

Aktuelle Trends in technologiegestützten Mathematiklernumgebungen: Gamification und Adaptivität

SELINA BALDINGER; JONAS MAYRHOFER, LINZ

Technologiegestützte Lernumgebungen prägen zunehmend den Mathematikunterricht und eröffnen innovative Möglichkeiten, den Lernprozess zu gestalten. Zwei zentrale Trends in Wissenschaft und Praxis zeichnen sich dabei im Bereich der technologiegestützten Mathematiklernumgebungen ab: Gamification und Adaptivität.

Gamification beschreibt die Verwendung von Spielelementen in nicht-spielbasierten Umgebungen. Meist wird Gamification dabei eingesetzt, um User zu motivieren und eine aktive Auseinandersetzung mit Materialien zu fördern. Gamification findet sich dabei nicht nur in alltäglichen Szenarien wie dem Punktesystem im Supermarkt, sondern findet auch Einzug in Lernmaterialien, um Lernende zu motivieren.

Adaptivität, als zweite Schlüsseltechnologie technologiegestützten Mathematiklernens, hat das übergeordnete Ziel, individualisiertes Lernen zu ermöglichen – etwas, das in einem traditionellen Klassenzimmer aufgrund begrenzter Zeit und Ressourcen kaum umsetzbar ist. Indem adaptive Systeme durch den Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) jedem Lernenden individuelle Aufgaben bereitstellen, die auf deren spezifische Fähigkeiten, Fortschritte und Bedürfnisse abgestimmt sind, eröffnen sie neue Möglichkeiten für eine maßgeschneiderte und motivierende Förderung im Lernprozess.

Dieser Beitrag beleuchtet, wie Gamification und Adaptivität synergistisch wirken können, um die kognitive, motivationale und emotionale Beteiligung der Lernenden zu steigern, und diskutiert Herausforderungen sowie Potenziale dieser Ansätze für den Mathematikunterricht der Zukunft.

1. Einleitung

Die fortschreitende Entwicklung digitaler Technologien hat in den letzten Jahrzehnten nahezu alle Lebensbereiche durchdrungen, und so bildet auch das Bildungswesen hier keine Ausnahme (Lavicza et al., 2022). Kinder und Jugendliche wachsen heute in einer Welt auf, in der digitale Geräte allgegenwärtig sind. Laut der Jugend, Internet, Medien Studie (mpfs, 2024) ist für 93% der Jugendlichen im Alter von 12-19 Jahren in Deutschland die Beschäftigung mit dem Smartphone die beliebteste Freizeitaktivität. Diese intensive Nutzung digitaler Medien spiegelt nicht nur die veränderten Freizeitgewohnheiten wider, sondern verdeutlicht auch die Notwendigkeit, digitale Kompetenzen frühzeitig in den Bildungsprozess zu integrieren. In Österreich wurde diese Herausforderung erkannt: Mit dem 8-Punkte-Plan des Bildungsministeriums wurde eine Initiative ins Leben gerufen, die sicherstellen soll, dass alle Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I bis 2024 mit digitalen Geräten ausgestattet werden (BMBWF, 2018). Damit sollen gleiche Rahmenbedingungen für den Zugang zur digitalen Bildung geschaffen werden, welche die Grundlage für einen technologiegestützten Unterricht bilden.

Die Integration von Technologie in den Unterricht birgt jedoch nicht nur Chancen, sondern auch Herausforderungen. Während einige Studien darauf hinweisen, dass der Einsatz digitaler Geräte die Lernleistung verbessern kann (Hillmayr et al., 2017; Reinhold et al., 2018), zeigen andere Forschungen, dass die bloße Präsenz von Technologie jedoch nicht ausreicht, um eine Leistungssteigerung bei Schülerinnen und Schülern zu gewährleisten (Drijvers et al., 2016). Klar ist: Die bloße Präsenz von Technologie im Klassenzimmer garantiert keinen Lernerfolg. Vielmehr hängt der Nutzen digitaler Werkzeuge davon ab, wie sie in den Unterricht eingebunden werden (Schmidt-Thieme & Weigand, 2015). Hier kommen innovative Ansätze wie Gamification und adaptives Lernen ins Spiel, die sich in der Bildungsforschung als vielversprechend herauskristallisiert haben (e.g., Ertan & Kocadere, 2022; Martin et al., 2020). Gamification ermöglicht es, durch spielerische Elemente die Motivation und das Engagement der Lernenden zu steigern (Huang et al., 2020), während adaptives Lernen den Unterricht individuell an die Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler anpassen soll (Awang et al., 2024).

Ein Beispiel, das diese beiden Trends in Ansätzen aufgreift, sind die Materialien der digitalen Lernplattform FLINK in Mathe¹, welche vom Center for Open Digital Education der Johannes Kepler Universität in Linz entwickelt werden. Diese Plattform kombiniert Ansätze des adaptiven Lernens mit Elementen von Gamification, um den Mathematikunterricht moderner und motivierender zu gestalten. Ziel ist es, Schülerinnen und Schüler nicht nur individuell zu fördern, sondern sie auch durch spielerische Herausforderungen für das Fach Mathematik zu begeistern. In diesem Artikel widmen wir uns den beiden Bildungsansätzen Gamification und adaptives Lernen und zeigen auf, wie digitale Lernmaterialien, die diese Ansätze integrieren, in der Praxis eingesetzt werden können und welche Implikationen sich daraus für den technologiegestützten Mathematikunterricht ergeben.

2. Gamification

In einer Welt der exponentiellen technologischen Entwicklung fällt es uns oft schwer, die Interessen und das Lebensumfeld unserer Schülerinnen und Schüler zu verstehen. Es fehlt dabei oft am gemeinsamen Nenner, welcher ein transgenerationales Bindeglied darstellen kann. Schon 1938 verstand der Anthropologe Johan Huizinga, dass der Mensch im Grunde ein spielendes Wesen ist: er nennt den Menschen „homo ludens“ (spielender Mensch).

Gerade im Fach Mathematik kämpfen wir als Lehrkräfte oftmals um die Aufmerksamkeit und die Motivation der Schülerinnen und Schüler für das Fach. Wilson und Mack (2014) konnten zeigen, dass die Motivation von Schülerinnen und Schülern für das Fach Mathematik über die Schullaufbahn der Lernenden stetig abnimmt. Es braucht neue Impulse und Methoden, um eine Verbindung zu den Schülerinnen und Schülern im Jahre 2025 herzustellen und ihnen so mehr Motivation für das Fach zu vermitteln. Was Johan Huizinga (1938) proklamierte, trifft auch heute noch auf die Schülerinnen und Schüler zu. Die Jugend, Internet, Medien Studie (mpfs, 2024) zeigt dies deutlich: Jugendliche im Alter von 12-19 Jahren in Deutschland verbringen im Schnitt 91 Minuten pro Tag mit Videospielen. Der Leserschaft obliegt selbst abzuschätzen, wie viel Zeit die Jugendlichen im Vergleich mit dem Selbststudium der Mathematik verbringen. Unsere Ausgangsthese war, dass das Spiel ein transgenerationales Bindeglied darstellen kann. Dieser These würden wohl einige widersprechen, denn Erwachsene verbringen wohl kaum so viel Zeit mit Spielen. Hier irren jedoch viele: Erwachsene verbringen sehr viel Zeit mit Spielen. Es ist alles eine Frage der Konzeptionierung des Begriffs „Spiel“. Obwohl Jugendliche heute im Schnitt sicherlich eher zu einem Videospiel greifen als zu einem Schachbrett, sollte nicht vernachlässigt werden, dass die meisten Freizeitaktivitäten des Menschen Spiele sind: Theater, Fußball, Schach, Bingo und so viel mehr. Sollte man eine abstrahierende Position einnehmen, so wie es Johan Huizinga (1938) tat, könnte man eigentlich alle menschlichen Handlungen, welche nicht direkt der Befriedigung der Grundbedürfnisse zuzuschreiben sind, als Spiel sehen.

Das Spiel und der Mensch sind also eng verknüpft. Unsere Vorfahren spielten fangen. Wir spielten fangen. Unsere Nachfahren werden es uns gleichtun. Das Spiel als urmenschliche Tätigkeit verbindet Generationen. Warum ist das wichtig? Apps wie DuoLingo, Snapchat und Instagram verstehen dieses urmenschliche Bedürfnis des Spiels und nutzen dieses Wissen. Sie verwenden spielerische Elemente, um ihre Userinnen und User zu unterhalten; mit Erfolg. In der Mathematikdidaktik sind solche Ansätze jedoch weniger weit verbreitet. Diese Integration von Spielelementen in nicht-spielbasierte Umgebungen wird Gamification genannt (Deterding et al., 2011). Wir möchten aufzeigen, dass Gamification eine Lösung für das Problem der niedrigen Motivation im Mathematikunterricht sein könnte.

¹ <https://www.jku.at/flink-in-mathe/>

2.1 Definition

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei Gamification um den Prozess der Integration von Spielelementen in nicht-spielbasierte Umgebungen (Deterding et al., 2011). Andere Definitionen des Begriffs ähneln dieser Konzeptionierung sehr stark: das Ziel ist, mit Hilfe von Spielelementen spielerische Erfahrungen zu ermöglichen und somit Userinnen und User zu motivieren (e.g., Seaborn & Fels, 2015; Kapp, 2012). Im Falle der Mathematikdidaktik stellen die nicht-spielbasierten Umgebungen dabei Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler dar. Damit der Begriff des Gamification anschaulich definiert wird: ein Beispiel für Gamification im Mathematikunterricht wäre die Vergabe von Trophäen für die Bewältigung schwieriger Herausforderungen im Rahmen des Unterrichts. Dass dieses Beispiel zwar ein Paradebeispiel für Gamification, dabei aber nicht als Best-Practice Beispiel zu sehen ist, wird später genauer erläutert.

Wichtig ist zu sehen, dass der Aspekt der Spielelemente in der Definition von Gamification bewusst unterdefiniert ist. Aus der Definition von Deterding et al. (2011) geht nicht klar hervor, was als Spiel definiert wird, oder was genau mit Spielelementen gemeint ist. Dies hat den Vorteil, dass fast alle Baublöcke und Teile von Spielen als Spielelemente nach dieser Definition gesehen werden können. Es obliegt also der Kreativität des Gamification Designers, welche Aspekte er in die nicht-spielbasierte Umgebung integrieren möchte. Diese Freiheit ist nötig, da das Konzept des Spiels so vielfältig wie der Mensch selbst ist. Eine klare axiomatische Definition des Spielelements würde der Vielfalt der menschlichen Spiele nicht gerecht werden. Der Nachteil daran ist natürlich, dass die Vergleichbarkeit verschiedener Studien und Methoden darunter leidet. Wenn jede Lehrkraft oder jedes Forschungsteam unterschiedliche Konzepte und Begriffe für ihr Design verwenden, leidet die Kommunikation der Ideen und Resultate.

Um mehr Objektivität in der Erforschung und Nutzung von Gamification zu garantieren, können also theoretisch und empirisch fundierte Taxonomien der Spielelemente helfen. Diese legen Spielelemente fest und geben sowohl Definitionen als auch Beispiele für diese an. Auch hier ist anzumerken, dass es eine Vielzahl an verwendeten Taxonomien gibt, welche gängige Verwendung finden (Seaborn & Fels, 2015). So definieren Seaborn und Fels (2015) acht, Zainuddin et al. (2020) neun, Toda et al. (2019) 21 und Krath und von Kortzfleisch (2021) sogar 63 spielerische Elemente. Diese verschiedenen Auflistungen von Spielelementen, welche für Gamification genutzt werden können, sind teils stark unterschiedlich. Sie alle scheinen jedoch einzelne Elemente gemein zu haben. So finden sich beispielsweise die Spielelemente Punkte, Trophäen und Ranglisten in fast allen Gamification Taxonomien (e.g., Sailer et al. 2017, Zainuddin et al., 2020; Werbach & Hunter, 2012; Seaborn & Fels, 2015). Werbach und Hunter (2012) sehen diese drei Spielelemente als Herzstücke von Gamification.

Um noch einen Einblick in andere Formen von Gamification zu geben, ist die Taxonomie von Toda et al. (2019) zu erwähnen. Losgelöst von Modellen wie Werbach und Hunter (2012) erstellten die Forscher mit Hilfe von Experten im Bereich Gamification eine Taxonomie zur Gamifizierung von Lerninhalten, welche 21 Spielelemente unterscheidet (Toda et al., 2019). Dabei werden auch abstrakte Spielelemente wie der Einfluss von Glück (*Chance*) oder die Stimulation der Reize (*Sensation*) betrachtet. Diese 21 Spielelemente werden dabei in fünf verschiedene Aspekte gegliedert, welche unterschiedliche Ziele verfolgen:

- *Performance* Spielelemente sollen den Schülerinnen und Schülern Feedback über ihre Leistung in der Lernumgebung vermitteln. Darunter fallen beispielsweise die eben genannten Trophäen (*Acknowledgements*), da Schülerinnen und Schüler durch den Erhalt der Trophäen Feedback zu der von ihnen gezeigten Leistung erhalten.
- *Fictional* Spielelemente bieten einen erzählerischen Rahmen für die Lernumgebung, indem parallel zur Interaktion mit der Lernumgebung eine Geschichte (*Storytelling*) erzählt wird, welche die Schülerinnen und Schüler fesseln sollen.

- *Social* Spielelemente fördern den Wettkampf (*Competition*) und die Kooperation (*Cooperation*) zwischen Schülerinnen und Schülern. So wäre beispielsweise die Einbindung eines Turniers, indem Schülerinnen und Schüler gegeneinander antreten können, ein soziales Spielelement.
- *Ecological* Spielelemente etablieren eine Umgebung, in der die Schülerinnen und Schüler mit verschiedenen Ressourcen haushalten müssen. Beispielsweise wäre die Integration einer Währung (*Economy*), mit der man in der Lernumgebung etwas kaufen kann, eine Möglichkeit, diesen Ressourcenhaushalt einzuführen.
- *Personal* Spielelemente sind zuletzt diejenigen Spielelemente, welche auf die persönlichen Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler anspielen. Das Spielelement *Novelty* würde beispielsweise in einer Umgebung vorhanden sein, wenn den Schülerinnen und Schülern immer wieder neue Inhalte präsentiert werden. Auch klare Missionen oder Ziele wären dieser Dimension zuzuordnen (*Objectives*).

Diese Einblicke in unterschiedliche Konzeptionierungen des Begriffs sollen zeigen, dass Gamification nicht nur auf einzelne Elemente wie Trophäen oder Punkten beschränkt ist. Wie gesagt ist das Konzept von Gamification nur durch die Kreativität und Vorstellungskraft des Menschen reguliert: alle möglichen Elemente, welche in Spielen motivierend wirken, könnten einen Platz in unserem Unterricht finden, um Schülerinnen und Schüler zu motivieren.

Auch wenn sich dieser Ansatz in der Theorie gut anhören mag, haben wir dabei aber eine besonders wichtige Frage außen vorgelassen: Kann Gamification im Unterricht wirklich dabei helfen, Schülerinnen und Schüler zu motivieren?

2.2 Aktueller Stand der Forschung

Verschiedene Metaanalysen und Reviews zeigen, dass Gamification grundsätzlich positive Auswirkungen auf die Motivation und das Engagement von Schülerinnen und Schülern hat (Huang et al., 2020; Zainuddin et al., 2020; Dicheva & Dichev, 2015). Dies gilt auch speziell im Fach Mathematik (Ertan & Kocadere, 2022). Diese positiven Effekte aus Metastudien zeigen damit zwar, dass Gamification tatsächlich signifikanten positiv Einfluss auf die Motivation und das Engagement von Schülerinnen und Schülern haben kann, jedoch sind die zahlreichen Studienergebnisse, welche negative oder insignifikante Ergebnisse berichten, nicht von der Hand zu weisen (e.g., Hanus & Fox, 2015; Mekler et al., 2017; Domínguez et al., 2013; Hakulinen et al., 2013).

Generalisierende Aussagen über den Einfluss von Gamification auf die Motivation und das Engagement sind zwar hilfreich, um zu verdeutlichen, dass es sich dabei tatsächlich um eine wirksame didaktische Methode handelt, jedoch geht durch die Reduzierung einer komplexen didaktischen Methode auf einzelne Kenngrößen die Vielseitigkeit des Phänomens verloren. Beispielsweise verdeutlichen Sailer et al. (2017), dass die Wahl der bereits elaborierten Spielelemente den motivationalen Effekt von Gamification grundlegend beeinflusst. Es ist also wichtig, Gamification nicht nur als uniformes Konstrukt zu sehen, sondern die konkrete Implementierung in allen Facetten zu betrachten (Sailer et al., 2017). Metaanalysen wie Bai et al. (2020) oder Huang et al. (2020) legen zwar bereits Wert auf die differenzierende Betrachtung des Gamification Designs nach den verwendeten Spielelementen, doch selbst diese Betrachtung birgt Risiken der Generalisierung: zum einen ist hier wieder problematisch, dass es keinen wirklichen Konsens in der Gamification Forschung bezüglich der verwendeten Taxonomie von Spielelementen gibt, weshalb der Vergleich dieser Metaanalysen kaum möglich ist, und zum anderen vernachlässigt auch die reine Betrachtung der Spielelement Kategorien das individuelle Design der Implementierung. So könnten beispielsweise verschiedene visuelle Designs von Trophäen unterschiedliche motivierende Effekte auf Schülerinnen und Schüler haben. Metaanalyse diesbezüglich müssen diesen Faktor zugunsten genereller Aussagen missachten.

Eine detaillierte Betrachtung von Gamification erfordert jedoch nicht nur eine Differenzierung nach den verwendeten Spielelementen. Etliche andere Faktoren beeinflussen die motivationalen Effekte von Gamification. Çakıroğlu et al. (2017) untersuchten beispielsweise den motivationssteigernden Einfluss von Ranglisten auf Schülerinnen und Schüler. Dabei konnten sie feststellen, dass Ranglisten einen positiven Effekt auf die Lernenden haben, sollten sie sich im oberen Teil der Rangliste befinden. Schülerinnen und Schüler, welche sich weiter unten auf der Rangliste befanden, zeigten dagegen eine höhere negative Einstellung zum Unterricht als vor der Intervention (Çakıroğlu et al., 2017). Eine ganzheitliche Betrachtung der motivationalen Effekte von Gamification impliziert also auch eine Betrachtung der Bedürfnisse und Voraussetzungen der einzelnen Schülerinnen und Schüler.

Eine Möglichkeit, die Effekte von Gamification weiter zu differenzieren, indem die persönlichen Dispositionen der Schülerinnen und Schüler berücksichtigt werden, ist die Betrachtung der Spielertypen der Schülerinnen und Schüler (Reyssier et al., 2022). Dabei handelt es sich um Persönlichkeitstypen, welche sich in der Interaktion mit Spielumgebungen entfalten. Bartle (1996) postuliert dabei beispielsweise die Spielertypen *Killer*, *Achiever*, *Socializer* und *Explorer*, welche alle unterschiedliche Zielvorstellungen und Handlungsmuster aufweisen. Kocadere and Çağlar (2018) konnten mit Hilfe dieses Modells bereits die verschiedenen Spielertypen von Schülerinnen und Schülern deren präferierte Spielelemente zuordnen. Hierbei sei jedoch gesagt, dass Bartle's (1996) Modell sich nicht speziell an der Verwendung von Gamification orientiert. Vielmehr wurde dabei versucht, das Nutzungsverhalten von Spielerinnen und Spielern in "Multi-User-Dungeons" abzubilden. Dieses Modell sollte also zumindest nicht unreflektiert zur Betrachtung von Gamification Nutzerinnen und Nutzern verwendet werden. Moderne Studien, welche sich mit der Differenzierung der motivationalen Effekte von Gamification nach Spielertyp auseinandersetzen, verwenden daher meist andere Modelle (e.g., Lopez & Tucker, 2019; Lavoué et al., 2019; Reyssier et al., 2022). Dabei sind vor allem das Hexad Modell nach Marczewski (2015) oder das BrainHex Modell nach Nacke et al. (2014) zu nennen. Auch hier werden unterschiedliche Modelle zur Betrachtung der Spielertypen von Userinnen und Usern verwendet. Ein weiteres Problem, welches die Vergleichbarkeit von kontemporären Studien mindert. Es lässt sich aber grundsätzlich festhalten, dass die Anpassung von Spielelementen und Gamification Implementierungen an die Spielertypen von Schülerinnen und Schüler positive Auswirkungen auf die motivationalen Effekte der Implementierungen hat (e.g., Lopez & Tucker, 2019; Lavoué et al., 2019; Reyssier et al., 2022).

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass Gamification grundsätzlich als motivationsfördernde didaktische Methode zu betrachten ist (e.g., Huang et al., 2020; Bai et al., 2020). Um jedoch ein ganzheitliches Verständnis dieser Effekte zu fördern, ist es essentiell, die verschiedensten Faktoren zu berücksichtigen, welche sich auf diese Effekte auswirken. Beispielsweise ist einer der aktuellen Ansätze der Gamification Forschung das Design der Implementierung an die Spielertypen der Schülerinnen und Schüler anzupassen (e.g., Lopez & Tucker, 2019; Lavoué et al., 2019; Reyssier et al., 2022). Das spezifische Design der Implementierung beeinflusst dabei fundamental die resultierenden Effekte (Sailer et al., 2017). Das Design der Gamification Implementierungen bezieht sich dabei aber nicht nur auf die verwendeten Spielelemente: eine Betrachtung der Lernumgebung und des Lernszenarios sollte auch nicht vernachlässigt werden. Beispielsweise muss Gamification nicht nur als digitale Methode verstanden werden, sondern könnte ebenso in analoger Form realisiert werden. Wichtig ist hierbei aber anzumerken, dass analoge Gamification Strategien dabei aber weniger motivationsfördernd wirken als digitale Gamification Strategien (Alt, 2023). Der große Vorteil von Gamification in technologisierten Lernumgebungen ist dabei klar die automatisierte und unkomplizierte Anpassung der Gamification Strategie an die individuellen Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler. Beispielsweise können Gamification Strategien in digitalen Lernumgebungen altersadäquat angepasst werden. Außerdem bieten digitale Medien vielseitige Möglichkeiten, Gamification Strategien anzuwenden, die analog

kaum möglich wären, wie zum Beispiel ein Wettkampf zwischen Schülerinnen und Schülern auf verschiedenen Kontinenten.

2.3 Implikationen für die Praxis

Nun stellt sich natürlich die Frage, welche Implikationen dieses Wissen zu den Effekten von Gamification im Unterricht für die Praxis im Schulalltag birgt. Die positiven Effekte von Gamification auf die Motivation von Schülerinnen und Schülern im Mathematikunterricht (e.g., Ertan & Kocadere, 2022) implizieren, dass Gamification breitere Verwendung im Mathematikunterricht finden sollte. Fraglich ist, weshalb Gamification im Mathematikunterricht dennoch selten angewandt wird. Bacsa-Károlyi und Fehérvári (2025) präsentierten Gründe für diese Diskrepanz zwischen den wissenschaftlichen Ergebnissen zu Gamification und dessen Implementierung im Unterricht: Lehrkräfte haben beispielsweise das Gefühl strikten Regulationen zu unterliegen und haben deshalb Angst neue didaktische Methoden auszuprobieren. Die Präsentation von Best Practice Beispielen könnte beispielsweise Lehrkräfte dabei unterstützen, diese Barriere zu überwinden (Bacsa-Károlyi & Fehérvári, 2025).

Um zum einen einige Best Practice Beispiele für Lehrkräfte zu präsentieren und zum anderen die eben beschriebenen Konzepte graphisch zu veranschaulichen, werden nun einzelne Beispiele von Gamification im Rahmen des FLINK in Mathe Projektes präsentiert. Diese Beispiele sollen Mathematiklehrkräften als Inspirationen für ihre eigenen didaktischen Methoden dienen. Um über die präsentierten Beispiele von Gamification zu sprechen, wird die Taxonomie von Toda et al. (2019) verwendet. Im ersten Beispiel sind etwa die Spielelemente *Storytelling*, *Progression* und *Objectives* zu sehen (siehe Abbildung 1).

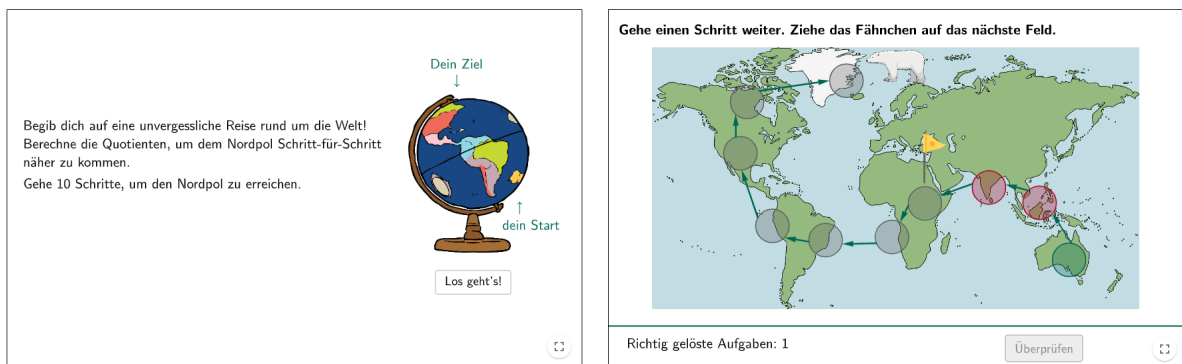


Abb. 1: Gamifiziertes FLINK Material zum Thema “In 10 Divisionen um die Welt”

(<https://www.geogebra.org/m/zygzm5am#material/hzwgv53f>)

Die implementierten Spielelemente machen aus dem Material, welches sich mit dem Üben der Bruchdivision beschäftigt, eine spielerische Erfahrung für Schülerinnen und Schüler. *Storytelling* ist hier als eine zugrundeliegende Geschichte der Weltreise realisiert. Dabei gibt es das klare Ziel, (*Objective*) an den Nordpol zu reisen. Die präsentierte Karte bietet den Schülerinnen und Schülern hierzu eine graphische Veranschaulichung ihres eigenen Fortschritts (*Progression*). Um nun noch einmal die Konzeptionierung von Gamification zu festigen: Es handelt sich hier um Gamification, da die grundlegende Lernumgebung (10 Aufgaben zur Division von Brüchen) mit Spielelementen wie *Storytelling*, *Progression* und *Objectives* angereichert wurden.

Ein weiteres Beispiel für Gamification in Mathematiklernumgebungen ist in Abbildung 2 dargestellt. Dabei handelt es sich ebenfalls um ein Material des FLINK Projekts.

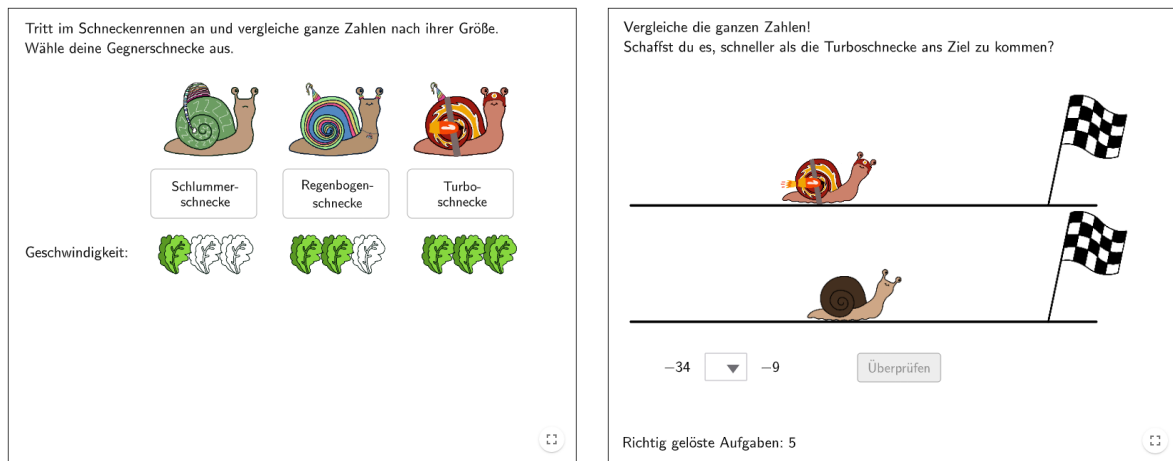


Abb. 2: Gamifiziertes FLINK Material zum Thema “Schneckenrennen”

(<https://www.geogebra.org/m/zygzm5am#material/qfbrjymr>)

In diesem Material sind nun völlig andere Spielelemente zu sehen: Zuerst können die Schülerinnen und Schüler selbst entscheiden, gegen welche Schnecke sie antreten möchten, legen also so selbst den Schwierigkeitsgrad des Applets fest (*Imposed Choice*). Nun treten sie gegen die gewählte Schnecke im Sinne eines Wettkampfes an (*Competition*). Dabei ist Geschwindigkeit essentiell, da sich die gegnerische Schnecke stetig vorwärts bewegt (*Time Pressure*). Mit nur wenigen Spielelementen wird hier also eine spielerische Umgebung geschaffen, in der Schülerinnen und Schüler das Vergleichen von ganzen Zahlen im Rahmen eines Wettkampfes üben können.

Zuletzt soll noch das FLINK Material “Number sense - Ein Gespür für Zahlen” vorgestellt werden (siehe Abbildung 3).

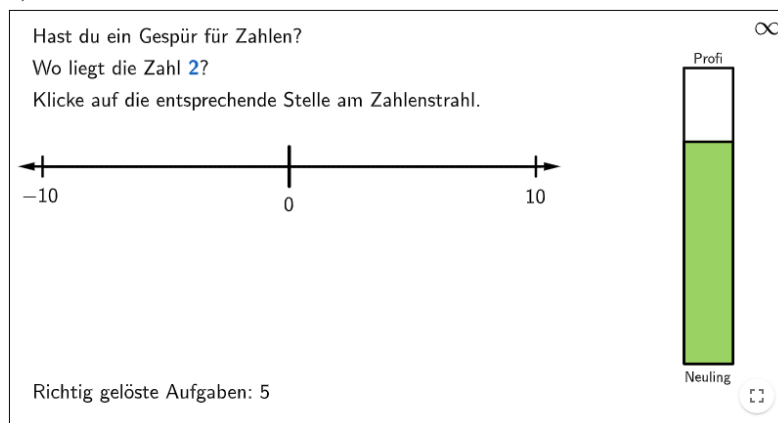


Abb. 3: Gamifiziertes FLINK Material zum Thema “Number sense - Ein Gespür für Zahlen”

(<https://www.geogebra.org/m/zygzm5am#material/av4hxbx8>)

Dieses Material zeigt, wie eine Aufgabe zum Zuordnen von Zahlen auf einem Zahlenstrahl durch die Spielelemente *Progression*, *Level* und *Reputation* zu einer spielerischen Erfahrung transformiert werden kann. Diese Spielelemente werden hier interessanterweise alle mit Hilfe eines einzigen Objekts in der Lernumgebung implementiert. Der Fortschrittsbalken (*Progression*) zeigt an, welche Fähigkeitenstufe die Schülerinnen und Schüler in der Lernumgebung aufweisen (*Level*). Dabei können die Schülerinnen und Schüler den Rang des Profis erreichen, sollten sie genügend Aufgaben hintereinander richtig beantworten (*Reputation*).

Diese Vielfalt an Gamification Strategien, welche alleine in diesen drei Best Practice Beispielen zu sehen ist, zeigt, wie vielseitig diese didaktische Methode einsetzbar ist. Die Vielfalt an Gamification Strategien impliziert dabei auch, dass unterschiedlichste Schülerinnen und Schüler von verschiedenen Gamification Strategien unterschiedlich angesprochen werden. Es wäre also im Sinne der Erkenntnisse

der Forschung von Relevanz, die Gamification Strategie an die Interessen und Spielertypen der Schülerinnen und Schüler anzupassen (Reyssier et al., 2022); die Lernumgebung also für die individuellen Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler zu adaptieren.

3. Digitales adaptives Lernen

Forschung hat gezeigt, dass Unterricht am effektivsten ist, wenn er einerseits die unterschiedlichen Bedürfnisse von Schülerinnen und Schülern berücksichtigt, und sich andererseits dynamisch beim Lernen auf Basis dieser Bedürfnisse und kontextueller Faktoren verändert (Aleven et al., 2017). Eine erfahrene Lehrkraft weiß jedoch aus eigener Praxis, dass Lernenden sich in vielerlei Hinsicht unterscheiden, und diese Unterschiede können innerhalb einer Klasse kaum ausgeprägter sein. Während einige Schülerinnen und Schüler komplexe mathematische Probleme mit Leichtigkeit lösen, kämpfen andere mit den Grundlagen. Dabei unterscheiden sich die Schülerinnen und Schüler allerdings nicht nur in Bezug auf ihren Wissensstand oder ihre Leistung, vielmehr noch gibt es Faktoren, die sich von außen nicht so leicht erschließen lassen: Interessen und Hobbies, die intrinsischen Ziele der Lernenden, ihr aktueller emotionaler Zustand, ihre Problemlösestrategien und sogar ihre bevorzugten Lernstile. Einige Schülerinnen und Schüler lieben es, mathematische Probleme spielerisch zu lösen, während andere lieber in Ruhe und mit klaren Strukturen arbeiten. Manche sind durch persönliche Erfolge motiviert, während andere durch die Zusammenarbeit mit ihren Mitschülerinnen und Mitschülern aufblühen. Diese Vielfalt ist einerseits eine Bereicherung für den Unterricht, andererseits aber auch eine Herausforderung, insbesondere wenn man bedenkt, dass eine durchschnittliche Klasse oft aus 25 oder mehr Schülerinnen und Schülern besteht. Das pädagogische Ideal wäre es, alle Lernenden zu erreichen, aber wie? Wie kann es gelingen, all diesen individuellen Bedürfnissen gerecht zu werden, ohne den Überblick zu verlieren? Die Antwort auf diese Frage ist keineswegs ein neuer Bildungsansatz. Tatsächlich wurde die Idee, den Unterricht an die individuellen Bedürfnisse der Lernenden anzupassen, schon vor Jahrzehnten entwickelt. Benjamin Bloom, einer der Pioniere der Bildungsforschung, argumentierte bereits 1968, dass individualisierter Unterricht, etwa durch das sogenannte *Mastery Learning*, das Potenzial hat, die Lernleistung erheblich zu steigern (Bloom, 1968). Auch spätere Studien, wie die von Kulik et al. (1990), bestätigten die Wirksamkeit solcher Ansätze. Doch in der Praxis stießen diese frühen Formen des adaptiven Lernens auf erhebliche Hindernisse. Die individuelle Betreuung jeder und jedes einzelnen Lernenden erforderte von Lehrkräften enorme zeitliche und organisatorische Ressourcen. Regelmäßige formative Überprüfungen, personalisierte Rückmeldungen und maßgeschneiderte Lernmaterialien waren zwar wünschenswert, aber in einem traditionellen Unterrichtsetting oft schlicht nicht umsetzbar. Viele Lehrkräfte fühlten sich überfordert, und so blieb das Potenzial des adaptiven Lernens lange Zeit ungenutzt (Aleven et al., 2017). Der technologische Fortschritt der letzten Jahrzehnte hat jedoch eine neue Ära eingeläutet. Mit der Integration digitaler Technologien in den Unterricht eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten, die zuvor undenkbar waren. Adaptive Lernsysteme können den individuellen Lernstand, die Stärken und Schwächen sowie die Lernpräferenzen der Schülerinnen und Schüler in Echtzeit analysieren und darauf abgestimmte Aufgaben und Rückmeldungen bereitstellen (Lee & Park, 2008). Doch was bedeutet das konkret für den Mathematikunterricht? Mathematik gilt oft als eines der Fächer, in denen Unterschiede im Lernstand besonders deutlich zutage treten. Adaptive Lernsysteme ermöglichen es, eine Brücke zwischen leistungsstarken und leistungsschwachen Schülerinnen und Schülern zu schlagen, und ihnen genau die Unterstützung zu bieten, die für den Lernfortschritt wichtig sind - und das, ohne die Lehrkraft zu überlasten.

Der Bildungsansatz des digitalen adaptiven Lernens soll in weiterer Folge genauer beleuchtet werden. Dazu wird der Begriff in einem ersten Schritt definiert, der aktuelle Stand der Forschung in Bezug auf die Vor- und Nachteile sowie die Effekte des digitalen adaptiven Lernens aufgezeigt und die praktischen

Implikationen für den Mathematikunterricht erläutert. Denn eines ist klar: die Zukunft des Lernens könnte adaptiv sein und es liegt an uns, diese Zukunft aktiv mitzugestalten.

3.1 Genese und Definition

Adaptives Lernen, in einem weiteren Sinn, hat bereits 1968 erstmals in der Forschung unter der Lernstrategie des *Mastery Learnings* (Bloom, 1968) an Bedeutung gewonnen. Nach Bloom (1968) handelt es sich bei *Mastery Learning* um eine Bildungsphilosophie, bei der das Erreichen von Kompetenzen an oberster Stelle steht. Dabei sollen Schülerinnen und Schüler erst dann zu neuem Material übergehen, sobald sie 90% einer Kompetenz in Bezug auf das vorausgesetzte Wissen erreicht haben. Eine wichtige Komponente laut diesem Lernansatz ist die individuelle Hilfestellung und die zusätzliche Unterstützung, um eben diese Kompetenz zu erreichen. Die Idee des *Mastery Learning* besteht darin, dass jede Schülerin und jeder Schüler unter individualisierten Bedingungen und ausreichend Zeit die notwendige Kompetenz erreichen kann (Bloom, 1968). Im Gegensatz zu traditionellen Unterrichtsmethoden, in denen oftmals dieselben Voraussetzungen für alle Lernenden und festgesetzte Zeitrahmen für unterschiedliche Themen gelten, ähneln die Grundlagen des *Mastery Learning* einem adaptiven Lernansatz (Aleven et al., 2017). Wenige Jahre später, in den 1970er und 1980er, entstand schließlich das digitale adaptive Testen als eine weitere Vorstufe des adaptiven Lernens, welches auf der Fähigkeit, Bewertungen auf der Grundlage der Eigenschaften oder des Fähigkeitsniveaus eines Prüflings anzupassen, beruht (Meijer & Nering, 1999).

Eine einheitliche und allgemein anerkannte Definition des adaptiven Lernens gibt es bis heute nicht. In der Literatur gibt es eine Vielzahl an Versuchen, den Begriff einzugrenzen. Im Allgemeinen handelt es sich beim adaptiven Lernen um einen pädagogischen Ansatz, welcher zum Ziel hat, personalisierte Lernerfahrungen zu schaffen, die auf die individuellen Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler abgestimmt sind (Martin et al., 2020). Zu diesem Zweck wird oft Technologie eingesetzt, um in Echtzeit Anpassungen auf Basis der Schülerinnen- und Schülerantworten durchzuführen (Cavanagh et al., 2020). Im Gegensatz zu traditionellen, nicht-adaptiven Lernmethoden, die allen Schülerinnen und Schülern dieselben Inhalte in gleicher Form vermitteln, reagieren adaptive Lernmethoden flexibel auf individuelle Lernbedürfnisse. Digitale adaptive Lernformen sind laut Kerr (2015) automatisiert, responsiv und durch ihre interaktive Gestaltung besonders förderlich für das Engagement der Lernenden. Damit unterscheiden sie sich deutlich von statischen E-Learning Materialien, die sich nicht an persönliche Lernvoraussetzungen anpassen lassen (Alghabban & Hendley, 2021).

Die Möglichkeiten der Anpassungen, die durch ein adaptives Lernmaterial möglich gemacht werden, hängen laut Normandhi et al. (2019) vor allem von den Eigenschaften der Lernenden ab. Normandhi et al. (2019) unterscheidet hier in vier Schlüsselbereiche: kognitiv, affektiv, verhaltensbezogen (oder psychomotorisch) und eine Mischung dieser Attribute. Kognitiv beschreibt in diesem Kontext die Informationsverarbeitung und das rationale Denken zur Entwicklung von Wissen. Darunter fallen Merkmale wie Lernstile, Arbeitsgedächtniskapazität, Persönlichkeitstyp, Vorwissen und Denkprozesse (Normandhi et al., 2019). Affektiv erfasst die Emotionen, Einstellungen und Gefühle der Lernenden sowie die Veränderungen dieser affektiven Zustände während des Lernprozesses (Paireekreng & Prexawanprasut, 2015). Verhaltensbezogene Eigenschaften von Schülerinnen und Schülern befassen sich mit physischen Handlungen und motorischen Fähigkeiten, wie z. B. hilfesuchendes Verhalten, Koordination und proaktive Lernhandlungen. Diese Merkmale spiegeln wider, wie Lernende mit der Umwelt interagieren und ihre Lernprozesse steuern (Normandhi et al., 2019).

Die Eigenschaften der Lernenden bilden die Basis, auf welcher schließlich Anpassungen am Lernmaterial basieren. Die Möglichkeiten der Personalisierung des Lernmaterials sind dabei flexibel und vielseitig. Bis dato gibt es noch keine umfassende und holistische Sammlung an Elementen, welche innerhalb einer Lernumgebung adaptiert werden können. Dennoch wurden in der Literatur bereits einige

Elemente innerhalb digitaler adaptiver Lernmaterialien untersucht und analysiert. Dabei zeigt sich, dass vor allem adaptives Feedback eine bedeutende Rolle spielt, wobei zahlreiche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Effekte dieses Elements innerhalb von digitalen Lernumgebungen bereits untersucht haben (e.g., Chou et al., 2015; Plass & Pawar, 2020; Wang et al., 2023). Eine weitere bedeutsame Komponente innerhalb adaptiven Lernmaterials ist auch die Anpassung des Schwierigkeitsgrades an den aktuellen Wissensstand und den situativen Kontext der Lernenden, wobei Inhalte und Unterstützung direkt auf die Fortschritte der einzelnen Lernenden abgestimmt sind (Das et al., 2010). Auch die adaptive Schwierigkeit eines Materials wurde in der Wissenschaft bereits intensiv beforscht (e.g., Vanbecelaere et al., 2023; Plass & Pawar, 2020; Wang et al., 2023) und stellt neben adaptiven Feedback eine der am meisten implementierten adaptiven Elementen innerhalb von digitalen Lernumgebungen dar. Weitere mögliche Elemente bilden die Adaptierung der Präsentation des Inhalts (e.g., Premalatha & Geetha, 2015; Toktarova, 2022), des Aufgabenkontext (e.g., Bernacki et al., 2021), der Lernpfade (e.g., Awang et al., 2024; Plass & Pawar 2020) oder der Bewertung (Barana et al., 2020; Lim et al., 2023), wobei diese Aufzählung an adaptiven Elementen keinen Anspruch auf Vollständigkeit hat.

Nachdem wir uns mit der Entstehung und Definition des adaptiven Lernens beschäftigt haben, beleuchten wir im nächsten Abschnitt den aktuellen Stand der Forschung. Dabei wird vor allem ein Augenmerk auf die Effekte adaptiven Lernens sowie dessen Vor- und Nachteile gelegt.

3.2 Aktueller Stand der Forschung

Empirische Studien belegen durchwegs die positiven Auswirkungen von adaptivem Lernen auf Lernergebnisse wie Wissenserwerb, Problemlösefähigkeiten und Lerneffizienz (Awang et al., 2024). Ergebnisse aus einer Studie von Xie et al. (2019) zeigen beispielsweise auf, dass von 37 durchgeführten Studien, welche sich mit adaptivem Lernen innerhalb von digitalen Lernumgebungen beschäftigen, 32 und damit 80% der untersuchten Forschungen positive Effekte auf die Lernenden berichten. Diese positiven Auswirkungen von digitalen adaptiven Materialien auf das Lernen sind dabei vielseitig. Speziell für das Mathematiklernen haben verschiedene empirische Studien vielversprechende Ergebnisse bei der Verbesserung der mathematischen Leistungen von Schülerinnen und Schülern im Vergleich zum traditionellen Unterricht gezeigt (e.g., Dabingaya, 2022; Wang et al., 2023). In einer Studie von Wang et al. (2023) konnte beispielsweise gezeigt werden, dass Schülerinnen und Schüler, die adaptive Lernmaterialien nutzen, in Mathematiktests signifikant bessere Fortschritte erzielten als Gleichaltrige, die von Lehrerinnen und Lehrern im Präsenzunterricht unterrichtet wurden. Neben gesteigerten Lernergebnissen wurde auch deutlich, dass sich die Adaptivität von Lernumgebungen positiv auf die Lernerfahrungen von Studierenden auswirkt (Liu et al., 2017). Vergleichbare Ergebnisse wurden in einer Studie von Arsovic und Stefanovic (2020) beobachtet, die die Auswirkungen einer digitalen adaptiven Lernumgebungen auf Mathematikstudenten an Hochschulen untersuchte. Die Ergebnisse zeigten, dass Studierende, die die adaptiven Lernmaterialien nutzten, ihren Mathematikkurs mit größerer Wahrscheinlichkeit bestanden als diejenigen, die diese nicht nutzten. In ähnlicher Weise wiesen Foshee et al. (2016) das Potenzial von digitalen adaptiven Lernumgebungen für die Nachhilfe in Mathematik nach, wonach sie signifikante Verbesserungen beim Lernen der Schülerinnen und Schüler und ihrer mathematischen Leistungsfähigkeit zeigen konnten.

Dennoch gibt es auch beim digitalen adaptiven Lernen eine Kehrseite der Medaille. Neben den zahlreichen und vielversprechende Studienergebnissen über die positiven Auswirkungen von adaptivem Lernmaterial auf das Mathematiklernen (Liu et al., 2017; Wang et al., 2023; Xie et al., 2019), gibt es tatsächlich auch nicht signifikante Effekte bezüglich der Leistungssteigerung bei der Verwendung von adaptivem Lernmaterial im Mathematikunterricht (Clark & Kaw, 2020; Phillips et al., 2020). Die Gründe für derartige Ergebnisse sind vielfältig. Einerseits könnte die Abhängigkeit von kurzfristigen Leistungsmetriken eine mögliche Erklärung für nicht signifikante Ergebnisse darstellen (Clark & Kaw,

2020). Außerdem ist es möglich, dass eine unzureichende Personalisierung der Materialien nicht die gewünschten Effekte auf den Leistungsfortschritt erzielen könnte (Phillips et al., 2020). Weiters sei eine unzureichende Beschäftigung der Schülerinnen und Schüler mit dem Material ein Grund dafür, warum erwartete Effekte des adaptiven Lernens ausbleiben könnten (Awang et al., 2024).

Um das Potential von digitalen adaptiven Lernmaterialien allerdings vollständig ausschöpfen zu können, bedarf es einer qualifizierten Unterstützung durch die Lehrkraft (Drijvers, 2015). Im Lernprozess nimmt die Lehrperson dabei vorwiegend die Rolle der Vermittlerin oder des Vermittlers des Lernmaterials sowie der Mediatorin oder des Mediators zwischen der Technologie und den Lernenden an (Smith, 2018). Wichtige Aufgaben, die anhand dieser Rollenzuteilung entstehen, bestehen vor allem daraus, adaptive Materialien für alle Schülerinnen und Schüler zugänglich zu machen und bei technischen Problemen oder Verständnisschwierigkeiten zu intervenieren. Lehrerinnen und Lehrer, die adaptives Lernmaterial an ihre Schülerinnen und Schüler zur Verfügung stellen, legen dabei großen Wert auf adaptive Elemente wie sofortiges Feedback, personalisierte Inhalte, differenzierte Unterrichtsansätze und die Möglichkeit, die Schüler in ihrem eigenen Tempo arbeiten zu lassen (Van Schoors et al., 2025), wohingegen Probleme mit dem Internet, mangelhaftes Design der Lernmaterialien und finanzielle Probleme eher dazu führen, dass das Material nicht im Unterricht eingesetzt wird (Smith, 2018).

3.3 Implikationen für die Praxis

Mit den Hintergedanken an die positiven und negativen Studienergebnisse des adaptiven Lernens sollen nun Empfehlungen gegeben werden, wie adaptives Lernen in der Praxis umsetzbar ist. Dabei sei zu Beginn gesagt, dass das Angebot an digitalen Lernressourcen zum Mathematiklernen stetig größer wird. Wirft man einen Blick auf die Webseite des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung Österreich² und dessen mit einem Gütesiegel ausgezeichneten Lernapps, so fällt schnell auf, dass die Dichte an qualitativ hochwertigem Material von Jahr zu Jahr wächst. Dieser Trend lässt sich jedoch leider nicht für adaptives Lernmaterial zum Mathematiklernen feststellen: nur wenige Softwaredesignerinnen und Softwaredesigner implementieren adaptive Komponenten in ihrem Lernmaterial. Einzig und allein die Materialien von Khan Academy, bettermarks, Studyly, Mathe Arena und Flink in Mathe weisen - manche mehr, manche weniger - Züge von adaptiven Elementen auf. Dabei sei auch hier angemerkt, dass nicht alle diese Lernmaterialien kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Um dennoch einen Einblick zu gewinnen, wie adaptives Lernmaterial für den Mathematikunterricht aussehen könnte, werden an dieser Stelle prototypisch ein Lernmaterial zum adaptiven Üben vom Projekt FLINK in Mathe vorgestellt. Das in Abbildung 4 dargestellte Material aus dem Themenbereich „Brüche darstellen“ beinhaltet Ansätze des adaptiven Lernens, wobei konkret der adaptive Schwierigkeitsgrad umgesetzt wird.

² <https://www.guetesiegel-lernapps.at>

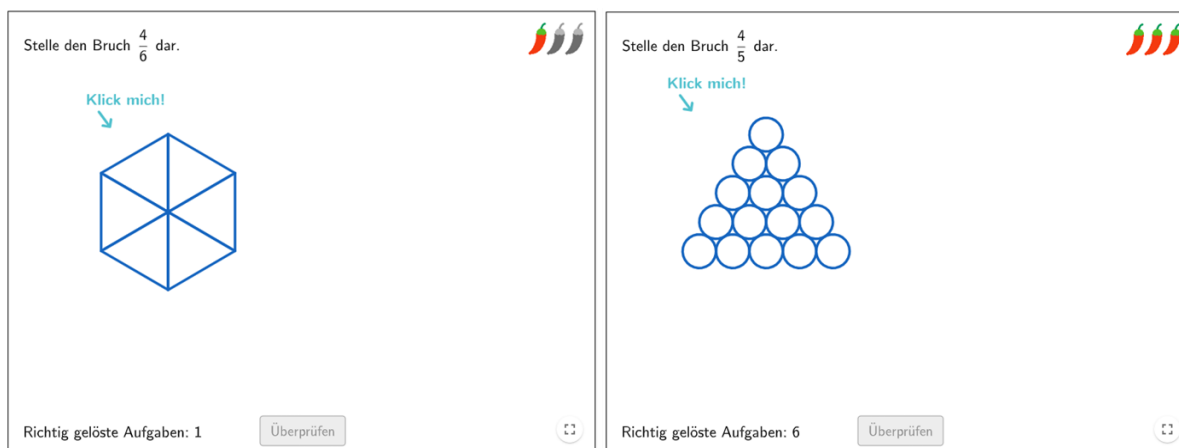


Abb. 4: Adaptives FLINK Material zum Thema “Brüche darstellen”

(<https://www.geogebra.org/m/h9uav3bz#material/n4ytspec>)

Um sich als Schülerin oder Schüler bezüglich ihres individuellen Leistungsstandes einordnen zu können, wird mithilfe der Chilis im rechten oberen Eck angedeutet, bei welchem Schwierigkeitsgrad die oder der Lernende sich gerade befindet. Dabei wird in drei unterschiedliche Schwierigkeitsgrade unterschieden, welche je nach Können und Leistungsstand der Schülerin oder des Schülers dynamisch und in Echtzeit angepasst werden. Damit dies möglich ist, müssen im Vorhinein durch didaktische Überlegungen passende Aufgabenformate in verschiedenen Schwierigkeitsstufen entwickelt werden, die anschließend mithilfe eines Algorithmus anhand der Antworten der Lernenden zugewiesen werden. Konkret sollen die Lernenden bei dieser Übungsaufgabe durch das Anklicken einzelner Teile einer Figur einen Bruch grafisch darstellen. Nach mehreren richtig gelösten Aufgaben wird schließlich ein neuer Schwierigkeitsgrad freigeschaltet. Allerdings kann der oder die Lernende durch mehrmaliges falsches Lösen einer Aufgabe auch wieder in ein vorheriges und leichteres Level abgestuft werden. Das Ziel dieses adaptiven Übungsmaterials ist es, den Leistungsstand der Schülerinnen und Schüler automatisiert festzustellen und darauf basierend darauf dynamisch Aufgaben eines höheren beziehungsweise niedrigeren Niveaus zuzuteilen. Mithilfe der Chili-Skala soll dieses Level schließlich auch transparent kommuniziert werden und den Lernenden somit Einblick in ihren Leistungsstand dargeboten werden. Nach dem Prinzip der *Zone of Proximal Development* von Vygotsky (1978) soll damit jede Schülerin und jeder Schüler in ihrem Niveau gefördert werden, wodurch schließlich auch die Motivation für das Fach gesteigert werden kann (Wang et al., 2023).

Ein weiteres adaptives Lernmaterial von Flink in Mathe, welches das Element des adaptiven Feedbacks bedient, ist ein Übungsmaterial aus dem Themenbereich „Addieren von ungleichnamigen Brüchen“ (siehe Abbildung 5).

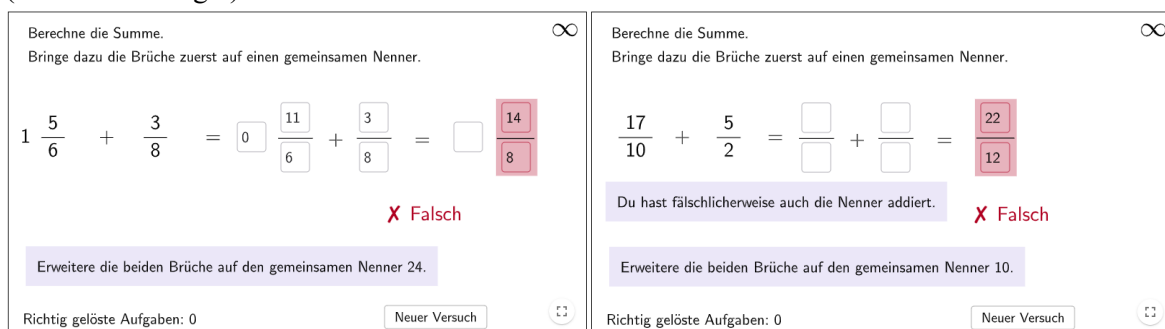


Abb. 5: Adaptives FLINK Material zum Thema “Addieren von ungleichnamigen Brüchen”

(<https://www.geogebra.org/m/qkvwbnext#material/uxct4he>)

Das obige Beispiel zeigt einen Ausschnitt in einem Übungsmaterial, bei dem automatisierte Rückmeldungen auf Antworten von Lernenden gegeben werden. Die adaptive Komponente Feedback

wird hier spezifisch an die Fehler der Lernenden angepasst. Damit dies gelingt, müssen im Vorfeld typische Fehlvorstellungen sowie die Fehlerkultur der Schülerinnen und Schüler in Bezug auf ein Thema oder eine Aufgabe analysiert werden. Auf dieser Grundlage können die Fehler dann mithilfe eines Algorithmus erkannt und passende Rückmeldungen angezeigt werden. So kann einerseits (siehe Abbildung 5 links) ein Hinweis zum gemeinsamen Nenner gegeben werden, sollte dieser nicht von den Lernenden selbstständig erkannt werden und andererseits (siehe Abbildung 5 rechts) können typische Schülerinnen- und Schülerfehler automatisiert erkannt und erklärt werden. In Abbildung 5 wurden neben den Zählern fälschlicherweise auch die Nenner der Brüche addiert. In diesem Fall kann das Übungsmaterial individuell auf diesen Fehler eingehen und ihn an die oder den Lernenden rückmelden. Ziel dieser adaptiven Komponente ist es, individuelle Rückmeldungen und Feedback geben zu können, ohne dabei auf die limitierten Ressourcen der Lehrkraft zurückgreifen zu müssen. Damit wird das eigenständige Lernen gefördert, welches sich schließlich positiv auf die Selbstwirksamkeit der Lernenden auswirken soll (Reinhold & Reiss, 2020).

Die Integration adaptiver Materialien in den Mathematikunterricht ist zweifellos ein vielversprechender Ansatz, um den individuellen Bedürfnissen der Schülerinnen und Schüler gerecht zu werden. Doch wie bei jeder pädagogischen Innovation hängt ihr Erfolg letztlich von der Lehrkraft ab, die diese Materialien in der Praxis einsetzt. Es obliegt der Lehrkraft, wie und wann diese Werkzeuge sinnvoll in den Unterricht eingebunden werden, um den größtmöglichen Nutzen für die Lernenden zu erzielen. Dabei ist es wichtig, die Stärken adaptiver Materialien gezielt zu nutzen, ohne dabei die bewährten Elemente des traditionellen Unterrichts aus den Augen zu verlieren. Aus der Perspektive der Materialentwicklerinnen und -entwickler wird empfohlen, adaptives Material insbesondere in Übungsphasen einzusetzen. Diese Phasen bieten eine ideale Gelegenheit, um das zuvor erlernte Wissen zu vertiefen und zu festigen. Durch die Möglichkeit, Aufgaben individuell an den Lernstand der Schülerinnen und Schüler anzupassen, können gezielt Schwächen bearbeitet und Stärken weiter ausgebaut werden. Gleichzeitig wird den Lernenden durch personalisierte Rückmeldungen ein Gefühl der Selbstwirksamkeit vermittelt, was ihre Motivation und ihr Engagement zusätzlich steigern kann. Ein weiterer zentraler Punkt ist die Abwechslung. Studien zeigen, dass die Kombination aus traditionellen Unterrichtsmethoden und dem gezielten Einsatz digitaler Medien besonders effektiv ist, um nachhaltige Lernfortschritte zu erzielen (Hidayat & Firmanti, 2024). Diese Abwechslung ermöglicht es, die Vorteile beider Ansätze zu vereinen. Während der traditionelle Unterricht Raum für direkte Interaktion, Diskussionen und gemeinsames Problemlösen bietet, können digitale adaptive Materialien individuelle Lernwege unterstützen und so eine personalisierte Förderung ermöglichen. Es ist jedoch wichtig, sich bewusst zu machen, dass der Einsatz adaptiver Materialien nicht als Ersatz für die Lehrkraft oder den traditionellen Unterricht gedacht ist, sondern vielmehr als Ergänzung. Die Lehrkraft bleibt zentraler Ankerpunkt des Lernprozesses und ist dabei sowohl in der Vermittlung der Inhalte als auch in der Beobachtung der sozialen und emotionalen Aspekte des Lernens tätig. Digitale Technologien können dabei eine wertvolle Unterstützung sein, doch sie ersetzen nicht die menschliche Komponente, die für einen erfolgreichen Unterricht unerlässlich ist.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Integration adaptiver Materialien eine spannende Chance bietet, den Mathematikunterricht moderner, effektiver und individueller zu gestalten. Sie erfordert jedoch auch eine bewusste und reflektierte Herangehensweise seitens der Lehrkräfte. Mit einer sorgfältigen Auswahl der Materialien und einem klaren Fokus auf die Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler kann adaptives Lernen zu einem wertvollen Bestandteil des Mathematikunterrichts werden – und damit nicht nur die Lernleistung, sondern auch die Freude am Lernen nachhaltig fördern.

4. Fazit und Ausblick

In dieser Publikation wurde versucht, Lösungsvorschläge für zwei der größten Probleme des Mathematikunterrichts im Jahre 2025 zu bieten: die steigende Heterogenität und die kontinuierliche Amotivation, die bei Schülerinnen und Schülern zu beobachten ist. Klar sollte dabei natürlich sein, dass sowohl Gamification als auch adaptives Lernen keine Wundermedizin ist, welche das Klassenzimmer sofort in eine spielerische und lernförderliche Umgebung transformiert. Vielmehr obliegt es der individuellen Lehrkraft, diese neuen Werkzeuge in ihr Repertoire aufzunehmen und an die eigenen Bedürfnisse im Klassenzimmer anzupassen. Die Forschung auf dem Gebiet zeigt zum einen, dass Gamification die Motivation und das Engagement von Schülerinnen und Schülern signifikant steigern kann und zum anderen, dass Adaptivität in Lernumgebungen den Lernprozess in vielfältiger Weise bereichern kann. Nun liegt es an Lehrkräften, praxisorientierte Schlüsse aus diesen Erkenntnissen zu ziehen.

Hervorhebenswert ist, dass die Kombination aus beiden didaktischen Methoden eine noch vielversprechende Auswirkung haben dürfte: wenn angepasst an die Bedürfnisse der Lernenden Gamification Strategien angewandt werden, so könnten spielerische Lernerfahrungen auf die individuellen Schülerinnen und Schüler zugeschnitten werden (e.g., Reyssier et al., 2022; Lavoué et al., 2019). Beispielsweise könnte dabei auf die Spielertypen der Schülerinnen und Schüler Rücksicht genommen werden, sodass die Lernumgebung auf die spezifischen Zielvorstellungen und Interessen der Schülerinnen und Schüler adaptiert wird. Individualisierte Lernumgebungen könnten somit die Zukunft der Lernmaterialien im Mathematikunterricht darstellen.

Wie eingangs erwähnt, ist das exponentielle technologische Wachstum in unserer Gesellschaft ein Umstand, mit dem Bildungssysteme weltweit umgehen müssen. Dafür braucht es moderne Ansätze und revolutionäre Ideen, welche tatsächlich auch in den Klassenzimmern Verwendung finden. Diese Revolution muss jedoch an zwei Fronten, nämlich der Bildung und der Wissenschaft, gleichzeitig realisiert werden, um Theorie und Praxis in Einklang zu bringen. Wir hoffen mit diesem Einblick in aktuelle Trends in technologiegestützten Mathematiklernumgebungen einen Impuls für die Verwendung von Gamification und adaptivem Lernen in der Konzeptualisierung von Lernumgebungen in der Praxis zu setzen. Wir plädieren für einen zukunftsorientierten Mathematikunterricht, der an den Bedürfnissen der individuellen Schülerinnen und Schüler des 21. Jahrhunderts angepasst ist. Lassen wir diesen Worten mit Hilfe von Gamification und adaptivem Lernen in Mathematiklernumgebungen Taten folgen.

Literatur

- Aleven, V., McLaughlin, E. A., Glenn, R. A., & Koedinger, K. R. (2017). Instruction based on adaptive learning technologies. In R. E. Mayer & P. Alexander (Eds.), *Handbook of research on learning and instruction* (2nd ed., pp. 522-560). Routledge
- Alghabban, W. G., & Hendley, R. J. (2021). Student perception of usability: A metric for evaluating the benefit when adapting e-learning to the needs of students with dyslexia. In *Proceedings of the CSEDU 2021* (pp. 207-219). <https://doi.org/10.5220/0010452802070219>
- Alt, D. (2023). Assessing the benefits of gamification in mathematics for student gameful experience and gaming motivation. *Computers & Education*, 200, 104806. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104806>
- Arsovic, B., & Stefanovic, N. (2020). E-learning based on the adaptive learning model: Case study in Serbia. *Sādhana*, 45(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s12046-020-01499-8>
- Awang, L. A., Yusop, F. D., & Danaee, M. (2024). Insights on usability testing: The effectiveness of an adaptive e-learning system for secondary school mathematics. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 19(3), em0782. <https://doi.org/10.29333/iejme/14621>
- Bacsa-Károlyi, B., & Fehérvári, A. (2025): Pre-service teachers' attitudes toward gameful practices – a systematic review, *European Journal of Teacher Education*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/02619768.2025.2505020>
- Bai, S., Hew, K. F., & Huang, B. (2020). Does gamification improve student learning outcome? Evidence from a meta-analysis and synthesis of qualitative data in educational contexts. *Educational Research Review*, 30, 100322. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100322>
- Barana, A., Fissore, C., & Marchisio, M. (Eds.) (2020). *Automatic Formative Assessment Strategies for the Adaptive Teaching of Mathematics*. Springer International Publishing.
- Bartle, R. (1996). Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit MUDs. *Journal of MUD Research*, 1(1), 19.
- Bernacki, M. L., Greene, M. J., & Lobczowski, N. G. (2021). A Systematic Review of Research on Personalized Learning: Personalized by Whom, to What, How, and for What Purpose(s)? *Educational Psychology Review*, 33(4), 1675–1715. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09615-8>
- Bloom, B. S. (1968). Learning for mastery. *Evaluation Comment*, 1 (2), 112.
- Çakıroğlu, Ü., Başbüyük, B., Güler, M., Atabay, M., & Yılmaz Memiş, B. (2017). Gamifying an ICT course: Influences on engagement and academic performance. *Computers in Human Behavior*, 69, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.12.018>
- Cavanagh, T., Chen, B., Lahcen, R. A. M., & Paradiso, J. (2020). Constructing a design framework and pedagogical approach for adaptive learning in higher education: A practitioner's perspective. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 21(1), 173–197. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v21i1.4557>
- Chou, C. Y., Lai, K. R., Chao, P. Y., Lan, C. H., & Chen, T. H. (2015). Negotiation based adaptive learning sequences: Combining adaptivity and adaptability. *Computers & Education*, 88, 215–226. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.05.007>
- Clark, R. M., & Kaw, A. K. (2020). Benefits of adaptive lessons for pre-class preparation in a flipped numerical methods course. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 51(5), 713–729. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1617439>
- Das, M., Bhaskar, M., Chithralekha, T., & Sivasathya, S. (2010). Context aware e-learning system with dynamically composable learning objects. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 2(4), 1245–1253.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game elements to gamefulness. In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments* (pp. 9–15). New York, NY: ACM.
- Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G., & Angelova, G. (2015). Gamification in education: A systematic mapping study. *Journal of Educational Technology & Society*, 18(3), 75–88. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/pdf/jeductechsoci.18.3.75.pdf>

- Domínguez, A., Saenz-de-Navarrete, J., de-Marcos, L., Fernández-Sanz, L., Pagés, C., & Martínez-Herráiz, J.-J. (2013). Gamifying learning experiences: Practical implications and outcomes. *Computers & Education*, 63, 380–392. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.020>
- Drijvers, P., Ball, L., Barzel, B., Heid, M. K., Cao, Y. & Maschietto, M. (2016). *Uses of technology in lower secondary mathematics education: A concise topical survey*. Springer Open.
- Drijvers, P. (2015). Digital technology in mathematics education: Why it works (or doesn't). In S. Cho (Ed.), *Selected regular lectures from the 12th international congress on mathematical education* (pp. 135–151). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17187-6_8
- Ertan, K., & Kocadere, S. (2022). Gamification design to increase motivation in online learning environments: A systematic review. *Journal of Learning, Teaching and Instructional Design*
- Foshee, C. M., Elliott, S. N., & Atkinson, R. K. (2016). Technology-enhanced learning in college mathematics remediation. *British Journal of Educational Technology*, 47(5), 893–905. <https://doi.org/10.1111/bjet.12285>
- Hakulinen, L., Auvinen, T., & Korhonen, A. (2013). Empirical study on the effect of achievement badges in TRAKLA2 online learning environment. In *2013 Learning and Teaching in Computing and Engineering (LaTiCE 2013)* (pp. 47–54). IEEE. <https://doi.org/10.1109/LaTiCE.2013.24>
- Hanus, M. D., & Fox, J. (2015). Assessing the effects of gamification in the classroom: A longitudinal study on intrinsic motivation, social comparison, satisfaction, effort, and academic performance. *Computers & Education*, 80, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.08.019>
- Hidayat, A., & Firmanti, P. (2024). Navigating the tech frontier: a systematic review of technology integration in mathematics education. *Cogent Education*, 11(1), 2373559. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2373559>
- Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L. & Reiss, K. (2017). *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit*. Waxmann. <https://doi.org/10.25656/01:15482>
- Huang, R., Ritzhaupt, A. D., Sommer, M., Zhu, J., Stephen, A., Valle, N., ... & Barrera, C. (2020). The impact of gamification in educational settings on student learning outcomes: A meta-analysis. *Educational Technology Research and Development*, 68(4), 1875–1901. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09807-z>
- Huizinga, J. (1938). *Homo Ludens*. Routledge & Kegan Paul.
- Kapp, K. M. (2012). *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education*. John Wiley & Sons.
- Kerr, P. (2015). Adaptive learning. *ELT Journal*, 70(1), 88–93. <https://doi.org/10.1093/elt/ccv055>
- Kocadere, S. A., & Çağlar, Ş. (2018). Gamification from player type perspective: A case study. *Journal of Educational Technology & Society*, 21(3), 12-22.
- Kulik, C., Kulik, J. A., & Bangert-Drowns, R. L. (1990). Effectiveness of mastery learning programs: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 60(2), 265-299.
- Krath, J., & von Kortzfleisch, H. (2021). Designing gamification and persuasive systems: A systematic literature review. In *Proceedings of the 5th International GamiFIN Conference* (pp. 100–109).
- Lavicza, Z., Weinhandl, R., Prodromou, T., Anđić, B., Lieban, D., Hohenwarter, M., ... & Diego-Mantecón, J. M. (2022). Developing and evaluating educational innovations for STEAM education in rapidly changing digital technology environments. *Sustainability*, 14(12), 7237. <https://doi.org/10.3390/su14127237>
- Lavoué, É., Monterrat, B., Desmarais, M., & George, S. (2019). Adaptive gamification for learning environments. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 12(1), 16–28. <https://doi.org/10.1109/TLT.2018.2823710>
- Lee, J., & Park, O. (2008). Adaptive instructional systems. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. J. G. van Merriënboer, & M. Driscoll (Eds.), *Handbook of research on educational communications and technology* (3rd ed., pp. 469–484). Taylor & Francis.
- Lim, L., Lim, S. H., & Lim, W. Y. R. (2023). Efficacy of an Adaptive Learning System on Course Scores. *Systems*, 11(1), 31. <https://doi.org/10.3390/systems11010031>
- Liu, M., McKelroy, E., Corliss, S. B., & Carrigan, J. (2017b). Investigating the effect of an adaptive learning intervention on students' learning. *Educational Technology Research and Development*, 65(6), 1605–1625. <https://doi.org/10.1007/s11423-017-9542-1>

- Lopez, C. E., & Tucker, C. S. (2019). The effects of player type on performance: A gamification case study. *Computers in Human Behavior*, 91, 333–345. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.10.005>
- Marczewski, A. (2015). Even ninja monkeys like to play: Gamification, game thinking & motivational design. Gamified UK.
- Martin, F., Chen, Y., Moore, R. L., & Westine, C. D. (2020). Systematic review of adaptive learning research designs, context, strategies, and technologies from 2009 to 2018. *Educational Technology Research and Development*, 68(4), 1903–1929. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09793-2>
- Meijer, R. R., & Nering, M. L. (1999). Computerized Adaptive Testing: Overview and Introduction. *Applied Psychological Measurement*, 23(3), 187–194. <https://doi.org/10.1177/01466219922031310>
- Mekler, E. D., Brühlmann, F., Tuch, A. N., & Opwis, K. (2017). Towards understanding the effects of individual gamification elements on intrinsic motivation and performance. *Computers in Human Behavior*, 71, 525–534. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.08.048>
- mpfs. (2024). JIM-Studie 2024. Jugend, Information, Medien - Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. <https://mpfs.de/studie/jim-studie-2024/>
- Nacke, L. E., Bateman, C., & Mandryk, R. L. (2014). BrainHex: A neurobiological gamer typology survey. *Entertainment Computing*, 5(1), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2013.06.002>
- Normandhi, N. B. A., Shuib, L., Nasir, H. N., Bimba, A., Idris, N., & Balakrishnan, V. (2019). Identification of personal traits in adaptive learning environment: Systematic literature review. *Computers & Education*, 130, 168–190. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.11.005>
- Paireekreng, W., & Prexawanprasut, T. (2015). An integrated model for learning style classification in university students using data mining techniques. In *2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)* (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ecticon.2015.7206951>
- Phillips, A., Pane, J. F., Reumann-Moore, R., & Shenbanjo, O. (2020). Implementing an adaptive intelligent tutoring system as an instructional supplement. *Educational Technology Research and Development*, 68(3), 1409–1437. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09745-w>
- Plass, J. L., & Pawar, S. (2020b). Toward a taxonomy of adaptivity for learning. *Journal of Research on Technology in Education*, 52(3), 275–300. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1719943>
- Premlatha, K. R., Dharani, B., & Geetha, T. V. (2016). Dynamic learner profiling and automatic learner classification for adaptive e-learning environment. *Interactive Learning Environments*, 24(6), 1054–1075. <https://doi.org/10.1080/10494820.2014.948459>
- Reinhold, F., Hoch, S., Werner, B., Reiss, K. & Richter-Gebert, J. (2018). *Tablet-PCs im Mathematikunterricht in der Klasse 6. Ergebnisse des Forschungsprojektes ALICE:Bruchrechnen*. Waxmann.
- Reinhold, F., & Reiss, K. (2020). Relevanz, Selbstwirksamkeit und Ängstlichkeit bezogen auf das Unterrichten von Mathematik mit digitalen Medien: Eine Interventionsstudie mit Lehrkräften aus Deutschland und Kolumbien. In K. Kaspar, M. Becker-Mrotzek, S. Hofhues, J. König & D. Schmeinek (Hrsg.), *Bildung, Schule und Digitalisierung* (S. 96–102). Münster: Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830992462>
- Reyssier, S., Hallifax, S., Serna, A., Marty, J.-C., Simonian, S., & Lavoue, E. (2022). The impact of game elements on learner motivation: Influence of initial motivation and player profile. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 15(1), 42–54. <https://doi.org/10.1109/TLT.2022.3153239>
- Sailer, M., Hense, J. U., Mayr, S. K., & Mandl, H. (2017). How gamification motivates: An experimental study of the effects of specific game elements on psychological need satisfaction. *Computers in Human Behavior*, 69, 371–380. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.12.033>
- Schmidt-Thieme, B. & Weigand, H.-G. (2015). Medien. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (p. 461–490). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35119-8_17
- Smith, K. (2018). Perceptions of preservice teachers about adaptive learning programs in K-8 mathematics education. *Contemporary Educational Technology*, 9(2), 111–130. <https://doi.org/10.30935/cet.414780>
- Seaborn, K., & Fels, D. I. (2015). Gamification in theory and action: A survey. *International Journal of Human-Computer Studies*, 74, 14–31. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.09.006>

- Toda, A. M., Klock, A. C. T., Oliveira, W., Palomino, P. T., Rodrigues, L., Shi, L., ... & Cristea, A. I. (2019). Analyzing gamification elements in educational environments using an existing gamification taxonomy. *Smart Learning Environments*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-019-0106-1>
- Toktarova, V. (2022). Model of Adaptive System for Mathematical Training of Students within eLearning Environment. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 17(20), 99–117. <https://doi.org/10.3991/ijet.v17i20.32923>
- Vanbecelaere, S., Demedts, F., Reynvoet, B., & Depaepe, F. (2023). Toward a framework for analyzing adaptive digital games' research effectiveness. *International Journal of Serious Games*, 10(4), 77–91. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v10i4.618>
- Van Schoors, R., Elen, J., Raes, A., Vanbecelaere, S., Rajagopal, K., & Depaepe, F. (2025). Teachers' Perceptions Concerning Digital Personalized Learning: Theory Meet Practice. *Technology, Knowledge and Learning*, 1–27. <https://doi.org/10.1007/s10758-025-09815-z>
- Wang, S., Christensen, C., Cui, W., Tong, R., Yarnall, L., Shear, L., & Feng, M. (2023). When adaptive learning is effective learning: Comparison of an adaptive learning system to teacher-led instruction. *Interactive Learning Environments*, 31(2), 793–803. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1808794>
- Werbach, K., & Hunter, D. (2012). For the win: How game thinking can revolutionize your business. Wharton Digital Press.
- Wilson, R., & Mack, J. (2014). Declines in high school mathematics and science participation: Evidence of students' and future teachers' disengagement with maths. *IJISME*, 22(7). Retrieved from <https://openjournals.library.sydney.edu.au/cal/article/view/7625>
- Xie, H., Chu, H. C., Hwang, G. J., & Wang, C. C. (2019). Trends and development in technology-enhanced adaptive/personalized learning: A systematic review of journal publications from 2007 to 2017. *Computers & Education*, 103599. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103599>
- Zainuddin, Z., Chu, S. K. W., Shujahat, M., & Perera, C. J. (2020). The impact of gamification on learning and instruction: A systematic review of empirical evidence. *Educational Research Review*, 30, 100326. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100326>

Verfasser

Selina Baldinger
Johannes Kepler Universität Linz
Center for Open Digital Education
Altenberger Straße 68
4040 Linz
selina.baldinger@jku.at

Jonas Mayrhofer
Johannes Kepler Universität Linz
Center for Open Digital Education
Altenberger Straße 68
4040 Linz
jonas.mayrhofer@jku.at