Adaptivität hat viele Gesichter

Wie können Lernangebote flexibel auf Lernvoraussetzungen abgestimmt werden?

Beim Planen einer Einheit, bei der Auswahl und Konzeption von Aufgaben oder in der spontanen Lernbegleitung im Unterricht – stets gilt es, das Lernangebot auf die Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler abzustimmen. Damit diese Anpassung (Adaptivität) gelingt, ist es hilfreich, unterschiedliche Ansätze zu kennen und daraus auswählen zu können.

MARITA FRIESEN, LARS HOLZÄPFEL, TIMO LEUDERS

Wann kann es sinnvoll sein, die Klasse für eine ganze Unterrichtseinheit nach bestimmten Lernvoraussetzungen einzuteilen? Was kann ich vorbereiten, um mich in Phasen der Lernbegleitung zu entlasten und Flexibilität zu ermöglichen? Und welche Aufgaben sind geeignet, um Lernenden mit ganz unterschiedlichen Voraussetzungen einen Zugang zum Thema zu ermöglichen? Ein Lernangebot, das möglichst gut auf die individuellen Lernvoraussetzungen abgestimmt ist, gilt als wichtige Voraussetzung für deren erfolgreiches (Weiter-)Lernen (Corno 2008). Alle Formen des Differenzierens im Unterricht haben zum Ziel, durch eine möglichst hohe Passung des Lern- und Unterstützungsangebots zu den Lernvoraussetzungen Adaptivität herzustellen, damit die Kinder und Jugendlichen optimal lernen können. Die Adaptivität des Unterrichts ist damit eines der zentralen Qualitätskriterien für guten Unterricht. Doch was bedeutet dies für die tägliche Unterrichtspraxis im Fach Mathematik?

Beim konkreten Planen und Umsetzen adaptiven Unterrichts ergeben sich zahlreiche Fragen:

- Welche Voraussetzungen sind überhaupt für das Lernen meiner Schülerinnen und Schüler relevant? Sind es bei verschiedenen Inhaltsbereichen bzw. Themen die gleichen Voraussetzungen?
- Wie kann ich die verschiedenen Lernvoraussetzungen in meiner Klasse identifizieren?
- Genügen dann eigentlich Aufgaben in den Variationen „leicht – mittel – schwer" oder brauche ich noch andere Unterscheidungen?
  Was heißt das für die (adaptive) Unterstützung bei der Bearbeitung von Aufgaben?
- Für welchen Zeitraum sollen meine Schülerinnen und Schüler überhaupt in unterschiedlicher Weise arbeiten und wann und wie kommen sie wieder zusammen?

Bei all diesen Fragen ist es nicht nur gut, verschiedene Ansätze und zugrunde liegende Prinzipien von Adaptivität zu kennen, sondern sich auch einen kritischen Blick zu bewahren, wie gut adaptives Unterrichten empirisch fundiert und lerntheoretisch abgesichert ist.

Was genau ist adaptives Lehren?

Unter der Bezeichnung „adaptiver Unterricht" oder „adaptives Lehren" versteht man Unterrichtsformen, in denen sich das Lehren (in Form der Ziele, der Aufgaben und/oder der Unterstützung von Lernenden) den Voraussetzungen der Lernenden anpasst und deshalb – wenn der Unterricht gelingt – zu größeren Lernerfolgen führt (z. B. Corno/Snow 1986). Adaptive Lehrkompetenz wird entsprechend als die Fähigkeit beschrieben, den Unterricht so auf die individuellen Voraussetzungen und Möglichkeiten der Lernenden anzupassen, dass möglichst günstige Bedingungen für individuell verstehendes Lernen entstehen (Beck 2008). Doch wie kann diese Anpassung aussehen?

In der Literatur (s. etwa Corno 2008, Klieme/Warwas 2011, Brühwiler 2014) wird unterschieden zwischen

- *Makroadaptivität* durch Anpassen von Lernmaterialien, Methoden, Medien, Sozialformen und Lernzeiten bereits bei der Planung von Unterricht (dies erfordert *adaptive Planungskompetenz*) und
- *Mikroadaptivität* durch Anpassung der Interaktionen zwischen Lehrenden und Lernenden, oftmals in Form individueller und auch spontaner Unterstützung bzw. Vertiefung durch die Lehrkraft im Unterrichtsverlauf (dies erfordert *adaptive Handlungskompetenz*).

In der Praxis des Mathematikunterrichts trifft man jedoch oft Misch- und Zwischenformen der Adaptivität an (wir bezeichnen diese hier als „*Mesoadaptivität*"), welche als flexible Lösungen adaptiven Unterrichtens genutzt und auch gebraucht werden (Prediger/Leuders 2016, Friesen/ Leuders/Loibl 2022).

Eine solche Adaptivität auf mittlerer Ebene („*Mesoebene*") beschreibt, wie Lehrkräfte einerseits

Lernangebots auf der Makroebene anstellen (etwa bei der Auswahl und Konzeption von differenzierenden Aufgaben bei der Unterrichtsplanung) und wie dieses geplante Adaptieren andererseits im Unterrichtsverlauf immer wieder ergänzt wird und werden muss (etwa durch spontane Hilfestellungen oder auch Vertiefungen auf der Mikroebene, vgl. **Tab. 1**).

Was genau ist adaptives Lehren *nicht*?

Grundsätzlich darf man angesichts des erst einmal positiv belegten Attributs „adaptiv“ nicht der Illusion erliegen, Adaptivität an sich führe schon zu besserem Lernen. Vielmehr muss die Frage, was man wie und woran anpasst, immer wieder sorgfältig überlegt werden. So gibt es beispielsweise Formen der Adaptivität, die zwar plausibel erscheinen, die sich jedoch über viele empirische Studien hinweg als unwirksam erwiesen haben.

Ein prominentes Beispiel hierfür ist die Anpassung des Lernangebots an sogenannte „Lernstile“: Zwar kann man bei Lernenden durchaus Vorlieben etwa für visuelle oder verbale Informationen unterscheiden – eine Anpassung des Lehrmaterials an solche Lernstile zeigte jedoch in den damit befassten Studien keine erhöhten Lernwirkungen (Bauer/Asberger 2022). Es geht also nicht darum, sich beim Lernmaterial auf Makroebene an Vorlieben von Lernenden anzupassen, sondern Mathematik im Unterricht auf Mikroebene, d. h. im Austausch über Lösungsideen, über unterschiedliche Darstellungen für alle Lernenden zugänglich zu machen (Prediger/Leuders 2016).

Was wirkt? Forschungsergebnisse

In der Lehr- und Lernforschung zeigen durchaus zahlreiche Studien positive Effekte, wenn das Lernangebot an die unterschiedlichen Voraussetzungen der Lernenden angepasst wird:

- Lernende mit gutem Vorwissen benötigen weniger Struktur und Unterstützung durch die Lehrkraft als Lernende mit geringem Vorwissen. Lernende mit geringem Vorwissen profitieren sehr durch häufige Rückmeldungen der Lehrkraft und ein gut strukturiertes Klassengespräch (z. B. Kalyuga 2007).
- Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen ist für Leistungsschwache förderlich; Leistungsstärkere profitieren mehr davon, wenn sie schon früh im Lernprozess zu offenem Problemlösen aufgefordert werden (z. B. Kalyuga/Sweller, 2004).

Adaptivität spielt sich auf drei Ebenen ab, für die jeweils die Lernvoraussetzungen identifiziert und dann genutzt werden: für die Planung einer Unterrichtsreihe (Makroebene), für die zeitweise unterschiedliche Vergabe von Aufgaben (Mesoebene) oder für die Art einer unmittelbaren Rückmeldung oder Unterstützung (Mikroebene).

Ebene des Adaptierens	Dauer (Zeitskala)	Organisation der Lerngruppe	Umsetzungsbeispiele
Makro	Wochen bzw. ganzes Schuljahr	Aufteilung in feste Gruppen oder durchgängige Individualisierung	verschiedene Materialien / individuelles Lernen auf gegebenen Niveaus (z. B. Lernpfade, Kompetenzraster …)
Meso	Stunden	zeitweise Aufteilung in flexible Gruppen	zeitweises Gruppieren nach Diagnose des Vorwissens; Umsetzungsbeispiel (1): Flexibles Gruppieren nach sprachlichen Lernvoraussetzungen beim Bruchrechnen
	Stunden	keine Aufteilung	formative Anpassung des Unterrichts; Umsetzungsbeispiel (2): Natürliches Differenzieren beim explorierenden Arbeiten in der Algebra
	Minuten	zeitweise Aufteilung in flexible Gruppen	verschiedene Inputphasen / differenzierte Parallelaufgaben für Teilgruppen
Mikro	Minuten	individuell oder in Kleingruppe (2 bis 3 Personen)	Interaktion in Übungsphase Microscaffolding im Unterrichtsverlauf Umsetzungsbeispiel (3): Adaptiver Einsatz von Hilfekärtchen beim Problemlösen in der Geometrie

Tab. 1: Verschiedene Formen des adaptiven Unterrichtens als Ergebnis von Überlegungen zum Zusammenhang von Lernzielen, Lernvoraussetzungen und Lernangebot

EVA SCHULTHEIS, KATHARINA LOIBL, TIMO LEUDERS

Multiplikative Textaufgaben

Unterstützen mit Punktefeldern und Info-Netzen

LERNGRUPPE:	4./5. Schuljahr
IDEE:	Adaptive Förderung zum Operationsverständnis im Bereich Multiplikation und Division mithilfe von Punktefeldern und Info-Netzen
VORWISSEN:	Grundrechenarten
MATERIAL 1:	MOVE-Test (Diagnoseinstrument)
MATERIAL 2:	Aufgabenbeispiele für die Förderung
WEITERES MATERIAL:	https://fr-vlg.de/punktefeld
ZEITBEDARF:	variabel

Unterrichtserfahrungen in der Unterstufe decken sich mit empirischen Befunden: Zu viele Kinder kommen mit fundamentalen Lücken in den zentralen mathematischen Basiskompetenzen in die 5. Klasse (z. B. Ehlert u. a. 2013, Schulz u. a. 2017). Eine dieser Lücken liegt im Operationsverständnis im Bereich der Multiplikation und Division (**Abb. 1**). Das kann weitreichende Folgen haben. So ist das multiplikative Denken Voraussetzung für das Verständnis der rationalen Zahlen und des funktionalen Denkens sowie für das Lösen kombinatorischer Aufgaben.

Ohne eine fokussierende ausgleichende Förderung, die an dem individuellen Lernstand ansetzt, werden die Jugendlichen den Anforderungen des Mathematikunterrichts in der Sekundarstufe I langfristig wohl nicht gewachsen sein (Schulz u. a. 2019). Eine Idee zu so einer diagnosegeleiteten adaptiven Förderung stellen wir hier vor.

1. Aufgabe: Auf einer Party werden 12 Pizzen in je 6 Stücke geschnitten. Wie viele Pizzastücke gibt es?

12 : 6 = 2
12
0

12. Aufgabe: Die Klasse 5c gibt für den Ausflug zum Zoo insgesamt 180 Euro aus. In der Klasse sind 30 Kinder. Wie viel kostet der Wandertag für ein Kind?

180−30=150€
150€ für ein Kind.

18. Aufgabe: Maurice packt 13 Bonbontüten. In jede Tüte packt er 15 Bonbons. Wie viele Bonbons verpackt er insgesamt?

15 + 13 = 28

Abb. 1: Bearbeitungen aus einer 5. Klasse – Einzelfälle? Leider nein …

Wo steht meine Klasse? – Formatives Assessment

Unterricht ist dann effektiv, wenn er an den individuellen Lernständen der Lernenden ansetzt und diese adaptiv weiterentwickelt (siehe z. B. Helmke 2010). Dies gilt für Leistungsschwache ebenso wie für die Leistungsstarken. Um genauere Aussagen darüber treffen zu können, wo die einzelnen Lernenden in ihrem Verständnis für Multiplikation und Division stehen, und diese dann adäquat fördern zu können, wurde ein Test zur Multiplikativen Operationsverständnis-Erfassung (kurz: MOVE, s. **Arbeitsblatt**) entwickelt und validiert. Der Test entstand in starker Anlehnung an das Diagnoseinstrument „Lernstand 5“ und dessen empirische und theoretische Fundierung (Schulz u. a. 2019).

Der MOVE-Test

Operationsverständnis meint die Fähigkeit, Situationen, die als Handlung, Beschreibung, Bild oder Text vorgegeben sind, in passende Rechenoperationen zu übersetzen – und umgekehrt zu Operationen passende Situationen zu finden.

Jede multiplikative Situation wird bestimmt durch drei Werte: die Gesamtmenge, die Anzahl der Portionen und die Mächtigkeit einer Portion. Je nachdem, was in einer bestimmten Situation gesucht wird und ob diese Situation „vorwärts“ oder „rückwärts“ gelöst wird, muss bzw. kann eine Multiplikation oder eine Division gerechnet werden (Schulz/Wartha 2021). Die enge Verbindung von Multiplikation und Division als jeweilige Umkehroperation wird so offensichtlich. Multiplikatives Operationsverständnis schließt die Division ein.

Erklärung der Stufen im Test MOVE
MOVE fußt auf einer Skala mit vier Stufen (s. **Tab. 1**), die auf Grundlage der Skala zum Operationsverständnis in Lernstand 5 (Schulz u. a. 2017, 2019) entwickelt wurden. Sie fokussieren das Operationsverständnis von Multiplikation und Division und versuchen, dieses weiter auszudifferenzieren (durch Textaufgaben, die mathematisiert werden sollen). Die Skala beschreibt vier hierarchisch aufgebaute Stufen des Operationsverständnisses.

Generell erscheinen Textaufgaben, die eine Mehrschrittlösung erfordern, schwieriger als Probleme mit einstufigen Lösungsverfahren (Ehlert u. a. 2013). Daher werden auf den Stufen 1a und 1b nur Aufgaben dargeboten, die einschrittig gelöst werden können; auf den Stufen 2a und 2b werden mehr-

FRANK REINHOLD

Adaptive (digitale) Zugänge zur Bruchrechnung

LERNGRUPPE: 5. – 6. Schuljahr

IDEE: Einen tragfähigen Bruchzahlbegriff entwickeln und fördern

MATERIAL: Tablet-PCs mit Touchscreen, E-Book „Bruchrechnen“ https://www.alice.edu.tum.de/#ibook

ZEITBEDARF: Flexibler Einsatz in mehreren Unterrichtseinheiten

Möglichkeiten, den Unterricht phasenweise adaptiv zu gestalten, bietet der Einsatz digitaler Lernumgebungen und digitaler Lernpfade. Ein Beispiel ist das im Projekt ALICE:Bruchrechnen entwickelte frei zugängliche E-Book (vgl. Reinhold/Hoch/Reiss 2019), dem die hier gezeigten Beispielaufgaben entstammen.

Solche digitalen Ansätze zur Individualisierung des Lernangebots bergen große Potenziale – und viele digitale Tools zum Mathematiklernen werben mit einer adaptiven Passung der Aufgaben und Lernwege an die individuellen Bedürfnisse der Schüler:innen. Doch inwiefern berücksichtigen sie wirklich inhaltliche Bedarfe der Lernenden und welche Informationen werden dafür tatsächlich genutzt? Die hier dargestellten Überlegungen zur Antwort auf diese Fragen gelten grundsätzlich auch für „analogen“ adaptiven Unterricht.

Wie „schwierig“ sollte eine Aufgabe sein?

Ein zentrales Feature, dem nach gängigen Lerntheorien ein hohes Potenzial für die Unterstützung von Lernenden zugesprochen wird, ist das automatisierte und adaptive Anpassen der Anforderungen an die Lernenden. Als übergeordnetes Ziel für eine möglichst individuelle Förderung ist dieses Bestreben durchaus zu begrüßen – jedoch sollte man bei der Wahl adaptiver Tools für den Mathematikunterricht fragen, nach welchen Prinzipien diese „individuelle Passung“ umgesetzt wird.

Ein gängiger Zugang, der ohne Mathematikdidaktik auskommt

Die Grundlage einer „individuellen Passung“ in vielen Tools ist eine automatisierte Veränderung des Schwierigkeitsgrades nachfolgender Aufgaben auf der Basis der Lösung vorhergehender Aufgaben. Die Entwicklung solcher Tools erfolgt dabei meist mehrschrittig – viele unterschiedliche Aufgaben eines bestimmten Typs (z. B. zum Größenvergleich von Brüchen) werden generiert, einer meist sehr großen Zahl von Lernenden vorgelegt und mittels statistischer Verfahren nach Schwierigkeit (im Wesentlichen auf Basis der Lösungshäufigkeiten) sortiert.

Lösen Lernende nun eine Aufgabe aus diesem Pool, so lassen sich aus dem Wissen über die Schwierigkeit der Aufgabe und der Information darüber, ob die Schülerantwort richtig oder falsch war, automatisierte Handlungsempfehlungen für die Wahl der nachfolgenden Aufgabe generieren, die sich in digitale Lernumgen implementieren lassen.

Ein solches Vorgehen kommt prinzipiell ohne Kenntnisse über den Inhalt der Aufgaben aus: Wie „leicht“ eine Aufgabe ist, entscheidet sich dadurch, welcher Anteil der vorab befragten Lernenden die Aufgabe „richtig“ gelöst haben. Dieser rein statistische Blick klammert die Komplexität und die möglichen Ursachen der „Schwierigkeit“ einer Mathematikaufgabe weitgehend aus.

Was macht eine Aufgabe „schwierig“ oder „leicht“?

Neben statistisch ermittelten Aufgabenschwierigkeiten stehen der Mathematikdidaktik weitere Möglichkeiten zur Klassifizierung der Schwierigkeit einer Aufgabe zur Verfügung. Betrachten wir eine Standardaufgabe zu Brüchen:

→ *Welcher Bruch ist größer:* $\frac{9}{8}$ *oder* $\frac{6}{7}$ *?*

Hier führen unterschiedliche Strategien zum Ziel – etwa der Vergleich mit 1 oder Gleichnamigmachen –, aber auch die weit verbreitete Fehlerstrategie „Größere Zahlen heißt größerer Bruch“ (in der Forschung als *Natural Number Bias* bekannt, s. Reinhold/Reiss, Bruchrechnen 020): „9 > 6 und 8 > 7, also ist $\frac{9}{8} > \frac{6}{7}$“ folgt dieser Systematik und „löst“ die Aufgabe. Doch die Aufgabe lässt sich so verändern, dass die Fehlerstrategie gerade zur falschen Lösung führt **(Abb. 1)**.

Tatsächlich ist die erste Aufgabe auch „empirisch leichter“ – jedoch bedeutet beim Vergleich dieser beiden Aufgaben „leichter“ im Wesentlichen „durch systematische Anwendung einer Fehlvorstellung dennoch korrekt lösbar“ – was für die Diagnose und Förderung von Lernenden eine wichtige Information darstellt.

Das Beispiel zeigt exemplarisch einen für die Entwicklung des Bruchzahlbegriffs relevanten fachdidaktischen Aspekt (Reinhold 2019), der ohne solche Aufgabendiagnosen keinen Einzug in die Entwicklung digitaler Lernmittel findet. Potenziale für die individuelle Unterstützung von Lernenden, die sich durch eine Berücksichtigung dieser Aspekte bei der Gestaltung digitaler Tools für den Mathematikunterricht erheben, werden nachfolgend diskutiert.

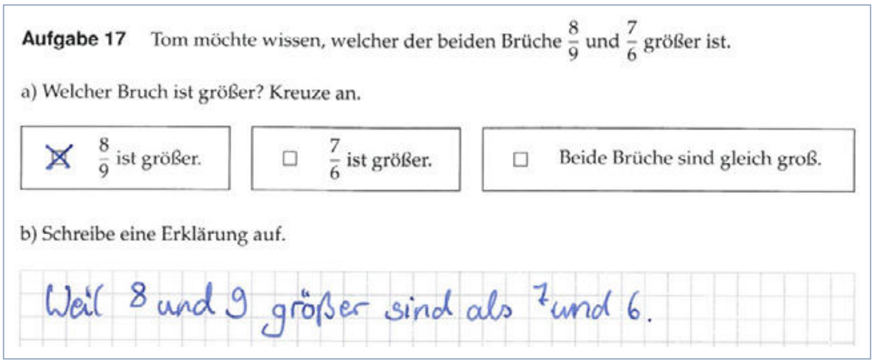

Abb. 1: Größenvergleichsaufgabe, in der die Fehlerstrategie „Größere Zahlen heißt größerer Bruch" zum falschen Ergebnis führt (aus Reinhold 2019, S. 273)

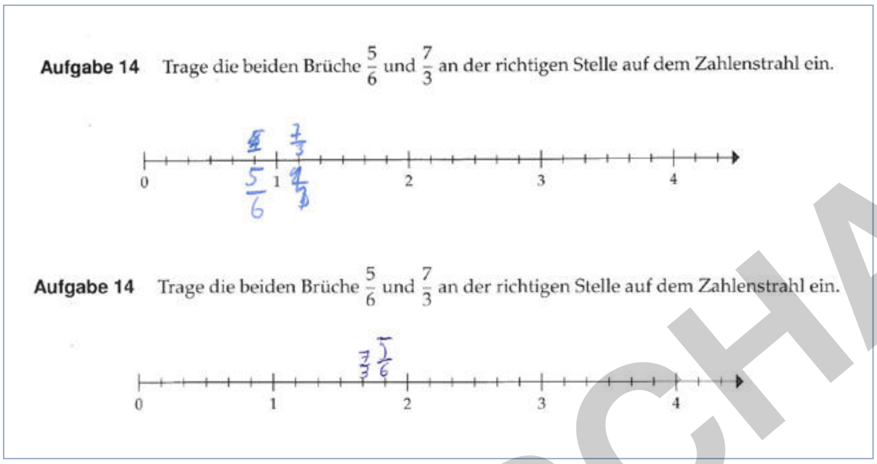

Abb. 2: Zwei Antwortmuster derselben Aufgabe, die auf verschiedene zugrunde liegende Fehlkonzepte hindeuten

Fachdidaktische Zugänge zu Adaptivität

Schwierigkeitsgenerierende Merkmale als Basis der Aufgabenwahl

Gelungene adaptive digitale Lernumgebungen berücksichtigen für die Auswahl einer „passenden" nächsten Aufgabe neben den vergangenen Antworten der Lernenden auch schwierigkeitsgenerierende Merkmale der bereits beantworteten Aufgaben.

Ein Beispiel zum Bestimmen des Bruchteils bei gegebenem Anteil und gegebenem Ganzen kann dies verdeutlichen (Reinhold 2019):

→ *Rechne aus:*
$\frac{1}{3}$ von 30 =
$\frac{7}{8}$ von 36 =
$\frac{4}{6}$ von 15 =

Wie eine Analyse dieser drei Aufgaben zeigt, nimmt die Anzahl der für die Lösung notwendigen Operationen zu. Ist die Aufgabe mit dem Stammbruch $\frac{1}{3}$ noch mit nur einer einzigen Rechnung (der Division durch 3) zu lösen, so muss bei der Aufgabe mit $\frac{4}{6}$ bereits entweder vorab gekürzt werden (oder die Reihenfolge der Operationen „Multiplizieren mit Zähler" und „Dividieren durch Nenner" umgedreht – und damit Rechnungen im Großen Einmaleins durchgeführt – werden).

Im Idealfall bilden empirisch ermittelte Aufgabenschwierigkeiten solche schwierigkeitsgenerierenden Merkmale ab. Das fachdidaktische Potenzial solcher „Kategorisierungen" von Aufgaben zeigt sich, wenn diese Kategorien nicht nur für die Auswahl der nächsten Aufgabe genutzt werden, sondern auch Grundlage für adaptives Feedback an die Lernenden darstellen.

Erkannte typische Fehler als Grundlage für Feedback

Besonders wirksames Feedback geht über eine reine Klassifi „richtig" und „falsch" hinaus und bietet Schüler:innen Lerngelegenheiten zum Überdenken ihrer fehlerhaften Konzepte (Hattie/Timperley 2007). Soll ein digitales Tool fehlerhafte Konzepte „entschlüsseln" können, so sind fundierte Modelle notwendig, die klare Regeln formulieren, wie Lernende mit spezifischen Fehlkonzepten in bestimmten Aufgaben antworten würden.

Solche Modelle sind meist Ergebnisse einer Kombination aus fachdidaktischer Theoriebildung und empirischer Überprüfung – und etwa in der Bruchrechnung sehr gut beforscht (z. B. Eichelmann u. a. 2011). So sind zwei der häufigsten bekannten Fehler beim Eintragen von Brüchen auf den Zahlenstrahl die Beachtung ausschließlich des Zählers sowie das Markieren der Stelle, die der Summe aus Zähler und Nenner entspricht.

Beide Fehlkonzepte führen zu systematischen, aber unterschiedlichen Antwortmustern in Aufgaben zum Zahlenstrahl, wie **Abb. 2** zeigt.

Je besser eine solche „Passung" von durch das digitale Tool beobachtbarem Verhalten beim Bearbeiten von Aufgaben und den zugrunde liegenden (Fehl-)Konzepten gelingt, desto wahrscheinlicher erhalten Lernende „echtes adaptives Feedback" – also automatisierte Rückmeldungen, die ihnen die Grenzen ihrer (Fehl-)Konzepte vor Augen führen können.

Bekannte Eigenschaften als Grundlage für Feedback

Feedback kann neben dem angesprochenen Ziel einer Korrektur bestehender Fehlkonzepte auch dazu eingesetzt werden, leistungsstärkere Schüler:innen zum Weiterdenken anzuregen (Hattie/Timperley 2007). Damit eröffnet sich ein zusätzliches Potenzial von automatisiertem Feedback – insbesondere nach korrekt gelösten Aufgaben. Sollen Rückmeldungen auch hier nicht themenunspezifisch, sondern am Inhalt motiviert sein, sind fachdidaktische Kenntnisse über die Aufgabe (z. B. Ursachen für schwierigkeitsgenerierende Merkmale, Lösbarkeit in Abhängigkeit verschiedener Lösungsstrategien usw.) notwendig.

Grafik: F. Reinhold