

# Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte

Multiple Repräsentationen und Visualisierungen können Lehren und Lernen unterstützen.

Raimund Girwidz

Mit neuen Medien lassen sich Fachinformationen schnell und vielfältig präsentieren. Wie dies lernwirksam zu nutzen ist, wird hier nicht ausführlich zu erklären sein. Zumindest ist es aber möglich, einige grundlegende Richtlinien und Lehr-Lern-Konzepte zusammenzufassen.

Sachverhalte lassen sich in verschiedenen Darstellungen präsentieren. Dabei kommen unterschiedliche Aspekte zum Tragen. Multiple Repräsentationen stellen mehrere Darstellungsformen zusammen, z. B. Grafiken, Diagramme, Schaltskizzen oder Texte und Formeln. Sie verknüpfen verschiedene Ausdrucksmöglichkeiten und beleuchten damit einen Sachverhalt aus unterschiedlichen Perspektiven. Bei komplexen Themen sind multiple Repräsentationen daher ein wichtiges Hilfsmittel.

Die Theorie der dualen Codierung unterscheidet grob zwischen verbalen und bildhaften Darstellungen und Repräsentationssystemen [1], was aktuelle Modelle weiter präzisieren [2, 3]. Auch neurophysiologische Befunde belegen, dass bei der Verarbeitung von Bild und Sprache unterschiedliche Bereiche des Gehirns aktiv sind. Schon der Informationsfluss ist dabei prinzipiell verschieden: Sprache organisiert sequenziell – Wort für Wort und Satz für Satz. Bildhafte Darstellungen bieten dagegen mehrere Zusammenhänge simultan an, z. B. das Bild eines experimentellen Aufbaus, Moleküldarstellungen oder Diagramme von Messdaten.

So kann in der Tat ein Bild tausend Worte zusammenfassen. Aber dazu gilt es, visuelle Darstellungen inhaltlich zu verstehen. Dies verlangt gerade bei fachspezifischen Darstellungen eine Art „Lesekompetenz“, die sog. Visual Literacy.

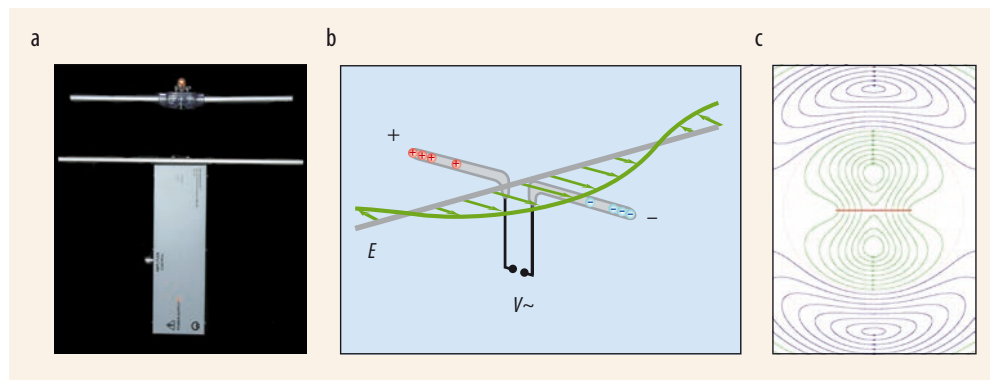


Abb. 1 Dipolstrahlung lässt sich beispielsweise mit einem Abbild (a), einer Bildanalogie (b) oder einem logischen Bild (c) veranschaulichen und in mehre-

ren Abstraktionsschritten vom Experiment zum Feldlinienbild übergehen. Allerdings sind bei der Bildanalogie in b) Fehlinterpretationen möglich.

Doch die „äußeren Repräsentationen“, die das Informationssystem anbietet, unterscheiden sich von den „mentalenen Repräsentationen“ eines Individuums. Denn beim Lernen werden die angebotenen Informationen nicht fotografisch oder wörtlich übernommen und im Gedächtnis abgespeichert. Besonders bei komplexen Aspekten können die „mentalenen Modelle“ deutlich von den angebotenen Informationen abweichen. Daher lohnt es sich, verschiedene Darstellungen zu kombinieren. Die Wechselbezüge verringern Fehlinterpretationen und regen Vergleichs- und Denkprozesse an.

## Ein komplexes Themengebiet

Das Spektrum bildhafter Darstellungen ist breit (Abb. 1). Issing nennt drei Kategorien, die sich in ihrem Abstraktionsgrad stark unterscheiden [4]. Sie können daher auch unterschiedliche Funktionen beim Lernen erfüllen.

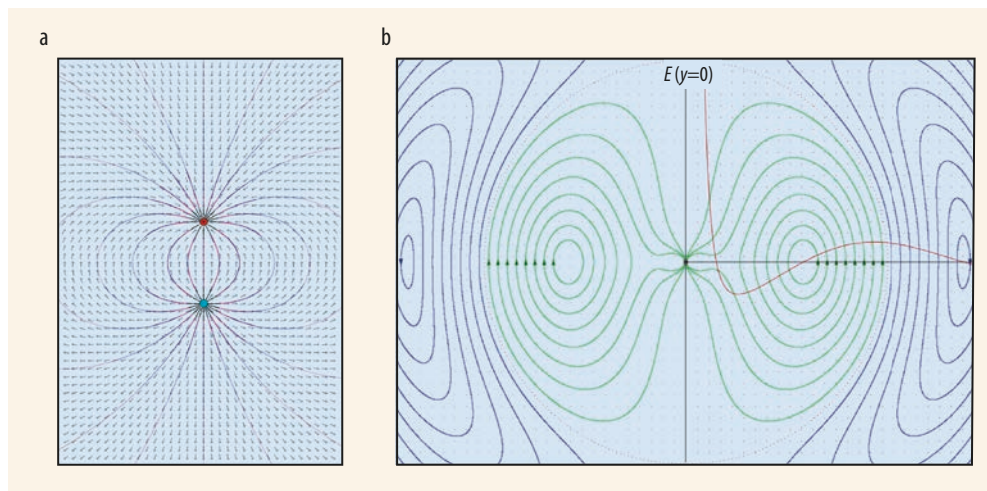
■ **Abbilder:** Dazu gehören fotorealistic Abbildungen bis hin zu Schemazeichnungen. Sie zeigen Elemente der visuellen Wahrnehmung von Objekten oder Szenen. Die sichtbaren, äußeren Strukturen

stehen im Vordergrund. Beim Unterrichten überbrücken Abbilder räumliche und zeitliche Distanzen und können auch Sachverhalte zeigen, die nur schwer direkt zugänglich sind (z. B. wenn ein Gegenstand weit entfernt, zu klein oder unübersichtlich groß ist bzw. wenn ein Vorgang sehr schnell abläuft oder für eine direkte Beobachtung zu gefährlich ist).

■ **Bildanalogien** helfen bei der Vorstellung von Sachverhalten, die in der Realität nicht direkt zu sehen sind. Zum Einsatz kommen bekannte grafische Elemente (z. B. Kugeln oder Alltagsobjekte). Allerdings sind die präsentierten Formen nur Mittel zur Veranschaulichung und keine fotorealistic Abbilder. Gerade bei anschaulichen Visualisierungen besteht daher die Gefahr, dass sich unangemessene Vorstellungen verfestigen. So ist auch Abb. 1b durchaus kritisch zu betrachten, weil hier u. a. räumliche Fehlinterpretationen möglich sind.

■ **Logische Bilder** zeichnen sich durch eine starke Schematisierung mit speziellen Symbolen und hohem Abstraktionsgrad aus. Die Darstellungen befolgen festgelegte Konventionen, z. B. bei Schaltskizzen aus der Elektronik, bei Diagrammen, Liniengraphen oder

Prof. Dr. Raimund Girwidz, LMU München, Didaktik der Physik, Theresienstr. 37, 80333 München



**Abb. 2** Feldlinien und Richtungsfeld eines statischen elektrischen Dipols (a) sowie die Momentanaufnahme zum Nahfeld eines Hertzischen Dipols (b)

Konturplots. Strukturen, Relationen, Konzepte, Theorien, Abläufe lassen sich komprimiert darstellen, ohne auf äußere Begleitfaktoren einzugehen. Für ihren Einsatz müssen Lernende mit den benutzten Symbolen vertraut sein.

■ **Dynamische Visualisierungen** (Animationen) können bei der Darstellung zeitabhängiger Größen und von Prozessen die Verläufe und Zusammenhänge aufzeigen. Damit lassen sich die oben genannten Kategorien um eine weitere Dimension anreichern.

## Funktionen und Zielsetzungen

Der Einsatz externer multipler Repräsentationen kann ein tieferes Verständnis aus verschiedenen Blickwinkeln unterstützen und das Lernen erleichtern. Zudem sind gerade in der Physik visuelle Darstellungen auch Arbeitsmittel, um Fachwissen geeignet zu präsentieren und fachspezifische Kommunikation einzuüben.

Allgemein verbessern multiple Repräsentationen die Verfügbarkeit von Wissen. So ist die Fähigkeit, mit verschiedenen Darstellungen umzugehen, ein wichtiger Baustein für eine gute Problemlösekompetenz [5, 6]. Dies erleichtert insbesondere Suchprozesse beim Problemlösen.

Kognitive Flexibilität beschreibt die Fähigkeit, flexible und multiple Wissensrepräsentationen zu entwickeln, die in unterschiedlichen Situationen anwendbar sind [7]. Dies umfasst die Fertigkeit, situations-

gerecht und entsprechend den gegebenen Anforderungen eigenes Wissen umzuorganisieren [8]. Detailwissen lässt sich so zusammensetzen, dass es bedarfsgerecht auf die Situation zugeschnitten ist. Die Theorie der kognitiven Flexibilität [9] besagt, dass Wissen in verschiedenen Formen repräsentiert und in unterschiedlichen Szenarien eingebunden werden soll, um es flexibel einsetzbar zu machen.

Dafür sind aber Lernprozesse zu durchlaufen. Eine Lesekompetenz für visuelle Darstellungen verlangt Erfahrung und Routine. Vergleiche zwischen Experten und Anfängern verdeutlichen dies: Experten nutzen bedarfsgerecht verschiedene Repräsentationen, während Novizen weniger zielgerichtet vorgehen und sich oft stark an oberflächlichen Merkmalen orientieren [10, 11]. Novizen scheinen enger auf eine einzelne Darstellung fixiert zu sein, während Experten unterschiedliche Darstellungen nutzen und mühelos zwischen ihnen wechseln können.

Mit multiplen Repräsentationen lassen sich weitere Denkprozesse anregen. Die Kenntnis verschiedener Repräsentationen und die Fähigkeit, mit ihnen umzugehen, sind somit wichtige Unterrichtsziele. Zudem können multiple Repräsentationen im Lernprozess, beim Erwerben und Vertiefen von neuem Wissen nützlich sein.

In Lernphasen, in denen komplexe Informationen zu verarbeiten sind, können Kombinationen verschiedener Repräsentationsarten helfen, unterschiedliche Perspektiven hervorzuheben. Es lassen sich

damit repräsentationsinvariante Strukturen von Objekten, Modellen oder Prozessen herausarbeiten. Dies verhindert, dass Lerninhalte nur mit einer bestimmten Darstellungsform verknüpft werden.

Für ein inhaltliches Verständnis müssen Lernende aber die Beziehungen zwischen verschiedenen Darstellungen kennen und verstehen. Erst die Integration und die Verknüpfung unterschiedlicher Darstellungen ermöglicht den Aufbau einer umfassenden Wissensstruktur [10]. Für die Lehre sind visuelle Darstellungen also durchaus anspruchsvolle Werkzeuge. Ihre Nutzung verlangt jedoch geeignete Lehr-Lern-Strategien.

Der sachgerecht passende Einsatz verschiedener Darstellungen ist gerade für komplexe Lerninhalte interessant. Außerdem lässt sich ausgehend von fotografischen Abbildungen über Bildanalogien und logische Bilder ein Weg zu abstrakten Repräsentationen aufzeigen (Abb. 1).

Für den Einsatz multipler Repräsentationen beim Lehren und Lernen gibt es somit viele Gründe:

■ Spezifische Aspekte sind am besten über spezifische Darstellungen zu zeigen. Jede Darstellung hat ihre Stärken und Ausdrucksmöglichkeiten, die sich für bestimmte Inhalte eignen.

■ Multiple Repräsentationen helfen, die Vielschichtigkeit bei komplexen Sachverhalten aufzubereiten und verschiedene inhaltliche Aspekte besser fassbar zu machen.

■ Die Verfügbarkeit unterschiedlicher mentaler Repräsentationen sichert flexiblere Vorstellungen und damit verknüpfte Denkprozesse. Das hilft beim Problemlösen und beim Erlernen neuer Inhalte.

Für den gezielten Einsatz im Unterricht ist es nützlich, mehrere Funktionen zu kennen, die multiple Repräsentationen beim Lernen übernehmen können. Dazu gibt Ainsworth einen systematischen Überblick [11]:

■ Verschiedene Repräsentationen können einander ergänzende Informationen liefern.

■ Das Verknüpfen verschiedener Darstellungen kann helfen, neue

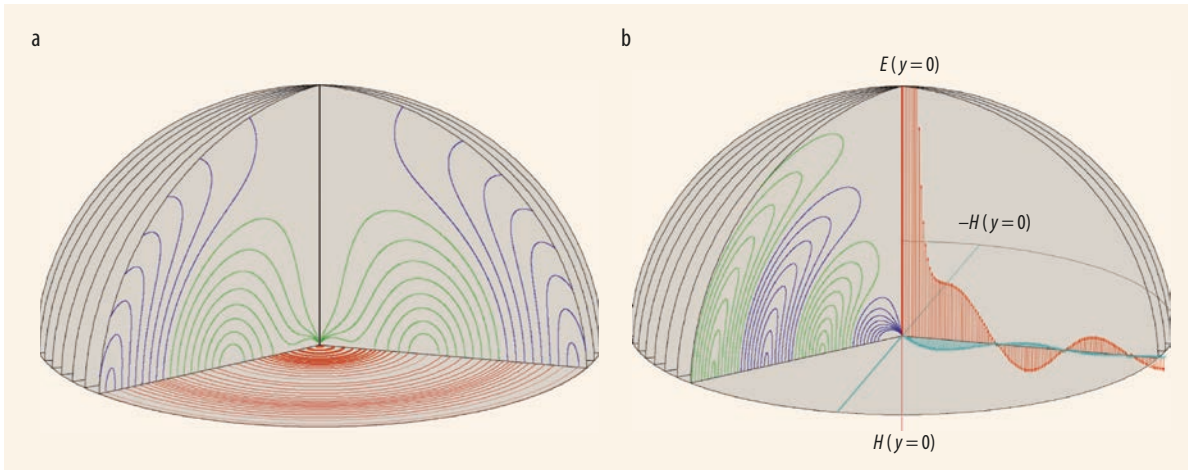


Abb. 3 Die Momentanaufnahme zeigt das  $E$ -Feld eines Hertzischen Dipols im oberen Halbraum und das Magnetfeld in

der Äquatorialebene (a). Auch die Phasendifferenz zwischen  $E$  und  $H$  lässt sich veranschaulichen (b). Die linke Seite im

rechten Bild dient dazu, das Feldlinienbild mit der Darstellung der Phasendifferenz zu verknüpfen.

Repräsentationen besser zu interpretieren und zu verstehen.

■ Um auf ein tiefergehendes Verständnis mit unterschiedlichen Abstraktionsgraden und Vernetzungen hinzuzuführen, können kombinierte Darstellungen speziell auf Abstraktionen, Erweiterungen oder Bezüge hinarbeiten.

### Beispiel mit Hertz

Der Einsatz multipler Repräsentationen wird beispielhaft zur Strahlung des Hertzischen Dipols gezeigt. Die mathematische Behandlung ist in der Schule und zu Beginn des Studiums nicht im Detail möglich. Hier helfen qualitative und bildhafte Darstellungen, um charakteristische Merkmale herauszuarbeiten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Visualisierungen, die unterschiedliche Akzente setzen.

Verständnisschwierigkeiten bei Diagrammen und abstrakten Grafiken sind bekannt. Vernetzungen zwischen abstrakten Darstellungen und konkreten Abläufen sind ein spezielles Problem. Helfen können kombinierte Darstellungen, die einander ergänzen und Zusammenhänge auf verschiedenen Abstraktionsgraden aufzeigen.

Bei einem statischen Dipol können Fähnchen anzeigen, dass die Richtungen der elektrischen Feldstärke stets tangential zu den Feldlinien orientiert sind (Abb. 2a). In die zeitabhängige Feldliniendarstellung

eines Hertzischen Dipols lässt sich zusätzlich ein Liniendiagramm integrieren, das den Verlauf der Feldstärke auf der horizontalen Achse anzeigt (Abb. 2b). Diese Kombination kann helfen, das Feldlinienbild besser zu interpretieren und herauszustellen, wo die elektrische Feldstärke einen Nulldurchgang hat und wo sich das Feld umpolt.

Zweifellos verlangen solche kombinierten Repräsentationen ergänzende Erläuterungen. Allerdings nehmen in der heutigen Medienlandschaft die komplexen Kombinationsgrafiken rapide zu. Aus dieser Perspektive verbessert eine Schulung zum Verständnis komplexer Kombinationsgrafiken die „Kommunikationskompetenz“ – dies ist auch eine Forderung der Kultusministerkonferenz [12].

Einen ersten Schritt zur Förderung kognitiver Flexibilität bietet ebenfalls das Kombinieren

verschiedener Darstellungen. Aussagen, die in einer Form besonders deutlich werden, lassen sich hervorheben und mit anderen Repräsentationen in Bezug setzen.

So ist es möglich, das elektrische sowie das magnetische Feld kombiniert zu visualisieren. Zunächst soll deutlich werden, dass es sich um ein räumliches Phänomen handelt und dass die Feldlinien senkrecht aufeinander stehen (Abb. 3a). Weiterhin lässt sich zeigen, dass  $E$  und  $H$  im Nahfeld phasenverschoben sind (Abb. 3b). Mit zunehmender Entfernung vom Zentrum schwingen die Feldgrößen immer mehr in Phase.

Wichtig ist der Zusammenhang zwischen der Phasenbeziehung von  $E$  und  $H$  und der Energiestromdichte, dem Poynting-Vektor  $S$  (Abb. 4a). Die Phasenverschiebung führt im Nahfeld zeitweise zu einer Richtungsumkehr der lokalen Energiestromdichten. Das Konzept der

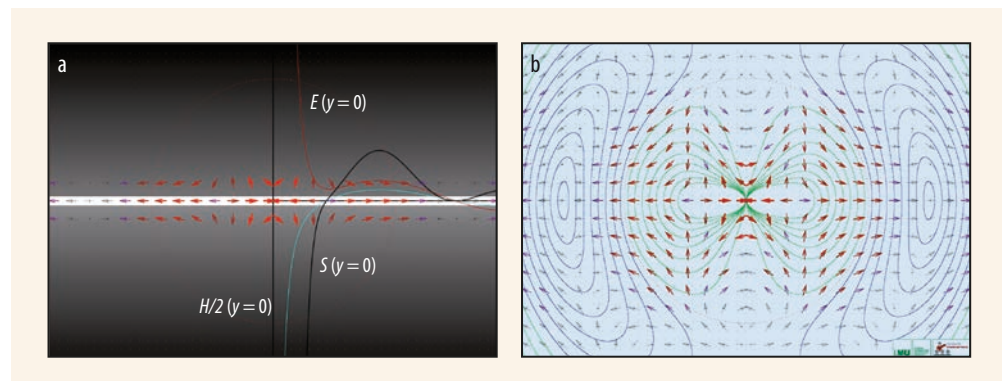


Abb. 4 Die Phasendifferenz zwischen  $E$  und  $H$  sorgt im Nahfeld für einen phasenweisen Energierückstrom (a). Die Pfeile visualisieren das Richtungsver-

halten. Eine Momentanaufnahme der Energiestromdichten ist zur besseren Veranschaulichung mit den Linien des elektrischen Felds überlagert (b).



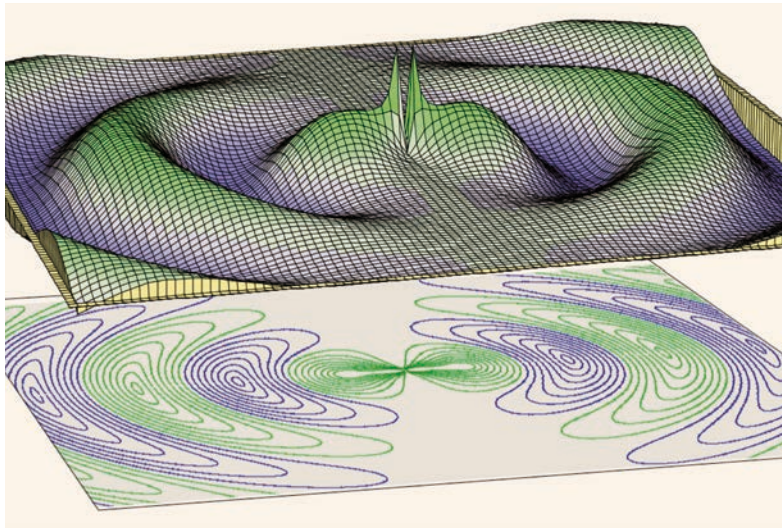


Abb. 5 Feldlinien lassen sich als Höhenlinien einer Wellenfunktion auf unterschiedliche Weise visualisieren.

Grafik orientiert sich am Supplantations-Prinzip von Salomon [13], wonach den Lernenden ein schwieriger kognitiver Prozess durch ein Medium vorgeführt wird. Abb. 4b zeigt die erweiterten Berechnungen für einen größeren Bereich auch außerhalb der Äquatorialebene. Aus dem Nahfeld strömt phasenweise Energie zum Dipol zurück. Hier wird einerseits die momentane Struktur des elektrischen Feldes klar, andererseits zeigen Pfeilrichtung und Farbgebung die Energiedichten an. Eine unmittelbare lokale Zuordnung wird deutlich erleichtert, wenn die Visualisierungen wie hier ineinander gezeichnet sind. Dies bietet vor allem den weniger erfahrenen Lernenden Orientierungshilfen.

## Vertiefendes Verständnis

Wissen erweitern, Verständnis vertiefen und neue Perspektiven aufzeigen sind Ziele, die an grundlegende Erkenntnisse anschließen und besondere Anforderungen an die Vermittlung stellen. Auch hier kann eine Zusammenschau verschiedener Darstellungen helfen.

Der Hertzsche Dipol ist eine Idealisierung, denn die Dipollänge ist verschwindend klein. Genau genommen wird nur mit einem sinusförmigen Dipolvektor gerechnet, nicht mit einer konkreten Ladungsverteilung auf einem Antennenstab. Allerdings ist der Hertzsche Dipol die Grundlage, mit der sich komplexere Anordnungen

wie ein Halbwellendipol berechnen lassen.

Auch wenn der mathematische Formalismus recht anspruchsvoll ist, lassen sich mit den Visualisierungen charakteristische Merkmale aufzeigen, die selbst aus den Formeln kaum zu erkennen sind.<sup>#)</sup>

Heinrich Hertz berechnete vor etwa 125 Jahren seine Feldliniendarstellungen und separierte dafür die Formeln in zwei Anteile [14]. Der interessante Teil ist eine Art Potentialfunktion, wobei die Feldlinien des  $E$ -Feldes die Höhenlinien dieser Funktion sind (Abb. 5).

## Zusammenfassung

Zum Ausbau von kognitiver Flexibilität und dem Umgang mit multiplen Repräsentationen gilt es, folgende Teilziele zu verfolgen: verschiedene Darstellungsarten zu einem Sachverhalt kennen lernen, besondere Vorzüge der jeweiligen Wissensrepräsentation kennen, verschiedene Repräsentationen verknüpfen und vernetzen sowie den Einsatz verschiedener Repräsentationen in Anwendungen üben.

Sowohl für den Erkenntnisgewinn als auch beim Problemlösen helfen multiple Repräsentationen, mehrere Aspekte zusammenzuführen. Allerdings ist ein Denken in verschiedenen Repräsentationen gut einzuüben. „Träges Wissen“ ist nicht erst seit den PISA-Studien ein viel diskutiertes Phänomen. Es bedeutet, dass Lernende physikalische Grundbegriffe und Gesetz-

mäßigkeiten kennen, diese aber nicht bedarfsgerecht anwenden können. Kontextualisierungen mithilfe kombinierter Darstellungen können helfen, die Anwendung von Wissen in verschiedenen Situationen vorzubereiten.

## Literatur

- [1] A. Paivio, *Mental representations. A dual coding approach*, Oxford University Press, New York (1986)
- [2] R. E. Mayer, *Multimedia Learning*, Cambridge University Press (2009)
- [3] W. Schnotz, in: R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press (2014), S. 72
- [4] L. J. Issing, in: L. J. Issing und J. Hanne-mann (Hrsg.), *Lernen mit Bildern*, Grünewald: Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (1983), S. 9
- [5] A. Savinainen et al., *Physics Education* **48**, 372 (2013)
- [6] J. I. Heller und F. Reif, *Cognition and Instruction* **1**, 177 (1984)
- [7] H. Mandl, B. Kopp und S. Dvorak, *Aktuelle theoretische Ansätze und empirische Befunde im Bereich der Lehr-Lern-Forschung*, Deut. Inst. für Erwachsenenbildung (2004), [bit.ly/2J8MKEq](http://bit.ly/2J8MKEq)
- [8] R. J. Spiro und J. Jehng, in: D. Nix und R. Spiro (Hrsg.), *Cognition, Education, and Multimedia*, Hillsdale, Erlbaum (1990)
- [9] R. J. Spiro et al., in: V. Patel (Hrsg.), *10th Ann. Conf. of the Cogn. Sci. Soc.*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum (1988), S. 375
- [10] T. Seufert, *Learning and Instruction* **13**, 227 (2003)
- [11] S. Ainsworth, *Learning and Instruction* **16**, 183 (2006)
- [12] Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittl. Schulabschl., [bit.ly/2He9ceo](http://bit.ly/2He9ceo)
- [13] G. Salomon, *Interaction of media, cognition and learning*, Jossey-Bass, San Francisco (1979)
- [14] K. W. Kark, *Antennen und Strahlungsfelder*, Springer, Wiesbaden (2014)

## DER AUTOR

**Raimund Girwidz** (FV Didaktik der Physik) studierte in Würzburg und war vier Jahre Gymnasiallehrer, bevor er in Würzburg promovierte und habilitierte. 2000 erhielt er einen Ruf an die PH Ludwigsburg. 2011 wechselte er an die LMU München auf den Lehrstuhl für Didaktik der Physik. Als Senior-Fellow der Joachim-Hertz-Stiftung liegt ihm das Lernen mit digitalen Medien besonders am Herzen.



<sup>#)</sup> Die Grafiken stammen aus Animationen, die auf den Seiten der LMU zur Verfügung stehen. Dort sind auch weitere Beschreibungen, Hinweise und Programme zu finden: [www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/multimedia](http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/multimedia)