkele voorbeelden van vragen uit de kennistest betreffen: "Wat is een covalente binding?" (onthouden), "Wat gebeurt er als je twee waterstofatomen (H) en één zuurstofatoom (O) samenvoegt?" (begrijpen), "Je hebt een zuurstofatoom en twee waterstofatomen samen geplaatst. Hoe zou je deze atomen verbinden om een stabiele watermolecule (H₂O) te maken?" (toepassen), "Bekijk het getoonde element en let op de buitenste schil. Waarom maakt dit element geen bindingen?" (analyseren), "Een leerling stelt dat waterstof 2 covalente bindingen kan aangaan om een stabiele configuratie te bereiken, zoals het edelgas neon. Beoordeel deze uitspraak" (evalueren) en "Teken de Lewisstructuur van volgende molecule: CH₂O" (creëren).

2.2.2 Posttest

2.2.2.1 Game-gebruikerservaring

De tweede vragenlijst begon met vragen over de game-gebruikerservaring van de deelnemers, om hun functionele en psychosociale reacties op de game in kaart te brengen. Hiervoor werd een combinatie van twee betrouwbare en gevalideerde vragenlijsten gebruikt, namelijk de *Player Experience Inventory* (PXI; Abeele et al., 2020) en de *Enjoy Scale* (ES; Davidson et al., 2023). Voor het huidige onderzoek werden de items van de originele Engelstalige schalen vertaald naar het Nederlands (ES) of werd er gebruik gemaakt van de bestaande, officiële Nederlandstalige versie van de schaal (PXI). De schalen werden beoordeeld op een 7-punts Likertschaal gaande van 'helemaal niet mee eens' tot 'helemaal mee eens'.

De Player Experience Inventory (PXI; Abeele et al., 2020) werd gebruikt om een beeld te krijgen van de volgende aspecten van de game-gebruikerservaring van deelnemers:

- **Gebruiksgemak** (*ease of control*, $N = 3$, $\alpha = .90$);
- **Doelen en regels** (*goals & rules*, $N = 3$, $\alpha = .92$);
- **Uitdaging** (*challenge*, $N = 3$, $\alpha = .69$);

- **Voortgangsfeedback** (*progress feedback*, $N = 3$, $\alpha = .85$);
- **Audiovisuele aantrekkingskracht** (*audiovisual appeal*, $N = 3$, $\alpha = .79$).
- **Betekenisgeving** (*meaning*, $N = 3$, $\alpha = .80$);
- **Ontdekking** (*discovery*, $N = 3$, $\alpha = .92$);
- **Competentie** (*competence*, $N = 3$, $\alpha = .72$);
- **Autonomie** (*autonomy*, $N = 3$, $\alpha = .89$);
- **Immersie** (*immersion*, $N = 3$, $\alpha = .84$);
- **Plezier** (*pleasure*, $N = 3$, $\alpha = .92$).

De betrouwbaarheid van de PXI subschalen was redelijk tot uitstekend, met uitzondering van 'uitdaging' (die met $\alpha = .69$ een matige betrouwbaarheid bezat). Er werd daarom beslist om voor de 'uitdaging' subschaal 1 item te verwijderen, wat de betrouwbaarheid verhoogde tot $\alpha = .76$ (redelijk). Voorbeelden van stellingen zijn "Ik vond het spel makkelijk te besturen" (gebruiksgemak), "De doelen van de game waren duidelijk voor mij" (doelen en regels), "De game was niet te makkelijk maar ook niet te moeilijk om te spelen" (uitdaging), "De game gaf mij informatie over mijn voortgang tijdens het spelen" (voortgangsfeedback), "Ik heb genoten van de vormgeving van de game" (audiovisuele aantrekkingskracht), "De game spelen was zinvol voor mij" (betekenisgeving), "Ik wilde ontdekken hoe de game evolueerde" (ontdekking), "Ik had het gevoel dat ik goed was in het spelen van de game" (competentie), "Ik voelde me vrij om de game op mijn eigen manier te spelen" (autonomie) en "Ik was me tijdens het spelen niet meer bewust van mijn omgeving" (immersie).

De Enjoy Scale (ES; Davidson et al., 2023) werd gebruikt omwille van één specifieke subschaal, namelijk die van **sociale verbondenheid** (*relatedness*). Sociale verbondenheid (ES), autonomie (PXI) en competentie (PXI) zijn drie basisbehoeften die volgens de self-determination theory (Ryan & Deci, 2023) essentieel zijn voor motivatie, groei en welzijn in een game omgeving (en andere contexten). Met de ES wordt sociale verbondenheid gemeten als de ervaring van betekenisvolle interacties en relaties met anderen tijdens het spelen van een game, zoals samenwerken of communiceren met klasgenoten/andere spelers ($N = 5$). Voorbeeldstellingen zijn: "Ik voelde me verbonden met anderen in de klas tijdens het spelen van de game" en "Ik werkte samen met anderen in de klas tijdens het spelen van de game". De schaal had een uitstekende betrouwbaarheid ($\alpha = .94$).

2.2.2.2 Leereffectiviteit

Vervolgens werd ook gekeken naar hoe deelnemers hun leerervaring met de game Minelabs inschatten. Dit werd gemeten aan de hand van drie schalen: flow, gepercipieerd leren en attitude ten opzichte van leren met de game.

De Flow Short Scale (FSS; Rheinberg et al., 2019) werd gebruikt om de mate van **flow** (de optimale beleving van spelbetrokkenheid, gekenmerkt door het voelen van optimale uitdagingen die niet te frustrerend en niet te saai zijn, (bijna) automatische handelingen, en onderdompeling in de ervaring) te meten ($N = 10$). Voorbeelden van stellingen zijn "Mijn gedachten/acties verliepen vloeiend en soepel" en "Ik merkte niet dat de tijd voorbijging". De schaal bleek een uitstekende betrouwbaarheid te bezitten, met een Cronbach's α van .91.

Gepercipieerd leren (Barzilai & Blau, 2014) werd gemeten aan de hand van een 7-punts Likert schaal (gaande van 'helemaal niet mee eens' tot 'helemaal mee eens'), waarop de deelnemers beoordeelden in welke mate zij het gevoel hadden iets te hebben geleerd van de game. Voorbeelden van stellingen zijn: "Ik heb veel geleerd van de game" en "De game heeft mijn kennis vergroot". De schaal had een uitstekende betrouwbaarheid ($N = 4$, $\alpha = .96$).

Attitude (Ghani et al., 2019) peilde naar de houding van de deelnemers ten opzichte van leren met behulp van de game. Dit werd eveneens gemeten op een 7-punts Likert schaal. De stellingen evalueerden hoe positief de deelnemers tegenover het gebruik van de game stonden, met voorbeelden zoals: "Studeren met

behulp van de game is een goed idee" en "Ik sta positief tegenover het gebruik van de game". Ook deze schaal bleek zeer betrouwbaar te zijn ($N = 5$, $\alpha = .94$).

Tot slot werd de **leerwinst** kennistest (die gebruikt werd in de eerste vragenlijst) opnieuw voorgelegd aan de deelnemers, waarbij deze keer de vragen in een andere volgorde werden gesteld. Op deze manier konden ook de **objectieve leereffecten** in kaart worden gebracht.

De vragenlijsten werden opgesteld in Qualtrics maar werden op papier afgenomen in de klassen. Nadat de papieren vragenlijsten werden gedigitaliseerd, werd de data geanalyseerd in SPSS.

2.3 Participanten

38 leerlingen uit twee scholen (PITO Stabroek, PiusX) en drie klassen (Biotechnologische en Chemische Wetenschappen, secundair onderwijs) namen deel aan het onderzoek: 18 uit het 3^{de} leerjaar secundair onderwijs en 20 uit het 5^{de} leerjaar secundair onderwijs. Drie van de deelnemers vulden de vragenlijsten echter niet volledig in, waardoor we hun data niet meenamen in de analyses. Bij de **35 leerlingen** die de vragenlijsten volledig invulden, waren er 17 jongens en 16 meisjes. 2 respondenten gaven aan dat ze hun gender liever niet wilden meedelen. De gemiddelde leeftijd van de deelnemers was 15.17 jaar ($SD = 1.04$, min. = 14 jaar, max. = 17 jaar).

De meeste deelnemers gaven aan regelmatig games te spelen, met 51% die enkele keren per week speelt en 26% die elke dag games speelt. Slechts een klein percentage speelt minder vaak: 3% speelt (bijna) nooit, 6% speelt enkele keren per jaar en 14% speelt enkele keren per maand.

Tot slot bleek dat de meerderheid van de deelnemers al enige mate van bekendheid had met Minecraft. 31% van de deelnemers gaf aan redelijk bekend te zijn met de game, terwijl 29% zich zeer bekend voelde met Minecraft. Een kleiner deel was een beetje bekend (20%) of matig bekend (20%) met de game.

3 Resultaten van de Minelabs casestudie

3.1 Game-gebruikerservaring

Bij het analyseren van de resulterende data gingen we eerst en vooral na wat de impact was van Minelabs op de game-gebruikerservaring van respondenten, waarvan de verschillende dimensies in de vragenlijst werden gescoord op een 7-punts Likertschaal. In wat volgt beschrijven we de gemiddelde resultaten, gerangschikt van hoogste naar laagste gemiddelde scores (zie *Figuur 2* voor een totaal-overzicht).

De hoogste score werd behaald op **plezier** (*pleasure*), met een gemiddelde van 5.82, wat aangeeft dat leerlingen de Minelabs game over het algemeen als erg leuk en aangenaam ervoeren. De relatief lage standaarddeviatie ($SD = 1.18$) wijst erop dat de leerlingen het hier grotendeels over eens waren.

De **audiovisuele aantrekkingskracht** (*audiovisual appeal*) van de game werd als sterk positief ervaren, met een gemiddelde van 5.68. De relatief lage standaarddeviatie ($SD = 1.01$) wijst erop dat de meeste leerlingen hier een vergelijkbaar positieve perceptie over hadden. Dit suggereert dat de visuele en auditieve elementen van de game goed aansluiten bij de verwachtingen en voorkeuren van de leerlingen.

De **doelen en regels** (*goals & rules*) van de game werden als duidelijk ervaren ($M = 5.61$), wat wijst op een intuïtieve spelstructuur. De standaarddeviatie ($SD = 1.25$) laat zien dat er enige variabiliteit in perceptie was, wat kan suggereren dat sommige leerlingen nog verduidelijking nodig hadden. Over het algemeen wijst deze score echter op een goed ontworpen spelsysteem dat helpt bij het navigeren en begrijpen van de game.

De perceptie van **autonomie** (*autonomy*), oftewel de mate waarin leerlingen zich vrij voelden om hun eigen beslissingen te nemen tijdens de game, werd gemiddeld beoordeeld met 5.41 ($SD = 1.37$). Deze positieve score suggereert dat de game voldoende ruimte bood voor zelfsturing en keuzevrijheid, al laat de standaarddeviatie zien dat dit niet door alle leerlingen op dezelfde manier werd ervaren. Mogelijk speelden individuele voorkeuren of specifieke gameplay-mechaniken een rol in hoe zelfstandig leerlingen zich voelden.

De mate van **gebruiksgemak** (*ease of control*) die leerlingen ervaarden scoorde een gemiddelde van 5.40 ($SD = 1.51$), wat erop wijst dat de game redelijk eenvoudig te bedienen was voor de meeste deelnemers en als redelijk gebruiksvriendelijk werd beschouwd. De relatief hoge standaarddeviatie kan echter op verschillen in ervaring duiden: sommige leerlingen vonden de bediening intuïtief, terwijl anderen mogelijk moeite hadden met bepaalde interacties. Dit kan betekenen dat de toegankelijkheid verder geoptimaliseerd kan worden, bijvoorbeeld door een uitgebreidere tutorial of aanpasbare besturing.

De **betekenis** (*meaning*) die leerlingen aan de game toeschreven, scoorde een gemiddelde van 5.35 ($SD = 1.20$), wat wijst op een positieve perceptie van de inhoudelijke waarde en het nut van het spel. Leerlingen vonden Minelabs relevant en zagen er een duidelijke meerwaarde in. De SD geeft aan dat deze perceptie grotendeels gedeeld werd, maar er ook enige variatie was in hoe betekenisvol leerlingen de game ervoeren. Dit kan afhangen van persoonlijke interesse of de mate waarin de inhoud aansloot bij eerdere kennis en ervaringen.

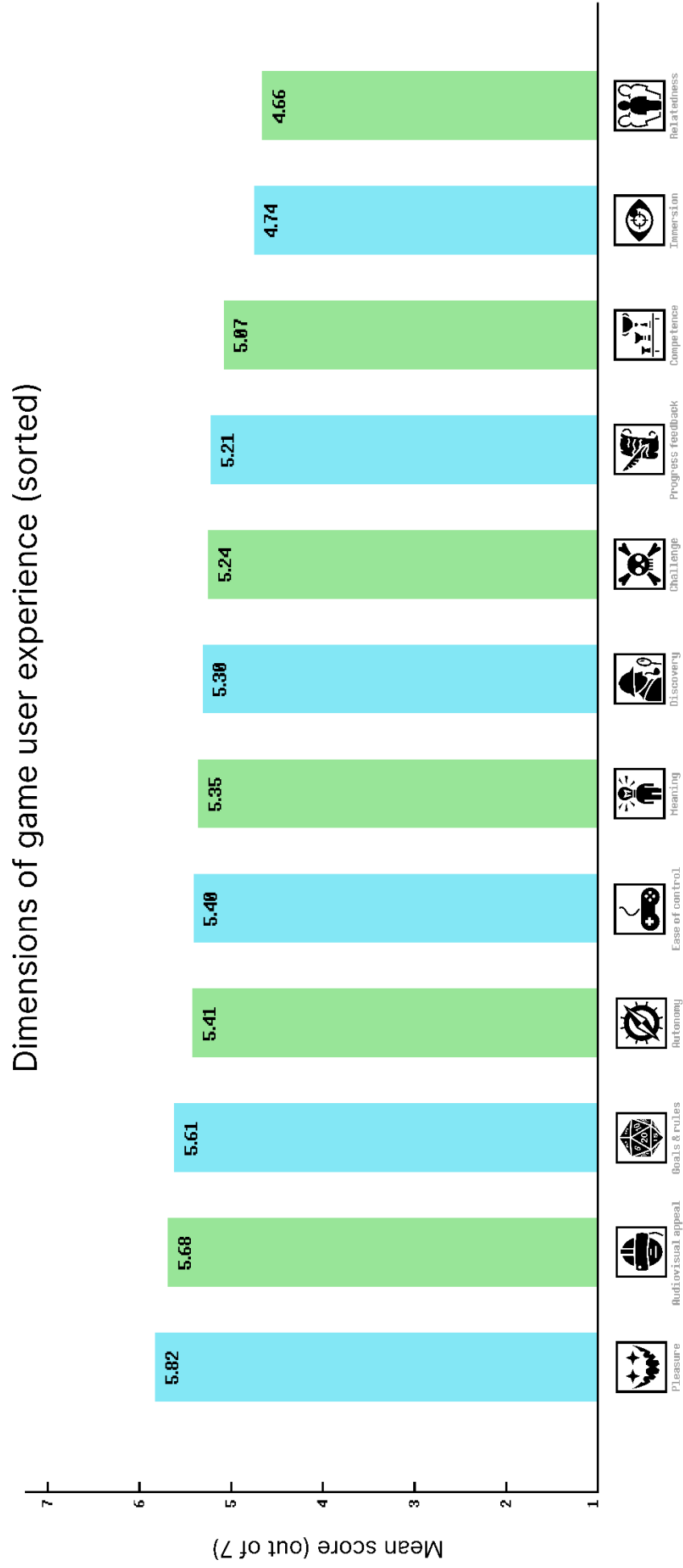
De mate waarin de game **ontdekking** (*discovery*) opwekte, werd gemiddeld beoordeeld met 5.30. Dit suggereert dat de game er redelijk goed in slaagde om leerlingen te prikkelen en hen te motiveren om verder te verkennen of te leren. De SD van 1.33 geeft echter aan dat sommige leerlingen sterker geprikkeld werden dan anderen. Dit zou kunnen wijzen op verschillen in voorkennis, interesse in het onderwerp of de mate waarin de game open exploratie stimuleerde.

De mate van **uitdaging** (*challenge*) werd beoordeeld met een gemiddelde van 5.24 ($SD = 1.15$), wat suggereert dat de meeste leerlingen de game uitdagend vonden zonder dat het te moeilijk werd. De standaarddeviatie geeft aan dat de perceptie van uitdaging enigszins varieerde. Dit kan afhangen van individuele vaardigheden of voorkennis, wat wijst op een mogelijk verschil in moeilijkheidsgraden tussen spelers.

De **voortgangsfeedback** (*progress feedback*) van de game scoorde een gemiddelde van 5.21, wat suggereert dat de meeste leerlingen zich bewust waren van hun prestaties in de game. De spreiding ($SD = 1.14$) is relatief laag, wat betekent dat de meeste leerlingen een vergelijkbare ervaring hadden. Dit wijst op een consistente implementatie van feedbackmechanismen, maar er is mogelijk nog ruimte voor verdere optimalisatie om de informatiefunctie te versterken.

Het gevoel van **competentie** (*competence*), oftewel de mate waarin leerlingen zich bekwaam voelden tijdens het spelen, had een gemiddelde score van 5.07 ($SD = 1.30$). Dit suggereert dat leerlingen zich over het algemeen redelijk vaardig en succesvol voelden binnen de game. De standaarddeviatie wijst op enige variabiliteit: terwijl sommige leerlingen zich competent voelden, konden anderen mogelijk uitdagingen of frustraties hebben ervaren. Dit zou kunnen wijzen op verschillen in spelniveau of de balans tussen uitdaging en vaardigheid.

Het gevoel van **immersie** (*immersion*) in de Minelabs wereld scoorde een gemiddelde van 4.74 ($SD = 1.29$). Dit betekent dat de meeste leerlingen een matige mate van immersie ervoeren, maar niet volledig opgingen in het spel. De SD wijst op verschillen tussen leerlingen: sommigen raakten mogelijk sterker betrokken bij de game-omgeving, terwijl anderen minder onderdompeling ervoeren. Mogelijke verklaringen voor deze lagere score kunnen zijn dat de game geen sterke narratieve component had of dat externe factoren, zoals de klascontext en het invullen van het werkblad, de mate van onderdompeling beïnvloedden.



Figuur 2. Gemiddelde evaluatie van de game-gebruikerservaring door de deelnemende leerlingen.

De laagste score werd gevonden bij **sociale verbondenheid** (*relatedness*), met een gemiddelde van 4.66 en de hoogste spreiding ($SD = 1.64$) van alle gemeten dimensies. Dit suggereert dat leerlingen over het algemeen geen sterk gevoel van sociale interactie of groepsgevoel ervoeren met hun medeleerlingen in de klas tijdens het spelen van de game. De hoge standaarddeviatie wijst erop dat er grote verschillen waren in hoe leerlingen de sociale aspecten ervoeren. Dit kan verklaard worden door de spelopzet: hoewel samenwerking met klasgenoten was toegestaan, maakten niet alle leerlingen hier gebruik van, en binnen de game zelf waren geen directe interactiemomenten met klasgenoten mogelijk. Dit impliceert dat, als sociale verbondenheid een belangrijk doel zou zijn, extra multiplayer-elementen of samenwerkingsmechanieken overwogen kunnen worden.

Er werden **geen significante verschillen gevonden tussen de leerlingen uit het 3^{de} en het 5^{de} leerjaar** wat betreft hun gemiddelde evaluaties van plezier ($F(1, 33) = .16, p = .691, \eta p2 = .005$), audiovisuele aantrekkingskracht ($F(1, 33) = .25, p = .623, \eta p2 = .007$), doelen en regels ($F(1, 33) = .20, p = .654, \eta p2 = .006$), autonomie ($F(1, 33) = .06, p = .801, \eta p2 = .002$), gebruiksgemak ($F(1, 33) = .16, p = .694, \eta p2 = .005$), betekenisgeving ($F(1, 33) = .04, p = .853, \eta p2 = .001$), ontdekking ($F(1, 33) = .02, p = .898, \eta p2 = .001$), uitdaging ($F(1, 33) = 1.30, p = .262, \eta p2 = .038$), voortgangsfeedback ($F(1, 33) = .13, p = .721, \eta p2 = .004$), competentie ($F(1, 33) = .53, p = .473, \eta p2 = .016$), immersie ($F(1, 33) = .01, p = .940, \eta p2 = .000$) en sociale verbondenheid ($F(1, 33) = .01, p = .915, \eta p2 = .000$).

3.2 Leereffectiviteit: flow, attitude en gepercipieerd leren

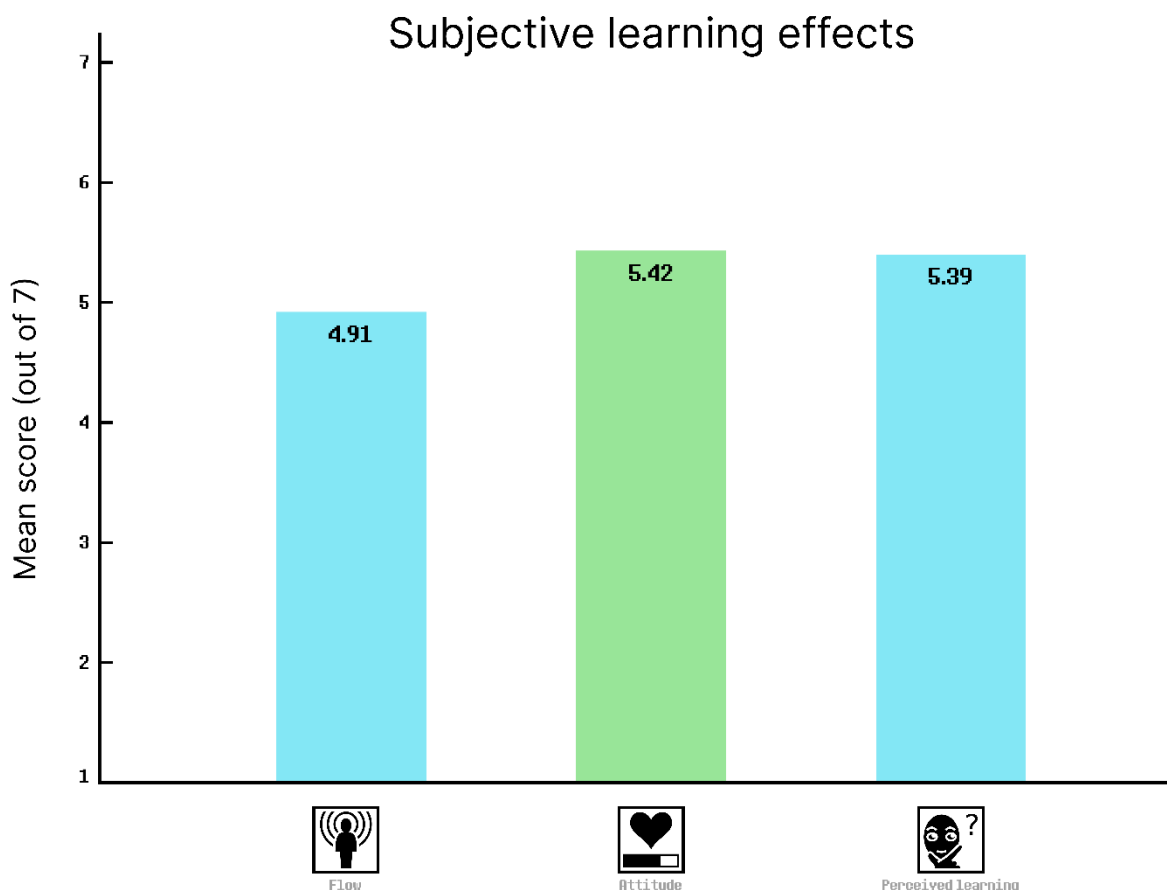
Om de effecten van de game Minelabs op de leerlingen hun subjectieve leerervaringen na te gaan, keken we vervolgens naar hun gemiddelde evaluaties op dit vlak (zie *Figuur 3*). Specifiek keken we naar hun gevoelens van flow, hun houding ten opzichte van leren met de game en hun inschatting van gepercipieerd leren, die telkens gescoord werden op een 7-punts Likertschaal.

Wat betreft **flow**, tonen de resultaten een gemiddelde score van 4.91 ($SD = 1.14$), wat toont dat leerlingen een matige tot hoge mate van flow ervoeren tijdens het spelen van Minelabs. Dit suggereert dat de game voldoende meeslepend was om de aandacht van de meeste leerlingen vast te houden, maar dat er nog geen sprake was van optimale betrokkenheid en motivatie (waarbij spelers volledig opgaan in de activiteit). De relatief lage standaarddeviatie wijst erop dat de meeste leerlingen een vergelijkbare flow-ervaring hadden.

De **attitude** ten opzichte van leren met de game scoorde ook positief, met een gemiddelde van 5.42 ($SD = 1.35$). Dit geeft aan dat leerlingen over het algemeen positief stonden tegenover het idee om games in te zetten als leermiddel en geloofden dat studeren met deze game een waardevolle aanvulling kon zijn op traditioneel onderwijs. De standaarddeviatie laat zien dat sommige leerlingen hier nog iets enthousiaster over waren dan anderen. Het resultaat ligt in lijn met de positieve evaluaties van gepercipieerd leren en suggereert dat Minelabs niet alleen effectief werd ervaren, maar ook als een motiverende onderwijsmethode werd gezien.

Verder toonden de resultaten een gemiddelde score voor **gepercipieerd leren** van 5.39 ($SD = 1.29$), wat suggereert dat de meeste deelnemers echt het gevoel hadden iets te hebben geleerd van de Minelabs game en vonden dat de game waardevolle educatieve inhoud bood. De standaarddeviatie geeft aan dat er enige variatie was in de perceptie van leren: hoewel de meerderheid een positieve inschatting had, ervoerden sommige leerlingen mogelijk een iets minder uitgesproken leerwinst.

Er werden **geen significante verschillen gevonden tussen de leerlingen uit het 3^{de} en het 5^{de} leerjaar** wat betreft hun gemiddelde scores op flow ($F(1, 33) = .21, p = .654, \eta p2 = .006$), attitude ten opzichte van leren met de game ($F(1, 33) = .13, p = .717, \eta p2 = .004$) en gepercipieerd leren ($F(1, 33) = .44, p = .510, \eta p2 = .013$).



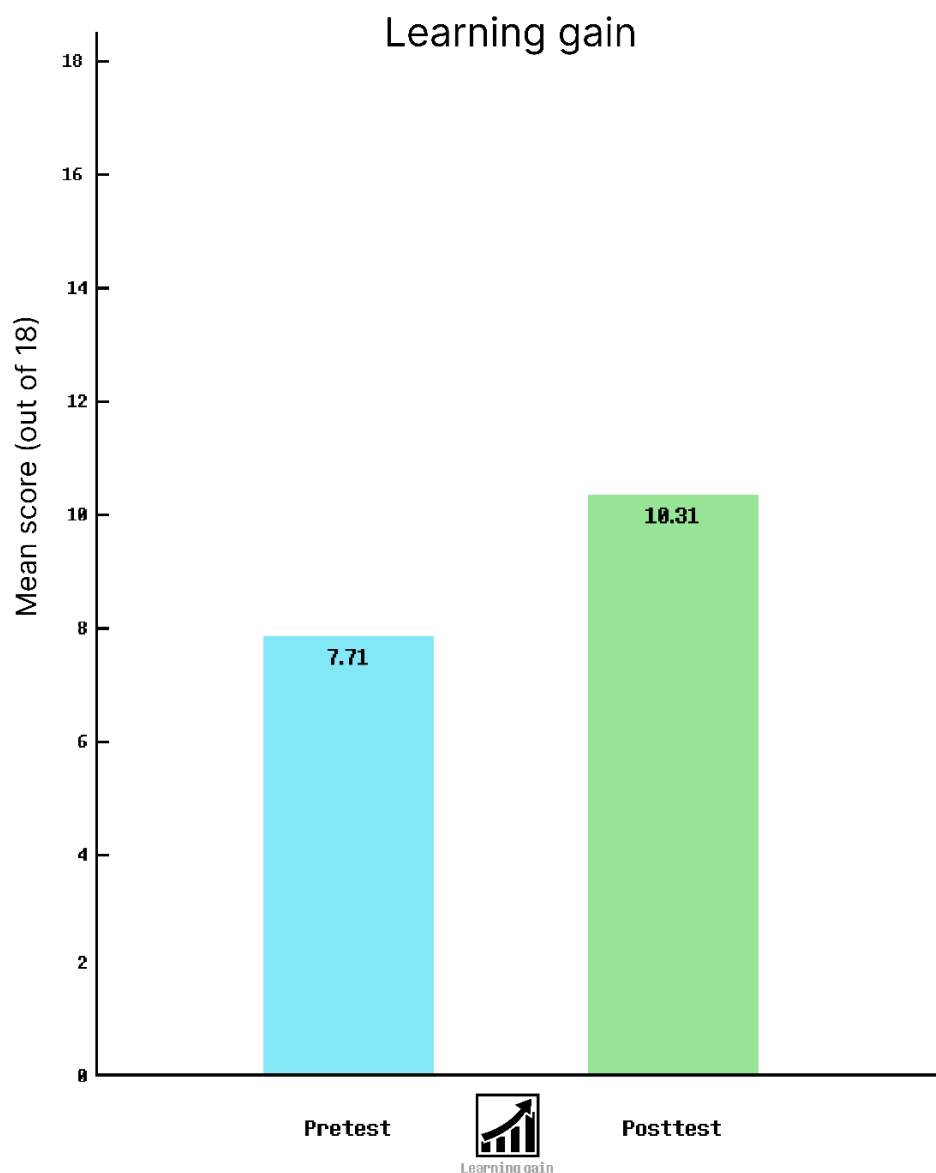
Figuur 3. Gemiddelde evaluatie van de subjectieve leereffectiviteit van de game door de deelnemende leerlingen.

3.3 Leereffectiviteit: leerwinst

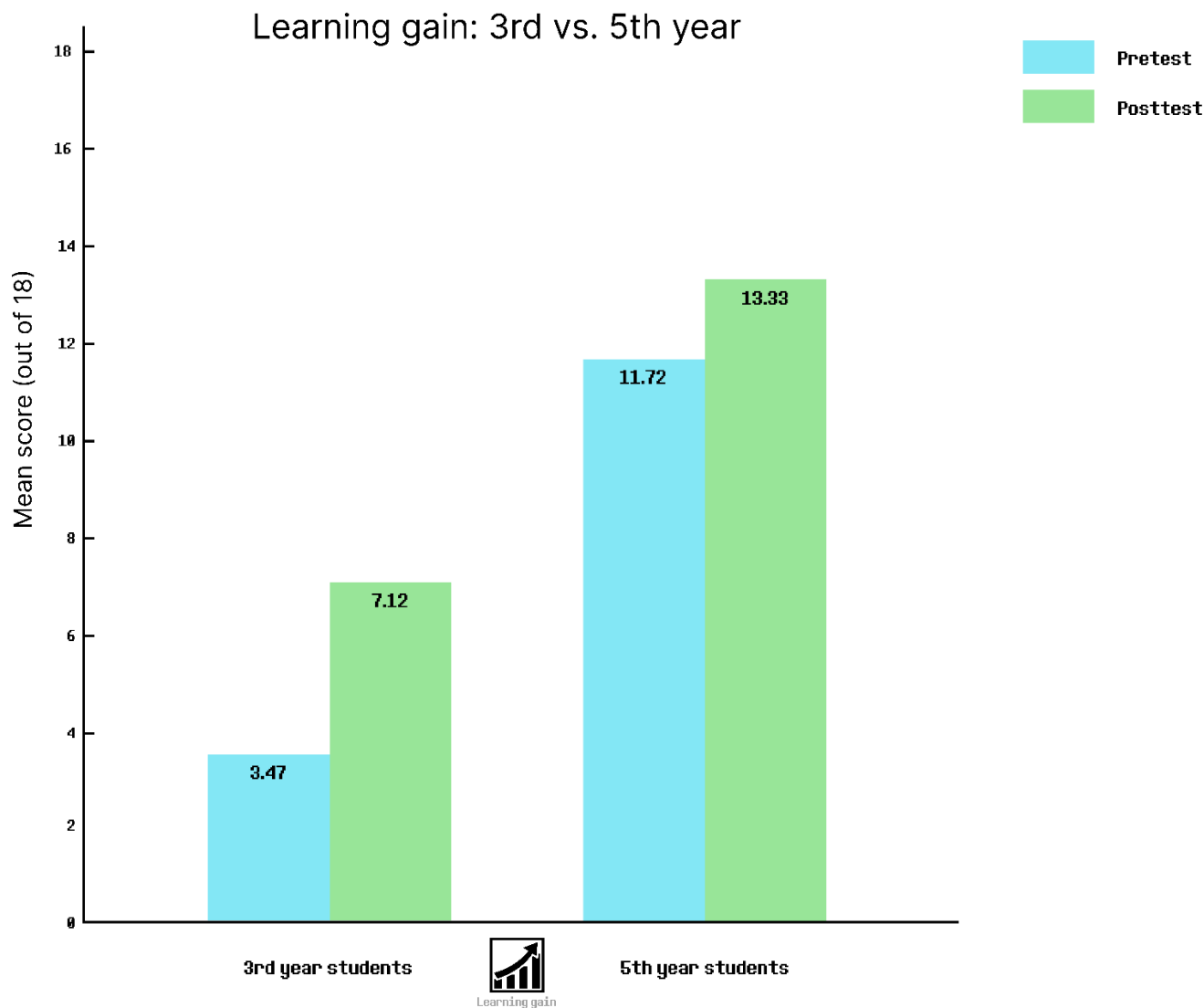
Een *repeated measures ANOVA* met de vergelijking tussen pretest en posttest als *within-subjects factor* en leerjaar als *between-subjects factor* werd uitgevoerd om het effect van de interventie (de Minelabs game) op de algemene leerwinst van de leerlingen met betrekking tot covalente bindingen te evalueren. **De resultaten tonen een significante leerwinst na het spelen van de game** (zie *Figuur 4*). De scores op een schriftelijke kennistest over het onderwerp (gescoord op 18 punten) stegen significant van **7.71** ($SD = 4.88$) op 18 in de pretest naar **10.31** ($SD = 4.24$) op 18 in de posttest, $F(1, 34) = 29.75$, $p < .001$, $\eta^2 = .47$. Hoewel er variabiliteit in de scores van leerlingen werd waargenomen (de standaarddeviatie of SD), waarschijnlijk door verschillen in bestaande voorkennis en het feit dat de leerlingen uit verschillende leerjaren kwamen, was de effectgrootte van de interventie zeer groot, wat wijst op een **zeer sterke impact**.

Daarnaast toonden de resultaten een **significante interactie tussen leerwinst en het leerjaar waarin de leerlingen zich bevonden**, $F(1, 34) = 5.11$, $p = .031$, $\eta^2 = .134$ (zie *Figuur 5*). Dit betekent dat de leerwinst varieerde tussen leerlingen uit het 3^{de} leerjaar secundair onderwijs (die eerder nog geen les kregen over covalente bindingen) en het 5^{de} leerjaar secundair onderwijs (die al wel over het lesonderwerp leerden in de klas). Daarnaast bleek er een **significant hoofdeffect te zijn van het leerjaar op de gemiddelde leerwinstscores**, $F(1, 34) = 81.05$, $p < .001$, $\eta^2 = .711$, wat erop wijst dat leerlingen uit het 5^{de} leerjaar secundair onderwijs in het algemeen hogere leerwinstscores behaalden dan leerlingen uit het 3^{de} leerjaar secundair onderwijs, ongeacht het tijdstip van de test.

Concreet stellen we vast dat de gemiddelde leerresultaten van leerlingen uit het **5^{de} leerjaar** secundair onderwijs stegen van **11.72** ($SD = 2.47$) op 18 in de pretest naar **13.33** ($SD = 2.40$) op 18 in de posttest. Deze groep begon dus met een hoger kennisniveau en verbeterde licht, waarbij de spreiding in de scores afnam. De gemiddelde scores van leerlingen uit het **3^{de} leerjaar** stegen daarentegen van **3.47** ($SD = 2.65$) op 18 in de pretest naar **7.12** ($SD = 3.31$) op 18 in de posttest. Deze leerlingen begonnen dus met lage en zeer variabele voorkennis en boekten gemiddeld een grotere relatieve vooruitgang, maar met meer variatie in hoeveel elke leerling leerde. **Deze bevindingen suggereren dat voorkennis een belangrijke rol speelt bij leren via games.** De 5^{de}-jaars begonnen sterker en de game bood een aanvullend leereffect. De 3^{de}-jaars begonnen zwak, en voor sommigen was de game zeer effectief, terwijl anderen mogelijk nog extra ondersteuning nodig hadden.



Figuur 4. Grote en significante leerwinst door gebruik van de educatieve game Minelabs.



Figuur 5. Een vergelijking van de leerwinst bij leerlingen het 3^{de} versus het 5^{de} leerjaar secundair onderwijs.

3.4 Leereffectiviteit: leerwinst opgesplitst naar type kennisvragen in de toets

Naast de algemene effecten van de Minelabs-game op het leerrendement van de leerlingen, onderzochten we ook de **leerwinst op basis van de verschillende niveaus van kennis, zoals gedefinieerd door de gereviseerde Bloom Taxonomie** (Anderson & Krathwohl, 2001): onthouden, begrijpen, toepassen, analyseren, evalueren en creëren. Voor elk van deze niveaus werden er 3 vragen opgenomen in de kennistest, telkens gescoord op 3 punten. De resultaten van *repeated measures ANOVAs* met de vergelijking tussen pretest en posttest als *within-subjects factor* en leerjaar als *between-subjects factor* worden hieronder beschreven.

3.4.1 Onthouden

Er was eerst en vooral een **grote en significante verbetering** in scores voor toetsvragen gerelateerd aan het **onthouden** van het lesonderwerp, van pretest ($M = 1.37$, $SD = 1.17$) naar posttest ($M = 1.9$, $SD = 1.00$), $F(1, 34) = 6.73$, $p = .014$, $\eta p^2 = .165$. Dit toont aan dat de Minelabs game de mogelijkheid van leerlingen om relevante concepten te herinneren aanzienlijk heeft verbeterd. Daarnaast was de interactie tussen leerjaar en verbetering in onthouden ook significant, $F(1, 33) = 6.61$, $p = .015$, $\eta p^2 = .167$, wat aangeeft dat het effect verschilde tussen de leerjaren. Verder bleek er een significant hoofdeffect van leerjaar, waarbij leerlingen uit

het 5^{de} leerjaar over het algemeen hogere prestaties lieten zien op het gebied van onthouden dan leerlingen uit het 3^{de} leerjaar, $F(1, 33) = 50.10$, $p < .001$, $\eta p^2 = .603$.

Samengevat tonen de resultaten een **verschillend patroon tussen beide leerjaren**. Leerlingen uit het 3^{de} leerjaar secundair onderwijs begonnen met een lagere gemiddelde score van .41 ($SD = .62$) op 3 in de pretest, maar lieten een grotere relatieve verbetering zien in de posttest, waar hun gemiddelde score steeg naar 1.41 ($SD = 1.00$) op 3. Dit wijst erop dat deze groep, ondanks hun aanvankelijk beperkte voorkennis, substantieel vooruitgang na de interventie. Leerlingen uit het 5^{de} leerjaar secundair onderwijs daarentegen startten met een aanzienlijk hogere gemiddelde score van 2.28 ($SD = .76$) op 3 in de pretest. Hun leerwinst was echter minimaal, aangezien de gemiddelde score in de posttest slechts licht steeg naar 2.33 ($SD = .77$) op 3. Dit suggereert dat de game mogelijk minder impact had op leerlingen die al een hoger initieel kennisniveau hadden.

3.4.2 Begrijpen

Er was ook een **zeer grote en significante verbetering** in scores voor toetsvragen gerelateerd aan het **begrijpen** van het lesonderwerp, van pretest ($M = 1.74$, $SD = .89$) naar posttest ($M = 2.20$, $SD = .72$), $F(1, 34) = 13.31$, $p < .001$, $\eta p^2 = .281$. Dit laat zien dat het begrip van covalente bindingen bij de leerlingen verbeterde door de interventie. Er was geen significante interactie met leerjaar voor begrijpen, $F(1, 33) = .31$, $p = .583$, wat suggereert dat beide leerjaren vergelijkbare verbeteringen doormaakten in termen van begrip. Daarnaast was er een significant hoofdeffect van leerjaar, waarbij leerlingen uit het 5^{de} leerjaar over het algemeen hogere scores lieten zien op het gebied van begrijpen dan leerlingen uit het 3^{de} leerjaar, $F(1, 33) = 10.24$, $p = .003$, $\eta p^2 = .237$. In het 3^{de} leerjaar stegen de gemiddelde scores van 1.35 ($SD = .86$) op 3 naar 1.88 ($SD = .78$) op 3; in het 5^{de} leerjaar stegen de gemiddelde scores van 2.11 ($SD = .76$) op 3 naar 2.50 ($SD = .51$) op 3.

3.4.3 Toepassen

Voor toetsvragen waarbij leerlingen kennis van het lesonderwerp **toepassen**, was de **verbetering zeer groot en significant**, $F(1, 34) = 16.68$, $p < .001$, $\eta p^2 = .329$. De game hielp effectief bij het toepassen van kennis over covalente bindingen tussen pretest ($M = 1.06$, $SD = 1.00$) en posttest ($M = 1.74$, $SD = 1.07$). Er was geen significante interactie tussen het leerjaar en verbetering in toepassen, $F(1, 33) = .21$, $p = .654$, $\eta p^2 = .006$, wat betekent dat beide leerjaren evenveel vooruitgang boekten op dit gebied. Daarnaast was er een significant hoofdeffect van het leerjaar, waarbij leerlingen uit het 5^{de} leerjaar over het algemeen hogere prestaties lieten zien op het gebied van toepassen dan leerlingen uit het 3^{de} leerjaar, $F(1, 33) = 36.25$, $p < .001$, $\eta p^2 = .523$. In het 3^{de} leerjaar stegen de gemiddelde scores concreet van .35 ($SD = .61$) op 3 naar 1.12 ($SD = .99$) op 3; in het 5^{de} leerjaar stegen de gemiddelde scores van 1.72 ($SD = .83$) op 3 naar 2.33 ($SD = .77$) op 3.

3.4.4 Analyseren

Er was ook een **zeer grote en significante verbetering** in het **analyseren** van kennis van het lesonderwerp tussen de pretest ($M = 1.89$, $SD = 1.18$) en posttest ($M = 2.31$, $SD = .99$), $F(1, 34) = 10.63$, $p = .003$, $\eta p^2 = .238$. De interactie met leerjaar was ook significant, $F(1, 33) = 7.32$, $p = .011$, $\eta p^2 = .182$, wat aangeeft dat de verbeteringen in analysevaardigheden varieerden per leerjaar. Verder bleek er een significant hoofdeffect van het leerjaar, waarbij leerlingen uit het 5^{de} leerjaar over het algemeen hogere prestaties lieten zien op het gebied van analyseren dan leerlingen uit het 3^{de} leerjaar, $F(1, 33) = 42.51$, $p < .001$, $\eta p^2 = .563$.

Samengevat zien we een **duidelijk verschil in leerwinst tussen beide leerjaren voor analyseren**. Leerlingen uit het 3^{de} leerjaar vertoonden een grotere verbetering, waarbij hun gemiddelde score steeg van .94 ($SD = .97$) op 3 in de pretest naar 1.71 ($SD = 1.10$) op 3 in de posttest. Dit is waarschijnlijk te verklaren door hun lagere initiële voorkennis, waardoor er meer ruimte was voor vooruitgang na de interventie. In het 5^{de} leerjaar presteerden de leerlingen voorafgaand aan de game beter, met een gemiddelde pretestscore van 2.78 ($SD = 0.43$) op 3. Hun vooruitgang was echter minimaal, aangezien de gemiddelde score in de posttest

slechts licht steeg naar 2.89 ($SD = .32$) op 3. Dit suggereert dat de game voor analyseren minder effect had op leerlingen die al over een hoog kennisniveau beschikten.

3.4.5 Evalueren

De verbetering in score op toetsvragen waarbij leerlingen kennis **evalueren** was over het algemeen **niet statistisch significant**, $F(1, 34) = 3.19$, $p = .083$, $\eta^2 = .086$, wat aangeeft dat de game niet leidde tot een merkbare vooruitgang in evaluatievaardigheden bij de leerlingen, met gemiddelde scores van 1.43 ($SD = 1.24$) in de pretest en 1.69 ($SD = 1.16$) in de posttest. Er was wel een significante interactie met leerjaar, $F(1, 33) = 5.68$, $p = .023$, $\eta^2 = .147$. Er werd ook een significant hoofdeffect gevonden van leerjaar, leerlingen uit het 5^{de} leerjaar over het algemeen hogere prestaties lieten zien op het gebied van evalueren dan leerlingen uit het 3^{de} leerjaar, $F(1, 33) = 41.75$, $p < .001$, $\eta^2 = .559$. Concreet waren de gemiddelde scores van de leerlingen uit het 3^{de} leerjaar .41 ($SD = .71$) op 3 in de pretest en 1.00 ($SD = 1.12$) op 3 in de posttest; en voor de leerlingen uit het 5^{de} leerjaar waren de gemiddelde scores 2.39 ($SD = .78$) op 3 in de pretest en 2.33 ($SD = .77$) op 3 in de posttest.

Deze resultaten suggereren dat hoewel de game niet leidde tot een algemene verbetering in evaluatievaardigheden, **de impact** ervan **verschilde per leerjaar**. Leerlingen uit het 3^{de} leerjaar boekten relatief meer vooruitgang, mogelijk omdat zij oorspronkelijk minder ervaring hadden met evalueren en dus meer te winnen hadden. Leerlingen uit het 5^{de} leerjaar daarentegen behaalden al hogere scores in de pretest, waardoor er minder ruimte voor verbetering was.

3.4.6 Creëren

Voor de toetsvragen die bij leerlingen nieuwe kennis moesten **creëren**, was de verbetering eveneens **niet significant**, $F(1, 34) = 3.47$, $p = .071$, $\eta^2 = .093$, wat betekent dat de game de creatieve en probleemoplossende vermogens van leerlingen met betrekking tot covalente bindingen niet substantieel verbeterde in de pretest ($M = .23$, $SD = .55$) versus de posttest ($M = .49$, $SD = .85$). De interactie met het leerjaar was ook niet significant, $F(1, 33) = 3.52$, $p = .070$, $\eta^2 = .096$. Er was wel een significant hoofdeffect van het leerjaar, waarbij leerlingen uit het 5^{de} leerjaar over het algemeen hogere prestaties lieten zien op het gebied van creëren dan leerlingen uit het 3^{de} leerjaar, $F(1, 33) = 18.38$, $p < .001$, $\eta^2 = .358$. Gemiddeld scoorden leerlingen uit het 3^{de} leerjaar .00 ($SD = .00$) in de pretest en .00 ($SD = .00$) in de posttest; en leerlingen uit het 5^{de} leerjaar scoorden gemiddeld .44 ($SD = .70$) in de pretest en .94 ($SD = 1.00$) in de posttest.

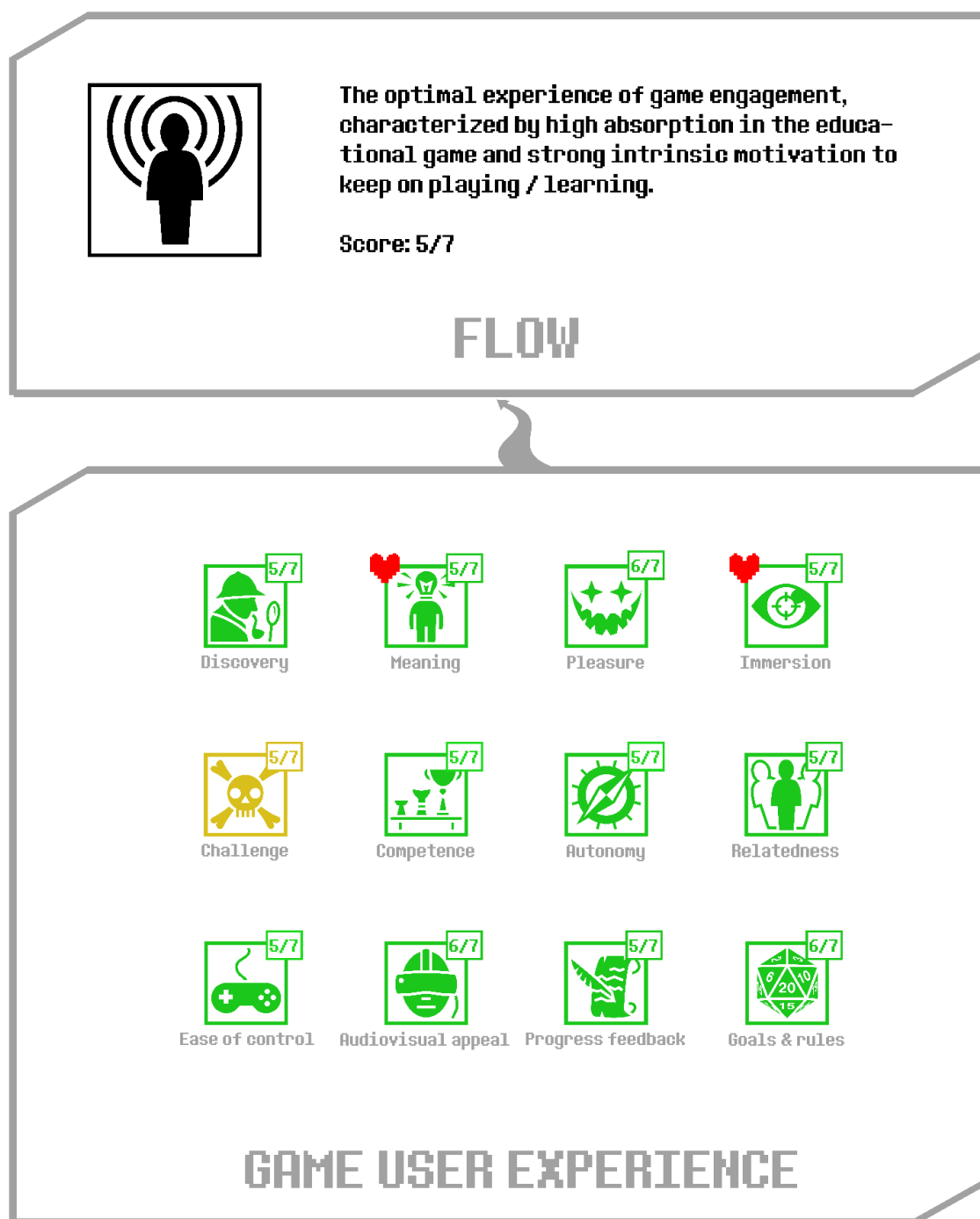
3.5 Relaties tussen leereffectiviteit en game-gebruikerservaring

Om te kunnen onderzoeken hoe de game-gebruikerservaring en leereffectiviteit van Minelabs zich tot elkaar verhouden, bekeken we ook de relaties tussen de verschillende variabelen in meer detail aan de hand van correlatie- en regressieanalyses.

3.5.1 Flow

Daarentegen hangen verschillende dimensies van de game-gebruikerservaring wel significant samen met de **subjectieve leereffecten** van leereffectiviteit. Voor **flow** (zie *Figuur 6*) tonen **correlatieanalyses** sterke tot zeer sterke positieve en significante relaties met betekenisgeving ($r = .858$, $p < .001$), plezier ($r = .849$, $p < .001$), gebruiksgemak ($r = .825$, $p < .001$), doelen en regels ($r = .795$, $p < .001$), competentie ($r = .798$, $p < .001$), immersie ($r = .788$, $p < .001$), ontdekking ($r = .785$, $p < .001$), voortgangsfeedback ($r = .762$, $p < .001$), audiovisuele aantrekkingskracht ($r = .752$, $p < .001$), autonomie ($r = .736$, $p < .001$) en sociale verbondenheid ($r = .550$, $p < .001$). Daarnaast zien we een matige, positieve en significante relatie met uitdaging ($r = .400$, $p = .017$).

We voerden vervolgens een **stapsgewijze regressieanalyse** uit om te onderzoeken welke variabelen van de game-gebruikerservaring flow effectief voorspellen (en dus de meeste impact hebben op deze leeruitkomst). Twee variabelen werden geïdentificeerd als significante voorspellers: betekenisgeving en immersie. In het eerste model voorspelde betekenisgeving flow significant, $R^2 = .74$, $F(1, 33) = 92.48$, $p < .001$, $B = .812$, $SE = .084$, $t(33) = 9.62$, $p < .001$. Het toevoegen van immersie leidde tot een significante verbetering, $\Delta R^2 = .06$, $F(1, 32) = 9.04$, $p = .005$. Het volledige model was significant, $R^2 = .80$, $F(2, 32) = 62.02$, $p < .001$, met significante bijdragen van zowel betekenisgeving ($B = .573$, $SE = .110$, $t(32) = 5.22$, $p < .001$) als immersie ($B = .308$, $SE = .102$, $t(32) = 3.01$, $p = .005$). Samen verklaarden betekenisgeving en immersie 80% van de variantie in flow ($R^2 = .80$). Dit suggereert dat **flow vooral wordt beïnvloed door de mate waarin leerlingen de game als betekenisvol ervaren en zich erin ondergedompeld voelen**.



Figuur 6. Relaties tussen flow en de dimensies van game-gebruikerservaring.

Groen: (zeer) sterk significante relatie. Geel: matig significante relatie.

Een rood hart duidt aan of een element flow effectief voorspelt.

3.5.2 Attitude

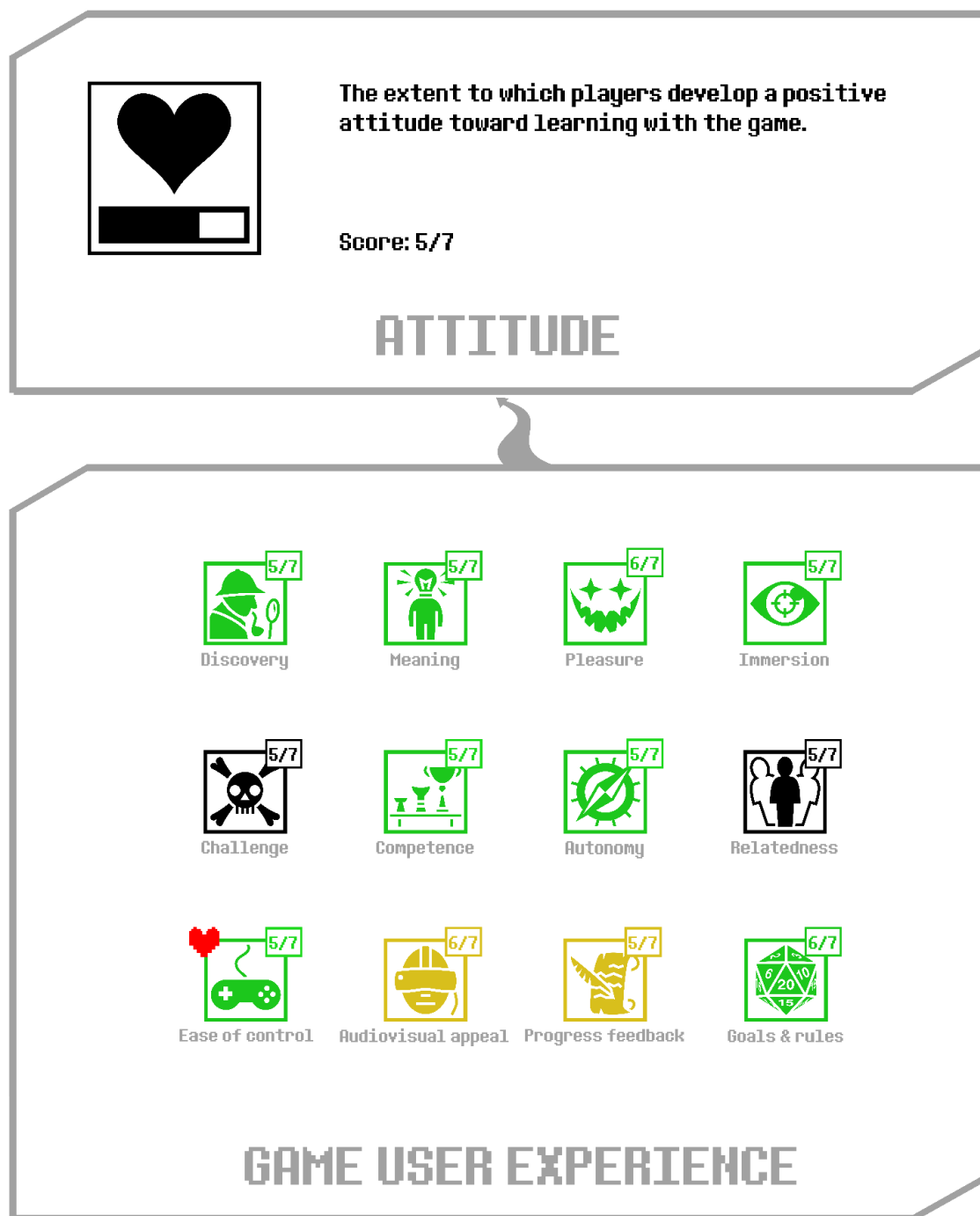
Wat betreft **attitude** ten opzichte van leren met de game (zie *Figuur 7*), tonen de correlatieanalyses sterke positieve en significante relaties met gebruiksgemak ($r = .688, p < .001$), betekenisgeving ($r = .665, p < .001$), autonomie ($r = .640, p < .001$), plezier ($r = .636, p < .001$), competentie ($r = .615, p < .001$), ontdekking ($r = .544, p < .001$), doelen en regels ($r = .519, p < .001$) en immersie ($r = .514, p = .002$). Ook zien we matig positieve, significante relaties met audiovisuele aantrekkingskracht ($r = .451, p = .007$) en voortgangsfeedback ($r = .433, p = .009$). De relaties met uitdaging ($r = .182, p = .295$) en sociale verbondenheid ($r = .111, p = .524$) zijn echter zwak en niet significant.

Aan de hand van een **stapsgewijze regressieanalyse** werd één variabele geïdentificeerd als significante voorspeller van attitude ten opzichte van leren met de game, namelijk gebruiksgemak. Het model met gebruiksgemak als voorspeller was significant, $R^2 = .47, F(1, 33) = 29.68, p < .001$. Gebruiksgemak had een significante positieve bijdrage, $B = .616, SE = .113, t(33) = 5.45, p < .001$. Dit betekent dat 47% van de variantie in attitude ten opzichte van leren met Minelabs kan worden verklaard door gebruiksgemak. Dit suggereert dat **leerlingen een positievere houding ten opzichte van leren met Minelabs hebben wanneer ze de game als intuïtief en eenvoudig te bedienen ervaren.**

3.5.3 Gepercipieerd leren

Wat betreft **gepercipieerd leren** (zie *Figuur 8*) tonen de correlatieanalyses sterke tot zeer sterke positieve en significante relaties met betekenisgeving ($r = .838, p < .001$), doelen en regels ($r = .827, p < .001$), gebruiksgemak ($r = .818, p < .001$), voortgangsfeedback ($r = .812, p < .001$), plezier ($r = .799, p < .001$), autonomie ($r = .771, p < .001$), ontdekking ($r = .728, p < .001$), audiovisuele aantrekkingskracht ($r = .685, p < .001$), competentie ($r = .677, p < .001$) immersie ($r = .646, p < .001$). Daarnaast zien we een matige, positieve en significante relatie met sociale verbondenheid ($r = .493, p = .003$) en uitdaging ($r = .393, p = .020$).

We voerden wederom een **stapsgewijze regressieanalyse** uit om te onderzoeken welke spelervaring en spelbetrokkenheid variabelen gepercipieerd leren het best voorspellen. Twee significante voorspellers werden geïdentificeerd: betekenisgeving en voortgangsfeedback. In het eerste model werd alleen betekenisgeving opgenomen als voorspeller, wat resulteerde in een significant model, $R^2 = .70, F(1, 33) = 77.92, p < .001$. De bijdrage van betekenisgeving was significant, $B = .900, SE = .102, t(33) = 8.83, p < .001$. In het tweede model werd voortgangsfeedback toegevoegd, wat leidde tot een significante verbetering van het model, $\Delta R^2 = .05, F(1, 32) = 6.49, p = .016$. Het volledige model was significant, $R^2 = .75, F(2, 32) = 48.68, p < .001$. De bijdragen van zowel betekenisgeving ($B = .565, SE = .152, t(32) = 3.49, p = .001$) als voortgangsfeedback ($B = .437, SE = .172, t(32) = 2.55, p = .016$) waren significant. Samen verklaarden betekenisgeving en voortgangsfeedback 75% van de variantie in gepercipieerd leren ($R^2 = .75$). Dit suggereert dat **leerlingen hun leerervaring in de game vooral baseren op hoe betekenisvol ze de game vinden en hoe effectief de feedback over hun voortgang is.**



Figuur 7. Relaties tussen attitude en de dimensies van game-gebruikerservaring.

Groen: (zeer) sterk significante relatie. Geel: matig significante relatie. Zwart: geen significante relatie.

Een rood hart duidt aan of een element attitude effectief voorspelt.



The extent to which players think they learned something by playing the game.

Score: 5/7

PERCEIVED LEARNING



Discovery



Meaning



Pleasure



Immersion



Challenge



Competence



Autonomy



Relatedness



Ease of control



Audiovisual appeal



Progress feedback



Goals & rules

GAME USER EXPERIENCE

Figuur 8. Relaties tussen gepercipieerd leren en de dimensies van game-gebruikerservaring.

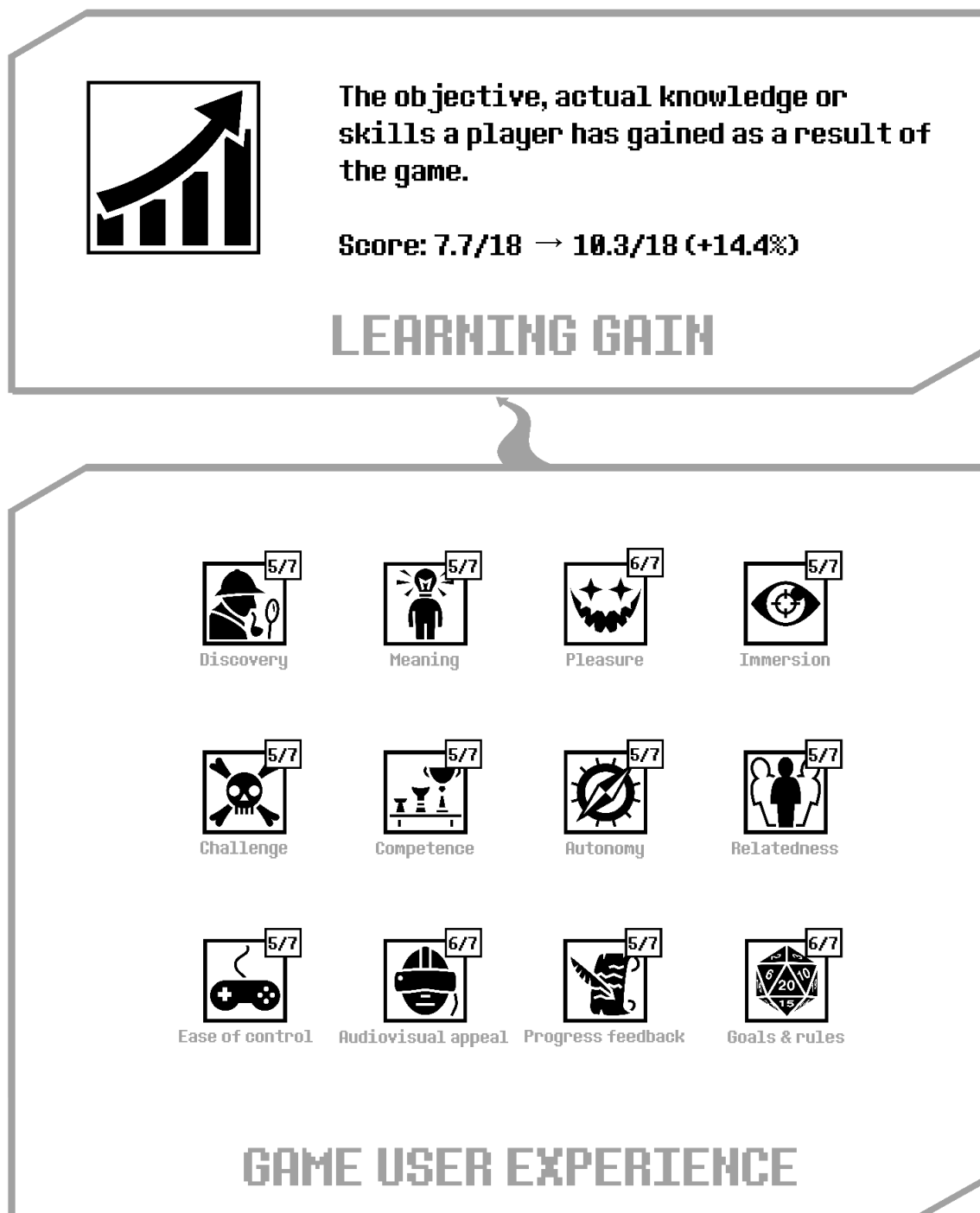
Groen: (zeer) sterk significante relatie. Geel: matig significante relatie.

Een rood hart duidt aan of een element gepercipieerd leren effectief voorspelt.

3.5.4 Leerwinst

De **correlatieanalyses** laten verrassend genoeg zien dat de elementen van de game-gebruikerservaring nauwelijks samenhangen met **leerwinst**, en dat deze verbanden niet significant zijn (zie *Figuur 9*).

Daarnaast blijkt ook dat leerwinst - als objectief gemeten leereffect - geen significante correlaties vertoont met subjectieve leereffecten zoals flow, gepercipieerd leren en attitude ten opzichte van leren met de game.



Figuur 9. Relaties tussen leerwinst en de dimensies van game-gebruikerservaring.

Zwart: geen significante relatie.

4 Discussie

In deze casestudie werd de educatieve meerwaarde van *Minelabs* onderzocht: een wetenschappelijke uitbreiding op de *Minecraft*-game die speciaal is ontworpen om leerlingen uit het secundair onderwijs te helpen bij het leren over fysica en chemie. De effectiviteit van Minelabs werd in kaart gebracht aan de hand van het GLEE (Game-based Learning Experience and Effectiveness) model dat werd ontwikkeld binnen het GLaDoS onderzoeksproject. Dit model structureert de impact van educatieve games op leren via twee niveaus:

1. **Game-gebruikerservaring:** De totale ervaring van spelers die voortkomt uit game design keuzes, omvattend zowel de functionele reacties (zoals gebruiksgemak, voortgangsfeedback en audiovisuele aantrekkingskracht) als de psychosociale reacties (zoals autonomie, immersie en betekenisgeving).
2. **Leereffectiviteit:** de impact van de game op objectieve leerwinst enerzijds en subjectieve leerervaringen zoals flow, gepercipieerd leren en attitude ten opzichte van leren met de game anderzijds.

Door Minelabs te analyseren binnen dit kader kregen we een beter inzicht in de samenhang tussen game design keuzes, game-gebruikerservaring en leeruitkomsten.

4.1 De effectiviteit van Minelabs

Om de effectiviteit van Minelabs te evalueren, werd een **quasi-experimentele studie** uitgevoerd met een **pretest-posttest design**. In totaal namen **38 leerlingen uit het 3^{de} en 5^{de} leerjaar secundair onderwijs** (STEM Wetenschappen) deel aan de studie. De leerlingen speelden de game gedurende één lesuur in de klas, waarbij ze specifiek de Minelabs-wereld rond covalente bindingen (chemie) doorliepen. Hun leerwinst werd objectief gemeten via een kennistest en hun game-gebruikerservaring en subjectieve leerervaringen werden geëvalueerd met betrouwbare en gevalideerde vragenlijsten.

De resultaten tonen aan dat Minelabs effectief bijdraagt aan het verwerven en versterken van kennis over covalente bindingen, met een **grote en sterk significante leerwinst** in testresultaten na slechts één lesuur spelen. Leerlingen uit het derde leerjaar, die nog geen voorkennis hadden, lieten de grootste relatieve vooruitgang zien, terwijl de vijfdejaars, met al bestaande kennis, een meer verfijnde versterking van hun begrip ervoeren. De game bleek bijzonder succesvol in het ondersteunen van basisvaardigheden zoals onthouden en begrijpen, evenals diepere cognitieve processen zoals toepassen en analyseren. Hoewel er geen significante verbetering werd gemeten voor de niveaus evalueren en creëren, biedt dit kansen om de game verder uit te breiden met spelelementen die hogere-orde denkvaardigheden nog sterker stimuleren.

Naast objectieve leerwinst rapporteerden leerlingen ook **positieve subjectieve leereffecten**. Ze ervoeren een matige tot hoge flow (het summum van betrokkenheid en intrinsieke motivatie) tijdens het spelen van de educatieve game, beoordeelden de game als educatief waardevol (gepercipieerd leren), en stonden overwegend positief tegenover het gebruiken van Minelabs als onderwijsmethode in de klas en om te studeren thuis (attitude). Deze bevindingen versterken het idee dat Minelabs niet alleen objectief het leren ondersteunt, maar ook subjectief als een nuttige en motiverende leerervaring wordt gezien.

Tot slot onderzochten we ook de impact van de Minelabs-game op de **game-gebruikerservaring** van de respondenten. Eerst en vooral werden de **functionele elementen** over het algemeen **positief beoordeeld door de leerlingen**, met audiovisuele aantrekkingskracht en duidelijke doelen en regels als sterkste punten. Gebruiksgemak, uitdaging en voortgangsfeedback scoorden eveneens goed, maar met iets meer variatie tussen leerlingen. Dit kan erop wijzen dat sommige spelers behoefte hebben aan extra ondersteuning, bijvoorbeeld door aanpasbare moeilijkheidsgraden of een uitgebreidere tutorial. De consistent hoge scores suggereren echter dat de game over het algemeen effectief is in het ondersteunen van een prettige en begrijpelijke spelervaring.

Verder tonen de resultaten aan dat Minelabs **vooral positieve psychosociale reacties** opwekte, met plezier als sterkste dimensie, gevolgd door autonomie, betekenisgeving en ontdekking. De perceptie van competentie was eveneens redelijk positief, maar immersie en sociale verbondenheid scoorden lager. De relatief lage immersiescore suggereert dat de game niet volledig meeslepend was, mogelijk door een gebrek aan verhalende elementen of de klascontext waarin gespeeld werd. De lage score voor sociale verbondenheid kan worden toegeschreven aan het individuele karakter van de gameplay, ondanks de mogelijkheid om samen te werken.

4.2 Relatie tussen game-gebruikerservaring en leereffectiviteit

De casestudie toont eveneens dat game-gebruikerservaring en leereffectiviteit op verschillende manieren met elkaar samenhangen in de Minelabs-context. Zo speelden bepaalde aspecten van game-gebruikerservaring een belangrijke rol in **subjectieve leereffecten** zoals flow, gepercipieerd leren en attitude ten opzichte van leren met de game.

Flow werd voornamelijk voorspeld door betekenisgeving en immersie. Dit suggereert dat spelers die de game als inhoudelijk waardevol beschouwen en zich dieper ondergedompeld voelen in de spelomgeving, een hogere mate van flow ervaren. Dit benadrukt het belang van een zinvolle leercontext en meeslepende spelelementen om een optimale leerervaring te creëren.

Gepercipieerd leren werd het sterkst beïnvloed door betekenisgeving en voortgangsfeedback. Met andere woorden, leerlingen die het gevoel hadden dat de game relevante leerinhoud bood en die duidelijke feedback kregen over hun voortgang, rapporteerden een hogere leerwinst. Dit onderstreept hoe belangrijk het is dat educatieve games niet alleen motiveren, maar ook transparante en effectieve leermomenten integreren.

Attitude ten opzichte van leren met de game werd vooral voorspeld door gebruiksgemak. Dit betekent dat leerlingen die de game als intuïtief en eenvoudig te bedienen ervaarren, een positievere houding hadden ten opzichte van het gebruik van Minelabs als educatief leermiddel. Dit benadrukt de noodzaak van een laagdrempelig en gebruiksvriendelijk design om de acceptatie van game-based learning in het onderwijs te vergroten.

Een opvallende bevinding was echter dat de **elementen van de game-gebruikerservaring slechts zwak en niet significant samenhangen met objectieve leerwinst**. Dit betekent dat leerlingen die de game als plezierig, meeslepend of motiverend ervaarren niet per se beter scoorden op de kennistest. Hoewel de game duidelijk als aantrekkelijk en *engaging* werd ervaren, leidde dit niet automatisch tot een meetbare verbetering in kennisverwerving.

4.2.1 Implicaties

Een mogelijke verklaring hiervoor is dat **functionele ervaringselementen** zoals gebruiksgemak en voortgangsfeedback weliswaar bijdragen aan een vlotte en intuïtieve speelervaring, maar **niet noodzakelijk leiden tot diepgaand leren**. Het feit dat een game gemakkelijk te bedienen is en duidelijke feedback biedt, zorgt ervoor dat leerlingen efficiënt door het spel navigeren, maar dit betekent niet automatisch dat de cognitieve verwerking van de leerinhoud wordt geoptimaliseerd.

Daarnaast kunnen **psychosociale ervaringselementen zich eerder richten op de gameplay dan op het leerproces**. Leerlingen die volledig opgingen in de game, konden hun aandacht mogelijk meer richten op het behalen van speldoelen of het voltooien van opdrachten, zonder zich noodzakelijkerwijs bewust bezig te houden met de leerinhoud. Wanneer de focus voornamelijk ligt op het winnen of verder komen in de game, kan dit ten koste gaan van de bewuste verwerking van de educatieve inhoud.

Verder bleek ook dat **subjectieve leereffecten eerder zwak en niet significant samenhangen met objectieve leerresultaten**. Hoewel veel leerlingen aangaven dat ze het gevoel hadden iets geleerd te hebben, werd dit niet altijd weerspiegeld in een significante verbetering van hun testresultaten. Dit wijst erop dat de perceptie van leerwinst en de daadwerkelijke kennisopbouw niet altijd gelijklopen, en dat sommige spelelementen wellicht de indruk wekken van leren zonder dat dit zich volledig vertaalt in objectieve leerwinst.

Deze bevinding onderstreept **het belang van een sterke integratie tussen spelmechanieken en leerdoelen**. Om de educatieve impact van Minelabs verder te versterken, kan toekomstige ontwikkeling zich richten op het nog explicieter koppelen van spelinteracties aan leerinhoud. Dit kan bijvoorbeeld door meer *scaffolding*-mechanismen te integreren, waarbij leerlingen stapsgewijs ondersteund worden in het verwerken van de leerstof, of door complexere en diepgaandere opdrachten toe te voegen die hogere-orde denkvaardigheden stimuleren. Door deze elementen te versterken, kan de balans tussen spelplezier en effectieve kennisopbouw verder geoptimaliseerd worden.

4.2.2 Vervolgonderzoek

Een **alternatieve verklaring** voor het uitblijven van significante relaties tussen leerwinst en de andere variabelen zou kunnen liggen in de **gebruikte meetmethoden**. In deze studie werd leerwinst gemeten via een kennistest, terwijl game-gebruikerservaring en subjectieve leereffecten voornamelijk via **zelfrapportagevragenlijsten** werden geëvalueerd. Hoewel deze methoden waardevolle inzichten bieden, zijn ze mogelijk niet voldoende om de onderliggende cognitieve processen die tijdens het spelen plaatsvinden volledig in kaart te brengen. Vragenlijsten meten vooral bewuste percepties van spelers, terwijl leerprocessen en spelinteractie zich vaak op een impliciet niveau afspelen. Dit kan verklaren waarom leerlingen het gevoel hadden iets geleerd te hebben, zonder dat dit direct tot uiting kwam in hun testresultaten.

Een belangrijke kracht van Minelabs ligt bijvoorbeeld in het herhaald experimenteren en visualiseren, waarbij leerlingen spelenderwijs concepten verkennen en toepassen. Dit komt in de vragenlijsten tot uiting via variabelen zoals nieuwsgierigheid, autonomie en voortgangsfeedback, maar het daadwerkelijke proces waarmee deze leerervaring tot stand komt, blijft grotendeels onderbelicht. Zo weten we bijvoorbeeld niet hoeveel oefeningen de leerlingen voltooiden in de game, hoeveel fouten ze maakten voordat ze tot een correcte oplossing kwamen, welke strategieën ze hanteerden tijdens het spelen, enzovoort.

Om deze beperkingen te overkomen, kunnen **game analytics, eyetracking en psychofysiologische metingen** in toekomstig onderzoek worden ingezet om een rijker en objectiever beeld van de leerervaring te verkrijgen. Game analytics kunnen helpen om spelgedrag en interactiepatronen te analyseren, zoals hoeveel oefeningen leerlingen in de game voltooien, hoe vaak ze correct of fout antwoorden, en hoe lang ze over specifieke taken doen. Eyetracking-technologie kan in kaart brengen waar leerlingen hun aandacht op richten, welke visuele elementen van de game hen het meest aanspreken en of ze bepaalde informatie efficiënt verwerken. Daarnaast kunnen psychofysiologische metingen, zoals huidgeleiding en hartslagvariabiliteit, inzicht bieden in emotionele betrokkenheid, stress en cognitieve belasting tijdens het spelen.

Door deze methoden te combineren met traditionele metingen zoals kennistesten en vragenlijsten, kan toekomstig onderzoek niet alleen nagaan wat leerlingen van een educatieve game vinden en wat ze leren, maar ook hoe ze het leren daadwerkelijk ervaren en verwerken. Dit kan helpen om beter te begrijpen welke spelelementen de meest impactvolle leerervaringen ondersteunen, en hoe de balans tussen spelplezier en leereffectiviteit verder geoptimaliseerd kan worden.

5 Contactinformatie en dankwoord

Voor meer informatie over het onderzoek, kan je contact opnemen met projectverantwoordelijke [Dr. Laura Herrewijn](#) (laura.herrewijn@ap.be).

Betrokken experts: [Yasmine Wauthier](#), [Florian Stigter Van Thillo](#) en [Ellen De Bruyne](#).

Onderzoekscoördinatoren: [Dr. Gert Vanthournout](#) (Kenniscentrum [Onderzoek Levenslang Leren en Innoveren](#)), [Dr. Veerle Van Assche](#) (Kenniscentrum [Media, Design en IT](#))

Met dank aan de directie en de deelnemende leerkrachten en leerlingen van PITO Stabroek en PiusX!

Met dank aan Bert Jorissen, Ine Arts, Maja Verstraeten, Pierre Franck, Joey De Pauw, Dante De Koning, Randy Paredis en Robbe Nooyens van Minelabs voor de fijne samenwerking!

Minelabs is een Smart Education @ Schools-project uitgevoerd door UAntwerpen, PITO en KLA met steun van de Vlaamse Overheid en IMEC. Wie zelf eens wil proberen of meer informatie wil over de ontwikkelaars of het project, kan terecht op de [Minelabs website](#).

De visualisaties van het GLEE-model werden gemaakt aan de hand van iconen door Lorc, Delapouite & medewerkers via <https://game-icons.net/>, [CC BY 3.0](#).

6 Referenties

- Abeeel, V. V., Spiel, K., Nacke, L., Johnson, D., & Gerling, K. (2020). Development and validation of the player experience inventory: A scale to measure player experiences at the level of functional and psychosocial consequences. *International Journal of Human-Computer Studies*, 135, 102370. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.102370>
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives : abridged edition*. Addison Wesley Longman. <https://eduq.info/xmlui/handle/11515/18345>
- Barzilai, S., & Blau, I. (2014). Scaffolding game-based learning: Impact on learning achievements, perceived learning, and game experiences. *Computers & Education*, 70, 65-79. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.08.003>
- Calleja, G. (2011). *In-Game: From Immersion to Incorporation*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8429.001.0001>
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: the psychology of optimal experience*. Harper & Row.
- Davidson, S. S., Keebler, J. R., Zhang, T., Chaparro, B., Szalma, J., & Frederick, C. M. (2023). The development and validation of a universal enjoyment measure: The enjoy scale. *Current Psychology*, 42(21), 17733-17745. <https://doi.org/10.1007/s12144-022-02967-6>
- Ghani, M. T. A., Hamzah, M., Ramli, S., Ab, W., Daud, A. W., Romli, T. R. M., & Mokhtar, N. N. M. (2019). A Questionnaire-based Approach on Technology Acceptance Model for Mobile Digital Game-Based Learning. 5(14).
- Hodent, C. (2017). *The Gamer's Brain: How Neuroscience and UX Can Impact Video Game Design*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315154725>
- Krath, J., Schürmann, L., & Von Korflesch, H. F. O. (2021). Revealing the theoretical basis of gamification: A systematic review and analysis of theory in research on gamification, serious games and game-based learning. *Computers in Human Behavior*, 125, 106963. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106963>
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Engeser, S. (2019). *FKS - Flow-Kurzskala*. ZPID (Leibniz Institute for Psychology) – Open Test Archive. <https://doi.org/10.23668/PSYCHARCHIVES.4488>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2023). Self-Determination Theory. In F. Maggino (Red.), *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research* (pp. 6229-6235). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17299-1_2630
- Sweetser, P., & Wyeth, P. (2005). GameFlow: A model for evaluating player enjoyment in games. *Computers in Entertainment*, 3(3), 3-3. <https://doi.org/10.1145/1077246.1077253>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.