

A photograph of several colorful parrots (purple, red, yellow, pink, and orange) perched on a dark metal structure against a clear blue sky. The structure appears to be part of a building's exterior or a walkway. In the background, a cityscape with red-tiled roofs and a church spire is visible under a blue sky with light clouds.

Digitale Schulbücher

Ein Sonderfall digitaler Lernumgebungen

Prof. Dr. Jürgen Roth

02.08.2023 AK MdW Herbsttagung 2023, Freiburg



Didaktik der
Mathematik
Sekundarstufen

R
TU
P

Rheinland-Pfälzische
Technische Universität
Kaiserslautern
Landau

Digitale Schulbücher

Ein Sonderfall digitaler Lernumgebungen

1. Die Zukunft des MINT-Lernens
2. Digitale Lernumgebungen
3. (Lern-)Wirksamkeit digitaler Lernumgebungen
4. Empfehlungen für die Unterrichtspraxis

1

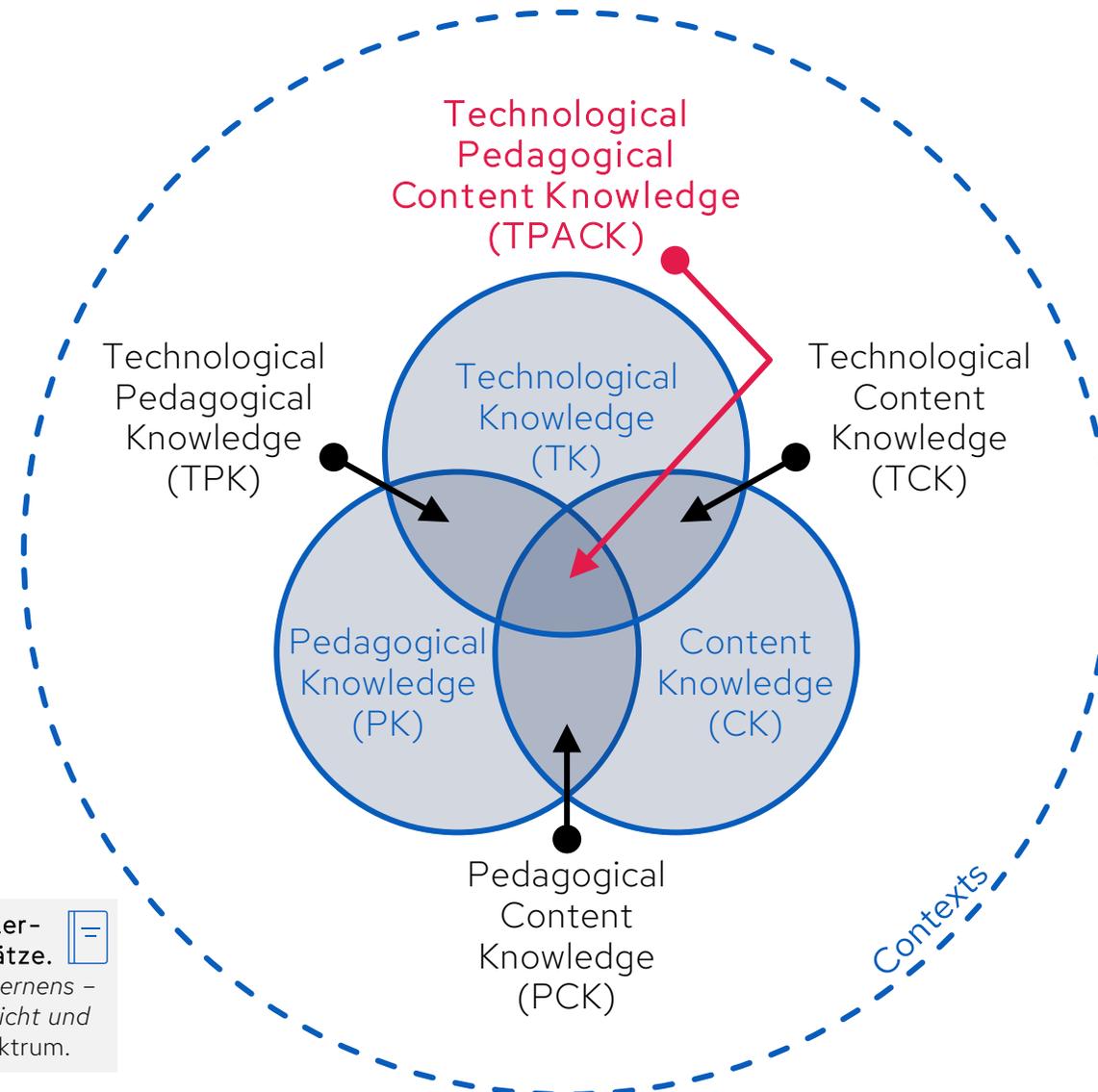
Die Zukunft des MINT-Lernens



Roth, J. et al. (2023).
Die Zukunft des MINT-Lernens –
Herausforderungen und Lösungsansätze.
In J. Roth et. al. (Hrsg.). *Die Zukunft des MINT-
Lernens – Band 1: Perspektiven auf (digitalen)
MINT-Unterricht und Lehrkräftebildung* (S. 1-42).
Berlin: Springer Spektrum.



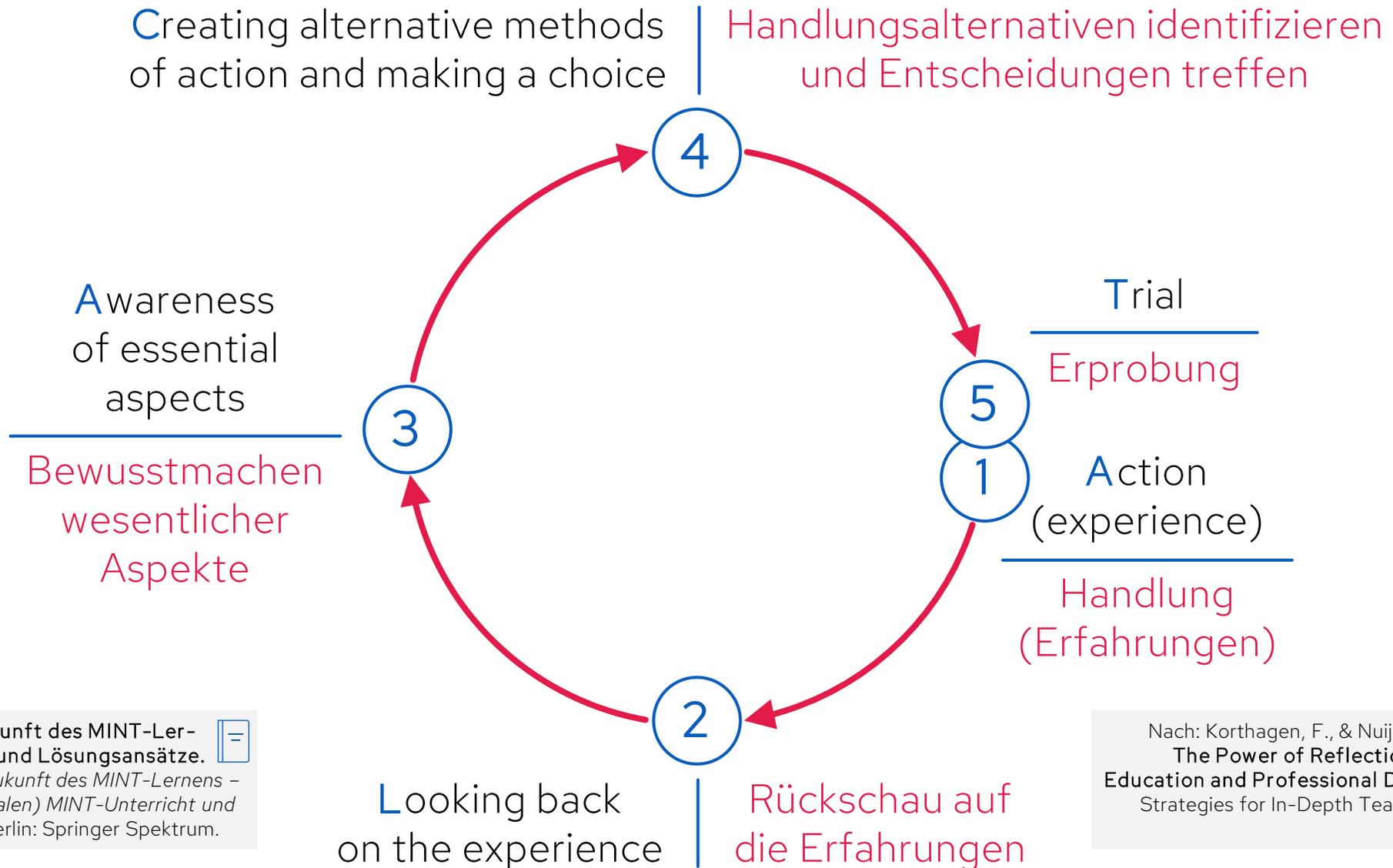
TPACK-Modell: Ordnungsrahmen für das Professionswissen einer Lehrkraft



Roth, J. et al. (2023). **Die Zukunft des MINT-Lernens – Herausforderungen und Lösungsansätze.** In J. Roth et. al. (Hrsg.). *Die Zukunft des MINT-Lernens – Band 1: Perspektiven auf (digitalen) MINT-Unterricht und Lehrkräftebildung* (S. 1-42). Berlin: Springer Spektrum.

Nach: Mishra, P., & M. Koehler, J. (2006). **Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge.** Teachers College Record, 108(6), 1017-1054.

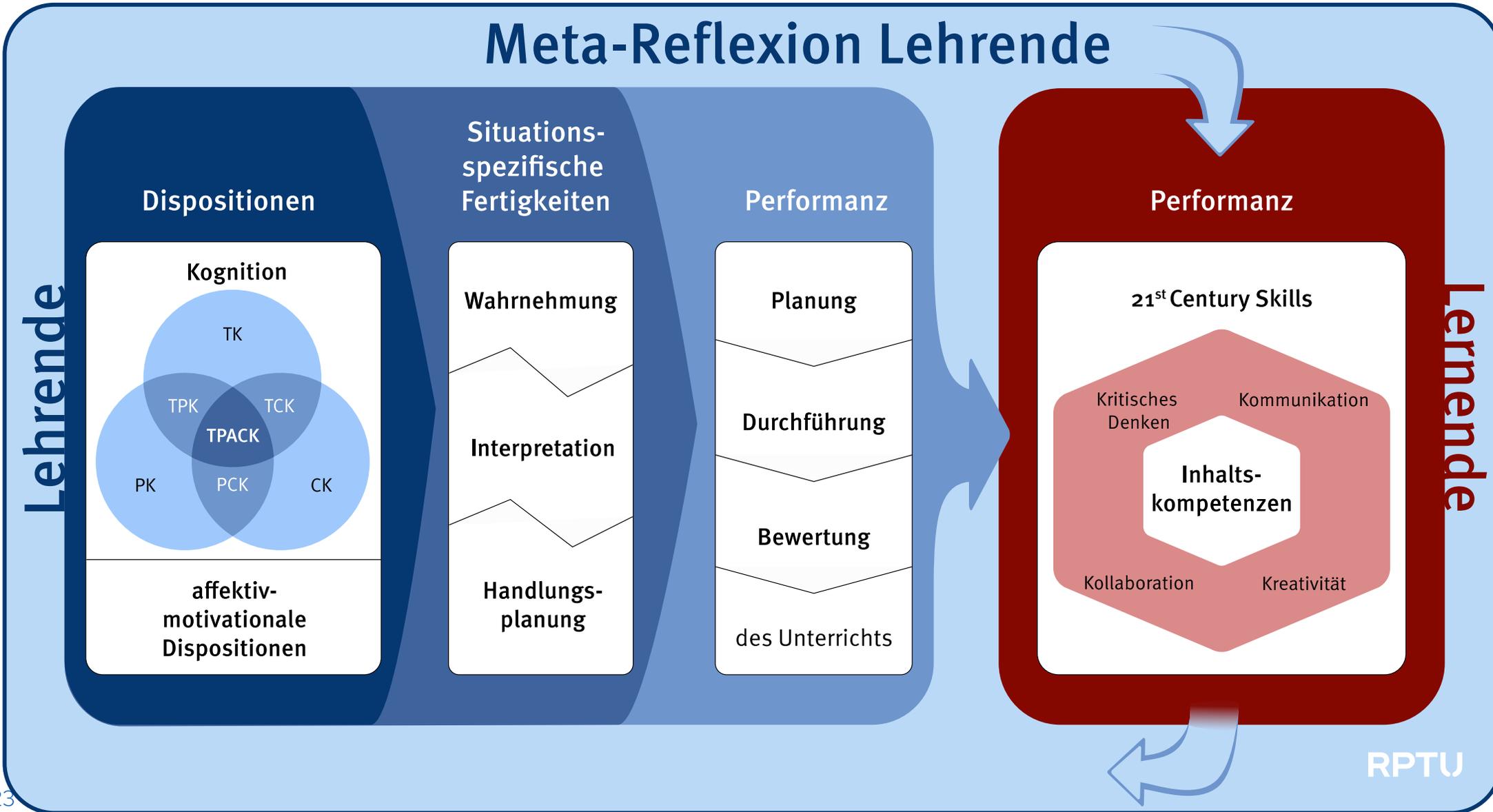
ALACT-Reflexionsmodell



Roth, J. et al. (2023). **Die Zukunft des MINT-Lernens – Herausforderungen und Lösungsansätze.** 
In J. Roth et. al. (Hrsg.). *Die Zukunft des MINT-Lernens – Band 1: Perspektiven auf (digitalen) MINT-Unterricht und Lehrkräftebildung* (S. 1-42). Berlin: Springer Spektrum.

Nach: Korthagen, F., & Nuijten, E. (2022). **The Power of Reflection in Teacher Education and Professional Development.** Strategies for In-Depth Teacher Learning. Routledge.

Meta-Reflexion Lehrende

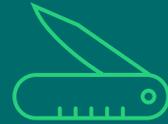


Roth, J. et al. (2023). Die Zukunft des MINT-Lernens – Herausforderungen und Lösungsansätze. In J. Roth et. al. (Hrsg.). Die Zukunft des MINT-Lernens – Band 1: Perspektiven auf (digitalen) MINT-Unterricht und Lehrkräftebildung (S. 1-42). Berlin: Springer Spektrum.

2

Digitale Lernumgebungen

Digitale Werkzeuge



sind für den Mathematikunterricht im Wesentlichen

- Tabellenkalkulationsprogramme,
- Computer-Algebra-Systeme,
- dynamische Geometrie-Systeme

und als deren Integration

- dynamische Mathematik-Systeme [Multi-Repräsentations-Systeme, modulare Mathematiksysteme (MMS)].

Bemerkungen

Im Zusammenhang mit dem Einsatz digitaler Werkzeuge im Mathematikunterricht sind auch auf der Basis von digitalen Werkzeugen gestaltete Applets wesentlich.

Dies gilt unabhängig von der Art des Geräts (Taschenrechner, Smartphone, (Tablet-) Computer...) auf denen diese laufen.

Mit Blick auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im Mathematikunterricht ist zunächst die Frage zu beantworten, inwiefern deren Nutzung das Erreichen der Ziele des Mathematikunterrichts nachhaltig unterstützt.

Digitale Werkzeuge



dienen als Universalwerkzeuge der mathematischen Problemlösung und müssen durch die Nutzer:in, durch geeignete Ausgestaltung, zu Spezialwerkzeugen für den jeweiligen Zweck gemacht werden.

Digitale Lernumgebungen



setzen einen Rahmen für das selbstständige Mathematik-Lernen. Dazu werden – häufig von Lehrpersonen – unter anderem Applets auf der Basis von digitalen Werkzeugen zur Unterstützung von selbstständigen Lernprozessen von Lernenden in die digitale Lernumgebung integriert.

Digitale Werkzeuge ↔ digitale Lernumgebungen

Immer dann, wenn das primäre Lernziel

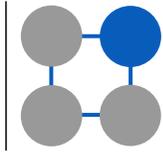
- *nicht* die Ausbildung von Nutzungsexpertise bzgl. des verwendeten digitalen Werkzeugs ist,
- sondern darin besteht, einen mathematischen Inhalt zu durchschauen & zu verstehen, ist die Einbindung in eine digitale Lernumgebung sinnvoll.

Definition: Lernumgebung

Roth, J. (2022). **Digitale Lernumgebungen – Konzepte, Forschungsergebnisse und Unterrichtspraxis.** In G. Pinkernell et. al. (Hrsg.). *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule. Aktuelle Forschungsbefunde im Überblick* (S. 109-136). Berlin: Springer Spektrum.



R
P
TU



Didaktik der
Mathematik
Sekundarstufen



Rolle der Lehrperson im Rahmen der Arbeit mit (digitalen) Lernumgebungen

Vorbereitung

- Lernende auf Arbeit mit digitaler Lernumgebung einstimmen
- Regeln festlegen
- Notwendige Kenntnisse und Fähigkeiten der Lernenden sicherstellen
- Voraussetzungen für sinnvolles Arbeiten mit digitaler Lernumgebung schaffen



Durchführung

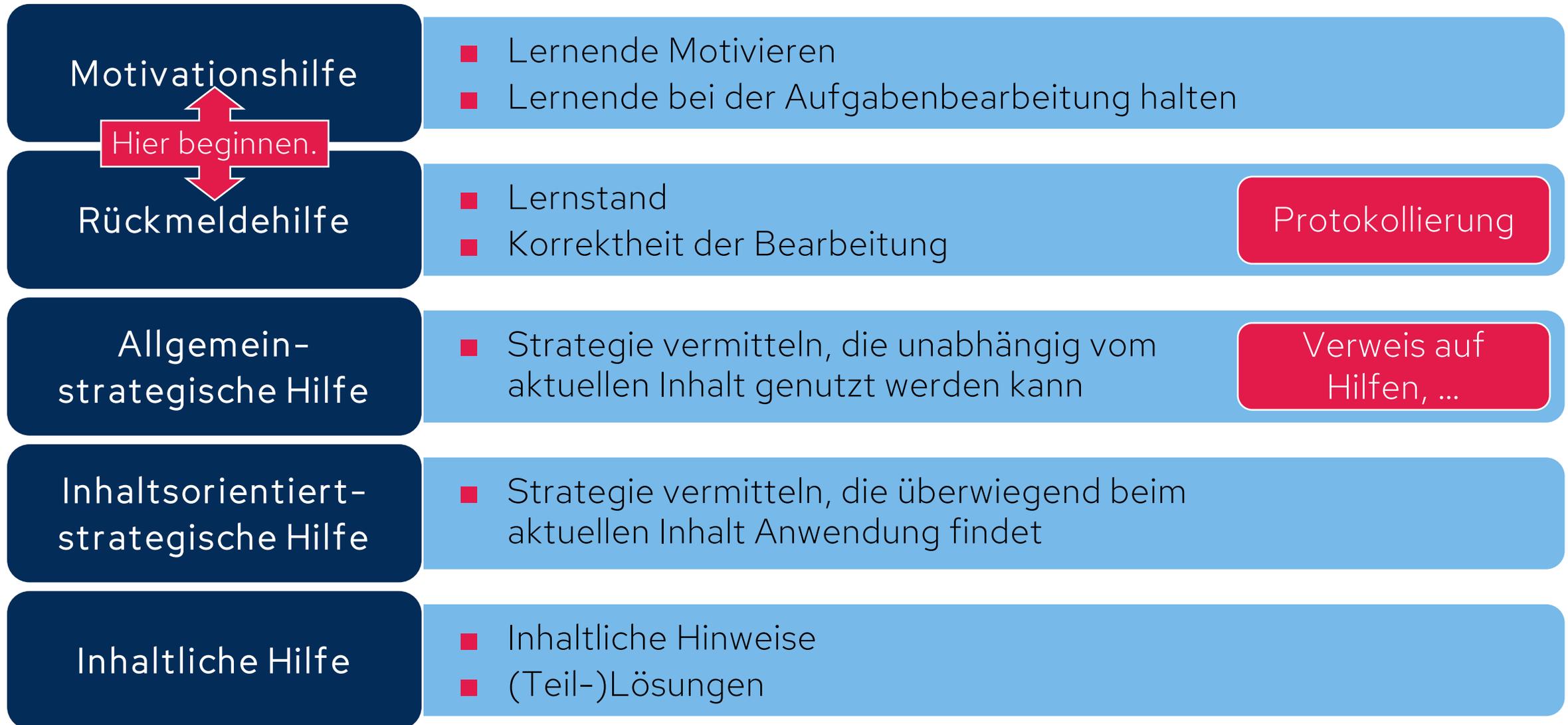
- Überblick über Arbeitsstände und -ergebnisse verschaffen
- Implementierte Unterstützungssysteme adaptiv ergänzen
- Möglichst minimal und in der Regel nicht inhaltlich unterstützen (Lernhilfen nach Zech)
- Nachbereitungsphase planen und vorbereiten



Nachbereitung

- Konsolidieren der erarbeiteten Wissens Elemente
- Beobachtungen & Protokolle Lernender nutzen
- Mit regulärem mathem. Wissen abgleichen
- Wesentliche Grundvorstellungen, Kenntnisse und Fähigkeiten herausarbeiten und sichern
- Erreichten Fähigkeits- & Wissensstand überprüfen

Taxonomie der Lernhilfen

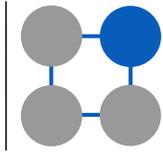


Zech, F. (1998). Grundkurs Mathematikdidaktik (9. Aufl.). Beltz.

Roth, J. (2022). Digitale Lernumgebungen – Konzepte, Forschungsergebnisse und Unterrichtspraxis. In G. Pinkernell et. al. (Hrsg.). *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule. Aktuelle Forschungsbefunde im Überblick* (S. 109-136). Berlin: Springer Spektrum.

Definition: Lernumgebung

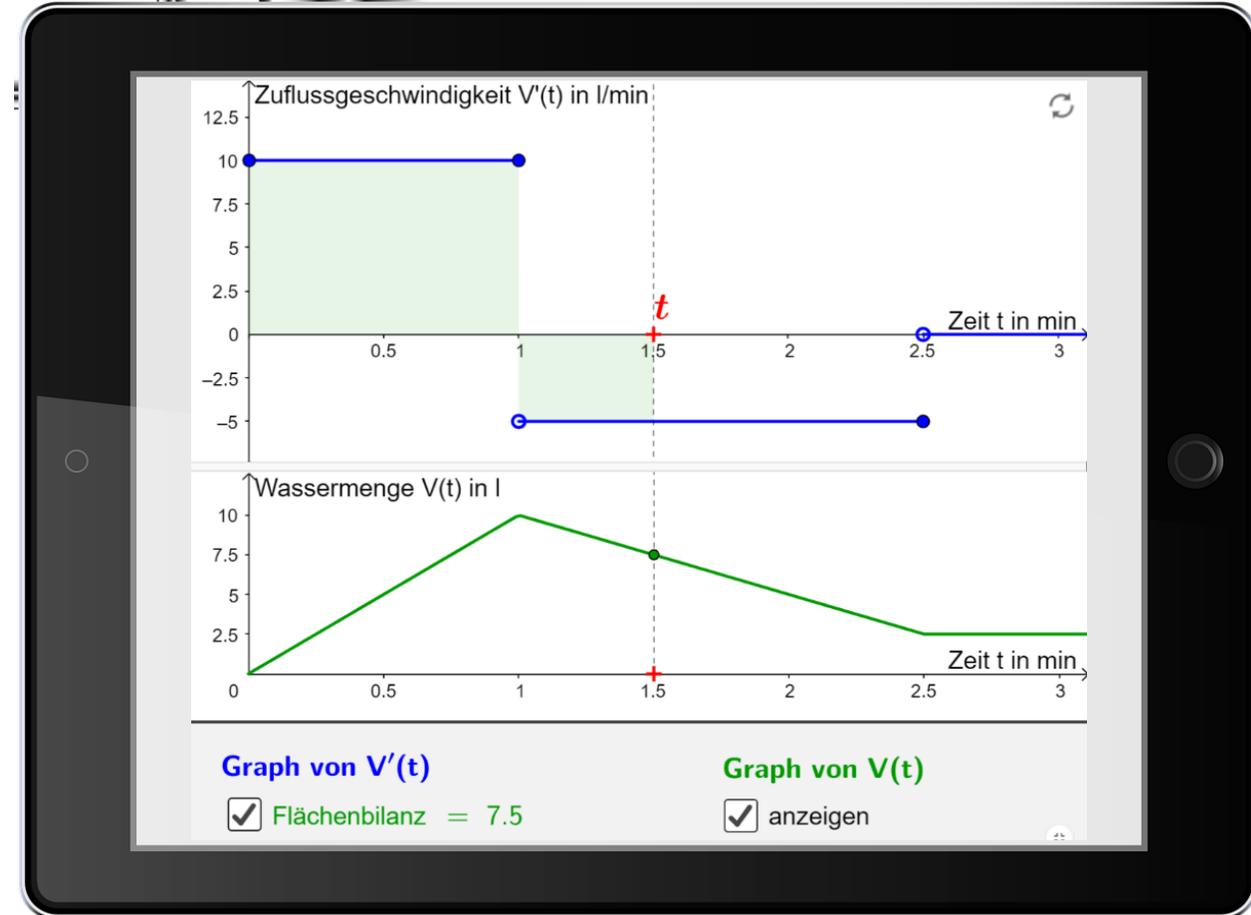
Roth, J. (2022). **Digitale Lernumgebungen – Konzepte, Forschungsergebnisse und Unterrichtspraxis.** In G. Pinkernell et. al. (Hrsg.). *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule. Aktuelle Forschungsbefunde im Überblick* (S. 109-136). Berlin: Springer Spektrum.



Digitale Lernumgebung



- Digitale Lernumgebungen bilden eine Teilmenge der Lernumgebungen.
- Eine digitale Lernumgebung konstituiert sich bereits dann, wenn eine Lernumgebung durch
 - von Lernenden interaktiv nutzbare digitale Elemente (z. B. Applets),
 - die einen wesentlichen Beitrag zur Lernaktivität leisten, digital angereichert wurde.



SAMR-Modell: Art der Nutzung digitaler Technologie für das Lehren und Lernen



Neudefinition (Redefinition)

Technologie ermöglicht die Gestaltung neuer Aufgaben, die ohne sie nicht denkbar waren.



Veränderung (Modification)

Technologie ermöglicht eine erhebliche Umgestaltung der Aufgaben.

Umgestaltung
(Transformation)

Verbesserung
(Enhancement)

Erweiterung (Augmentation)

Technologie dient als direkter Werkzeugersatz mit verbesserter Funktionalität.



Substitution (Substitution)

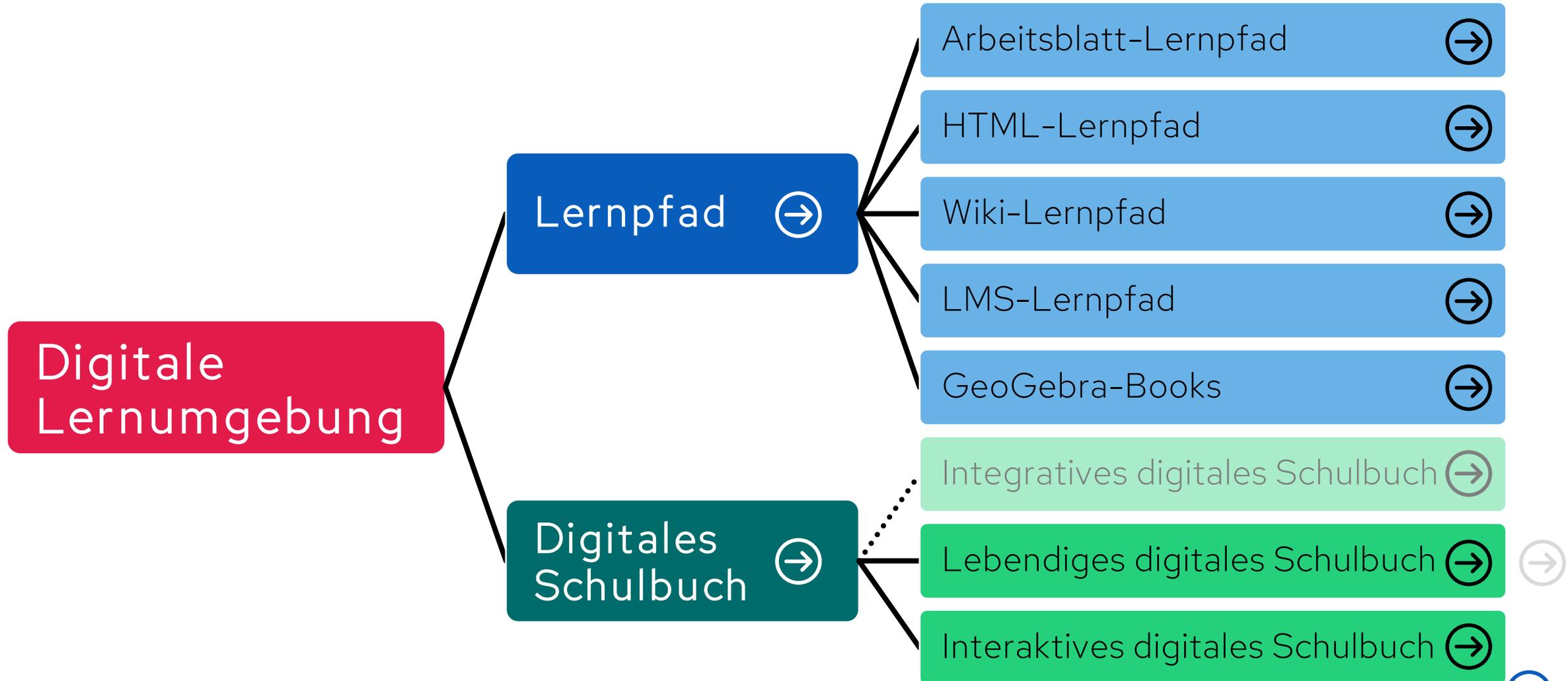
Technologie dient als direkter Werkzeugersatz, ohne Änderung der Funktionalität.



Roth, J. et al. (2023). **Die Zukunft des MINT-Lernens – Herausforderungen und Lösungsansätze.**
In J. Roth et. al. (Hrsg.). *Die Zukunft des MINT-Lernens – Band 1: Perspektiven auf (digitalen) MINT-Unterricht und Lehrkräftebildung* (S. 1-42).
Berlin: Springer Spektrum. 

Nach: Puentedura, R. (2006). **Transformation, technology, and education** [Blog post].
<http://hippasus.com/resources/tte/>

Typen digitaler Lernumgebungen



Lernpfad

Ein Lernpfad ist eine internet-basierte Lernumgebung, die



- mit einer Sequenz von aufeinander abgestimmten Arbeitsaufträgen
- strukturierte Pfade durch interaktive Materialien (z. B. Applets) anbietet,
- auf denen Lernende handlungsorientiert, selbsttätig und eigenverantwortlich auf ein Ziel hinarbeiten.

Da die Arbeitsaufträge eine Baueinstruktur aufweisen, können die Lernenden jeweils für ihren Leistungsstand geeignete auswählen.

Durch individuell abrufbare

- Hilfen und Ergebniskontrollen sowie regelmäßige Aufforderungen zum
- Formulieren von Vermutungen,
- Experimentieren,
- Argumentieren sowie
- Reflektieren und Protokollieren der Ergebnisse

in den Arbeitsaufträgen

wird die eigenverantwortliche Auseinandersetzung mit dem Lernpfad explizit gefördert.



Integrative digitale Schulbücher

sind digitale Versionen eines (traditionellen) Lehrbuchs die mit anderen Lernobjekten angereichert sind, etwa mit Links zu Lernressourcen und digitalen Werkzeugen im Internet. Häufig können auch eigene Verweise hinzugefügt werden.

Sie werden in der Regel von Schulbuchverlagen parallel zu traditionellen Schulbüchern angeboten.

Lebende digitale Schulbücher

zeichnen sich dadurch aus, dass ein Kernteam (z. B. von Lehrpersonen, IT-Spezialisten) ein digitales Lehrbuch verfasst, das sich aufgrund des Inputs anderer praktizierender Mitglieder / Lehrpersonen ständig weiterentwickelt.

Lernende erarbeiten sich Grundlagen der Inhalte selbstständig anhand von digitalen Materialien.

Interaktive digitale Schulbücher

basieren auf Lernobjekten (Aufgaben und interaktive Elemente), die Lernende jederzeit bei der Bearbeitung der Aufgaben verwenden können. Sie können auf ein Thema zugeschnitten, oder über Themen hinweg gleich gestaltet sein.

Lernende erarbeiten sich Grundlagen der Inhalte selbstständig anhand von digitalen Materialien.

3

(Lern-)Wirksamkeit
digitaler Lernumgebungen



Ziel der Nutzung

- Selbstständiges, verständnisbasiertes, an Grundvorstellungen ausgerichtetes Lernen mathematischer Inhalte
- durch geeignete Aufbereitung und mithilfe passgenauer (digitaler) Unterstützungsmedien ermöglichen

Keine Drill and Practice-Programme!



Mögliche Einsatzszenarien

- **In Inhaltsbereich einsteigen:** Inhaltsbereich explorieren und Grundvorstellungen erarbeiten
- **Inhaltsbereich konsolidieren:** Sichtweisen untereinander und mit Grundvorstellungen vernetzen

Computerunterstütztes Lernen



- mittleren Effekt trotz Heterogenität
(Effektstärke: Cohens $d = 0,37$) Hattie (2015)

Einsatz digitaler Werkzeuge beim MINT-Lernen in den Sekundarstufen

- 92 Vergleichsstudien mit ↔ ohne
digitale Werkzeuge seit 2000
- Positiver Effekt digitaler Werkzeuge
(Effektstärke: Hedges $g = 0,65$)
- Fortbildungen zum Einsatz digitaler
Werkzeuge → positiver Einfluss
Hillmayer et al. (2020)



Digitale Lernumgebungen sind besonders lernförderlich, wenn

- Lerninhalte subjektiv anspruchsvoll
- Lerninhalte Veränderungen
bzw. Prozesse einschließen
- Lerninhalte dynamisiert darstellbar
- dynamische Darstellungen
interaktiv genutzt werden

Rolfes et al. (2020)



Aufgabenstellungen



- schriftliche Ergebnis-Vorhersagen vor Nutzung dynamischer Interaktivitäten
- Reflexionsfragen zu beobachteten bzw. erarbeiteten Ergebnissen
- Zusammenhänge schriftlich festhalten
- dynamisch dargestellte Situation und dynamische mathematische Repräsentationen in Beziehung setzen
- Ergebnisse anwenden

Lichti & Roth (2018)

Fokussierungshilfen



- dyna-linking, also dynamische Verbindungen zwischen Repräsentationen
- (identische) Farbgebung, Linienstärke
- Bezeichner & Messwerte mitführen
- Hilfslinien
- Veränderungsmöglichkeiten nur, wo für Erkenntnisgewinnung notwendig
- Zu- und Abschaltbare Optionen

Ainsworth (1999), Roth (2005, 2017, 2019)

Protokollierung

Ergebnisse und Vorgehensweisen schriftlich (Text & Grafik) festhalten



- erleichtert reflektierte Abstraktion sowie Schematisierung & ermöglicht tiefere Verarbeitung Dörfler (2003)
- entlastet das Arbeitsgedächtnis Schnotz et al. (2011)
- fördert Reflexionstiefe & neue Erkenntnisgewinnung Roth (2013)
- ermöglicht die spätere Weiterarbeit mit den Erkenntnissen
- Anregung: Prompts & leere Kästen Schumacher & Roth (2015)

Feedback

individuell und adaptiv



- Wissensstand d. Lernenden
→ Art des Feedbacks
→ Detailgrad des Feedbacks
- Lernende werden aktiv in den Feedbackprozess einbezogen Bimba et al. (2017)
- Lernende: Feedback ist hilfreich
→ Bearbeitung richtig oder falsch
→ Erklärung für korrekte Lösung Jedtke & Greefrath (2019)
- Leistung ↔ Feedbacknutzung Rezat (2017)

4

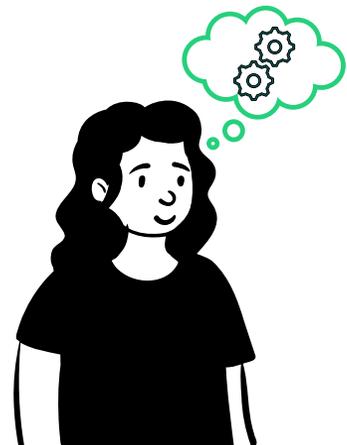
Empfehlungen für die Unterrichtspraxis



Lehr-Lern-Ziele 

Digitales
Werkzeug
oder digitale
Lernumgebung

Art der digitalen
Lernumgebung



Vorbereitung 

Überarbeitung
■ Aufgabenstellungen
■ Digitale Elemente
■ Hilfen / Feedback

Auswahl/Passung 
■ Inhalt / Lernziel
■ Lerngruppe
■ Rahmenbedingung

Durchführung 

Nachbereitung 

Lehr-Lern-Ziele 

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Prof. Dr. Jürgen Roth

RPTU

Rheinland-Pfälzische Technische Universität
Kaiserslautern-Landau

Didaktik der Mathematik (Sekundarstufen)

Fortstraße 7, 76829 Landau

j.roth@rptu.de

juergen-roth.de

dms.nuw.rptu.de

