



Mobile Minilabore zum Lernen

Wie groß ist die Lernwirkung beim Einsatz mobiler Geräte in Schule und Hochschule?

Pascal Klein, Andreas Müller, Sebastian Becker und Jochen Kuhn

Smartphones und andere mobile Geräte eignen sich als praktikable und leistungsfähige Experimentiermittel für Schule und Hochschule. Kontrollierte empirische Studien geben darüber hinaus Aufschluss über ihre Wirksamkeit bezüglich Lernen und Motivation.

Smartphones und Tablets sind zu ständigen Begleitern im Alltag geworden. Neben der Möglichkeit zur Kommunikation besitzen sie zahlreiche interne Sensoren, um Beschleunigungen, Lichtintensitäten, akustische Frequenzen und andere physikalische Größen zu messen. Dadurch können sie als Experimentiermittel den experimentell-orientierten Physikunterricht in Schule und Hochschule bereichern. Die Verfügbarkeit und Mobilität der Geräte ermöglichen zudem Experimente in vielen Alltagssituationen und anderen Anwendungskontexten, beispielsweise Messungen von Lärm oder Beschleunigungen im Freizeitpark oder im Straßenverkehr. Diese Vorteile werden seit etwa zehn Jahren an Physiklehrkräfte und -do-

zenten kommuniziert, unter anderem durch die Kolumne „iPhysicsLab“ oder in Fachzeitschriften.¹⁾ Doch verbessert der Einsatz von Smartphones überhaupt das Lernen und die Motivation im Vergleich zu herkömmlichen Methoden?

Um diese Frage zu beantworten, werden in der fachdidaktischen Forschung experimentelle Konzepte unter Perspektive der Falsifizierbarkeit entworfen, die sich auf Theorien begründen. Eine experimentelle Manipulation erlaubt es dabei, die tatsächliche Wirkung neuartiger Instrumente auf Lernen und Motivation zu untersuchen. Das bedeutet, dass eine Versuchsgruppe mit den neuen Instrumenten arbeitet und die Wirkung gegenüber einer Kontrollgruppe verglichen wird, welche diese Instrumente nicht nutzt. Empirische Studien zum Einsatz von Smartphones oder Tablets sind allerdings immer noch

1) Kolumne „iPhysicsLab“ in The Physics Teacher: aapt.scitation.org/journal/pte, seit 2012 herausgegeben von J. Kuhn und P. Vogt. „Smarte Physik“, Physik in unserer Zeit und Physik Journal, November 2018, S. 35

rar gesät und teils überraschend wenig belastbar, obwohl die Forschungsmethodik in den Fachdidaktiken in den vergangenen Jahren erhebliche Fortschritte gemacht hat [1, 2]. Ausgehend von dieser Beobachtung haben wir in der Physikdidaktik-Gruppe der TU Kaiserslautern seit 2012 mehrere empirische Studien zum Einsatz von Smartphones als Experimentiermittel durchgeführt. Die Studien zielten darauf ab, theoriebasierte Hypothesen zu Motivations- und Lerneffekten durch kontrollierte Studiendesigns zu überprüfen, die den Standards hypothesenprüfender quantitativer Forschung genügen, d. h. Ergebnisse, Objektivität und Validität der Methoden müssen reproduzierbar sein.

Mehr Zeit zum Lernen ...

Einschlägige Theorien zum multimedialen Lernen prognostizieren positive Auswirkungen auf Motivation, Neugierde und Leistung durch den Einsatz von Smartphones. Um physikalische Gesetzmäßigkeiten zu verdeutlichen, verwendet die Physik verschiedene Darstellungen (Repräsentationsformen) [3]. Physikalische Experimente und Phänomene werden nicht nur sprachlich ausgedrückt, sondern auch mithilfe von Diagrammen, Formeln, Datentabellen und anderen Darstellungsformen visualisiert. Genau dies erleichtern moderne Smartphones. Die durch die Sensoren erfassten Daten lassen sich in Echtzeit in Messdiagramme überführen (**Abb. 1**): Beschleunigungs-Zeit-Graphen, Frequenzspektren, Sonagramme und Stroboskopbilder sind nur einige Beispiele. Das spart gegenüber herkömmlicher Datenerhebung und -aufbereitung viel Zeit, sodass mehr kognitive Ressourcen zur Verfügung stehen, um die verschiedenen Repräsentationsformen zu interpretieren: Denn haben die Lernenden die Fähigkeit erworben, Diagramme von Hand zu erstellen, und besitzen sie ausreichend Übung darin, Datenpunkte in ein Koordinatensystem zu übertragen, darf sich der Unterricht auf die Interpretation verschiedener Datenmuster fokussieren. Das mühsame mehrfache Erstellen eigener Diagramme wäre redundant und würde vom Primärziel der Dateninterpretation ab-

lenken. Die Analyse von Experimentiervideos zeigt dies deutlich. Bewegungen, die mithilfe des mobilen Geräts aufgenommen wurden, lassen sich unmittelbar im Anschluss auf demselben Gerät analysieren. Nach einer Maßstabs-Kalibrierung werden die Orts- und Zeitinformationen des bewegten Objekts mittels einer App automatisch erfasst und gemeinsam mit der Geschwindigkeit dargestellt. Damit ist es möglich, Zusammenhänge zwischen den Größen und dem realen Bewegungsvorgang zu diskutieren.

... und höhere Motivation

Lernen mit Smartphones kann auf mehrere Arten die Motivation fördern: Erstens kann die Verwendung aktueller Informations- und Kommunikations-Technologie das Interesse von Jugendlichen per se steigern [4]. So ist das Smartphone den Lernenden hinreichend vertraut und stellt einen Bezug zu ihrem Alltag her. Das Gerät, das sie sonst in der Freizeit nutzen, lernen sie nun als zuverlässiges Messinstrument kennen. Dieses Messgerät kann herkömmliche Versuchsanordnungen im Physikunterricht anreichern oder ersetzen und diese somit weniger synthetisch wirken lassen. Zweitens können die Geräte im Unterricht in neuartigen Experimenten zum Einsatz kommen, die Alltagsprobleme innerhalb oder außerhalb des institutionellen, formellen Lernszenarios untersuchen [5]. Somit ist ein aktives Lernen möglich, wodurch das Experimentieren den Weg in die Lebenswelt der Schüler findet.

Forschungsmethode

Lassen sich die theoretisch erwartbaren Effekte auf die Motivation und das Lernen (z. B. verbesserte Diagramminterpretation) experimentell nachweisen? Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, stellen wir im Folgenden verschiedene Studien mit einem Kontroll- und Interventionsgruppen-Design vor (**Abb. 2**). Dabei experimentiert die Interventionsgruppe mit Smartphones bzw. Tablets, während die Kontrollgruppe traditionelle Experimentier-

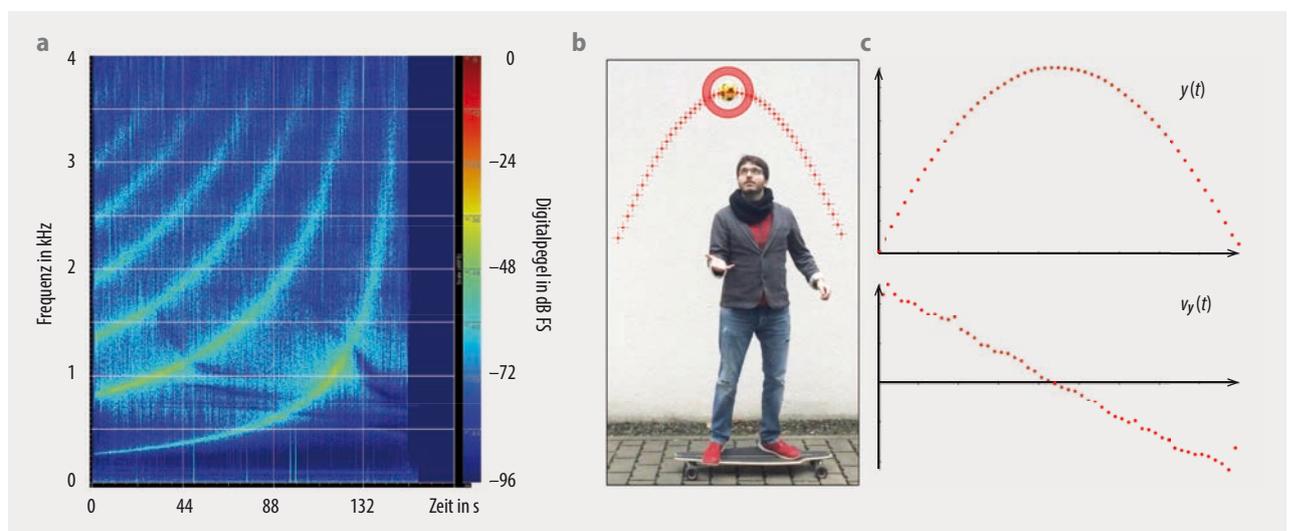


Abb. 1 Frequenzspektrum beim Füllen eines Becherglases (a), Punktspur eines Balls, der während einer Skateboardfahrt in die Höhe geworfen wird (b); Position-Zeit- und Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme mit Daten, die aus dem Video extrahiert wurden (c).

mittel einsetzt. Für einen möglichst unverzerrten Vergleich zwischen den Gruppen sind die ausgewählten Experimente inhaltlich identisch und die Arbeits-/Übungsblätter für beide Gruppen gleich strukturiert und parallel gestaltet.

Auch in der Bildungsforschung geht es darum, keine wichtigen Variablen zu übersehen, die das Resultat des Experiments beeinflussen können. So unterrichtete in der Schule die gleiche Lehrkraft sowohl die Kontroll- als auch die Interventionsgruppe (je eine Klasse). In der Hochschule wurden die wöchentlichen Übungsaufgaben durch Smartphone-/Tablet-basierte Aufgaben angereichert und die Übungsgruppen zufällig in Kontroll- und Interventionsbedingung eingeteilt. Messbare Schlüsse lassen sich dadurch ziehen, dass in jeder Studie die abhängigen Variablen (also Motivation und Lernerfolg) sowie ergänzende Variablen wie kognitive Fähigkeiten sowohl unmittelbar vor als auch nach der Lerneinheit durch Fragebögen und Tests gemessen werden (Prä-/Posttest). Die Aufgaben und Fragebögen waren unabhängig validiert und erfüllten standardisierte psychometrische Gütekriterien wie Objektivität, Zuverlässigkeit und Validität. In der Hochschulstudie wurde die Rolle der beiden Gruppen nach der Lernphase getauscht (sog. Rotationsdesign), daran schloss sich eine zweite Lerneinheit mit erneutem Test an (zweiter Posttest).

Wirksamkeit im schulischen Physikunterricht

Die speziell für den Physikunterricht entwickelte kostenlose Videoanalyse-Applikation Viana [6] ermöglicht es Schülerinnen und Schülern, mittels eines mobilen Endgeräts Videos der Bewegung beliebiger Körper aufzunehmen, Messdaten des Bewegungsvorgangs zu generieren und in verschiedenen Repräsentationsformen zu visualisieren, und zwar nahezu in Echtzeit. Dieses digitale Lernwerkzeug eignet sich, um experimentelle Lernprozesse im Mechanikunterricht zu unterstützen. Seine positive Lernwirkung in der Schule bestätigte sich in drei quasi-experimentellen Feldstudien [7 – 9]. Insbesondere zeigte sich eine positive Wirkung auf das physikalische Konzeptverständnis der Lernenden durch den Einsatz der mobilen Endgeräte im Vergleich zu traditionellen Experimentiermethoden mit einer replizierten mittelgroßen Effektstärke²⁾ [11]. An den Untersuchungen waren mehr als 500 Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe beteiligt. Mehr als 30 Lehrkräfte begleiteten den standardisierten Unterricht. Die Inhalte umfassten curricular valide Themen der klassischen Mechanik wie gleichförmige Bewegung, beschleunigte Bewegung oder Schwingungen. Die Effektstärken betragen $d = 0,30$ bis $0,90$ für verschiedene Inhalte und Lernphasen, wobei die größten Effekte bei den anspruchsvollsten Inhalten zu verzeichnen waren.

Exemplarisch stellen wir hier die in Kooperation mit erfahrenen Lehrkräften entwickelte Unterrichtssequenz zum Thema „beschleunigte Bewegung“ vor. Diese besteht aus sechs Unterrichtsstunden, von denen vier auf die Experimentierphase entfallen und zwei Stunden auf die anschließende Übungsphase.

In der Experimentierphase führen die Schülerinnen und Schüler Versuche kollaborativ in Kleingruppen durch. Für

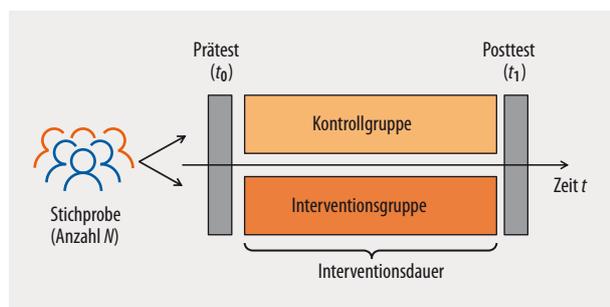


Abb. 2 Die Probanden aus Kontroll- bzw. Interventionsgruppe lernen unter verschiedenen Lernbedingungen. Durch Erhebung von Motivation (durch Fragebögen) und Lernstand (durch Tests) in beiden Gruppen unmittelbar vor (prä) bzw. nach (post) dem Interventionszeitraum lässt sich die Wirkung der Intervention gegenüber der Kontrollsituation (konventioneller Unterricht) messen. Die Kenntnis der Prädaten erlaubt es, etwaige anfängliche Unterschiede zu kontrollieren.

den äußerst kostengünstigen Experimentaufbau (rund fünf Euro pro Experimentiersatz) sind einzig ein Aluminiumprofil, ein Gummifuß und eine Stahlkugel nötig. Der Gummifuß erlaubt es, das Aluminiumprofil leicht zu neigen, sodass die Kugel beim Hinunterrollen positiv bzw. beim Hinaufrollen negativ beschleunigt wird. Die Schülerinnen und Schüler können sich durch Aufnahme dieser beiden Bewegungsformen und der nachfolgenden Analyse die physikalischen Gesetzmäßigkeiten für eine (positiv sowie negativ) beschleunigte Bewegung experimentell erschließen. Die beim Experimentieren erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten festigen und vertiefen sie durch die Bearbeitung von Übungsaufgaben. Grundlage dieser Aufgaben sind vorgefertigte Videos von beschleunigten Bewegungen, welche die Lernenden eigenständig mittels der Videoanalyse-Applikation bewerten.

Eine weitere Studie mit rund 150 Schülerinnen und Schülern zeigte, dass sich das bloße Ersetzen einfacher Routinen durch das Smartphone nicht auf die Leistungsfähigkeit auswirkt [12]. In diesem Fall verwendeten die Schülerinnen und Schüler der Interventionsgruppe das Smartphone als Pendelmasse eines Fadenpendels und bestimmten die Schwingungsdauer anhand der grafisch dargestellten Beschleunigungs-Zeit-Messreihe. Die Kontrollgruppe nutzte herkömmliche Schrauben als Massstücke und bestimmte die Schwingungsdauer mit der Stoppuhr. Das in der vorigen Studie gefundene höhere Lernpotenzial blieb hier ungenutzt.

Die Studie zeigte allerdings, dass Smartphones als Experimentiermittel durchaus das Interesse ($d = 0,40$) und die Neugierde ($d = 0,25$) der Lernenden stärker wecken und besonders die vorher wenig interessierten Schülerinnen und Schüler mehr Interesse am Unterricht verspüren. Auch

2) Um Größe und Bedeutsamkeit eines empirisch analysierten Ergebnisses zu beurteilen, haben sich in der Lehr-Lern-Forschung Effektstärkemaße etabliert. Das gängigste Maß d [10] berechnet sich aus den Unterschieden zwischen Mittelwerten von Experimental- (ME) und Kontrollgruppen (MK), normiert auf die gepoolte Standardabweichung: $(ME - MK)/SD$. Als Richtwerte werden nach Cohen die Effekte in kleiner ($0,2 \leq d < 0,5$), mittlere ($0,5 \leq d < 0,8$) und große Effekte ($0,8 \leq d$) eingeteilt.

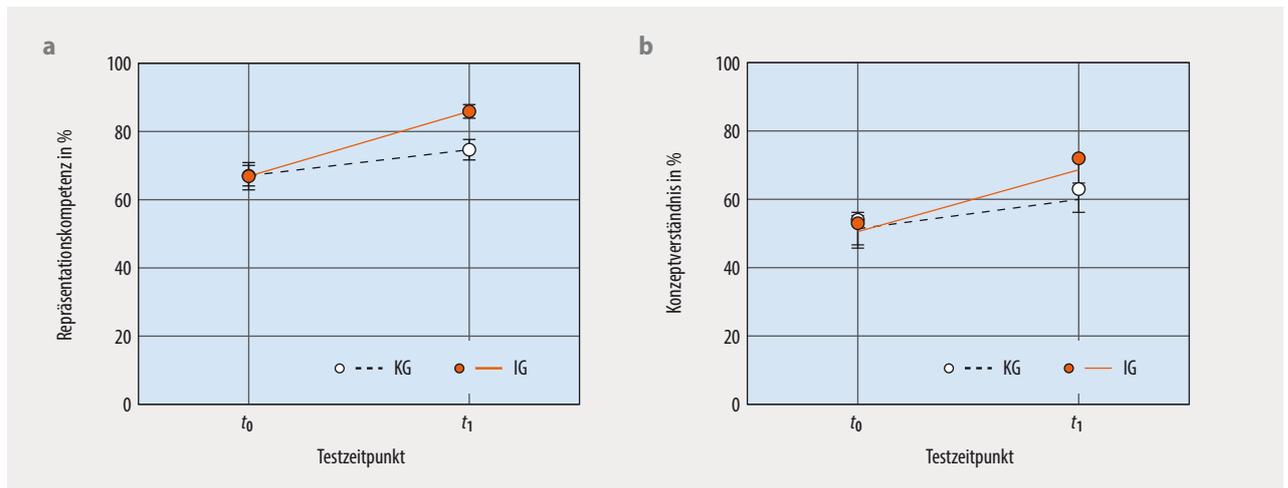


Abb. 3 Bei einer Studie mit Studierenden an der TU Kaiserslautern zeigten Kontroll- und Interventionsgruppe beim Prätest (Zeitpunkt t_0) sowohl bei Repräsentationskompetenz (a) als auch beim Konzeptverständnis (b) vergleichbare Werte. Der Leistungszuwachs beim Posttest (Zeitpunkt t_1) war in der Interventionsgruppe (durchgezogene Linie) signifikant höher als in der Kontrollgruppe (gestrichelte Linie).

eine frühe Untersuchung im Physikunterricht zum Thema Akustik in der Sekundarstufe 1 unterstrich die positiven Lerneffekte ($d = 0,87$) [13].

Wirksamkeit in universitären Mechanik-Übungen

Als weiteres Beispiel dient eine Studie in der Eingangsphase des Physikstudiums. Für die Mechanik-Vorlesung an der TU Kaiserslautern wurde ein Lehr-Lern-Szenario entwickelt, das neue Aufgabenformate mit Experimentbezug in den herkömmlichen Übungsablauf integriert [7]. In mittlerweile mehreren Jahrgängen nutzen die Physik-Studierenden die mobilen Minilabore, um Videos von Bewegungsvorgängen aufzunehmen und im Selbststudium auszuwerten oder vorgegebene Videos zu analysieren. Eine Studie mit 165 Studierenden erbrachte einen höheren Leistungsanstieg in der Interventionsgruppe gegenüber einer Kontrollgruppe (Aufgaben ohne Smartphone-Experimente) bei etwa gleichem Ausgangsniveau beider Versuchsgruppen (**Abb. 3**). Bei der Repräsentationskompetenz betrug die Effektstärke $d = 0,72$, beim Konzeptverständnis $d = 0,34$.

Fazit und Ausblick

Schon seit mehr als zehn Jahren entwickeln sich Experimentbeispiele mit Smartphones als mobile Minilabore für Physikunterricht und -lehre auf nationaler und internationaler Ebene weiter. Dem steht jedoch ein großes Defizit an aussagekräftigen Studien zu den Lernwirkungen dieser Ansätze gegenüber. Der vorliegende Artikel bietet einen Überblick über bisherige Studienergebnisse, welche diese Lücke schließen sollen und ermutigende Schlussfolgerungen für die Praxis erlauben. So lässt sich feststellen, dass der Einsatz von Smartphones als Experimentiermittel nicht per se zu Leistungssteigerungen führt, wohl aber das Interesse und die Neugierde steigert. Diese motivationalen Komponenten spielen eine entscheidende Rolle für die Kurs- bzw. Studienfachwahl, was dafür spricht, die mobilen Endgeräte bereits

in der Sekundarstufe 1 einzusetzen. Für einen Lernerfolg gilt es, die Medien basierend auf dem Wissensstand der naturwissenschaftlichen Lehr-Lern-Forschung so einzusetzen, dass Lernende die angebotenen Darstellungen themenbezogen erstellen, interpretieren und ihre Informationen wechselseitig aufeinander beziehen können. Keine Studie stellte bislang einen negativen Effekt des Medieneinsatzes fest, d. h. die Lerneffekte waren immer mindestens gleich groß wie im bestmöglichen herkömmlichen Unterricht, die Motivation stets höher. Bezüglich der untersuchten Variablen wie Motivation und Leistung schaden also Smartphones im Unterricht definitiv nicht. Die Studien beruhen auf einer soliden empirischen Grundlage und können einen Beitrag zur aktuellen Debatte über die Digitalisierung im naturwissenschaftlichen Unterricht leisten.

Die hier vorgestellten Studien schließen das Erkenntnisdefizit zum Lernen mit digitalen Medien keinesfalls vollständig – insbesondere in Anbetracht der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten. Zu anderen Themenfeldern und anderen naturwissenschaftlichen Fächern sowie in verschiedenen Phasen naturwissenschaftlicher Bildungsgänge sind weitere Studien erforderlich. Ein nächstes Ziel sollte darin bestehen, mit diesen Medien Alltagsphänomene in außerunterrichtlichen Lerngelegenheiten (z. B. Hausaufgaben, Projektarbeiten oder AGs) zu erschließen und zu untersuchen. Eine Frage dabei könnte sein, in welchem Maße Lernende die Möglichkeiten der mobilen Geräte auch ohne schulisch-formellen Rahmen für eigene Messungen ausnutzen. Wünschenswert sind darüber hinaus Studien über einen längeren Zeitraum, um die Versuchs- und Kontrollgruppen beispielsweise durch die gesamte Oberstufe zu begleiten.

Auch wenn die bisherigen Ergebnisse ermutigend sind, bleiben noch viele Fragen offen: Lässt die positive Wirkung des Smartphone-Einsatzes mit der Zeit nach? Profitieren Schülerinnen und Schüler gleichermaßen? Für welche Lerninhalte eignen sich die digitalen Medien besonders gut? Als sehr erfolgreich hat sich insbesondere bei der Implementation in die universitäre Lehre die enge Kooperation

mit den Kolleginnen und Kollegen der Fachwissenschaften erwiesen. Es wäre wünschenswert, wenn diese Verbindung aus Entwicklungsarbeit auf der einen Seite (neue Experimente, Innovation durch moderne Kommunikations- und Informations-Technologie) und empirischer Forschung auf der anderen Seite auch zukünftig und an anderen Standorten (Universitäten, Schulen) mehr Raum erhielte.

*

Besonderer Dank gilt Henning Fouckhardt, Georg von Freymann, Egbert Oesterschulze und Artur Widera von der TU Kaiserslautern.

Literatur

- [1] J. Handelsman et al., *Sci.* **304**, 521 (2004)
- [2] J. L. Dockett und J. P. Mestre, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **10**, 020119 (2014)
- [3] A. Van Heuvelen, *Am. J. Phys.* **59**, 891 (1991)
- [4] S. Swarat et al., *J. Res. Sci. Teach.* **49**, 515 (2012)
- [5] S. Becker et al., *Phys. Teach.* **56**, 347 (2018)
- [6] S. Becker et al., *Physik in unserer Zeit* **49**, 46 (2018)
- [7] P. Klein et al., *ZfDN* **24**, 17 (2018)
- [8] S. Becker et al., *ZfDN* (2019), doi.org/10.1007/s40573-019-00089-4
- [9] K. Hochberg et al., *J. Sci. Edu. Tech.* (accepted)
- [10] J. Cohen, *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum. (1988)
- [11] S. Becker et al., *Learn. Instr.* (submitted), arxiv.org/abs/1908.11281
- [12] K. Hochberg et al., *J. Sci. Edu. Tech.* **27**, 385 (2018)
- [13] J. Kuhn und P. Vogt in: W. Schnotz et al. (Hrsg.), *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning* (253-269). Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan (2015)

Die Autoren



Pascal Klein ist ab April 2020 Juniorprofessor für Physik und ihre Didaktik an der U Göttingen und war zuvor Juniorprofessor an der TU Kaiserslautern. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen in der empirischen Interventionsforschung in der Studiengangphase und der Expertiseforschung mittels Eyetracking.

Andreas Müller (FV Didaktik der Physik und Quantenoptik/Photonik) ist Professor für „Science Education“ an der Universität Genf in der Schweiz. Seine Arbeitsschwerpunkte sind u. a. Alltagsphysik, Freihandexperimente usw. als physiknaher Schwerpunkt sowie kontext-orientierter Unterricht.

Sebastian Becker ist abgeordneter Lehrer und wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik an der TU Kaiserslautern. Sein Forschungsschwerpunkt sind Analysen von schulischen Lernprozessen mittels stationärem und mobilem Eyetracking

Jochen Kuhn (FV Didaktik der Physik) ist Universitätsprofessor (W3) und Leiter der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik an der TU Kaiserslautern. Seine Forschungsschwerpunkte sind multiple Repräsentationen beim Lernen mit Multimedia und Eyetracking-Analysen.

Jun.-Prof. Dr. Pascal Klein, Universität Göttingen, Fakultät für Physik, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen; **Dr. Andreas Müller**, University of Geneva, Faculty of Science/Physics Section, Boulevard du Pont d'Arve 40 (IUF), CH-1211 Genève; **Sebastian Becker** und **Prof. Dr. Jochen Kuhn**, TU Kaiserslautern, Fachbereich Physik/Didaktik der Physik, Erwin-Schrödinger-Str., 67663 Kaiserslautern

JETZT INFORMIEREN!
ZFUW.DE

FERNSTUDIUM NEBEN DEM BERUF

TECHNOETHIK

ZERTIFIKAT

- GRUNDLAGEN DER ETHIK
- KULTUR DER WISSENSGESELLSCHAFT
- ETHISCHE ORIENTIERUNG IM DIGITAL TRANSFORMIERTEN GESUNDHEITSWESEN
- EINFÜHRUNG IN DIE BESONDERHEITEN DER ETHIK DER INFORMATIK
- ANGEWANDTE ETHIK, TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG, TECHNOETHIK

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

DISTANCE AND INDEPENDENT STUDIES CENTER