

# RekenRun MVP1: de emotie-eerst aanpak

*Een evidence-informed exergame voor adaptief rekenleren, emotieregulatie en inclusieve ondersteuning in het mbo*

**Sergio Saman, MEd**

Docent-onderzoeker Practoraat Exergaming & Neurofeedback  
ROC van Amsterdam – Flevoland · April 2026

---

## Abstract

*RekenRun MVP1 is een browsergebaseerde exergame die bewegingsgekoppeld leren integreert met adaptieve emotieregulatie, gedragsdiagnostiek en een drie-traps hintsysteem. Het prototype is ontwikkeld als thin-slice MVP1 voor mbo-studenten Uiterlijke Verzorging en Marketing & Communicatie aan ROC van Amsterdam - Flevoland. De onderliggende ontwerpprincipes zijn schaalbaar naar alle mbo-sectoren.*

*Het systeem integreert vier wetenschappelijke kaders: (1) de Affective-Reflective Theory als psychologische poortwachter, (2) het COM-B gedragsmodel als diagnoser voor leerbelemmeringen, (3) Embodied Cognition als fundament voor bewegingsgekoppelde begripsvorming, en (4) Cognitive Load Theory als architectuurprincipe voor het hintsysteem (Brand & Ekkekakis, 2018; Michie et al., 2011; Nathan & Walkington, 2017; Sweller, 1994).*

*DBR Iteratie 1 richt zich op pedagogische validiteit, technische stabiliteit en gebruiksvriendelijkheid. Kwantitatieve effectmetingen volgen in iteratie 2 en 3. Dit artikel beschrijft de theoretische grondslag, de systeemarchitectuur, de fault-pipeline, de Affect-Engine en de implicaties voor inclusief en schaalbaar rekenleren.*

## 1. Inleiding: bewegen als vertrekpunt voor leren in het mbo

Onderzoek naar rekenproblemen in het mbo laat zien dat een diverse groep studenten moeite heeft met rekentaken: van studenten met een dyscalculieverklaring tot studenten met duidelijke hiaten/achterstanden, vaak in combinatie met een opgebouwde ‘angst-houding’ ten opzichte van rekenen (Groot et al., 2025). Wat cijfers over prestaties niet vanzelf zichtbaar maken, is de affectieve dimensie van het probleem. Studenten rapporteren geregeld weinig tot geen vertrouwen te hebben in hun eigen rekenvermogen en verbinden dit aan negatieve ervaringen in eerdere leerloopbanen—ervaringen die de relatie met rekenen structureel hebben gekleurd. Wat studenten beschrijven is niet zozeer een gebrek aan wilskracht, maar een diepgeworteld gevoel van *dit kan ik toch nooit*, dat vaak al vroeg in de schoolloopbaan is ontstaan.

Deze affectieve dimensie — in de literatuur aangeduid als *rekenangst* — is nauw verbonden met vermijdingsgedrag en verminderde leerprestaties. De gangbare aanpak voor rekenproblemen in het mbo - extra oefenstof, herhaling, examentraining — gaat aan deze laag voorbij. Instructie die wordt aangeboden terwijl een student emotioneel niet ontvankelijk is, bereikt hem of haar minder effectief (Ashcraft & Moore, 2009; Brand & Ekkekakis, 2018; Tyng et al., 2017). RekenRun MVP1 vertrekt vanuit de premisse dat het leerproces pas effectief kan starten als de affectieve toestand van de student dat toelaat.

Beweging speelt in dit ontwerp een dubbele rol: als regulatiemechanisme voor affect en als didactisch instrument voor embodied cognition (Nathan & Walkington, 2017; Alibali & Nathan, 2012). Daarmee is beweging in RekenRun geen gamification-laag, maar een functioneel, evidence-informed onderdeel van de leerdidactiek.

RekenRun MVP1 is initieel ontwikkeld als thin-slice voor mbo-studenten Uiterlijke Verzorging (UV) en Marketing & Communicatie (M&C) aan ROC van Amsterdam - Flevoland. De architectuur, fault-pipeline, Affect-Engine en het hintsysteem zijn echter universeel toepasbaar: elke mbo-sector met authentieke rekencontexten kan als Context Pack worden toegevoegd.

## 2. Didactiek in beweging: RekenRun MVP1

### 2.1 Embodied cognition als fundament

Embodied Cognition is een stroming binnen de cognitieve wetenschap die stelt dat denken niet plaatsvindt in een gesloten brein, maar onlosmakelijk verbonden is met het lichaam en de fysieke omgeving (Wilson, 2002). Kennis is niet puur abstract opgeslagen; ze wordt mede gevormd en geactiveerd door lichamelijke ervaring, zintuiglijke waarneming en motorische actie. Toegepast op rekeneducatie betekent dit dat abstracte wiskundige concepten — zoals verhoudingen, eenheden en procenten — dieper beklijven wanneer ze worden verankerd in fysieke handeling.

Tran et al. (2017) tonen aan dat embodied learning de wiskundige begripsvorming versterkt, zowel digitaal als niet-digitaal. Alibali & Nathan (2012) laten via gebarenstudies zien dat fysieke handelingen de cognitieve belasting verlagen en transfer bevorderen: studenten die concepten *lijfelijk* ervaren, begrijpen beter *waarom* een berekening werkt, niet slechts *hoe*. Way & Ginns (2024) benadrukken dat fysieke ervaring als structurele — niet decoratieve — leercomponent moet worden ingezet. Nathan & Walkington (2017) werken dit uit in hun

GEMC-kader: beweging en taal samen vormen een krachtiger cognitief werktuig dan taal alleen.

In RekenRun is Embodied Cognition op twee niveaus geoperationaliseerd. Het eerste niveau is de walk-gate: de student legt 8 stappen af voordat een nieuw station en de bijbehorende rekenopgave toegankelijk worden. Beweging is hier de structurele drempel tot het leermoment — niet de beloning erna. Het tweede niveau is de EmbodiedEngine: een optionele interactielaag die de student vóór het beantwoorden van de opgave de mogelijkheid geeft om het wiskundige concept lichamelijk te verkennen. Via een "Start beweegoefening"-knop activeert de student een 60 seconden durende gesensoreerde interactie, waarna hij of zij met "Gebruik dit" terugkeert naar de normale vraagflow — met hints en rekenmachine nog steeds beschikbaar. De engine levert geen antwoord op, maar een visuele conceptuele notitie: een lichamelijk verankerde indruk van de relatie die in de opgave besloten ligt.

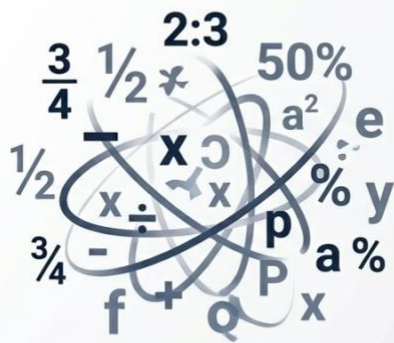
De EmbodiedEngine kent zes taakspecifieke interactiepatronen, gekoppeld aan de vijf CEM-rekendomeinen. Bij meting- en percentageopgaven kantelt de student het apparaat voor- en achterwaarts om een verticale slider aan te passen; de sensorrange van  $-45^\circ$  tot  $+45^\circ$  wordt direct vertaald naar een procentuele waarde, zodat de student de relatie tussen korting en volledig bedrag fysiek voelt. Bij verhoudingsopgaven telt de student tikken of stappen om een schaaldeling op te bouwen. Bij getallenlijnopgaven rolt het apparaat van links naar rechts om een positie te markeren. Bij voorraadopgaven combineert de student tikken met microbewegingen voor visuele feedback. Bij tijdlijnopgaven bepaalt de rotatie van het apparaat een tijdspositie. Bij 2D/3D-oppervlakteopgaven stuurt kanteling de schaling van een visuele vorm.

De EmbodiedEngine bevat een kalibratieproces, dempingsfuncties en een deadzone om ruisgevoelige invoer te voorkomen, en biedt een fallback naar een schermshuifregelaar wanneer sensoren niet beschikbaar zijn of de gebruiker een voorkeur heeft voor beperkte beweging. Toegankelijkheidsopties — waaronder een stille modus en ondersteuning voor gebruikers met beperkte mobiliteit — zijn structureel ingebouwd. Alle interacties worden gelogd (start, stop, kalibratie, gekozen waarde) voor gebruik in de ART-engine en het docentdashboard.

De didactische kracht van deze laag sluit aan bij wat Way & Ginns (2024) de grounding van abstracte concepten noemen: de student ervaart de wiskundige relatie via het eigen lichaam voordat hij of zij een antwoord formuleert. De EmbodiedEngine doet daarmee iets wat geen tekst of illustratie alleen kan: het maakt de structuur van een verhouding, een percentage of een oppervlakte voelbaar. Bovendien vervult de verplichte bewegingstussenstap — zowel via de walk-gate als via de optionele embodied interactie — een affectieve functie: de student heeft letterlijk afstand genomen van de vorige opgave voordat de nieuwe begint, wat bijdraagt aan het herstel van psychologische veiligheid.

Voor studenten die persistente misconcepties dragen op het gebied van verhoudingen, procenten of rationale getallen — groepen die uitgebreid worden beschreven door Dougherty et al. (2017) en Department of Education and Training Victoria (n.d.) — biedt de embodied instap een extra kans. De beroepscontext van het station (de salonkassa, de kleurtafel, de voorraadkast) maakt zichtbaar dat de berekening ergens over gaat. Dit verlaagt de drempel voor studenten die rekenen als abstract en betekenisloos ervaren.

## Beweging als didactisch instrument, niet als beloning



**Embodied Cognition**

Exergaming zet het lichaam in om wiskundige concepten te ankeren. Door fysiek een stap te zetten om een verhouding op een schaalmodel aan te passen, ervaart de student de wiskunde lijfelijk. Dit verlaagt de abstractie en reguleert tegelijkertijd de emoties.

© NotebookLM

Figuur 1. Beweging als didactisch instrument in RekenRun MVP1, niet als beloning. Door fysiek een stap te zetten richting een station ervaart de student de wiskunde lijfelijk. Dit verlaagt de abstractie van het concept en reguleert tegelijkertijd het affect (Way & Ginns, 2024; Tran et al., 2017).

### 2.2 Vijf representaties per opgave

Elke opgave in RekenRun kent vijf representatieniveaus, conform Mayer's *Multimedia Learning* theorie (2009). De representatieniveaus zijn niet hiërarchisch maar complementair: studenten activeren de representatievorm die het best aansluit bij hun leervoorkeur.

Representatie	Beschrijving
Situationeel	Authentieke beroepscontextfoto, stationspecifiek (UV: salon, kassa, kleurtafel; M&C: campagnebureau)
Visueel-formeel	SVG-wiskundetekening met kleurgecodeerde grootheden (rood = gegeven, goud = gevraagde grootheid)
Linguïstisch	Opgavetekst in heldere mbo-taal, aansluitend bij CEM-examennormen
Auditief	Text-To-Speech voorlezing (oproepbaar, schakelbaar) — toegankelijkheidsondersteuning
Embodied	Walk-gate (8 stappen → stationtoegang) én optionele EmbodiedEngine: vóór het beantwoorden activeert de student via "Start beweegoefening" een 60 seconden durende gesensoreerde interactie (kantelen, rollen, tikken — taakspecifiek per CEM-domein). De engine levert geen antwoord maar een lichamenlijk verankerde conceptuele notitie. Fallback naar schermshuifregelaar bij ontbrekende sensoren of beperkte mobiliteit. Op desktop: spatiebalk/pijlttoets als stapequivalent

De SVG-tekening is bijzonder relevant voor studenten met dyscalculie: de visueel-ruimtelijke weergave reduceert de tekstlast en maakt de wiskundige structuur zichtbaar zonder taalkundige barrières (Geary, 2011).

## 2.3 Beroepsgekoppelde contexten als motivatieanker

In de UV-context pack zijn vijf stations gecreëerd die elk een authentieke beroepssituatie representeren: haarlengte meten & tijdrekenen (Stoel), kleurmengverhoudingen & ml berekenen (Kleurtafel), wisselgeld & kortingen (Kassa), flessen tellen & liters omrekenen (Voorraad), tijdsduur & afspraken (Planning). De M&C-context pack biedt niveau-4-scenario's rond campagnebudgetten, KPI-berekeningen en A/B-testing. Elk van deze contexten dekt de vijf officiële CEM-domeinen.

## 3. De 'emotie-eerst' aanpak: emotieregulatie als startpunt van adaptief leren

De kern van de Emotie-Eerst aanpak is de didactische vuistregel: **geef geen cognitieve uitleg zolang het affect negatief is**. Deze vuistregel operationaliseert de Affective-Reflective Theory (ART; Brand & Ekkekakis, 2018), een dual-process model dat beschrijft hoe gedrag wordt bepaald door de wisselwerking tussen twee mentale processen.

Proces	Beschrijving
Type-1 (automatisch)	Snel, moeiteloos, instinctief. Bij confrontatie met een rekenopgave worden automatische associaties geactiveerd. Bij studenten met negatieve rekenhistorie resulteert dit in een onmiddellijk gevoel van onbehagen, angst of vermijdingsimpuls.
Type-2 (reflectief)	Langzamer, vereist bewuste inspanning. Evaluatie op basis van feiten en doelen ('Ik wil mijn diploma halen, dus ik moet dit kunnen'). Komt pas beschikbaar als Type-1 niet overweldigend negatief is.

Wanneer het Type-1 affect negatief en sterk is, beschrijft de ART-theorie hoe het de toegang tot Type-2 reflectie kan overschaduwen. Brand & Ekkekakis (2018) omschrijven dit als een *'restraining force'*: een remmende kracht die het automatische gevoel uitoefent op bewuste cognitieve verwerking. Vanuit dit theoretische perspectief kan worden beredeneerd dat een student die een rekentaak als bedreigend ervaart, zelfs bij voldoende basiskennis moeite kan hebben om die kennis op het juiste moment te activeren. ART-theorie voegt hieraan toe dat zelfregulatie de schakel vormt: wanneer die uitgeput is — wat aan het einde van een schooldag niet ongewoon is — wint het automatische affect het vaker van de reflectieve evaluatie (Brand & Ekkekakis, 2018). Het is daarbij van belang dit te beschouwen als een theoretisch lens, niet als een mechanistische verklaring: individuele studenten reageren op sterk uiteenlopende manieren op wiskundige prikkels.

De Emotie-Eerst aanpak operationaliseert ART op drie niveaus: (1) vóór de eerste vraag: de walk-gate zorgt voor lichamelijke activatie vóór het cognitieve moment; (2) bij foutgedrag: de ART-engine detecteert het affect en blokkeert cognitieve hulp totdat het affect is gestabiliseerd; (3) als pedagogische omgeving: geen tijdsdruk, geen scorevergelijking, fouten leiden altijd naar ondersteuning — condities die het baseline-affect positief kunnen beïnvloeden (Tulis, 2013).

## Eerst voelen, dan pas denken (De ART-theorie)

Veel mbo-studenten hebben een diepgewortelde negatieve associatie met rekenen. Zodra ze een opgave zien, slaan ze dicht. Deze emotionele barrière maakt traditionele, cognitieve uitleg op dat moment volstrekt effectloos.



Figuur 2. De ART-theorie als poortwachter in RekenRun. Gate 1 (affect) bepaalt of Gate 2 (reflectie) bereikbaar is. Bij overweldigend negatief affect blokkeert de applicatie cognitieve hulp en activeert eerst een bewegingsinterventie (Brand & Ekkekakis, 2018).

## 4. De Affect-Engine: emotieregulatie in adaptief leren

### 4.1 Werking en signaalverwerking

De Affect-Engine maakt op basis van gedragsdata een inschatting van de affectieve toestand (affectState) van de student. Het systeem maakt gebruik van vier signaalcategorieën:

- Foutpatronen: het aantal en de volgorde van foute antwoorden op een domein
- Dwell-timer: hoe lang een student op een vraagscherm blijft zonder actie
- Pogingen (attempts): hoe snel en hoe vaak een student antwoorden invoert
- Hulpmiddelengebruik: wanneer en hoe vaak de rekenkaart of rekenmachine wordt geraadpleegd (via de HelpUsageTracker)

Op basis van deze signalen classificeert de engine de student in één van vier affectStates:

affectState	Kenmerken & implicatie
Kalm	Geen of weinig fouten, actief hulpgebruik, normale responstijd. Systeem biedt directe cognitieve ondersteuning.
Onzeker	Twijfelend gedrag, hoog hulpgebruik, wisselende antwoorden. Systeem biedt extra procesklue.
Gefrustreerd	Herhaalde fouten, versnelde (impulsieve) invoer of lange pauze. Systeem biedt eerst bewegingsprompt.
Overweldigd	ART-gate triggered: geen verdere cognitieve hulp. Eerst micro-succes of korte exergaming-actie.

## 4.2 ART-gating: de blokkade en de sleutel

ART-gating is het controlemechanisme dat in werking treedt zodra een fout of stalling (vastlopen) wordt gedetecteerd. Het systeem stelt vast of de affectState negatief is. Zo ja: **alle cognitieve hulp wordt geblokkeerd** — niet als straf, maar omdat de ART-theorie onderbouwt dat bij sterk negatief affect informatie minder effectief verwerkt wordt (Brand & Ekkekakis, 2018). De sleutel is affect-regulatie via exergaming: een korte bewegingsactie met lage cognitieve belasting, gericht op het herstellen van psychologische veiligheid. Pas daarna heropent de engine de cognitieve poort.



*Figuur 3. De gelaagde architectuur van RekenRun MVP1. De Didactic Core bundelt ART, COM-B en Embodied Cognition in één device-agnostische kern. Of een student nu op een telefoon, tablet of laptop werkt: de didactische ervaring blijft identiek dankzij de Capability Registry en de Device Adapters met automatische fallback.*

## 5. De architectuur van de fault-pipeline

De fault-pipeline is het technische ritueel dat wordt geactiveerd telkens wanneer een student een fout antwoord geeft of vastloopt. In plaats van direct het antwoord of een hint te tonen, doorloopt het systeem vijf strikte stappen:

## De unieke Fout-Pipeline: Een didactisch ritueel

Bij een fout antwoord escaleert de traditionele methode de stress. **RekenRun stopt de taak direct en activeert een vaste pipeline:** frustratie afbouwen via beweging, diagnosticeren, en pas daarna opnieuw engageren.



Figuur 4. De vijfstaps fault-pipeline van RekenRun MVP1. Bij een fout antwoord stopt de applicatie de cognitieve belasting direct (stap 1), scant de affectieve staat (stap 2), biedt een bewegingsinterventie als affect-regulatie (stap 3), diagnosticeert via COM-B de onderliggende belemmering (stap 4) en hervat de leertaak gepersonaliseerd (stap 5). Stap 4 start nooit vóórdat stap 3 is afgerond.

1. Trigger & ART-gating. De software detecteert een fout of stalling. De Affect-Engine schat de affectState in op basis van usage-tracking en dwell-timers. Bij negatieve status (gefrustreerd/overweldigd) wordt alle cognitieve hulp direct geblokkeerd.
2. Affect-regulatie via exergaming. Indien negatief affect: de software activeert een intent voor micro-succes of beweging. Dit is een exergaming-actie met lage cognitieve belasting. Doel: psychologische veiligheid herstellen. De HelpUsageTracker logt dit moment als baseline voor de volgende diagnose.
3. COM-B diagnose. Zodra de student terug in een kalme toestand is, start de COM-B Diagnoser. De module analyseert foutpatronen, hulpgebruik en responstijden om de primaire barrière te identificeren: Capability (wiskundige voorkennis ontbreekt), Opportunity (onduidelijke opgave, tools niet zichtbaar) of Motivation (vermijdingsgedrag, negatieve impuls).
4. Interventiekeuze. De Intervention Engine combineert de COM-B diagnose met domein, niveau en misconceptieprofiel. Interventies variëren van een procesklue (tier 1), een worked example (tier 2), een rekenkaart-spotlight tot een alternatieve visuele representatie.
5. Uitvoering & Capability Registry. De gekozen actie wordt uitgeleverd via de Experience/Intent Layer. De Capability Registry controleert real-time welke hardware beschikbaar is (camera, accelerometer, keyboard). Bij ontbrekende hardware schakelt het systeem automatisch naar een fallback-intent.

Tabel 1 toont de fault-pipeline in overzicht:

Fouttype	Diagnose (COM-B)	affectState	Interventie	Log-event
Conceptuele fout (bijv. additief bij verhoudingen)	Capability	Kalm/Onzeker	Procesklue + rekenkaart (tier 1)	combBarrier=capability
Misgelezen opgave	Opportunity	Onzeker	Tool-spotlight (rekenkaart sectie open)	combBarrier=opportunity
Impulsief / geen poging	Motivation	Gefrustreerd	Bewegingsprompt → micro-succes	artState=frustrated
Herhaalde fouten op domein	Capability	Overweldigd	ART-gate: beweging → worked example (tier 2)	artState=overwhelmed

Tabel 1. Overzicht van de fault-pipeline: fouttype → COM-B-diagnose → affectState → interventie → log-event (IndexedDB).

## 6. De psychologie van gedrag: poortwachters en diagnostisers

De poortwachter (ART) en de diagnostiser (COM-B) zijn complementaire functies. Hoewel de termen niet letterlijk in de wetenschappelijke literatuur staan, vloeien ze direct voort uit de logica van de modellen (Brand & Ekkekakis, 2018; Michie et al., 2011).

### 6.1 ART als poortwachter

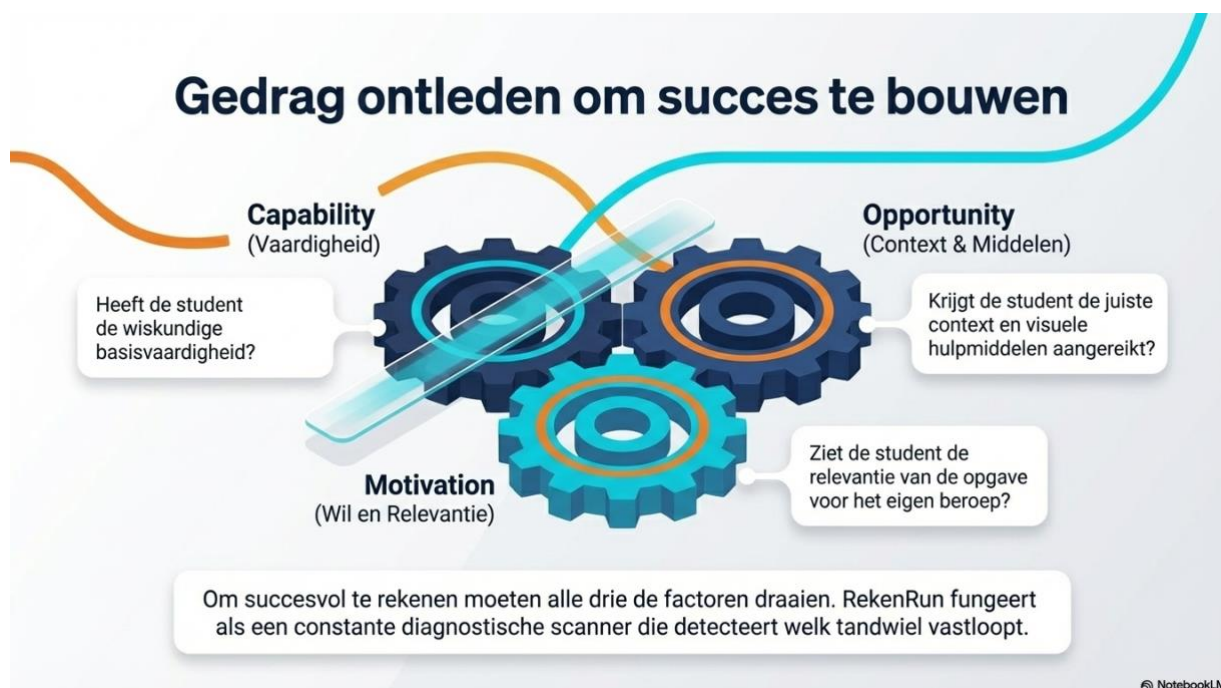
Brand en Ekkekakis (2018) positioneren de Affective-Reflective Theory (ART) als een dual-process model waarin automatische affectieve reacties de eerste gedragsimpuls vormen. Bij confrontatie met een taak wordt aanvankelijk een type-1 proces geactiveerd, waarin eerdere affectieve ervaringen snel en grotendeels onbewust leiden tot een benaderings- of vermijdingsimpuls. Pas wanneer voldoende zelfregulatie beschikbaar is, kan een daaropvolgend type-2 proces deze initiële impuls reflectief evalueren en bijsturen. Negatief affect kan daarmee de overgang naar doelgericht gedrag belemmeren, zelfs wanneer een individu rationeel gemotiveerd is om dat gedrag te vertonen. In RekenRun is deze theoretische logica vertaald naar een expliciete poortwachtersfunctie: de ART-gate fungeert als een binaire beslisregel die vóór elke cognitieve interventie toetst of de affectieve toestand van de student voldoende ontvankelijk is voor informatieverwerking (Brand & Ekkekakis, 2018).

### 6.2 COM-B als diagnostiser

Michie et al. (2011) beschrijven COM-B als een methode voor het 'karakteriseren van interventies en het koppelen daarvan aan een analyse van het doelgedrag'. Het model start met de vraag: welke van de drie basisvoorwaarden ontbreekt om het gewenste gedrag te vertonen?

COM-B barrière	Interventie in RekenRun
Capability — wiskundige voorkennis ontbreekt	Procesklue (tier 1), worked example (tier 2), misconceptie-gerichte SVG-representatie
Opportunity — opgave onduidelijk of tools niet zichtbaar	Rekenkaart-spotlight (rode stip actief), rekenmachine-attentiesignaal, alternatieve illustratie
Motivation — vermijdingsgedrag, negatieve impuls	Positieve bekrachtiging, micro-succes, badge-activering, bewegingsprompt

De combinatie van ART als poortwachter en COM-B als diagnoser creëert een sequentieel beslissingsproces: eerst de emotionele toestand stabiliseren, daarna de specifieke leerbelemmering vaststellen en de passende interventie selecteren.



Figuur 5. COM-B als diagnostische scanner in RekenRun. Om succesvol te rekenen moeten alle drie factoren (Capability, Opportunity, Motivation) actief zijn. De COM-B Diagnoser detecteert welk 'tandwiel' vastloopt en selecteert de bijbehorende interventie (Michie et al., 2011).

## 7. Toegankelijkheid en ondersteuning: dyscalculie en inclusief ontwerp

Geary (2011) beschrijft dyscalculie als een specifieke leerstoornis met moeite met wiskundige representaties, getal-zintuig en symbolische verwerking. RekenRun MVP1 implementeert een pakket van inclusieve ontwerpkeuzes:

- SVG-wiskundetekeningen: visueel-ruimtelijke weergave reduceert de tekstlast en maakt de wiskundige structuur zichtbaar (kleurcodering: rood = gegeven, goud = gevraagde grootte).
- CEM-rekenkaart als altijd-oproepbaar hulpmiddel: het officiële examen hulpmiddel is permanent beschikbaar. Bij elke nieuwe vraag verschijnt een rode attentiestip op de

rekenkaart-knop; de juiste sectie staat al open (*Coöperatie Examens MBO, n.d.; cem\_rekenkaart\_2025–2026\_v02*)

- Rekenmachine als oproepbaar hulpmiddel: verlegt de focus van automatiseren naar begrijpen — voor studenten met dyscalculie een essentieel onderscheid.
- Geen tijdsdruk: elimineert een significante stressbron voor studenten met rekenangst of dyscalculie (Ashcraft & Moore, 2009).
- Positive Error Climate (Tulis, 2013): scores niet zichtbaar voor medeleerlingen; fouten leiden altijd naar scaffolding.
- Pacing via walk-gate: de verplichte stap tussen vragen geeft verwerkingstijd en herstelt het energieniveau.
- Text-To-Speech: auditieve ondersteuning voor studenten met leesproblemen of dyslexie.
- Meervoudige representaties: vijf niveaus per opgave, zodat studenten de representatievorm kunnen kiezen die bij hun leervoorkeur past.

## 8. Design-based research: iteratief ontwerpen en valideren

Design-Based Research (Anderson & Shattuck, 2012; McKenney & Reeves, 2012) kenmerkt zich door: focus op real-world problemen, iteratief ontwerp in samenwerking met practitioners, integratie van theoretisch kader en gegevensverzameling op meerdere niveaus. RekenRun volgt een driecyclisch DBR-traject:

Iteratie	Focus & methoden
Iteratie 1 — MVP1	Pedagogische validiteit, technische stabiliteit, UX. DBR-evaluatieformulier (student + docent), stakeholder-review, IndexedDB-telemetrie.
Iteratie 2	Kwantitatieve effectmeting: rekenvaardigheid voor/na (gepaarde t-toets), rekenangst (Math Anxiety Rating Scale). $n \geq 20$ studenten, controlegroep.
Iteratie 3	Verdiepingsstudie dyscalculie: $n \geq 10$ gediagnosticeerde studenten. Vergelijking adaptieve vs. vaste moeilijkheidsgraad. Validatie ART-engine in de praktijk.

### 8.1 Gegevensverzameling in iteratie 1

Gegevens worden verzameld op vier niveaus: (1) gedragsdata via IndexedDB-logging per antwoord (taskId, station, domein, correct, poging, niveau, profileId, artState, combBarrier, contextPack, ts); (2) studentzelfrapportage via DBR-evaluatieformulier Deel A (22 items, 5-punts Likertschaal); (3) docentobservatie via Deel B (20 items); (4) CSV-export voor kwantitatieve analyse.

### 8.2 Waarborgen en beperkingen

MVP1 is een proof-of-concept; effectiviteitsevidentie ontbreekt nog. De DBR-evaluatie levert uitsluitend formatieve data op. Kwantitatieve claims vereisen iteratie 2. Privacy: alle sessiedata is lokaal opgeslagen in de browser (IndexedDB) en verlaat het apparaat niet zonder expliciete export. De ART-engine is rule-based (niet ML-gebaseerd) en geeft een gedragsmatige

inschatting van het affect — geen klinisch of diagnostisch oordeel. De verdere validatie van de engine in de onderwijspraktijk is voorzien als onderdeel van het vervolgtraject; de docent-onderzoeker zal hiervoor in een volgende iteratie een onderzoeksopzet ontwikkelen in samenwerking met betrokken docenten en studenten. Bij schoolbrede inzet wordt aanbevolen een verwerkersovereenkomst te sluiten conform AVG art. 28.

---

## 9. Implicaties en schaalbaarheid naar alle mbo-opleidingen

De thin-slice MVP1 laat zien dat het ontwerp in opzet schaalbaar is naar elke mbo-sector met authentieke rekencontexten. De Didactic Core — met ART-engine, COM-B diagnoser, misconceptie-engine en hintsysteem — is volledig context-onafhankelijk. Schaalbaarheid vereist uitsluitend het toevoegen van een nieuw Context Pack: een verzameling opgaven, SVG-illustraties en beroepscontextfoto's.

Voorwaarden voor succesvolle implementatie in andere mbo-sectoren:

- Authentieke rekencontexten per beroepsprofiel: beroepsrelevantie is een kernprincipe voor motivatie. De vereisten zijn geconsolideerd in een interne PvE-bijlage (S. Saman, personal communication, 27 March 2026)
- Betrokkenheid van docenten: de Teacher Mode en het docentdashboard geven docenten regie over domeinbalans, klasinstap en foutanalyse.
- Technische minimumvereisten: Chrome of Edge, internetverbinding voor eerste laad. Geen installatie, geen backend, geen persoonsdata op servers.
- Professionalisering: docenten hebben begeleiding nodig bij de interpretatie van ART-telemetrie en foutpatronen.

RekenRun past binnen bestaande rekenlessen (25–35 minuten, inclusief nabespreking) en vereist geen extra lestijd. De data-infrastructuur (IndexedDB, CSV-export) sluit aan bij bestaande rapportagecycli.

---

## 10. Conclusie

RekenRun MVP1 is een theoretisch gefundeerd prototype dat beoogt bewegingsgekoppeld, adaptief rekenleren in het mbo te ondersteunen. De integratie van ART als poortwachter, COM-B als diagnoser, Embodied Cognition als bewegingsdidactiek en Cognitive Load Theory als hintsysteem-architectuur biedt een coherente en veelbelovende benadering voor de Nederlandse mbo-context — al dient empirische validatie dit in de praktijk te bevestigen.

Het centrale ontwerpidee — eerst emotie reguleren, dan pas leren — onderscheidt RekenRun van meer traditionele rekenondersteuning. Of deze aanpak daadwerkelijk leidt tot meetbare leerwinst en vermindering van rekenangst, is een vraag die de vervolgitaties moeten beantwoorden. DBR Iteratie 1 levert de formatieve data en praktijkinzichten die nodig zijn voor die volgende stap. Wat het huidige prototype in elk geval suggereert, is dat techniek volledig in dienst kan staan van didactiek en psychologische veiligheid — en dat dit een vruchtbaar vertrekpunt lijkt voor verder praktijkgericht onderzoek.

## Referenties

- Alibali, M. W., & Nathan, M. J. (2012). Embodiment in mathematics teaching and learning: Evidence from learners' and teachers' gestures. *Journal of the Learning Sciences*, 21(2), 247–286. <https://doi.org/10.1080/10508406.2011.611446>
- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16–25.
- Ashcraft, M. H., & Moore, A. M. (2009). Mathematics anxiety and the affective drop in performance. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 27(3), 197–205. <https://doi.org/10.1177/0734282908330580>
- Brand, R., & Ekkekakis, P. (2018). Affective–Reflective Theory of physical inactivity and exercise: Foundations and preliminary evidence. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 48(1), 48–58. <https://doi.org/10.1007/s12662-017-0477-9>
- Coöperatie Examens MBO. (n.d.). *Rekenkaarten (cem\_rekenkaart\_2025–2026\_v02)* [PDF]. [https://www.examensmbo.nl/fileadmin/user\\_upload/documenten\\_rekenkaarten/rekenkaarten/cem\\_rekenkaart\\_2025-2026\\_v02.pdf](https://www.examensmbo.nl/fileadmin/user_upload/documenten_rekenkaarten/rekenkaarten/cem_rekenkaart_2025-2026_v02.pdf)
- Department of Education and Training Victoria. (n.d.). *Common misunderstandings: Levels 5–9 sense of percent tool*. [https://www.education.vic.gov.au/school/teachers/teachingresources/discipline/maths/assessment/pages/sen\\_seper.aspx](https://www.education.vic.gov.au/school/teachers/teachingresources/discipline/maths/assessment/pages/sen_seper.aspx)
- Dougherty, B. J., Pedrotty Bryant, D., Bryant, B. R., & Shin, M. (2017). *Helping students with mathematics difficulties understand ratios and proportions*. ERIC. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED577157.pdf>
- Geary, D. C. (2011). Consequences, characteristics, and causes of mathematical learning disabilities and persistent low achievement in mathematics. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 32(3), 250–263. <https://doi.org/10.1097/DBP.0B013E318209EDEF>
- Groot, A., Jonker, V., Wijers, M., & Hoogland, K. (2025). *Rekenproblemen in het mbo: Over de ernst, omvang en diversiteit van rekenproblemen en dyscalculie in het mbo* (Eindrapport). ECBO. <https://ecbo.nl/wp-content/uploads/Rekenproblemen-in-het-mbo-eindrapport-2025.pdf>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- McKenney, S., & Reeves, T. C. (2012). *Conducting educational design research*. Routledge.
- Michie, S., van Stralen, M. M., & West, R. (2011). The behaviour change wheel: A new method for characterising and designing behaviour change interventions. *Implementation Science*, 6, Article 42. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-6-42>
- Nathan, M. J., & Walkington, C. (2017). Grounded and embodied mathematical cognition. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2, Article 9. <https://doi.org/10.1186/s41235-016-0040-5>
- Rycroft-Smith, L., & Gould, T. (2021, May 6). *Developing concepts of ratio*. Cambridge Mathematics. <https://www.cambridgemaths.org/for-teachers-and-practitioners/espresso/view/developing-concepts-of-ratio/>
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295–312. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)
- Tulis, M. (2013). Error management behavior in classrooms: Teachers' responses to student mistakes. *Teaching and Teacher Education*, 33, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2013.02.003>
- Tran, C., Smith, B., & Buschkuehl, M. (2017). Support of mathematical thinking through embodied cognition: Nondigital and digital approaches. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2, Article 16. <https://doi.org/10.1186/s41235-017-0053-8>
- Tyng, C. M., Amin, H. U., Saad, M. N. M., & Malik, A. S. (2017). The influences of emotion on learning and memory. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 1454. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01454>
- Way, J., & Ginns, P. (2024). Embodied learning in early mathematics education: Translating research into principles to inform teaching. *Education Sciences*, 14(7), 696. <https://doi.org/10.3390/educsci14070696>
- Wet educatie en beroepsonderwijs, art. 7.4.2. (n.d.). In *Wetten.nl*. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0007625/>
- Werkgroep Voorbeeldexamens. (2020). *Voorbeeldexamens rekenen mbo: Adviesrapport Deel A: Uitgangspunten en verantwoording*. Coöperatie Examens MBO. [https://www.examensmbo.nl/fileadmin/user\\_upload/documenten\\_algemeen/adviesrapport\\_voorbeeldexamens\\_rekenen\\_mbo\\_deel\\_a.pdf](https://www.examensmbo.nl/fileadmin/user_upload/documenten_algemeen/adviesrapport_voorbeeldexamens_rekenen_mbo_deel_a.pdf)
- Werkgroep Voorbeeldexamens. (2020). *Voorbeeldexamens rekenen mbo: Adviesrapport Deel B: Voorbeeldexamens, beoordelingsmodel en toelichting*. Coöperatie Examens MBO.

[https://www.examensmbo.nl/fileadmin/user\\_upload/downloads/adviesrapport\\_voorbeeldexamens\\_rekenen\\_mbo\\_deel\\_b.pdf](https://www.examensmbo.nl/fileadmin/user_upload/downloads/adviesrapport_voorbeeldexamens_rekenen_mbo_deel_b.pdf)

Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625–636.  
<https://doi.org/10.3758/BF03196322>