



# Die Digitalisierung des Mathematiklernens: Zum Status Quo in Forschung und Praxis

## Was erwarten wir von Technologie im Mathematikunterricht – und warum?

Frank Reinhold

*Pädagogische Hochschule Freiburg  
Institut für Mathematische Bildung*

Hauptvortrag Arbeitskreis Fachdidaktik Baden-Württemberg  
Heidelberg, 22.04.2023

Digitale Transformationen im  
Schulunterricht in Deutschland: Ist es  
die Mühe wert?

## Wo steht Deutschland im internationalen Vergleich?

- **Allgegenwärtig:** Digitale Medien stellen einen wichtigen Bestandteil der **Umwelt** von Kindern und Jugendlichen **außerhalb der Schule** dar.

(z. B. Herzig, 2016)

- **Aber:** In Deutschland werden digitale Medien im internationalen Vergleich noch **relativ selten** in den Schulunterricht integriert – bei vergleichsweise **ungünstigen Rahmenbedingungen** der Digitalisierung.

(ICILS-Studie, Eickelmann et al., 2019; PISA-Studie, Hofer, Holzberger, Heine, Reinhold et al., 2019)

# Digitale Transformationen im Schulunterricht

## Wo steht Deutschland im internationalen Vergleich?

- Allgegenwärtig (z. B. Herzig)
- Aber: Internationaler Vergleich

Prozentualer Anteil von Schülerinnen und Schülern, deren Schulleitung den folgenden Aussagen zustimmte														
	Bandbreite und Geschwindigkeit der Internetverbindung ausreichend		Rechenleistung der digitalen Geräte ausreichend		Ausreichende Verfügbarkeit geeigneter Software		Online-Lernplattform zur Unterstützung verfügbar		Technische und pädagogische ICT-Kompetenz der Lehrkräfte ausreichend		Zugang zu Lernmaterialien für Lehrkräfte zur Nutzung digitaler Geräte		Qualifiziertes Personal zur technischen Unterstützung ausreichend	
OECD-Staaten	%	(SE)	%	(SE)	%	(SE)	%	(SE)	%	(SE)	%	(SE)	%	(SE)
Deutschland	31.7	(3.7)	58.8	(3.8)	59.2	(4.0)	32.7	(3.7)	56.7	(3.8)	40.7	(3.8)	34.4	(3.3)
OECD-Durchschnitt	67.5	(0.5)	68.5	(0.5)	71.3	(0.5)	54.1	(0.5)	64.6	(0.5)	64.7	(0.5)	54.1	(0.5)

(Hofer, Holzberger, Heine, Reinhold et al., 2019, S. 116)

## Wo steht Deutschland im internationalen Vergleich?

- Allgegenwärtig (z. B. Herzig)
- Aber: Internationaler Vergleich (ICILS-Studie)

**Prozentualer Anteil von Schülerinnen und Schülern, deren Schulleitung den folgenden Aussagen zustimmt**

Meine Schule verfügt über die folgenden Dinge ...

OECD-Staaten	Anreize für Lehrkräfte zur Integration digitaler Medien in ihren Unterricht		Geplante zeitliche Ressourcen für Lehrkräfte zur Vorbereitung des Einsatzes digitaler Medien		Konzept zur Förderung der Zusammenarbeit bei der Verwendung digitaler Medien		Regelmäßige Gespräche mit Lehrkräften über die pädagogische Verwendung digitaler Medien		Konzept zum fachspezifischen Einsatz digitaler Medien	
	%	(SE)	%	(SE)	%	(SE)	%	(SE)	%	(SE)
Deutschland	45.4	(4.1)	12.9	(2.5)	20.2	(3.1)	45.2	(4.1)	54.0	(3.9)
OECD-Durchschnitt	56.7	(0.5)	43.6	(0.5)	35.8	(0.5)	62.9	(0.5)	47.9	(0.5)

(Hofer, Holzberger, Heine, Reinhold et al., 2019, S. 118)



## Wo steht Deutschland im internationalen Vergleich?

- **Allgegenwärtig:** Digitale Medien stellen einen wichtigen Bestandteil der **Umwelt** von Kindern und Jugendlichen **außerhalb der Schule** dar.

(z. B. Herzig, 2016)

- **Aber:** In Deutschland werden digitale Medien im internationalen Vergleich noch **relativ selten** in den Schulunterricht integriert – bei vergleichsweise **ungünstigen Rahmenbedingungen** der Digitalisierung.

(ICILS-Studie, Eickelmann et al., 2019; PISA-Studie, Hofer, Holzberger, Heine, Reinhold et al., 2019)

- **Gewinnbringend:** Fachdidaktische und lehr-lernpsychologische **Rahmentheorien** sowie **empirische Ergebnisse** unterstreichen, dass das Lernen mit digitalen Medien zielführend sein kann.

(Mayer, 2014; Reinhold, 2019; Reinhold, Leuders, Loibl et al., in Vorb., Sweller, 2020)

# Digitale Transformationen im Schulunterricht

## Ist es die Mühe wert?

Metaanalyse zu MINT-Fächern:

Positiver Effekt auf **Leistung** ( $k = 92, g = 0,65$ )

- Adaptive Formate mit Feedback besonders wirksam
- Blended Learning-Formate besonders effektiv
- Fortbildungen für Lehrkräfte förderlich für Schüler:innen

(Hillmayr, Ziernwald, Reinhold, Hofer & Reiss, 2020, *Computers & Education*)

Zusätzlich positiver Effekt auf **Einstellungen** ( $k = 16, g = 0,45$ )

- Bezogen auf das Unterrichtsfach

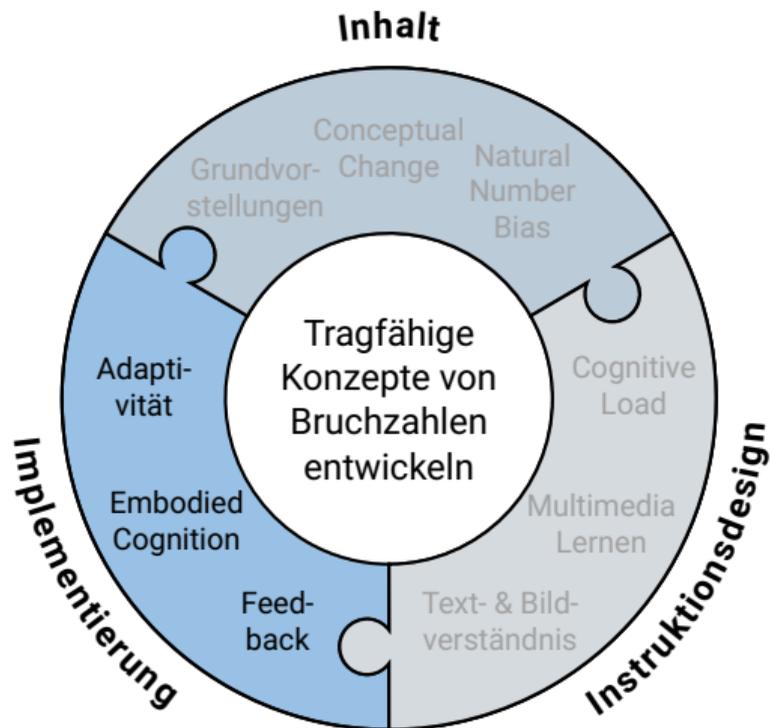
(Hillmayr, Reinhold, Ziernwald, Hofer & Reiss, in Druck, *ZfE-Edition*)



Hillmayr, Ziernwald, Reinhold,  
Hofer & Reiss (2020)  
*Computers & Education*

Fachliche Theorien zum  
digital-angereicherten Unterricht  
entwickeln: Warum sollte das  
wirken – und was genau?

# Fachliche Theorien zum digital-angereicherten Unterricht



Reinhold (2019)  
Springer



## Features digitaler Medien

- Adaptive Aufgabenschwierigkeiten ermöglichen individuelle Förderung.  
(Moreno et al., 2006; Steenbergen-Hu & Cooper, 2013)
- Individuelles Feedback kann zusätzlich Unterstützung leisten.  
(Hattie & Timperley, 2007; Hillmayr et al., 2020; Moreno, 2004)
- **Kongruente Handlungen können Lernprozesse unterstützen.**  
(Clark, 1999; Tran et al., 2017; Wilson, 2002)

# Tutorielle Systeme: Adaptiv und mit Feedback

## Wie unterscheiden sich solche Systeme?

- Ein gängiger Zugang ohne Mathematikdidaktik: Generieren vieler Aufgaben, Beantwortung durch viele Schüler:innen, Sortieren nach Aufgabenschwierigkeit
- Schwierigkeitsgenerierende Merkmale als Basis: Im Idealfall Passung zur empirischen Aufgabenschwierigkeit; Grundlage für Adaptivität und Feedback

(Reinhold, 2022)



Reinhold (2022)  
*mathematik lehren*  
Beitrag in Heft 233

# Das Konzept hinter ALICE:fractions

## Bruchteile & Bruchzahlen greifen & begreifen

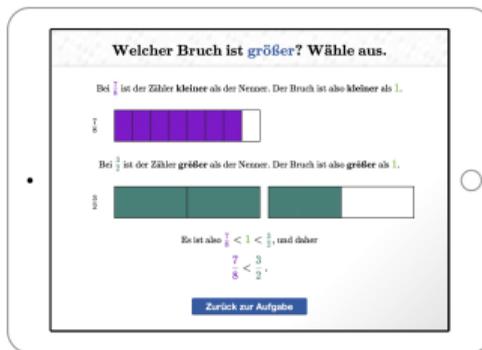
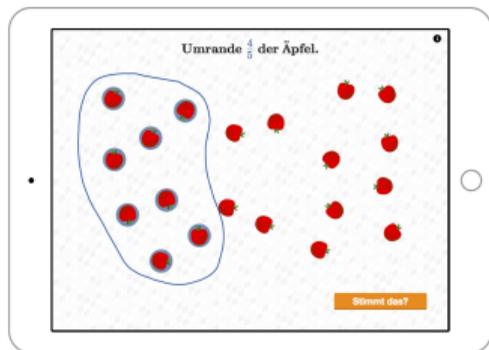
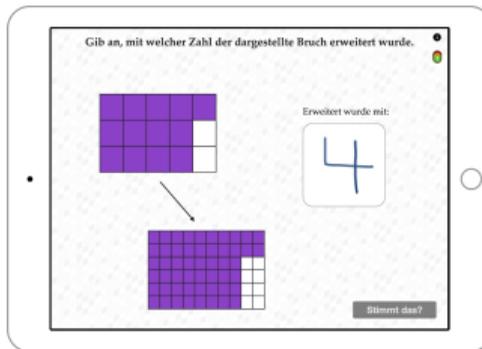
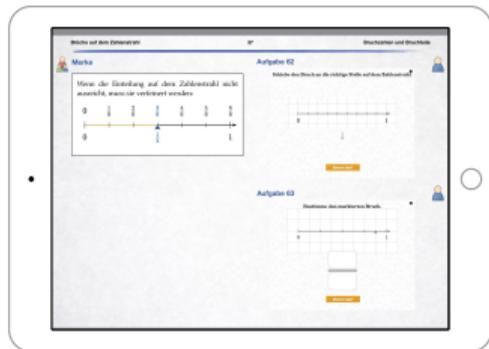
- Ist ein interaktives E-Book zu Bruchzahlen.
- Ermöglicht adaptives, schülerzentriertes Lernen.
- Gibt individuelles erklärendes Feedback.
- Setzt handlungsorientiertes Lernen um.
- Basiert auf dem aktuellen Stand der Forschung.
- Gib es auf Deutsch, Englisch und Spanisch.
- Kann kostenfrei verwendet werden.

(Reinhold, Hoch, Werner, Richter-Gebert & Reiss, 2020, *Learning and Instruction*)

 **Heinz Nixdorf Stiftung**



# Das Konzept hinter ALICE:fractions



Reinhold, Hoch & Reiss (2019)  
*mathematik lehren*  
 Beitrag in Heft 215

# Methode

## Stichprobe

$N = 1005$  Lernende (Klasse 6)

- $n = 745$  ( $k = 29$ ) an Gymnasien
- $n = 260$  ( $k = 16$ ) an Hauptschulen

## Instrumente

- Pretest zu anschaulichen Vorerfahrungen: 10 Items,  $\omega = 0,83$
- Posttest zum Bruchzahlverständnis  
Konzeptuell: 20 Items,  $\omega = 0,87$   
Prozedural: 18 Items,  $\omega = 0,88$

## Durchführung



## Auswertung

Generalisierte lineare gemischte Modelle (GLMM) für binäre Outcomes und für Mehrebenenanalyse

# Ergebnisse und Interpretation

## Konzeptuelles Wissen

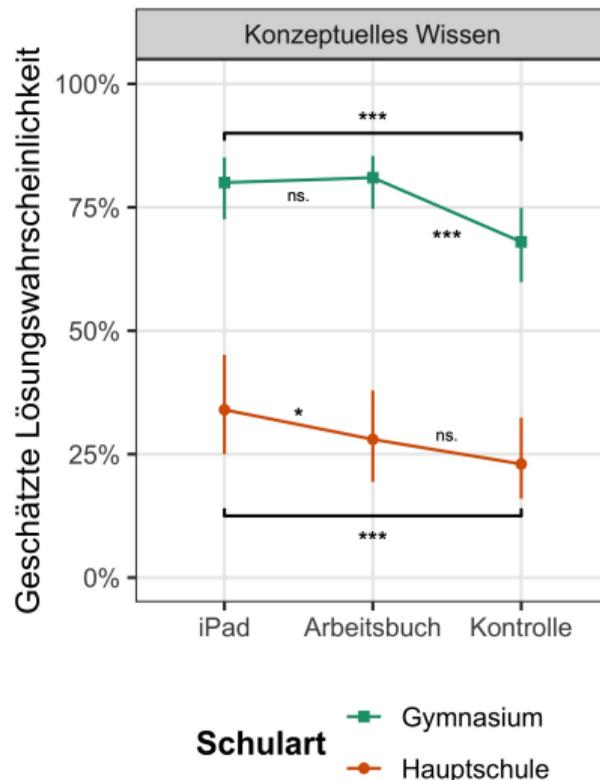
- Fachdidaktische Aufbereitung **ausreichend** für leistungsstarke Schüler:innen
- Interaktive und adaptive, digitale Unterstützung **notwendig** für leistungsschwache Lernende

(Reinhold, Hoch, Werner, Richter-Gebert & Reiss, 2020, *Learning and Instruction*)

## Nachhaltigkeit der Effekte

- Effekte für leistungsschwache Lernende acht Wochen nach der Intervention **stabil**

(Reinhold, Hofer, Hoch, Werner, Richter-Gebert & Reiss, 2020, *PLOS ONE*)



# Mit Blick auf die Unterrichtspraxis: Erkenntnisse der fachdidaktischen Forschung

# Mit Blick auf die Unterrichtspraxis

## Erkenntnisse der fachdidaktischen Forschung

Aktueller deutschsprachiger Sammelband zum Stand der Forschung: übergreifende, prozessbezogene und insbesondere auch **inhaltsbezogene Beiträge**, z. B.:

- Beitrag digitaler Werkzeuge zum Funktionsbegriff  
(Günster & Weigand, 2022)
- Algebra: CAS und mehr  
(Janßen, 2022)
- Geometrie und Digitalität  
(Elschenbroich & Sträßer, 2022)
- Daten und Zufall mit digitalen Medien  
(Eichler & Vogel, 2022)



Pinkernell, Reinhold, Schacht & Walter (2022)  
Springer

Wirkmechanismen  
digital-angereicherter Lernsettings:  
Warum wirkt das – und wie?

# Ein Zugang: Motivation und Engagement

## Gerne Lernen wollen

Mit digitalen Tools können wir das **Lernen** für Schüler:innen auf verschiedene Weise **interessanter** gestalten – um **echte Lernzeit** zu erhöhen.

(Fischer et al., 2022; Heckhausen & Heckhausen, 2018; Jeno et al., 2019; Reinhold et al., 2021)

## Aktuelle Forschungsprojekte untersuchen:

- Wie kann man solche Stimulation nutzen?
- Was wirkt motivierend, was wirkt entlastend?
- Was fördert Autonomie?
- Wie kann man das langfristig aufrecht erhalten?



# Ein anderer Zugang: Kognitive Aktivierung

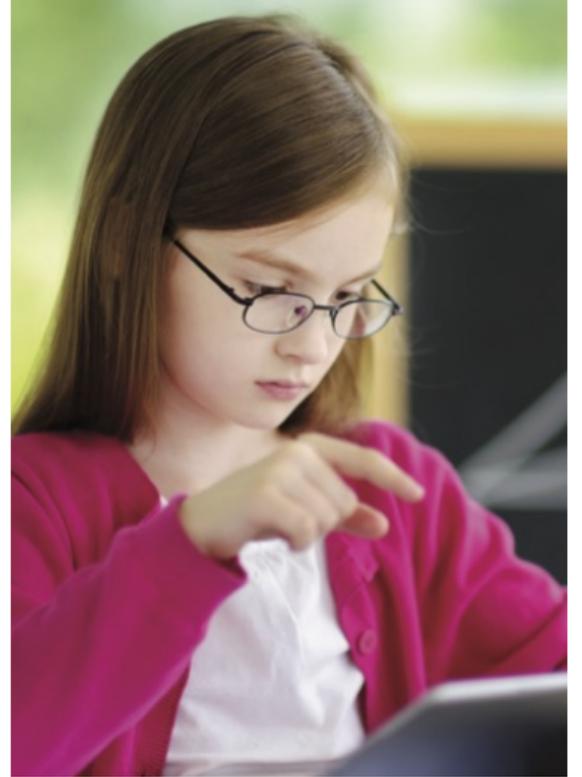
## Besser Lernen können

Digital-angereicherte Lernsettings haben das Potential, Schüler:innen in vielfältiger Art und Weise **kognitiv zu aktivieren** – um **Lernprozesse anzuregen**.

(Klieme, 2020; Reinhold et al., 2020; Reinhold, Leuders, Loibl et al., in Vorb.)

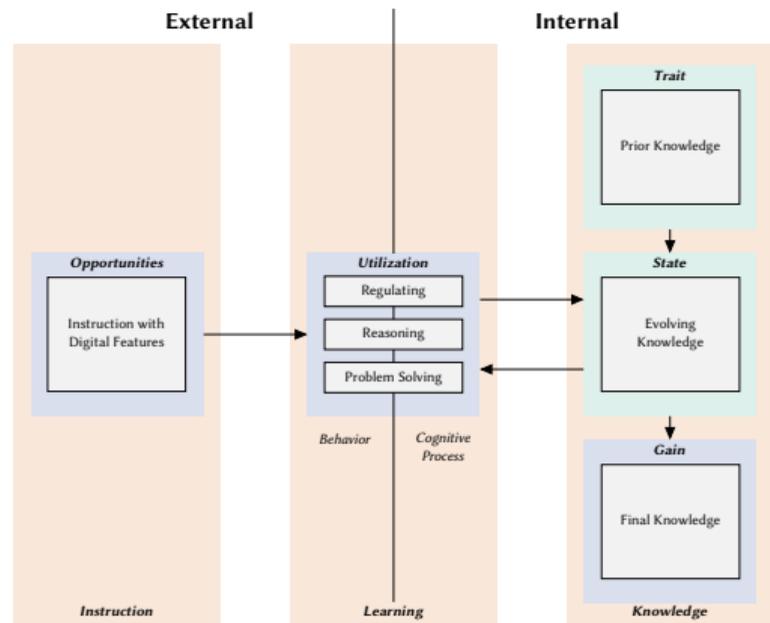
## Aktuelle Forschungsprojekte untersuchen:

- Wie setzt man das gewinnbringend digital um?
- Wie stellt man sicher, dass es funktioniert?
- Wie kann man Denkprozesse messbar machen?
- Wie unterscheiden sich Denkprozesse?



# Ein anderer Zugang: Kognitive Aktivierung

## Digital gestützte Lehr-Lernsettings zur kognitiven Aktivierung



(Reinhold, Leuders, Loibl, Nückles, Beege & Boelmann, in Vorb.)

Forschungskolleg *Di.ge.LL*

- **Knowledge-learning-instruction Framework** zur fachlichen Fundierung (Koedinger et al., 2012)
- **Angebots-Nutzungs-Modell** mit Blick auf Schülerverhalten (Seidel, 2014)
- **Sich schrittweise entwickelnde Wissens Elemente** während des Lernens

Diskussion: Fachliches Lernen in einer digitalisierten Welt. Was erwarten wir uns von Technologie im Bildungsbereich?

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

## Prof. Dr. Frank Reinhold

Pädagogische Hochschule Freiburg  
Institut für Mathematische Bildung

-  frank.reinhold@ph-freiburg.de
-  <https://frankreinhold.education/>
-  @Reinhold\_Edu



Frank Reinhold



Timo Leuders



Katharina Loibl



Matthias Nückles



Jan M. Boelmann



Maik Beege

- Clark, A. (1999). An embodied cognitive science? *Trends in Cognitive Sciences*, 3(9), 345–351. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(99\)01361-3](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(99)01361-3)
- Eickelmann, B., Bos, W., & Labusch, A. (2019). Die Studie ICILS 2018 im Überblick - Zentrale Ergebnisse und mögliche Entwicklungsperspektiven. In B. Eickelmann, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil & J. Vahrenhold (Hrsg.), *ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking* (S. 7–32). Waxmann.
- Fischer, F., Bauer, E., Seidel, T., Schmidmaier, R., Radkowitzsch, A., Neuhaus, B. J., Hofer, S. I., Sommerhoff, D., Ufer, S., Kuhn, J., Küchemann, S., Sailer, M., Koenen, J., Gartmeier, M., Berberat, P., Frenzel, A., Heitzmann, N., Holzberger, D., Pfeffer, J., ... Fischer, M. R. (2022). Representational scaffolding in digital simulations – learning professional practices in higher education. *Information and Learning Sciences*, 123(11/12), 645–665. <https://doi.org/10.1108/ils-06-2022-0076>
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of educational research*, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Heckhausen, J., & Heckhausen, H. (2018). *Motivation and Action*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-65094-4>
- Herzig, B. (2016). Medien im Unterricht. In M. K. W. Schweer (Hrsg.), *Lehrer-Schüler-Interaktion. Inhaltsfelder, Forschungsperspektiven und methodische Zugänge* (3. Aufl., S. 503–522). Springer VS. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-15083-9\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-658-15083-9_22)
- Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I., & Reiss, K. M. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers & Education*, 153, 103897. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103897>
- Hofer, S., Holzberger, D., Heine, J.-H., Reinhold, F., Schiepe-Tiska, A., Weis, M., & Reiss, K. (2019). Schulische Lerngelegenheiten zur Sprach- und Leseförderung im Kontext der Digitalisierung. In K. Reiss, M. Weis, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2018. Grundbildung im internationalen Vergleich* (S. 111–128). Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830991007>
- Jeno, L. M., Vandvik, V., Eliassen, S., & Grytnes, J.-A. (2019). Testing the novelty effect of an m-learning tool on internalization and achievement: A Self-Determination Theory approach. *Computers & Education*, 128, 398–413. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.10.008>
- Koedinger, K. R., Corbett, A. T., & Perfetti, C. (2012). The Knowledge-Learning-Instruction Framework: Bridging the Science-Practice Chasm to Enhance Robust Student Learning. *Cognitive Science*, 36(5), 757–798. <https://doi.org/10.1111/j.1551-6709.2012.01245.x>
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 31–48). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.005>
- Moreno, R. (2004). Decreasing Cognitive Load for Novice Students: Effects of Explanatory versus Corrective Feedback in Discovery-Based Multimedia. *Instructional Science*, 32(1/2), 99–113. <https://doi.org/10.1023/b:truc.0000021811.66966.1d>

- Moreno, R., Reisslein, M., & Delgoda, G. (2006). Toward a Fundamental Understanding of Worked Example Instruction: Impact of Means-Ends Practice, Backward/Forward Fading, and Adaptivity. In *Proceedings – 36th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*.  
<https://doi.org/10.1109/fie.2006.322285>
- Pinkernell, G., Reinhold, F., Schacht, F., & Walter, D. (Hrsg.). (2022). *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-65281-7>
- Reinhold, F. (2019). *Wirksamkeit von Tablet-PCs bei der Entwicklung des Bruchzahlbegriffs aus mathematikdidaktischer und psychologischer Perspektive. Eine empirische Studie in Jahrgangsstufe 6*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-23924-4>
- Reinhold, F. (2022). Adaptive (digitale) Zugänge zur Bruchrechnung. *mathematik lehren*, 233, 15–17.
- Reinhold, F., Hoch, S., & Reiss, K. (2019). Bruchzahlen mit Tablet-PCs. Interaktive E-Books im Mathematikunterricht. *mathematik lehren*, 215, 22–25.
- Reinhold, F., Hoch, S., Schiepe-Tiska, A., Strohmaier, A., & Reiss, K. (2021). Motivational and emotional orientation, engagement, and achievement in mathematics. A case study with one sixth-grade classroom working with an electronic textbook on fractions. *Frontiers in Education*, 6, 588472.  
<https://doi.org/10.3389/educ.2021.588472>
- Reinhold, F., Hoch, S., Werner, B., Richter-Gebert, J., & Reiss, K. (2020). Learning Fractions with and without Educational Technology: What Matters for High-Achieving and Low-Achieving Students? *Learning and Instruction*, 65, 101264. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101264>
- Reinhold, F., Hofer, S. I., Hoch, S., Werner, B., Richter-Gebert, J., & Reiss, K. (2020). Digital support principles for sustainable mathematics learning in disadvantaged students. *PLOS ONE*, 15(10), e0240609. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240609>
- Seidel, T. (2014). Angebots-Nutzungs-Modelle in der Unterrichtspsychologie. Integration von Struktur- und Prozessparadigma. *Zeitschrift für Pädagogik*, 60(6), 850–866.
- Steenbergen-Hu, S., & Cooper, H. (2013). A meta-analysis of the effectiveness of intelligent tutoring systems on K–12 students' mathematical learning. *Journal of Educational Psychology*, 105(4), 970–987. <https://doi.org/10.1037/a0032447>
- Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 1–16.  
<https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3>
- Tran, C., Smith, B., & Buschkuhl, M. (2017). Support of mathematical thinking through embodied cognition: Nondigital and digital approaches. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2(16), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s41235-017-0053-8>
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9(4), 625–636. <https://doi.org/10.3758/bf03196322>