

3.5 Physik

3.5.1 Computerunterstützte Datenerfassung im Physikunterricht

Eine Umfrage der Fachgruppe Physik des T³-Lehrerfortbildungsnetzwerks

3.5.2 Fallexperimente mit Ultraschall

Dr. Franz Boczianowski, Humboldt-Universität zu Berlin

3.5.3 iMobilePhysics – Smartphones und Tablets als mobile Experimentiermedien in der Physik, Physics Holo.lab – Kognitive Aktivierung beim Experimentieren durch Augmented-Reality-basierte Unterstützung mit intelligenten Datenbrillen

AG Kuhn, Didaktik der Physik, TU Kaiserslautern

3.5.4 Physikalische Größen im Alltag erfahrbar machen mit FELS (Forschend-Entdeckendes Lernen mit dem Smartphone)

Jirka Müller, Dr. Uta Magdans, Prof. Dr. Andreas Borowski, Universität Potsdam

3.5.5 phyphox – Physical Phone Experiments

Dr. Sebastian Staacks, RWTH Aachen University

3.5.1 Computerunterstützte Datenerfassung im Physikunterricht

Eine Umfrage der Fachgruppe Physik des T³-Lehrerfortbildungsnetzwerks

Computerunterstützte Datenerfassung im Physikunterricht

Eine Umfrage der Fachgruppe Physik des T³-Lehrerfortbildungsnetzwerks¹

Einleitung

Ergebnisse von Studien legen nahe, dass der Einsatz von computerunterstützter Messdatenerfassung bei Schülerinnen und Schülern positive Einflüsse auf das Verständnis physikalischer Konzepte hat. Thornton (1987) und Sokoloff (1990) konnten schon vor drei Jahrzehnten zeigen, dass durch die Arbeit mit Bewegungssensoren Schülerinnen und Schüler nicht nur motiviert, sondern auch in hohem Maße kognitiv aktiviert werden und in Folge Bewegungsdiagramme auch auf einer qualitativen Ebene begreifen können. Obwohl heute die Vorteile digitaler Messdatenerfassung sowohl in der fachdidaktischen Forschung als auch bei den Lehrkräften an Schulen erkannt werden, scheinen die vielversprechenden Forschungsbefunde noch keine flächendeckende Umsetzung im Physikunterricht zu finden. Experimentieren im Physikunterricht als unverzichtbare Methode erzeugt eine hohe Erwartungshaltung bei Schülerinnen und Schülern, kann aber ohne entsprechende Einbettung in die gesamte Unterrichtsarbeit das Potenzial nicht erschöpfend nutzen (Hofstein & Lunetta, 1982; Abrahams und Reiss, 2012). Millar und Abrahams (2009) sowie Fotou und Abrahams (2015) weisen ebenfalls darauf hin, dass es eine passende Vernetzung zwischen theoretischen und praktischen Unterrichtselementen braucht. Kohler und Mishra (2005, 2006) zeigen an ihrem TPACK-Modell², dass Lehrkräfte für den lernwirksamen Einsatz neuer Technologien ganz spezifische Kompetenzen erwerben sollten.

Vor dem Hintergrund fachdidaktischer Befunde lassen sich mögliche Ursachen dafür auffinden, warum der Einsatz computerunterstützter Messdatenerfassung im Unterricht noch nicht jene Verbreitung findet, die aufgrund des fachdidaktischen und lerntheoretischen Mehrwerts wünschenswert wäre. Digitale Messdatenerfassung und die weitere sinnvolle Nutzung der Daten zum Aufbau von physikalischem Wissen und Verständnis sind keine Selbstläufer im Unterricht, wo alleine die Bereitstellung des Equipments und einfache Anleitungen ausreichend wären. Daher überlegte eine Gruppe von Physiklehrkräften aus Deutschland, Österreich und der Schweiz bei einem T³-Herbsttreffen im November 2015, wie man einen raschen Überblick über den status quo und die Zukunftsvorstellungen möglichst vieler Physiklehrer der weiterführenden Schulen in Deutschland gewinnen könne. Interessant war vor allem, wie Messungen im Physikunterricht eingesetzt werden – ob mit einem digitalen System oder klassisch „analog“ gemessen wird und was die jeweiligen Gründe für die spezifischen Zugänge sind. Die Ergebnisse sollten vor allem die praxisnahe Arbeit von T³ unterstützen und zeigen, in welchen Bereichen eine vertiefende didaktische und technische Unterstützung nötig ist und mit welchen Motiven und Herausforderungen digitale Messdatenerfassung eingesetzt wird.

Durchführung der Umfrage

Mit einem Fragebogen sollten zentrale didaktische und technische Aspekte standardisiert erfasst und ergänzende offene Antworten ermöglicht werden. Anhand des konkreten Beispiels „Mechanische Schwingungen“, das sich in allen Lehrplänen findet, aber von Lehrkräften sehr unterschiedlich umgesetzt werden kann, wurde erfasst, ob dabei Messdaten digital oder „klassisch“ erfasst werden oder zum diesem Thema überhaupt kein Experiment durchgeführt wird.

¹ T³ – Teachers Teaching with Technology

² TPACK – Technological AND Pedagogical Content Knowledge

Die Antworten zu dieser Einstiegsfrage wurden als Filter genutzt: Wer digitale Messwerterfassung einsetzt, wurde zu technischen (Systeme, Verteilung und Auswertung der Daten) und didaktischen Motiven befragt, weiterhin zur Nutzung von Online-Anleitungen. Diejenigen, die für das konkrete Beispiel mechanischer Schwingungen „klassische, analoge“ Experimente und Messungen einsetzen, wurden zu den Gründen befragt, warum keine digitale Erfassung verwendet wird und wie genau vorgegangen wird. Beiden Gruppen wurden anschließend zwei prospektive Fragen gestellt – sie sollten auch hier technische und didaktische Aspekte der Zukunft der Messwerterfassung einschätzen. Wenn gar keine Experimente zu mechanischen Schwingungen durchgeführt wurden, endete die Umfrage.

Insgesamt nahmen 780 Lehrpersonen aus Deutschland an der Umfrage teil. Sie wurde im März 2016 gestartet und war bis November 2016 auf der Plattform Polldaddy online. Die Umfrage wurde über T³-Newsletter, TI-Newsletter, MNU-Mitgliedermail, Rundmail von Cornelsen-Experimenta sowie durch eine Verteilung von Info-Postkarten auf MNU-Veranstaltungen beworben. Es zeigen sich zwei deutlich getrennte Antwort-Zeiträume mit den jeweiligen Peaks im Mai und September/Okttober 2016. Die erste Antwortwelle hängt zeitlich mit der Werbung durch T³, TI und vor allem MNU-Mitgliedermails und Hinweise auf der Bundestagung der MNU zusammen, die zweite Antwortwelle mit „Werbung“ für die Umfrage durch Cornelsen-Experimenta. Um auszuschließen, dass es sich bei den sehr früh und den erst gegen Ende des Umfragezeitraums Antwortenden um Lehrkräfte handelt, die sich in Nutzung und Einstellung zur digitalen Messwerterfassung signifikant voneinander unterscheiden, wurden zunächst diese beiden Gruppen im Hinblick auf ihr Antwortverhalten untersucht.

Ergebnisse der Umfrage

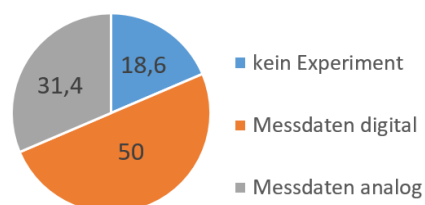
(1) Zeitpunkt der Beantwortung des Fragebogens

In der ersten Antwortrunde (März-Juni 2016) führen lediglich 13,6% (n = 46) kein Experiment zu mechanischen Schwingungen vor, 60,9% hingegen nutzen dafür digitale Messwerterfassung und 25,4% führen den Versuch „analog“ durch. Die meisten Antworten der ersten „Welle“ erfolgten im Mai (32,9%; n = 257). In der zweiten Antwortwelle, deren Maximum im September mit 46,7% der Antworten liegt (n = 364), wird zwar auch von der Mehrheit der Befragten angegeben, dass digitale Messwerterfassung eingesetzt wird – es sind aber lediglich 41,6% der Befragten.

Im Hinblick auf die verwendeten Systeme gibt es prozentuale Differenzen zwischen Früh-Antwortenden und denen, die vor allem im September an der Umfrage teilnahmen. Statistisch relevant sind diese nur in einigen wenigen Ausnahmen: Physiklehrpersonen, die für die digitale Messwerterfassung ein System von Leybold einsetzen, sind in der Gruppe der früh Antwortenden leicht überrepräsentiert. Ansonsten unterscheiden sich diejenigen, die früh an der Umfrage teilgenommen haben in keinem weiteren Befragungsbereich (Gründe, Datenweitergabe, Auswertungssystem, Nutzung von Experimentieranleitungen). Bei denjenigen, die angaben, das Beispielerperiment in analoger Weise durchzuführen, unterscheiden sich beide Gruppen (Früh-/Spätantwortende) lediglich in einem Aspekt: In der Gruppe der spät Antwortenden tritt die Position, die digitale Messwerterfassung sei nicht anwenderfreundlich, signifikant häufiger auf als in der Gruppe der früher Antwortenden. Für die weitere Auswertung erfolgt daher keine Differenzierung nach dem Zeitpunkt der Bearbeitung des Fragebogens.

(2) Messwerterfassung bei Experimenten zu mechanischen Schwingungen

Insgesamt nutzen 50% der Befragten beim Thema mechanische Schwingungen digitale Messwerterfassung (n = 390), 31,4% führen den Versuch analog durch (n = 245) und 18,6% (n = 145) führen zu diesem Thema gar keine Experimente durch (vgl. Abb. 1).



Dabei setzen Physiklehrerinnen signifikant häufiger (54%) die „analoge“ Variante ein als ihre männlichen Kollegen (34%).

Abb. 1: Erfassung der Messdaten

Da nicht alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Umfrage eine Postleitzahl angaben, lässt sich die Verteilung der Antworten auf die einzelnen Bundesländer nur bedingt abschätzen.

Durch einen Vergleich der Rückläufe pro Bundesland mit der Anzahl der hauptamtlich beschäftigten Lehrer an Gymnasien im Schuljahr 2015/16 ergeben sich Quoten zwischen 0,8% (Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern) und 0,14% (Bremen, Saarland – hier ist aufgrund der sehr niedrigen Fallzahlen keine weitere Differenzierung sinnvoll).

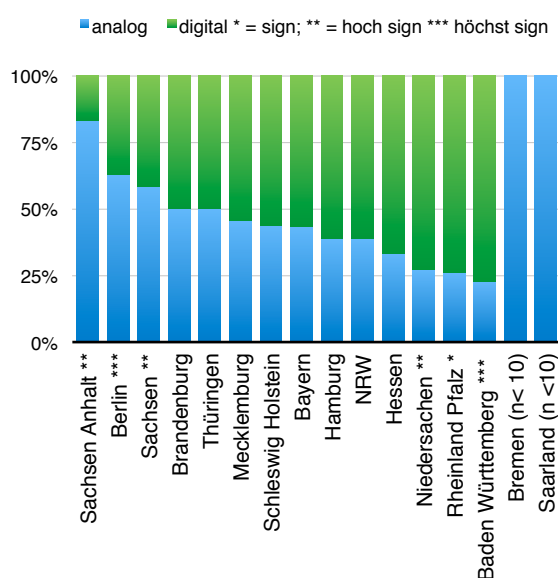


Abb. 2: Bundesländerspezifische Zugänge zur Messwerterfassung

(3) Welche Messwerterfassungssysteme werden genutzt?

Die Auswertungen der standardisierten Antwortvorgaben und der freien, offenen Antwortmöglichkeiten ergab, dass Systeme von Leybold am häufigsten eingesetzt werden und dann erst mit größerem Abstand (Hälfte des Prozentwertes) die Nutzung von Smartphones oder Tablets und Datenlogger und Sensoren von Vernier folgt (vgl. Tab. 1 und Abb. 3). Grafikfähige Taschenrechner machen insgesamt 12% der genutzten Systeme aus, wobei TI mit dem zu Vernier-Sensoren kompatiblen NSpire-GTR mit einem Zehntel der Gesamtanwendungen diesen Bereich klar dominiert. Im Bereich „Sonstige“ wurden vereinzelte Nennungen weiterer Hersteller, Eigenentwicklungen oder die Nutzung eines Raspberry Pi-Computers angeführt. Videoauswertungen spielen ebenso wie diese Zusammenfassungen für die Erfassung mechanischer Schwingungen eine untergeordnete Rolle. Eine Zusammenfassung der Systeme ist aufgrund der Datenlage nicht sinnvoll möglich.

Tab. 1: Systeme zur Datenerfassung

Systeme	%
Leybold	38
Smartphone / Tablet	18
Vernier	15
GTR TI (NSpire)	10
Pasco	6
Phywe	4
Sonstige	4
Videoanalyse	3
Mekruphy	2
GTR Casio	2

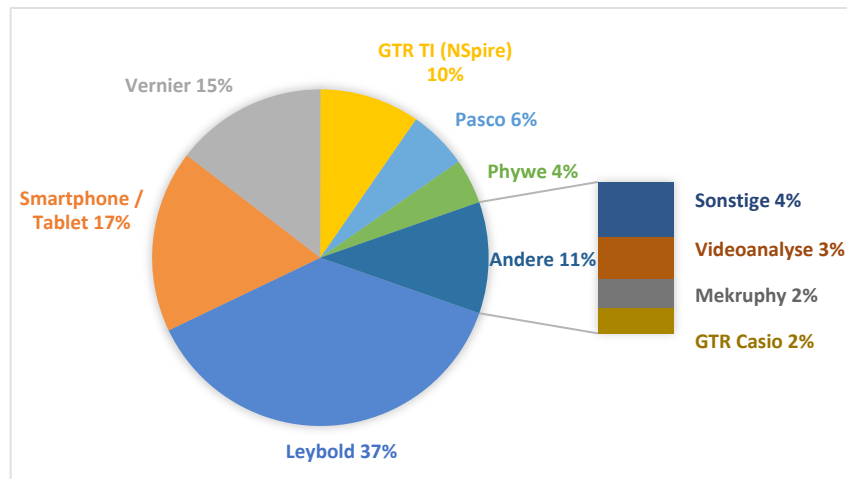


Abb. 3: Verteilung des Einsatzes verschiedener Messwerterfassungssysteme

(4) Gründe für den Einsatz digitaler Messwerterfassung

Als wichtigste Gründe für den Einsatz digitaler Messwerterfassung werden die schnelle und einfache Nutzung, zeitgemäße Form des Unterrichtens und die hohe Qualität der Messwerte genannt. Aber auch anschaulicher und realitätsnaher Unterricht sowie eine Steigerung der Motivation bei Schülerinnen und Schülern sind den Lehrkräften wichtig (vgl. Abb. 4).

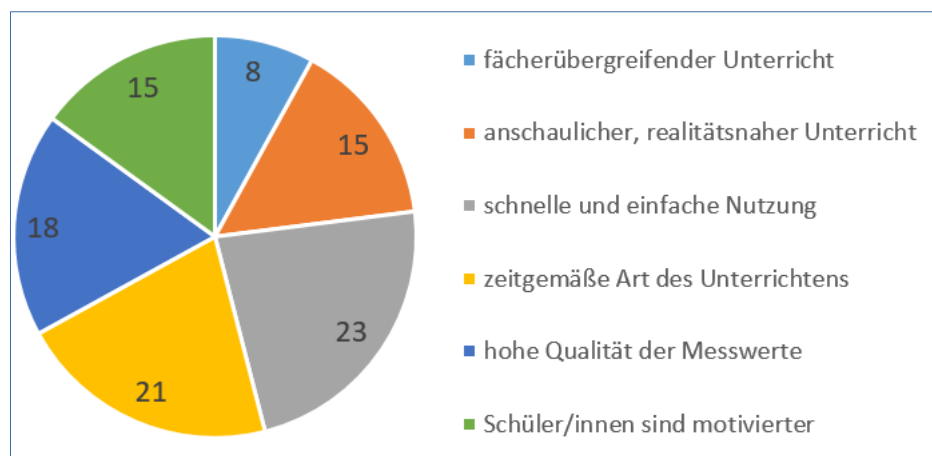


Abb. 4: Verteilung der Gründe für den Einsatz digitaler Messdatenerfassung (in %)

Mit einer explorativen Faktorenanalyse konnten die einzelnen Antwortausprägungen zu drei Kategorien zusammengefasst werden.

(1) Interne Perspektive auf Unterricht

(schnelle und einfache Nutzung möglich / anschaulicher, realitätsnaher Unterricht / fächerübergreifender Unterricht)

(2) Externe Perspektive auf Unterricht

(Schüler/innen sind motivierter / zeitgemäße Art des Unterrichtens)

(3) Qualität der Daten (hohe Qualität der Messwerte)

Die „interne Perspektive auf den Unterricht“ setzt sich aus den drei dichotomen Antworten zu den Möglichkeiten der schnellen und einfachen Nutzung, einem anschaulichen sowie fächerübergreifenden Unterricht zusammen. Wenn alle drei Einzelfragen bejaht wurden, wird dieser Komponente eine sehr hohe Bedeutung zugewiesen: rund 15% der Teilnehmer schätzen die interne

Perspektive als extrem wichtig ein, 42% noch als sehr wichtig (2 von 3 Teilfragen bejaht). Die „externe Perspektive auf den Unterricht“ bezieht die ja/nein-Antworten zur Motivation der Schüler/innen und den Aspekt des zeitgemäßen Unterrichtens mit ein. Wurden auch hier alle Einzelfragen bejaht, gilt die Einschätzung der externen Perspektive auf den Fachunterricht ebenfalls als „extrem wichtig“. Dieser Auffassung waren 50% der Befragten. Der Grund der Datenqualität geht direkt in das dritte Hauptmotiv ein und wird von 57% der Befragten als ein wichtiger Punkt angegeben.

Differenziert man die drei Hauptmotive für den Einsatz digitaler Messwerterfassung nach eingesetztem System, ergeben sich für die externe Perspektive auf den Fachunterricht signifikante Unterschiede. Wenn Smartphone / Tablets oder Videoanalyse eingesetzt werden, wird signifikant häufiger (mit 86,7% bzw. 67% gegenüber 50,3% in der gesamten Stichprobe) angegeben, dass dadurch eine höhere Motivation der Schülerinnen und Schüler sowie ein zeitgemäßer Unterricht angestrebt wird. Für den Einsatz der grafikfähigen Taschenrechner (TI) ergibt sich bei diesem Hauptmotiv ebenfalls eine Überrepräsentation, die jedoch nicht statistisch abgesichert werden kann. Auf der anderen Seite wird bei Verwendung des TI-Systems das Argument der Datenqualität signifikant weniger häufig verwendet – der Einsatz gründet sich also nicht vorrangig auf eine hohe Datenqualität, sondern eher auf unterrichtsbezogene und didaktische Motive.

(5) Verteilung der Messdaten für die weitere Bearbeitung

Wenn die Schülerinnen und Schüler die Messdaten verwenden möchten und keine eigenen Experimente durchgeführt haben, wird überwiegend noch mit Papierausdrucken gearbeitet und damit ein Medienbruch in Kauf genommen. Der schuleigene Server wird als zweithäufigste Möglichkeit der Datenweitergabe genannt, gefolgt von einem Datelexport und simplem „Abschreiben“ der Werte (vgl. Tab.2).

Tab. 2: Weitergabe der Messdaten

Medium	%
Papier	24
Schulserver	15
Abschreiben	14
Export	14
USB-Stick	11
E-Mail	10
Hersteller	7
Cloud	5

Mit einer explorativen Faktorenanalyse konnte eine Systematisierung der Mehrfachantworten zur Datenweitergabe vorgenommen werden. Die drei gebildeten Faktoren lassen sich als Datenweitergabe „im Herstellersystem“ (56,4%), per „Push“ (31,5%) und per „Pull“ (43,7%) interpretieren.

„Push“ wird verwendet, wenn die Daten den Schülerinnen und Schülern aktiv weitergegeben werden (per Mail, USB-Stick), „Pull“ hingegen, wenn die sie selbst aktiv die Daten von einem Cloud-Speicher, dem Schulserver oder über einen Export sich besorgen müssen. Da auch hier dichotome Mehrfachantworten als Datenbasis vorliegen, können die einzelnen Strategien der Datenweitergabe kombiniert werden. Die Weitergabe per Abschreiben oder in Papierform wird zwar auch mit angegeben, taucht in den übergeordneten Strategien jedoch in negierter Form auf: Bei einer Datenweitergabe per „Pull“ werden die digitalen Formate betont und „Abschreiben“ negiert; beim der Weitergabe der Messwerte Im Herstellersystem wird analog die Papierform negiert und ebenfalls die digitalen Formen gestärkt. Da die übergeordnete Strategie der Datenweitergabe im Bereich „Pull“ aus vier Einzelantworten gebildet wird, wird hier eine zusätzliche Differenzierung eingebaut, indem das Label „trifft besonders zu“ verwendet wird, sobald zwei oder mehr Einzelfragen zustimmend beantwortet wurden.

(6) Wie werden die Messdaten weiter ausgewertet?

Die Auswertung der Experimente erfolgt überwiegend im System des Herstellers selbst (35%), mit Hilfe einer Tabellenkalkulation (32%) oder einer speziellen Software (11%) oder mit Paper&Pencil (21%). Selbstentwickelte Programme (1%) spielen kaum eine Rolle.

Wenn die Mehrfachantworten nach dem dominanten Antwortverhalten – Auswertung im Herstellersystem – differenziert werden, zeigt sich die nachrangige Bedeutung der anderen Optionen (vgl. Tab. 3). Wenn die Daten im Herstellersystem ausgewertet werden, geben 51% der Teilnehmer/innen zusätzlich an, auch Tabellenkalkulationen zu verwenden, ansonsten ergeben sich 75% (jeweils Einzelitems der Mehrfachantworten im Tabellenvergleich).

Tab. 3: Möglichkeiten zur Auswertung der Messdaten

Auswertung der Messwerte	Nutzung der anderen Möglichkeiten (in %)			
	Tabellenkalkulation	Paper & Pencil	spezielle Software	eigene Programme
im Herstellersystem	51	33	18	1
NICHT im Herstellersystem	75	52	27	2

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht, mit welcher Software die Lehrkräfte in Abhängigkeit vom verwendeten System ihre Messdaten auswerten. Da Mehrfachnennungen möglich waren, ergeben sich in den Zeilen nicht notwendigerweise 100 Prozent.

Tab. 4: Software zur Auswertung der Daten in Abhängigkeit vom verwendeten System

Verwendetes System	Paper&Pencil	spezielle Software	Tabellenkalkulation	selbst-entwickelte Programme	Herstellersystem
TI (n = 54)	29,60	20,4	48,1	1,9	77,8
Vernier (n = 82)	40,20	8,5	56,1	4,9	73,2
Casio (n = 10)	40	20	50	10	90
Mekruphy (n = 11)	36,4	9,1	63,6	0	90,9
Phywe (n = 24)	41,7	12,5	70,8	0	70,8
Pasco (n = 32)	21,9	21,9	62,5	0	75
Leybold (n = 210)	45,2	21	65,2	1	69
Smartphone/Tablet (n = 98)	48	28,6	76,5	0	58,2
Video (n = 17)	41,2	35,3	58,8	0	52,9
Gesamt (n = 390)	39,5	21	59,5	1,3	64,9

(7) Gründe für klassisch-„analoge“ Messwerterfassung

Alle Teilnehmer/innen, die keine digitale Messwerterfassung einsetzen, wurden mit standardisierten Mehrfachantworten und der zusätzlichen Möglichkeit, offene Fragen zu beantworten, nach den Gründen gefragt.

Die verschiedenen Antworten (vgl. Tab. 5) wurden mit einer Faktorenanalyse zu den folgenden vier Kategorien zusammengefasst.

Tab. 5: Begründungen für „analoge Messdatenerfassung“

Begründungen	%
System nicht vorhanden	31
System aus finanziellen Gründen noch nicht angeschafft	23
System vorhanden, aber noch nicht damit gearbeitet	11
System nicht anwenderfreundlich	11
Didaktische Umsetzung erschwert den Einsatz	10
System ist veraltet	7
Technische Hindernisse anderer Art	4
Traue es mir nicht zu	3

- (1) Ein System zur Messwerterfassung ist nicht vorhanden oder wurde bisher aus finanziellen Gründen noch nicht angeschafft (50%)
- (2) Das vorhandene System ist veraltet oder nicht anwenderfreundlich (19%).
- (3) Die Lehrkraft hat bisher mit dem System noch nicht gearbeitet und traut sich das auch nicht zu (17%)
- (4) Die didaktische Umsetzung erschwert den Einsatz (14%).

Fast die Hälfte der angeführten Begründungen bezieht sich auf ein nicht vorhandenes System, die andere Hälfte arbeitet nicht mit digitaler Messwerterfassung, da das vorhandene System veraltet oder nicht anwenderfreundlich ist, persönliche Hindernisse bestehen oder die didaktische Umsetzung im Unterricht als zu schwierig angesehen wird. Die Begründung, das System sei nicht anwenderfreundlich, wird signifikant häufiger von Frauen gegeben – ebenso das Eingeständnis, sie würden sich den Einsatz nicht zutrauen (hier sogar hochsignifikant).

Eine regionale Differenzierung der Gründe, mechanische Schwingungen „analog“ auszuwerten, erinnert in einigen Aspekten an die Verteilung digitale/analoge Messungen nach Bundesland: Die Bundesländer, die signifikant häufiger digitale Messwerterfassung einsetzen – also Beispiel Baden-Württemberg – führen als Hauptgrund für traditionelles Messen mechanischer Schwingungen ein veraltetes, nicht anwenderfreundliches System an. Der Grund, ein entsprechendes System wäre nicht vorhanden, spielt eine nachgeordnete Rolle. Anders verhält es sich in Sachsen und Sachsen-Anhalt – hier ist der Grund, ein System wäre nicht vorhanden, zwar signifikant häufiger genannt worden, die Fallzahlen sind jedoch zu gering, um diese Aussagen als belastbar gelten zu lassen (trotz Signifikanz).

(8) Zukunft der Messwerterfassung: Technische und didaktische Aspekte

Die prospektiven Fragenkomplexe zu technischen und didaktischen Vorstellungen wurden allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern angeboten. Daher lassen sich beide Gruppen im Hinblick auf Zukunftsfragen zu technischen und didaktischen Aspekten vergleichen.

Überwiegend werden der Einsatz von Schülergeräten – Stichwort „Bring Your Own Device“ – und eine drahtlose Messwerterfassung als wichtig eingeschätzt. Knapp die Hälfte aller Befragten sprechen sich für die Bedeutung von Smartphones oder Tablets, die Schüler/innen selbst mitbringen, sowie für drahtlos arbeitende Mess-Systeme für die Zukunft aus. Webtools und lokale Formen der Vernetzung

der Mess-Systeme werden zu rund einem Drittel als (sehr) wichtig bezeichnet. Der Bereich der Eigenentwicklungen – sei es durch eigene Sensoren oder Einplatinencomputer wie dem Raspberry Pi – spielt nur eine untergeordnete Rolle mit 10%; etwas wichtiger wird der Einsatz von Mikrocontrollern eingeschätzt (vgl. Abb. 5).

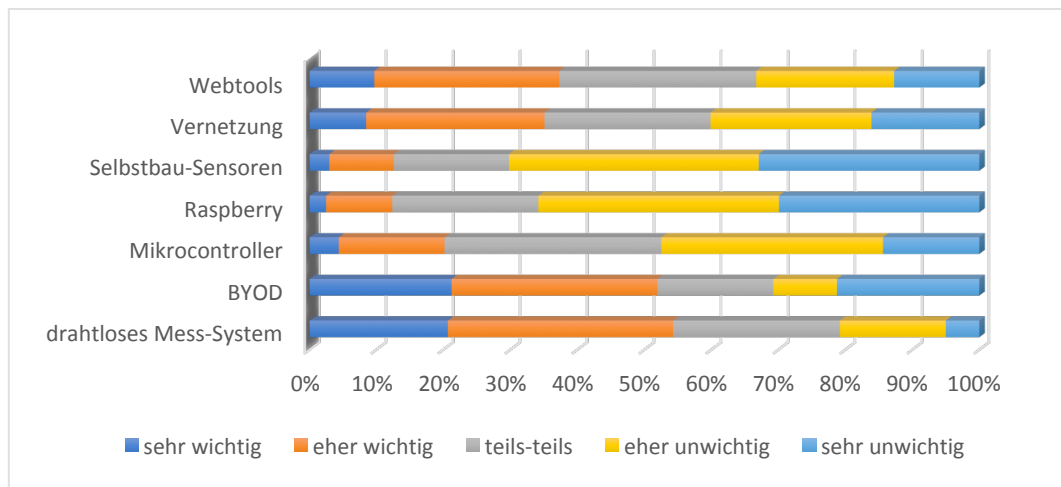


Abb. 5: Aspekte für zukünftige Bedeutung der Messdatenerfassung

Unterschiede zwischen den beiden Gruppen digital/analog bestehen im Hinblick auf die Einschätzung der Wichtigkeit des BYOD-Ansatzes. Wird digital gemessen, so wird diesem Ansatz eine signifikant höhere Bedeutung beigemessen (Mittelwert 2,28 zu 2,51). Geschlechtsspezifische Unterschiede lassen sich im Hinblick auf die Vernetzung der Messwertsysteme finden – Physiklehrerinnen messen diesem Aspekt signifikant höhere Bedeutung zu als ihre männlichen Kollegen (Mittelwert 2,67 zu 3,05).

Tab. 6: Einschätzung der didaktischen Aspekte

Didaktische Aspekte	digital	analog	gesamt
Einbindung in elektronische Schulbücher	2,80	3,01	2,88
Schulungen	2,36	2,39	2,37
Hochwertige Anleitungen	1,75	1,81	1,77
Arbeitsblätter für Schüler/innen	2,00	1,84	1,94
Motivation der Schüler/innen	1,43	1,36	1,40
Realitätsnaher Unterricht	1,61	1,61	1,61
Kompetenter Umgang mit Daten	1,56	1,69	1,61
Mehr Zeit für Interpretationen	1,71	1,85	1,76

In Tabelle 6 sind die Mittelwerte der Einschätzungen der Lehrpersonen zu didaktischen Aspekten im Physikunterricht differenziert nach dem Zugang zur Messdatenerfassung (digital / analog) dargestellt. Die Zahlenwerte werden auf Basis einer 5-stufigen Likert-Skala (1= sehr wichtig; 2 = eher wichtig; 3 = teils/teils 4 = eher unwichtig; 5 = sehr unwichtig) ermittelt. Die grün hervorgehobenen Zahlenwerte liegen signifikant über dem Mittelwert in der gesamten Stichprobe. Lehrkräften, die Messdaten nicht computerunterstützt erfassen, ist die Motivation der Schüler/innen etwas wichtiger als ihren Kolleginnen und Kollegen, die digital messen und sie zeigen auch eine stärkere Nachfrage nach Arbeitsblättern für Schüler/innen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass sich digitale Messwerterfassung immer mehr durchsetzt, wobei die verwendeten Systeme vielfältig sind und nahe legen, dass eine verpflichtende Verankerung im Curriculum und in den Standards der Lehrerbildung wünschenswert wären. Als wichtigste Gründe für den Einsatz digitaler Messwerterfassung werden die schnelle Nutzung, die zeitgemäße Form des Unterrichtens und die hohe Qualität der Messwerte genannt. Zukünftig sollte der Fokus noch mehr auf die interne Sicht von Unterricht gelenkt werden und Unterrichtsmaterialien weiterentwickelt werden, wobei Experimente, die in elektronische Lehrbücher eingebunden sind, weniger gewünscht werden.

Literatur

Abrahams, I., & Reiss, M. (2012). Practical Work: Its Effectiveness in Primary and Secondary Schools in England. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(8), 1035-1055.

Fotou, N., & Abrahams, I. (2015). Doing with ideas: the role of talk in effective practical work in science. *School Science Review*, 97(359).

Hofstein, A., & Lunetta, V. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of educational research*, 52(2), 201-217.

Koehler, M. & Mishra, P. (2005). What happens when teachers design educational technology? *Journal for Educational Computing Research*, Vol. 32(2). 131-152.

Millar, R., & Abrahams, I. (2009). Practical work: making it more effective. *School Science Review*, 91(334), 59-64.

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

Thornton, R.K., (1987). Tools for scientific thinking – microcomputer-based laboratories for physics teaching, *Phys. Educ.* 22, 230-238.

Thornton, R. and Sokoloff, D., (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools, *American Journal of Physics*, 58, 858-867.

Auswertung



T³ DEUTSCHLAND

Messen im Physikunterricht Einsatz · Erwartungen · Zukunft



www.physik-umfrage.de



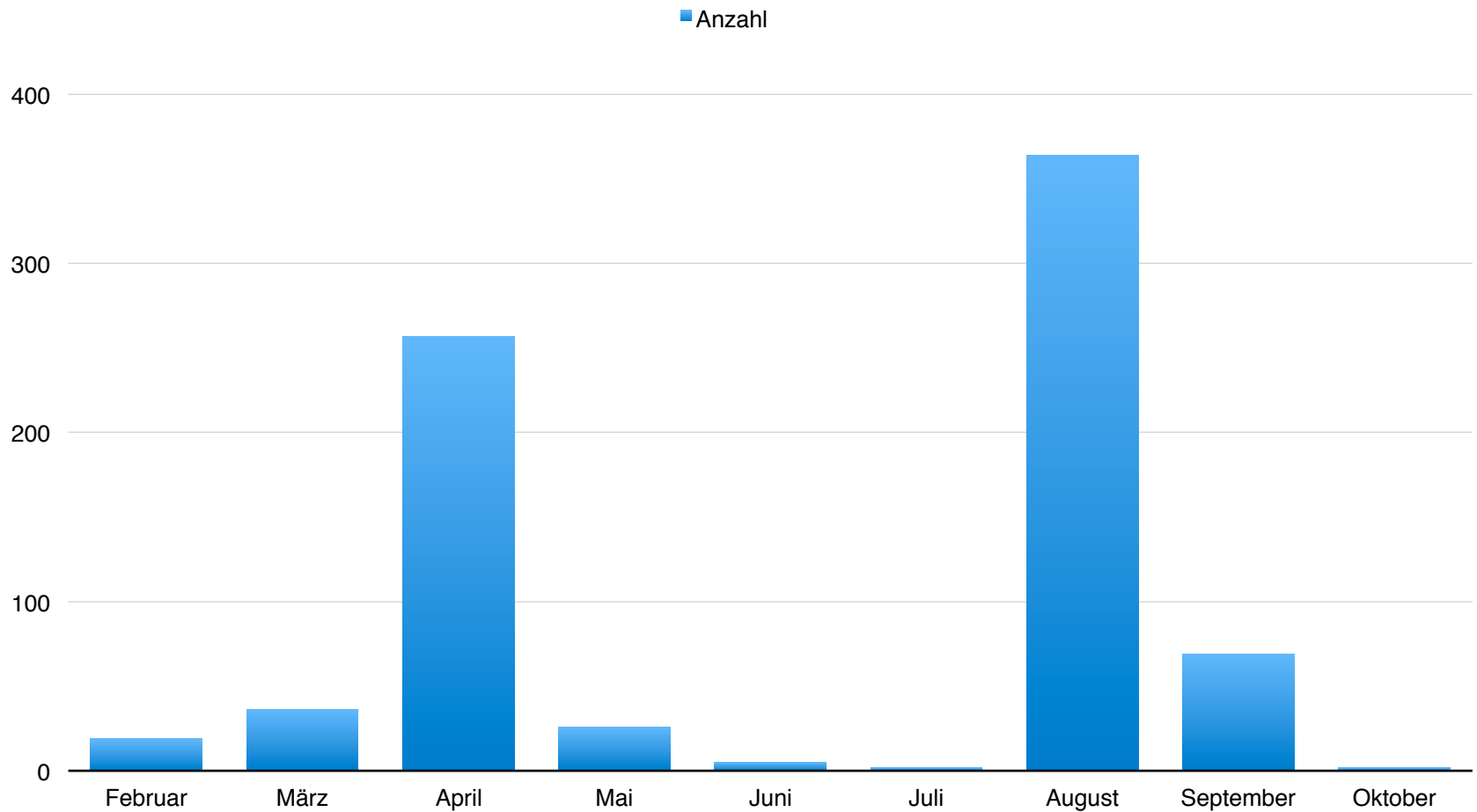
Allgemeine Informationen

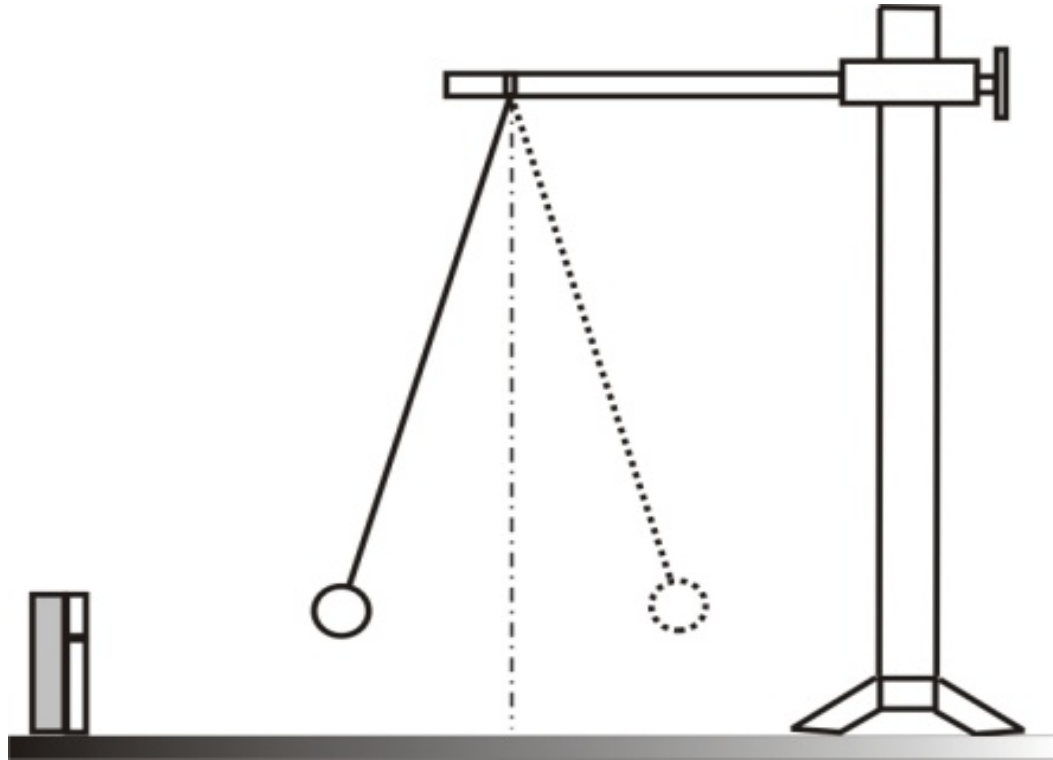
- Umfragezeitraum: 18.03.2016 – 04.11.2016
- 780 Teilnehmer aus 15 Bundesländern

Die Umfrage wurde freundlicherweise unterstützt von:

- MNU – Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts
- Cornelsen Verlag GmbH
- TI-Deutschland
- Technik-LPE GmbH

Allgemeine Informationen





Experiment B: Fadenpendel

Für Schwingungsexperimente ist ein Ultraschallabstandssensor sehr gut geeignet, denn es lässt sich so der zeitliche Verlauf der periodischen Bewegung des Pendels gleichlaufend zur Beobachtung digital registrieren. Nach der Messung stehen zeitabhängige Daten zu Abstand, Geschwindigkeit und Beschleunigung zur Verfügung. Das generierte Ort-Zeit-Diagramm kann dann als Schwingungsgleichung interpretiert und diskutiert werden. Es können alle denkbaren Einflussparameter (Pendellänge, Pendelmasse, Dämpfung, Amplitude) auf die Schwingungsdauer und die Bewegungsform untersucht werden. Sonst nur pauschal zu beschreibende Dämpfungsvorgänge lassen sich mathematisch modellieren. Damit kann ein wichtiges anschauliches Verständnis als Grundlage für die Behandlung der Schwingungen erreicht werden.

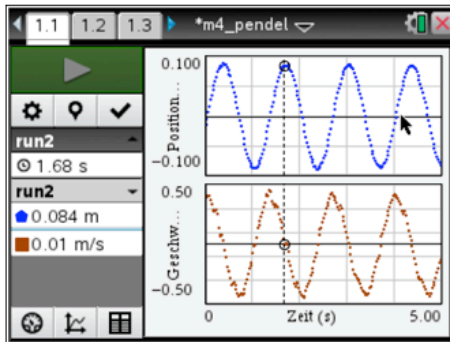


Abb. 1: $s(t)$ - und $v(t)$ -Diagramm

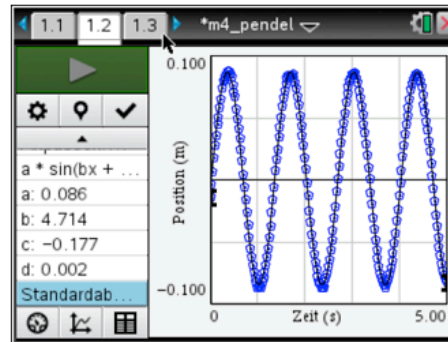


Abb. 2: Regression

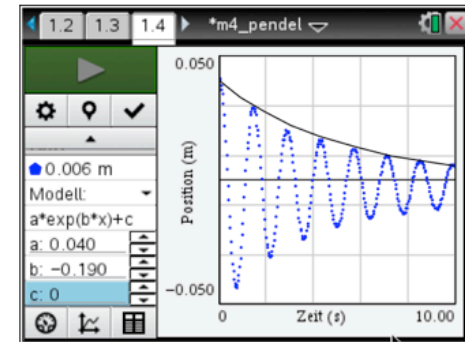


Abb. 3: Gedämpfte Schwingung

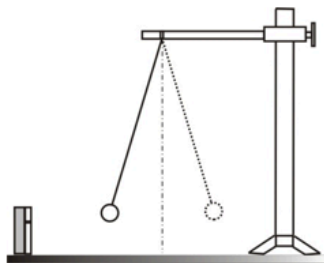


Abb. 4: Versuchsaufbau

Durchführung

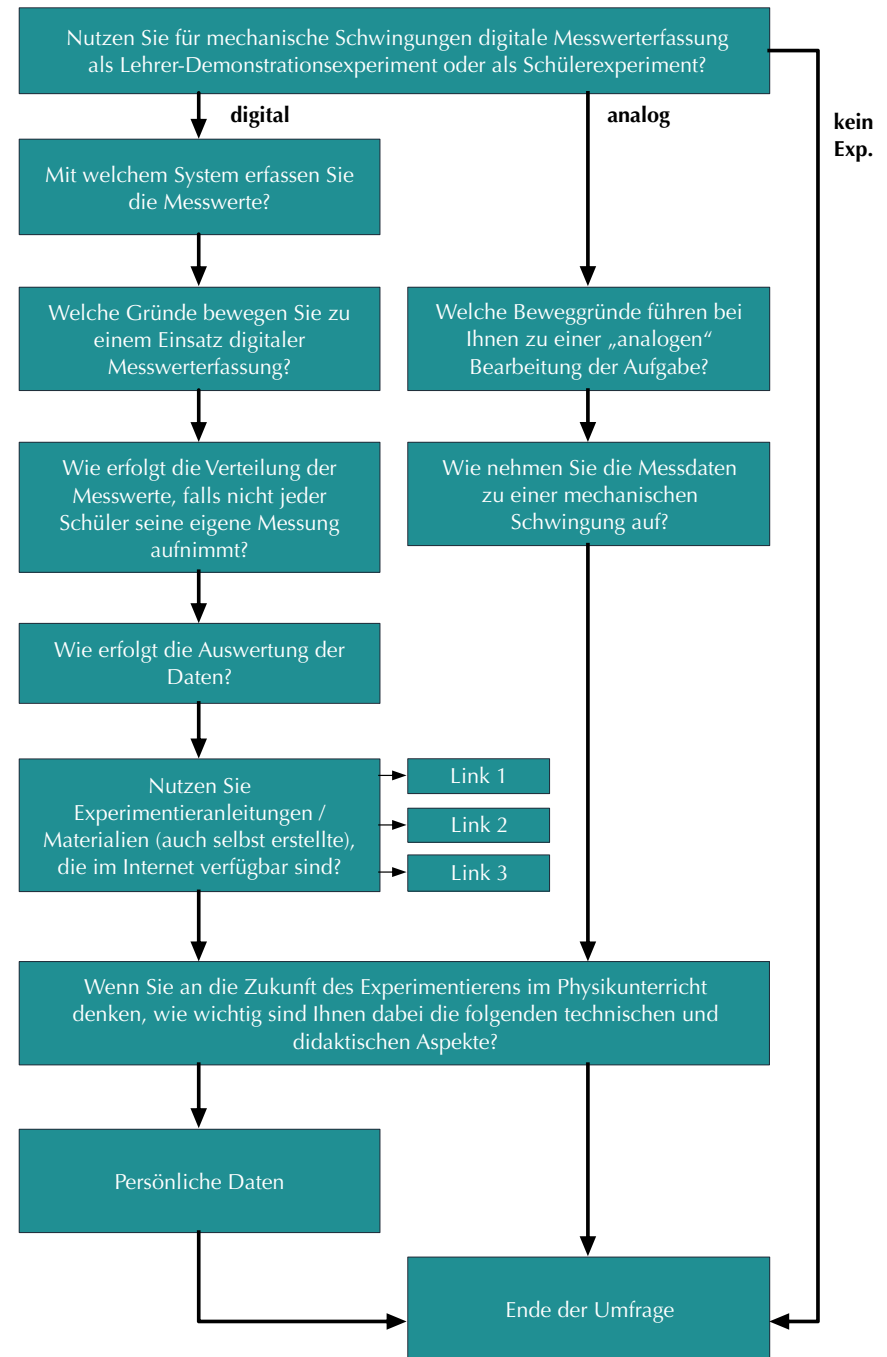
Der Ultraschallabstandssensor wird auf den Pendelkörper ausgerichtet. Dann wird der Pendelkörper um einige Grade ausgelenkt und losgelassen und die Messung gestartet. Die Untersuchung kann mit verschiedenen Längen und Massen durchgeführt werden. Durch Variieren des Pendelkörpers lassen sich verschiedene Dämpfungsszenarien nachbilden.

Auswertung

Die im $s(t)$ - und $v(t)$ -Diagramm (vgl. Abb. 1) dargestellten Daten zeigen einen sinusförmigen Verlauf und lassen sich durch entsprechende Regressionsfunktionen modellieren. Darüber hinaus lassen sich weitere Untersuchungen anstellen, wie z. B.:

- punktwises Abtasten der Graphen / Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Ort des Pendelkörpers
- Ermitteln der Schwingungsdauer
- Phasendiagramm
- Dämpfung

Umfragebaum



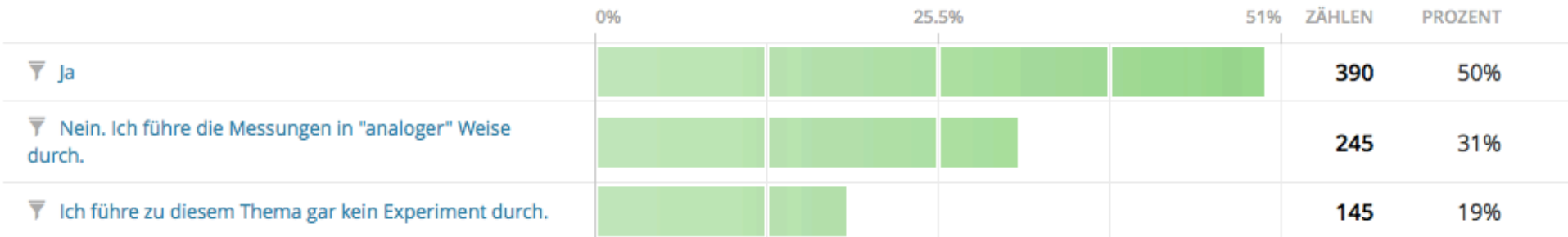
Auswahl von Ergebnissen

Frage
01

Nutzen Sie für mechanische Schwingungen digitale Messwerterfassung als Lehrer-Demonstrationsexperiment oder als Schülerexperiment? (*Obligatorisch*)

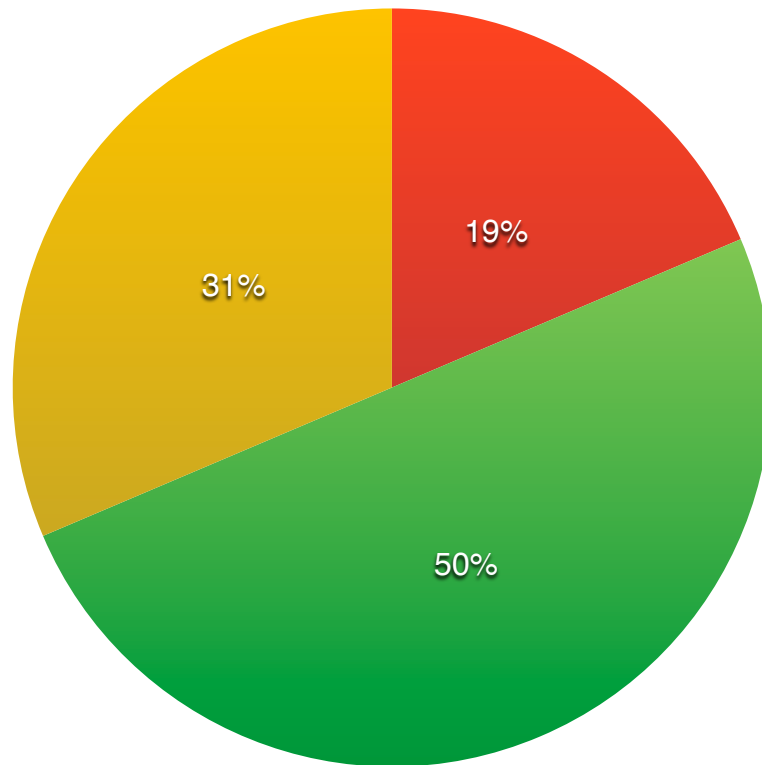
Antworten
780
100%

Skips
0
0%



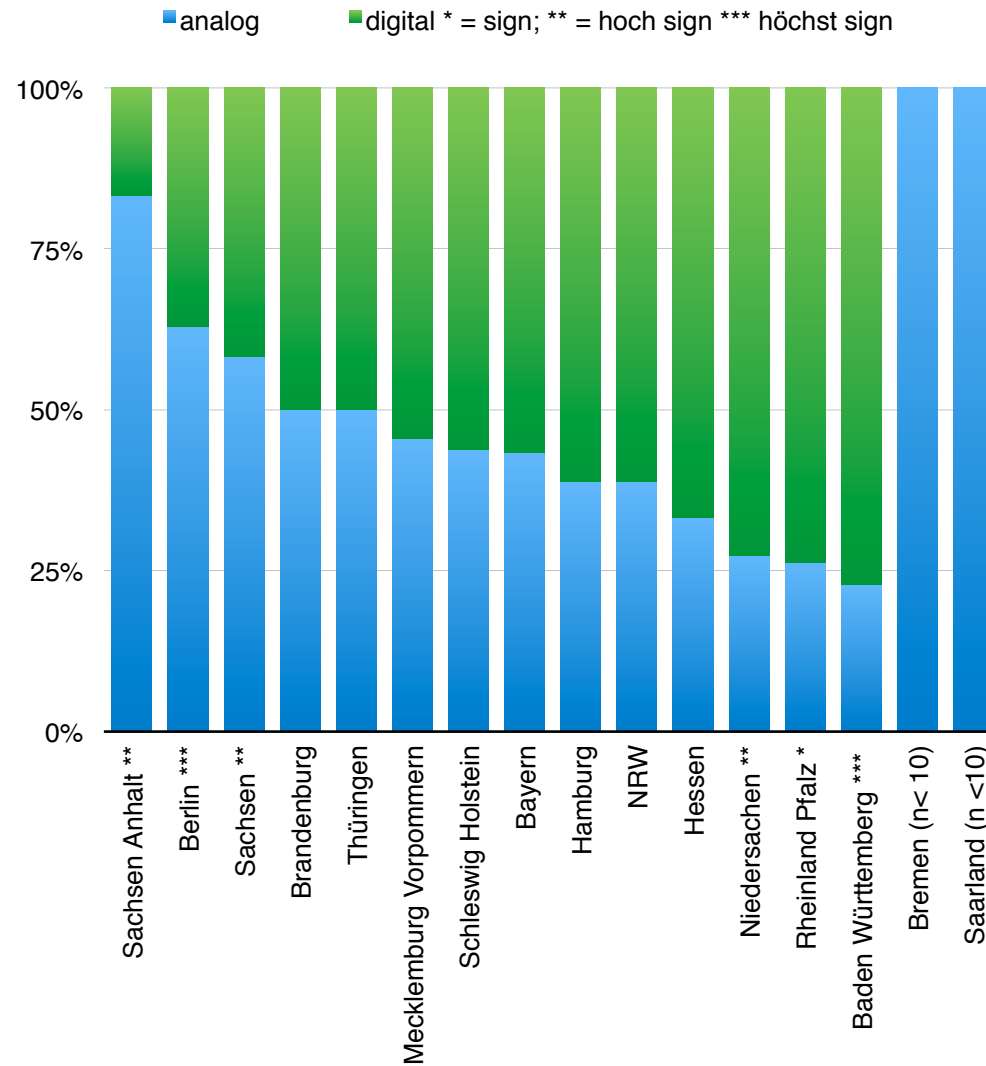
Auswahl von Ergebnissen

■ gar kein Experiment ■ digitale Messwerterfassung ■ „analoge“ Messungen



Mechanische Schwingungen und Geschlecht (%), N = 403		
	männlich	weiblich
digitale Messwerterfassung	66,1	45,8
„analoge“ Messungen	33,9	54,2

Auswahl von Ergebnissen



Auswahl von Ergebnissen

Frage
02

Mit welchem System erfassen Sie die Messwerte? (*Obligatorisch*)

Antworten

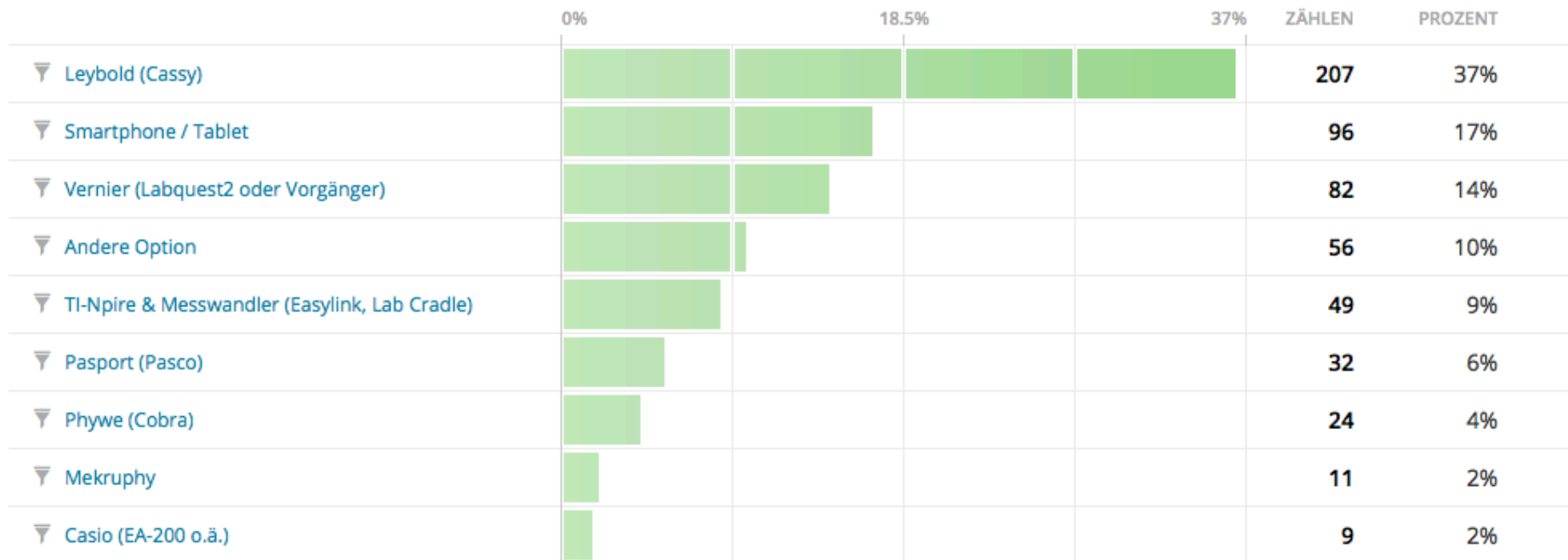
390

50%

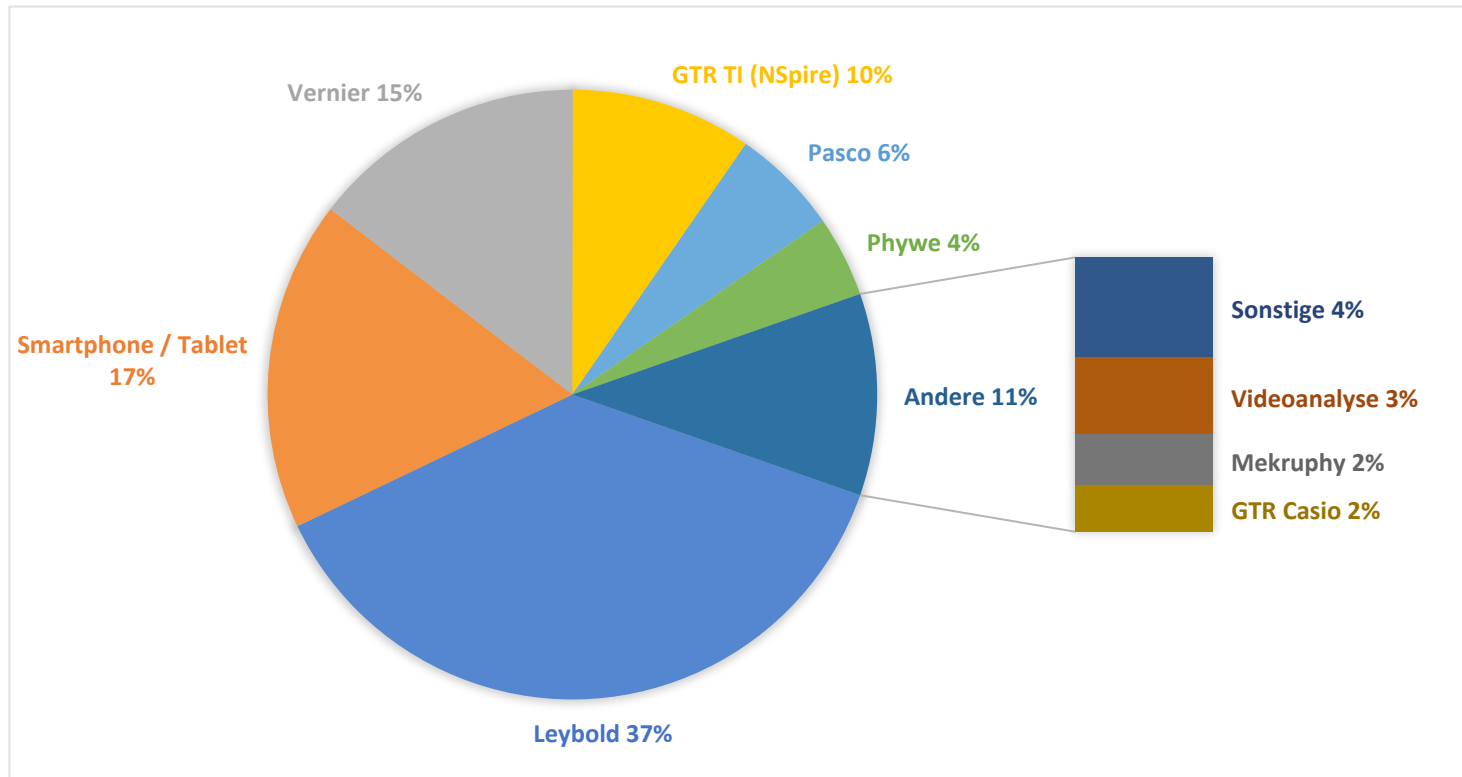
Skips

390

50%



Auswahl von Ergebnissen



Auswahl von Ergebnissen

Frage
03

Welche Gründe bewegen Sie zu einem Einsatz digitaler Messwerterfassung?
(Obligatorisch)

Antworten
390
50%

Skips
390
50%

	0%	12%	24%	ZÄHLEN	PROZENT
▼ schnelle und einfache Nutzung möglich				291	23%
▼ zeitgemäße Art des Unterrichtens				255	20%
▼ hohe Qualität der Messwerte				220	18%
▼ SchülerInnen sind motivierter				189	15%
▼ anschaulicher, realitätsnaher Unterricht				177	14%
▼ fächerübergreifender Unterricht (z.B. Mathematik, Informatik und Physik)				99	8%
▼ Andere Option				25	2%

Auswahl von Ergebnissen

	einfache Nutzung	hohe Motivation SuS	Anschaulich	Datenqualität	zeitgemäße Form	fächerübergreifend
TI (n=54)	81,50%	64,80%	53,70%	38,90%	70,40%	44,40%
Vernier (n=82)	81,70%	46,30%	42,70%	62,20%	62,20%	34,10%
Casio (n=10)	100%	50%	80%	80%	70%	40%
Mekruphy (n=11)	81,80%	54,50%	36,40%	63,60%	72,70%	0%
Phywe (n=24)	75%	37,50%	54,20%	62,50%	75%	29,20%
Pasco (n=32)	87,50%	65,60%	50%	65,60%	75%	21,90%
Leybold (n=210)	72,90%	41%	42,90%	64,30%	62,90%	24,30%
Smartph./Tablet (n=98)	78,60%	69,40%	51%	51%	80,60%	21,40%
Video (n=17)	58,80%	82,40%	52,90%	52,90%	82,40%	17,60%
Gesamt (n=390)	74,60%	49%	46,20%	57,40%	66,70%	25,40%

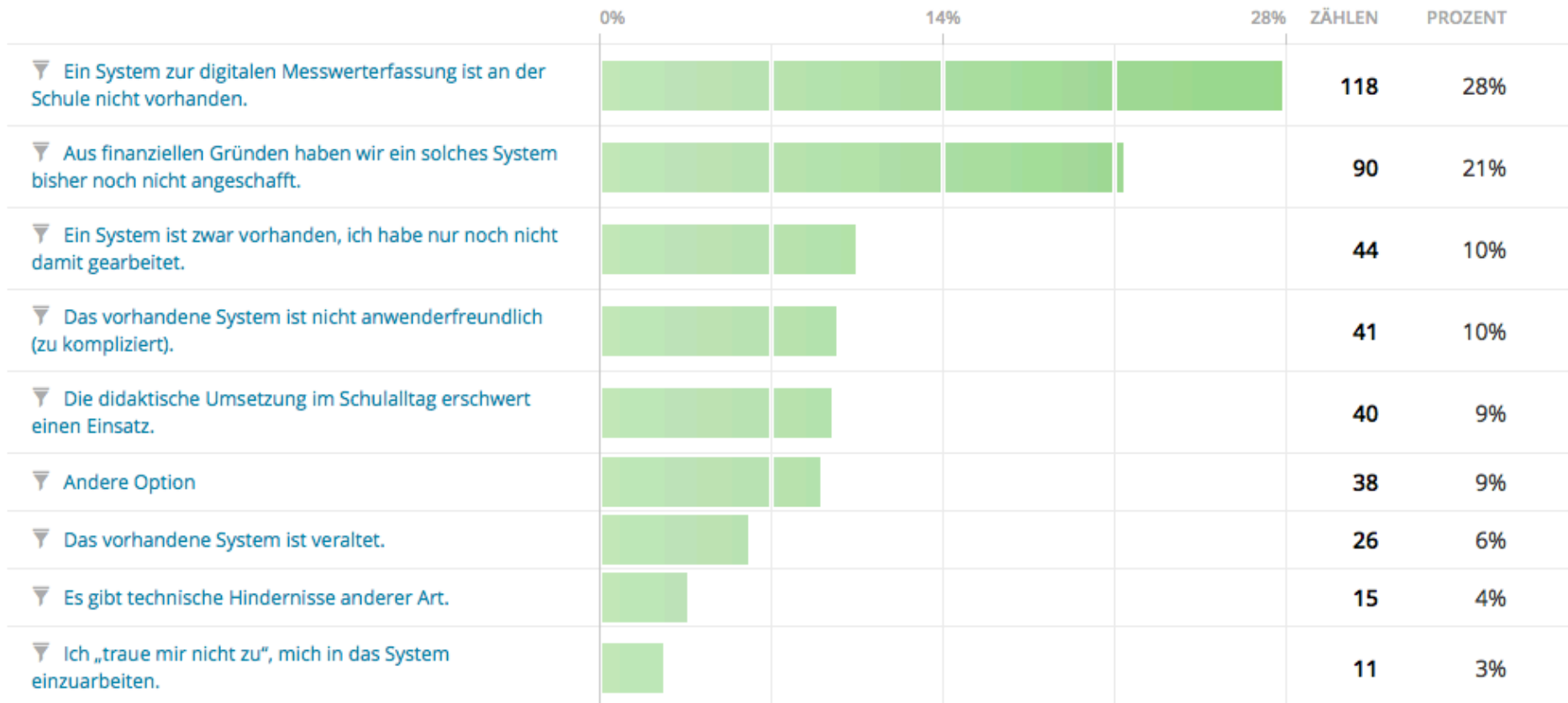
Auswahl von Ergebnissen

Frage
10

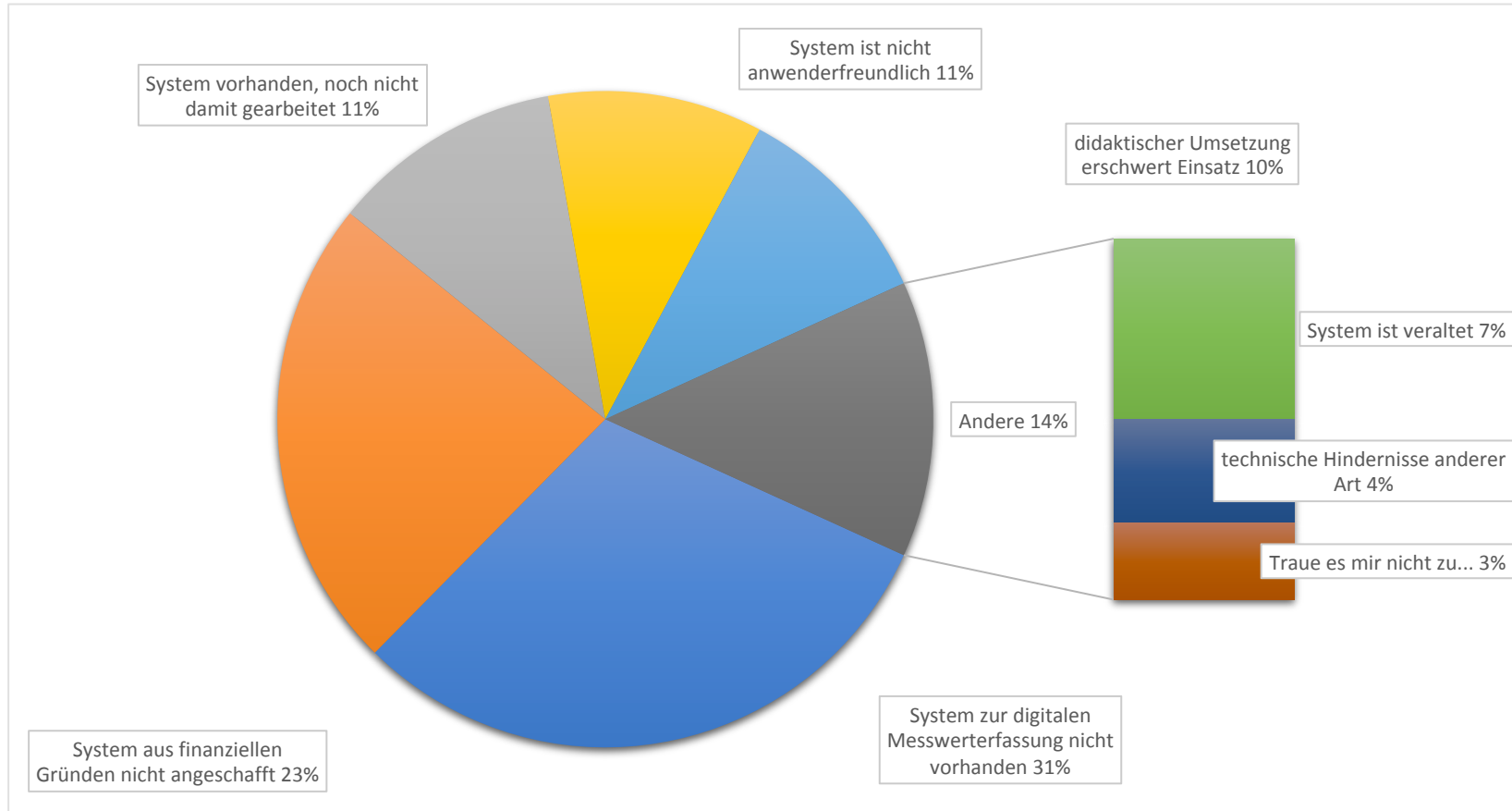
Welche Beweggründe führen bei Ihnen zu einer „analogen“ Bearbeitung der Aufgabe? (Obligatorisch)

Antworten
251
32%

Skips
529
68%



Auswahl von Ergebnissen



Belastbar ist vor allem die Aussage zu BaWü: Hier wird vor allem deswegen nicht digital gemessen, weil das System als veraltet oder nicht anwenderfreundlich eingeschätzt wird.

Im Hinblick auf die einzelnen Frageitems gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede: Die Begründung, das System sei nicht anwenderfreundlich, wird signifikant häufiger von Frauen gegeben – ebenso das Eingeständnis, sie würden sich den Einsatz nicht zutrauen (hier sogar hochsignifikant).

Auswahl von Ergebnissen

Frage
12

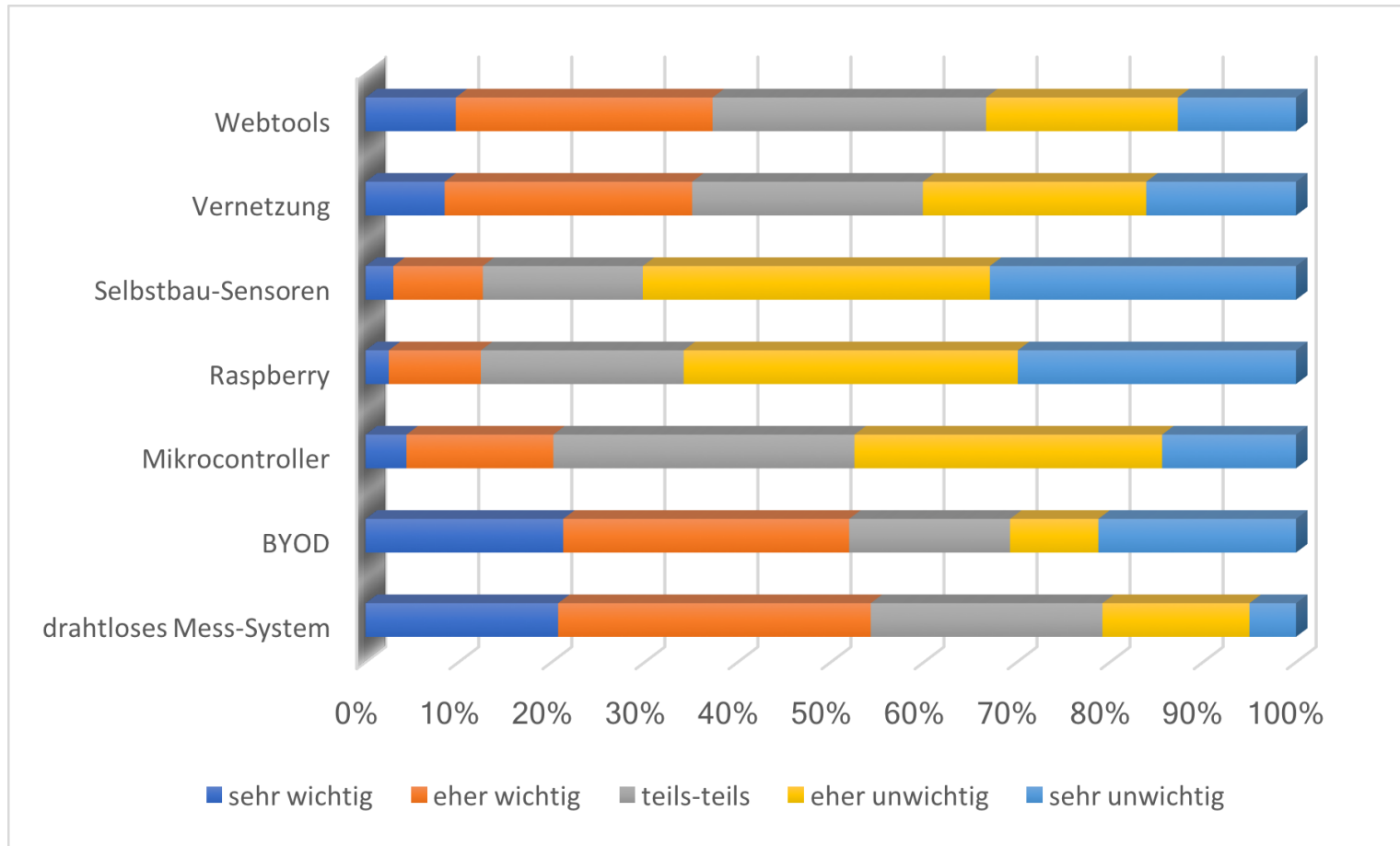
... wie wichtig sind Ihnen dabei die folgenden technischen Aspekte?

Antworten
628
81%

Skips
152
19%

	SEHR WICHTIG	EHER WICHTIG	TEILS - TEILS	EHER UNWICHTIG	SEHR UNWICHTIG
drahtlose Anbindung von Sensoren	128	208	154	98	31
Nutzung von Smartphones/Tablets	157	227	128	70	39
Nutzung von Mikrocontrollern	26	93	191	195	85
Nutzung eines Raspberry Pi	14	56	124	204	170
Eigenentwicklung von Sensoren	18	57	102	221	195
Vernetzung von Mess-Stationen	51	160	149	144	97
Nutzung von WEB-Tools	58	165	176	123	76

Auswahl von Ergebnissen



Unterschiede bestehen im Hinblick auf die Einschätzung der Wichtigkeit des BYOD-Ansatzes zwischen den Gruppen, die digitale Messtechnik einsetzen und denen, die „klassisch, analog“ arbeiten:

Wird digital gemessen, so wird diesem Ansatz eine signifikant höhere Bedeutung beigemessen.

Auswahl von Ergebnissen

Frage
13

... wie wichtig sind Ihnen dabei die didaktischen Aspekte?

Antworten
628
81%

Skips
152
19%

	SEHR WICHTIG	EHER WICHTIG	TEILS - TEILS	EHER UNWICHTIG	SEHR UNWICHTIG
Einbindung in elektronische Schulbücher	88	153	167	139	58
hochwertige Anleitungen leicht verfügbar	274	257	57	23	10
Schulungen	142	228	148	66	30
Arbeitsblätter für SchülerInnen	236	248	91	34	13
zeitgemäßer Unterricht	295	235	67	13	7
Motivation der SchülerInnen	409	182	29	2	1
realitätsnaher Unterricht	335	210	68	9	2
kompetenter Umgang mit Daten	312	253	50	2	5
mehr Zeit für Inhalte (Interpretation der Daten)	269	255	84	11	5

Auswahl von Ergebnissen

	Einbindung in elektronische Schulbücher	hochwertige Anleitungen	Schulungen	Arbeitsblätter für SuS	zeitgemäßer Unterricht	Motivation der SuS	realitätsnaher Unterricht	kompetenter Umgang mit Daten	mehr Zeit für Inhalte (Dateninterpretation)
digitale Messwernerfassung	2,7979	1,7474	2,3615	2	1,7063	1,4297	1,6099	1,5576	1,7076
"analoge" Versuchsdurchführung	3,0087	1,8143	2,3872	1,8423	1,7071	1,3556	1,6116	1,6917	1,8506
Gesamt (n=605-624)	2,8777	1,7729	2,3713	1,9389	1,7066	1,4013	1,6106	1,6093	1,7628

Mittelwerte der fünfstufigen Likert-Skala

1= sehr wichtig; 2 = eher wichtig; 3 = teils/teils 4 = eher unwichtig; 5 = sehr unwichtig

dargestellt sind sign. Mittelwertunterschiede (einfakt- Anova)

grün = unter dem Gesamt-Mittelwert / rot = über dem Gesamt-Mittelwert

3.5.2 Fallexperimente mit Ultraschall

Dr. Franz Boczianowski, Humboldt-Universität zu Berlin

Fallexperimente mit Ultraschall

Franz Boczianowski, Humboldt-Universität zu Berlin,
veröffentlicht unter <https://blogs.hu-berlin.de/didaktikdigital>, 26.03.2018
Projekt Experimentieren:digital gefördert durch die Joachim Herz Stiftung

Einleitung

Per Ultraschall lässt sich die Position eines Objektes über eine Laufzeitmessung bestimmen. Kommerzielle Systeme liefern erstaunlich gute Ergebnisse für den freien Fall und auch das Springen eines Gummiballs (Messung mit LabQuest Mini ca. 250€ mit Ultraschall-Bewegungssensor 130€). In diesem Artikel wird der Versuch beschrieben, eine ähnliche Messung mit einem Arduino Uno mit Ultraschallmodul (insg. ca. 35€) aufzunehmen, siehe Abb. 1

Aufbau

Arduino und Ultraschallmodul sind auf einer Trägerplatte befestigt. Die Messdaten werden live per USB an einen Laptop übertragen. Mit einem Taster an der Trägerplatte (nicht in der Abb. gezeigt) lässt sich die Messung auslösen. Die Plattform wird mit Stativmaterial oder einem Fotostativ in einer Höhe von ca. 150m positioniert. Messwerte über 1,20m werden durch die Software unterdrückt, da in diesem Abstand Objekte mit einem Querschnitt von unter 30cm erfahrungsgemäß nicht mehr zuverlässig erkannt werden. Dies resultiert vermutlich aus dem großen Öffnungswinkels des Ultraschallsenders von ca. 55° (Herstellerangabe). Dementsprechend muss auch ein großer Bereich von Tischen und Stühlen freigehalten werden, um unerwünschte Reflexionen zu vermeiden.

Das Programm des Arduinos ist kurzgehalten, um eine möglichst hohe Abtastrate zu erhalten (schwankend zwischen 15 und 25ms). Es ist auf folgender Webseite verfügbar <https://blogs.hu-berlin.de/didaktikdigital/>

2018/03/23/fallexperimente-mit-ultraschall. Das Ultraschallmodul ist neben der Spannungsversorgung mit zwei digitale Pins des Arduinos zum Senden und Detektieren eines Ultraschallpulses verbunden. Der Start-Taster zieht die Spannung in einem Spannungsteiler (10kOhm gegen 5V) gegen Null.

Die Messwerte lassen sich über den "Seriellen Monitor" der Arduino IDE bzw. den "Seriellen Plotter" verfolgen. Im "Seriellen Monitor" lassen sich die Messwerte per copy & paste speichern und z.B. mit einer Tabellen-Software plotten.

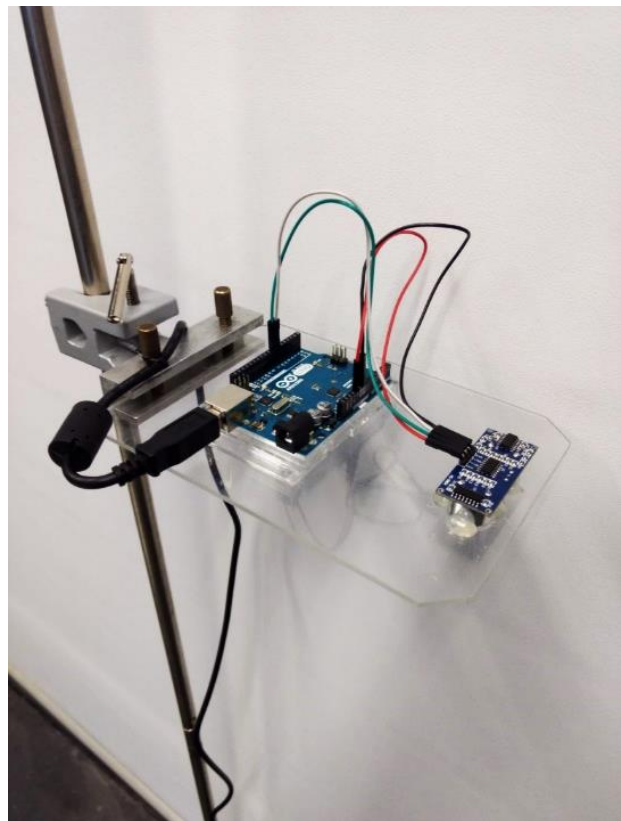


Abbildung 1: Arduino mit Ultraschallmodul

Durchführung

Die Detektion eines springenden Gummiballs ist mit dem gezeigten Aufbau nicht möglich. Selbst ein Fußball lässt sich in einem Abstand über 120cm nicht verlässlich erfassen. Mit Einweg-Suppschalen lassen sich brauchbare Ergebnisse erzielen. Durch Stapeln der Schalen lässt sich zudem die Masse des fallenden Körpers variieren, die in diesem Experiment mit Luftreibung entgegen dem idealisierten Fall eine bedeutsame Rolle spielt (vgl. T. Wilhelm, 2000, Praxis der Naturwissenschaften. Physik 49/6).

Für jede Messung wird das Arduino-Board durch den Reset-Taster zurückzusetzen. Der "Serielle Monitor" wird neu gestartet. Die LED 13 am Arduino signalisiert Bereitschaft durch Blinken. Der Fallkörper wird unter das Ultraschallmodul gehalten und kurz nach dem Drücken des Tasters fallen gelassen. Während des Falls werden die Messwerte an den PC übertragen. Die Übertragung endet, wenn der Körper eine Strecke von über 120cm erreicht hat. Die Messwerte werden per Hand in eine Textdatei übertragen und anschließend in der Tabellen-Software Excel bearbeitet. Durch die Tiefe der Schalen von 4,9cm ergibt sich bzgl. des Abstands ein Offset, der allen Messwerten abgezogen wird. (Wegen der geringen Präzision des Ultraschallmoduls in diesem geringen Abstand entstehen dabei auch negative Abstandswerte.) Die Uhr des Arduinos beginnt mit dem Start der Messung nicht bei $t=0$, sondern bei einem beliebigen Wert. (Auch ein Überlauf ist möglich.) Insbesondere liegt zwischen dem Start der Aufnahme und dem Fallen des Körpers eine unbekannte Zeit von ca. 1s. Alle Graphen wurden bzgl. der Zeit angepasst.

Ergebnisse

Die durchgeführten Messungen sind in den Abb. 2 und Abb. 3 gezeigt.

Die Ergebnisse für eine einzelne fallende Kunststoffschale ist in Abb. 2 gezeigt. Die Messung wurde fünfmal wiederholt. Alle Diagramme zeigen augenscheinlich den gleichen Verlauf.

Abb. 3 zeigt die Ergebnisse für die Variation der Masse des fallenden Körpers. Alle Graphen wurden bzgl. der Zeit so angepasst, dass sie bei einer gefallenen Strecke von ca. 6cm zur Deckung kommen. Deutliche Unterschiede sind nur zwischen der Messung mit einer Schale gegenüber mehreren Schalen erkennbar.

Fazit

Die Möglichkeiten des Ultraschallmoduls des Arduinos sind begrenzt. Nur großflächige Objekte lassen sich detektieren, was den Einfluss der Luftreibung erhöht. Die max. Reichweite ist gering, was wiederum eine genaue Analyse des reibungsbehafteten Falls erschwert. Messungen mit dem o.g. System von Vernier zeigen für eine Distanz zwischen 1m und 2m Abweichungen von der quadratischen Form hin zu einem linearen Verhältnis der Strecke zur Zeit, die hier nicht sichtbar werden können.

Die Auswertung der Messung ist umständlich, denn sie erfordert eine vielschrittige Datenaufbereitung in der Tabellenkalkulation. Die Erzeugung eines Live-Plots mit nachträglichem Speichern der Messwerte ist aktuell nicht möglich.

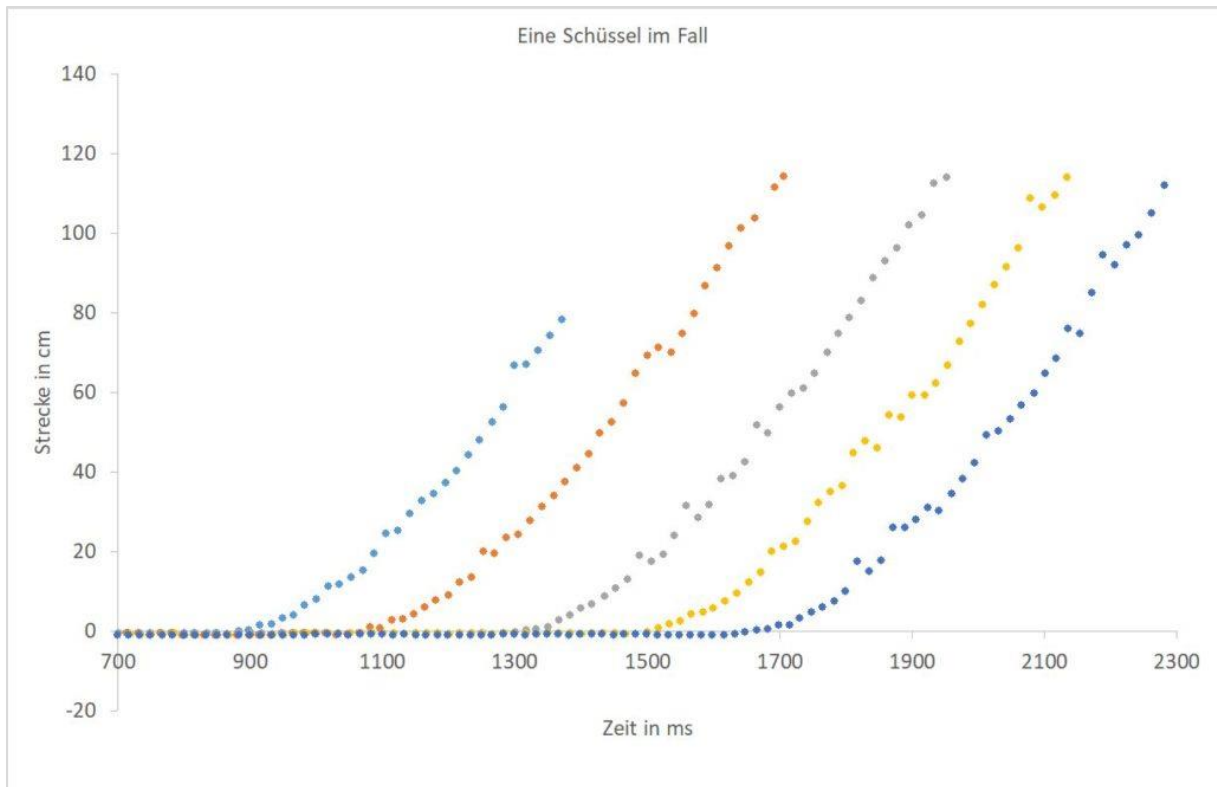


Abbildung 2: Wiederholungsmessung für eine einzelne fallende Kunststoffschale. Aufgetragen ist die gefallene Strecke über der Zeit. Die Messungen wurden zur besseren Sichtbarkeit zeitlich verschoben.

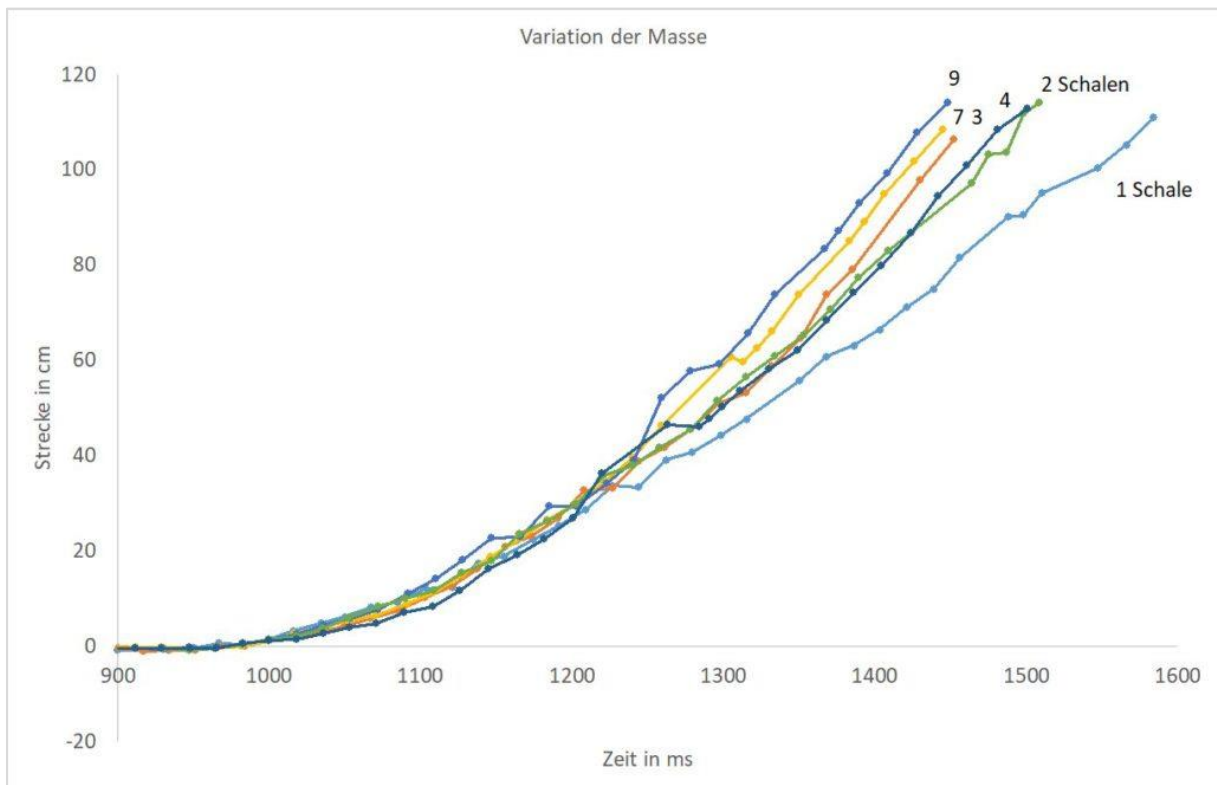


Abbildung 3: Mehrere in einander gesteckte Schalen werden fallen gelassen. Aufgetragen ist die gefallene Strecke über der Zeit. Zur besseren Sichtbarkeit wurden die Messwerte verbunden und Ausreißer entfernt.

3.5.3 iMobilePhysics – Smartphones und Tablets als mobile Experimentiermedien in der Physik, Physics Holo.lab – Kognitive Aktivierung beim Experimentieren durch Augmented-Reality-basierte Unterstützung mit intelligenten Datenbrillen

AG Kuhn, Didaktik der Physik, TU Kaiserslautern

iMobilePhysics – Smartphones und Tablets als mobile Experimentiermedien in der Physik

Physics Holo.lab – Kognitive Aktivierung beim Experimentieren durch Augmented-Reality-basierte Unterstützung mit intelligenten Datenbrillen

iMobilePhysics – Smartphones und Tablets als mobile Experimentiermedien in der Physik

Autoren: Sebastian Becker, Pascal Klein, Michael Thees und Jochen Kuhn

Institut: Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Physik/ AG Didaktik der Physik

Einführung / Motivation

Im Laufe dieses Jahrzehnts wurde durch die Entwicklung moderner mobiler digitaler Medien, wie Smartphones und Tablet-Computer (kurz: Tablets), neue experimentelle Möglichkeiten in der MINT-Bildung erschlossen. Diese Geräte umfassen zahlreiche Sensoren mit unterschiedlichen physikalischen Größen und wurden in den letzten Jahren erfolgreich als portable Mini-Labore für den Einsatz in Schulen und an Universitätskursen etabliert [8-12]. Heute ermöglichen integrierte Sensoren die Durchführung von Experimenten in fast allen Bereichen der Physik, z. B. Mechanik, Optik, Akustik oder sogar Kernphysik [41-43]. In jüngster Zeit ist die videobasierte Bewegungsanalyse (kurz: Videoanalyse) aufgrund besonderer Anwendungen auch auf Tablets verfügbar geworden [9-10]. Somit können kurze Videosequenzen aufgezeichnet und anschließend analysiert werden, und die meisten der Funktionen, die kommerzielle Videoanalyse-Software anbietet, können auf dem Tablet verwendet werden.

Einsatzmöglichkeiten

Neben den klassischen Dokumentationsmöglichkeiten (Aufnahmen von Fotos, Videos und Audiokomentaren, Anfertigen von Notizen) sowie den Recherchefunktionen (via installierter Applikationen oder via Internet) ermöglichen die mobilen Endgeräten einen direkten Einsatz beim Experimentieren. Die intern verbauten Sensoren (siehe oben) können unter Verwendungen einer entsprechenden App ausgelesen werden. Die gewonnenen Daten können direkt auf dem Gerät weiterverarbeitet (bspw. durch Videoanalyse) und aufgrund der Konnektivität der Geräte versendet und gespeichert werden. Abbildung 1 zeigt einen Überblick über mögliche Einsatzszenarien der mobilen Endgeräte. Inhaltlich können hierbei eine Vielfalt an Themen angesprochen werden. Vor allem die Gebiete Mechanik und Akustik können durch Beschleunigungssensoren, Kamera und Mikrophon umfangreich bedient werden.

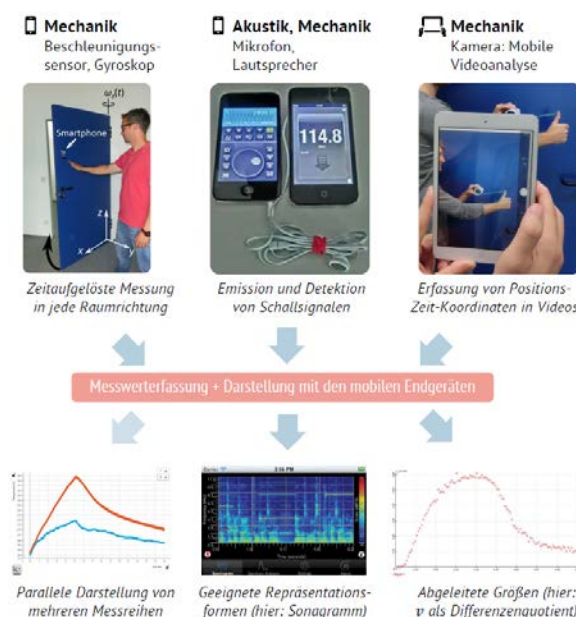


Abbildung 1: Beispiele zum Einsatz von mobilen Endgeräten beim Experimentieren in der Physik [44-45; 9].

Theoretischer Hintergrund

Mobile Endgeräte wie Smartphones und Tablet-PCs sind den Lernenden heutzutage weitestgehend vertraut und können intuitiv bedient werden. Die Geräte sind somit aus dem Alltag bekannt und ermöglichen durch ihre hohe Mobilität die Durchführung von Experimenten mit Alltagsbezug, was einer Kontextorientierung im Sinne des „Context-based Science Learning“ entspricht und situiertes Lernen fördert [8]. Die hohe Verfügbarkeit von Smartphones und Tablets ist darüber hinaus ein großer Vorteil, der neue Möglichkeiten für beispielsweise informelle Lerneinstellungen, allgegenwärtiges Lernen und das Aufzeichnen von Videos aus alltäglichen Experimenten eröffnet [1].

Basierend auf dem theoretischen und konzeptionellen Rahmen des multimedialen Lernens [2], einschließlich der Theorie der kognitiven Belastung, erwarten wir eine reduzierte Belastung beim Experimentieren dadurch, dass die mobilen Endgeräte multiple Darstellungsformen (sog multiple Repräsentationen) des Lerngegenstandes erzeugen. Repräsentationen sind externe Darstellungsformen wie Bilder, Diagramme, Formeln und Vektoren, mit denen ein physikalischer Prozess oder Sachverhalt beschrieben werden kann [11]. Der kompetente Umgang mit verschiedenen Repräsentationsformen, also die Fähigkeiten externe Darstellungsformen zu interpretieren, selbstständig zu erzeugen und zwischen verschiedenen Darstellungen flexibel und zielgerichtet zu wechseln [13], wird unter dem Begriff der (konzeptionellen) „Repräsentationskompetenz“ zusammengefasst ([14-17]). Die wichtige Rolle von Repräsentationskompetenz für naturwissenschaftliches Denken und Lernen ist gut belegt für die Naturwissenschaften im Allgemeinen [18], für verschiedene Einzeldisziplinen (Biologie: [19]; Chemie: [20]; Physik: [21, 22]), sowie die Mathematik ([23, 24]). Insbesondere ist Repräsentationskompetenz als notwendige Voraussetzung für den Gebrauch von multiplen Repräsentationen im Sinne domänenspezifischer Denkwerkzeuge von hoher Bedeutung für andere Fähigkeiten, z. B. konzeptuelles Verständnis [25, 26], „construction and reconstruction of meaning“ [27], schlussfolgerndes Denken („reasoning“, [28 - 30]), Problemlösen [14, 30] und Kreativität [31]. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, warum diese Kompetenz für die Physik als notwendige Bedingung für die Bildung eines tieferen Verständnisses [32, 14] diskutiert wird. Sie wird sogar als erste von sieben disziplinspezifischen Fähigkeiten, die in der Hochschule ausgebildet werden sollten, genannt [33]. Auf der anderen Seite weisen Forschungsbefunde darauf hin, dass kompetenter Umgang mit Repräsentationen eine erhebliche Schwierigkeit für Lernende darstellt [34, 35]. Empirische Belege hierfür gibt es von der Primarstufe [34], über die Sekundarstufen [36], bis zum universitären Niveau [37]. Das Potential von Repräsentationen zur Förderung von Lernprozessen ergibt sich u.a. unter Beachtung fundamentaler Designprinzipien multimedialer Lernumgebungen [38], da nun die für den Experimentierprozess relevanten Informationen so angeordnet werden können, dass sie die unerwünschten kognitiven Belastungen möglichst reduzieren, um so die Kernprozesse des Lernens hervorheben zu können. Diese Gestaltungsprinzipien adressieren die Anordnung von visuellen und auditiven Informationen [39] und basieren auf der Text- und Bildverarbeitung nach der Cognitive-Affective Theory of Learning with Media (CATLM) [40].

Die Applikationen von Smartphones und Tablets generieren und visualisieren Messdaten in verschiedenen Darstellungsformen. Auf diese Weise werden sich wiederholende, automatisierte Tätigkeiten der Lernenden (wie beispielsweise die Aufnahme von Messdaten), die zu keinem relevanten Lernzuwachs führen, vermieden. Die dadurch freiwerdenden kognitiven Ressourcen stehen den Lernenden für eine aktive Wissenskonstruktion zur Verfügung, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sich durch den Einsatz digitaler mobiler Medien die Effektivität des Lernprozesses steigern lässt. Zu beachten ist dabei, dass die Automatisierung von Tätigkeiten wie der Aufnahme von Messdaten oder der Erstellung von Diagrammen nur dann die kognitive Belastung signifikant reduzieren kann, wenn die Lernenden in dieser Tätigkeit bereits geschult sind und über genügend Vorwissen hinsichtlich der Tätigkeit verfügen.

Zielstellung und Forschungsfragen

Im Gegensatz zu einer breiten Basis konzeptioneller Entwicklungen ist wenig über die Effektivität solcher Geräte in Bezug auf Lernergebnisse bekannt. Unser Forschungsprogramm zielt darauf ab, diese Lücke zu schließen. Im traditionellen Unterricht oder an Universitätskursen untersuchen wir das

Lernen (und andere Variablen) von Lernenden mit mobilen Endgeräten. Wir verwenden einen didaktisch-instruktionsbasierten Ansatz (Arbeitsblätter, Übungen und Probleme), um die Schüler durch experimentelle Aktivitäten zu führen, bei denen mobile Endgeräte als experimentelle Werkzeuge beteiligt sind.

Übergeordnetes Ziel ist die Untersuchung der Wirksamkeit des Einsatzes von Smartphones und Tablets als Experimentiermedien auf Lernen und Motivation. Dazu wurden kontrollierte empirische Feldstudien (Quasi-experimentelle Interventionsstudien) mit Versuchs- und Kontrollgruppen durchgeführt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die in der Schule und Hochschule durchgeführten Studien möglichst unterrichtsnah und kontrolliert ablaufen.

Die Ziele der Untersuchungen lassen sich in folgenden zwei Forschungsfragen zusammenfassen:

- Führt das Lernen mit mobilen Endgeräten als Experimentiermittel zu größerem Konzeptverständnis, größerer Repräsentationskompetenz sowie Motivation und Neugierde?
- Welchen Einfluss haben Einstellung der Lernenden gegenüber digitaler Medien sowie deren Nutzung auf das Lernen?

Vorstellung der Vergleichsstudien

Es wurden bisher sechs Studien durchgeführt, die den Einsatz von Smartphones oder Tablet-PCs mit dem traditionellen Unterrichten vergleichen. Abbildung 2 zeigt ein typisches Studiendesign mit dem zeitlichen Rahmen und den Testzeitpunkten.

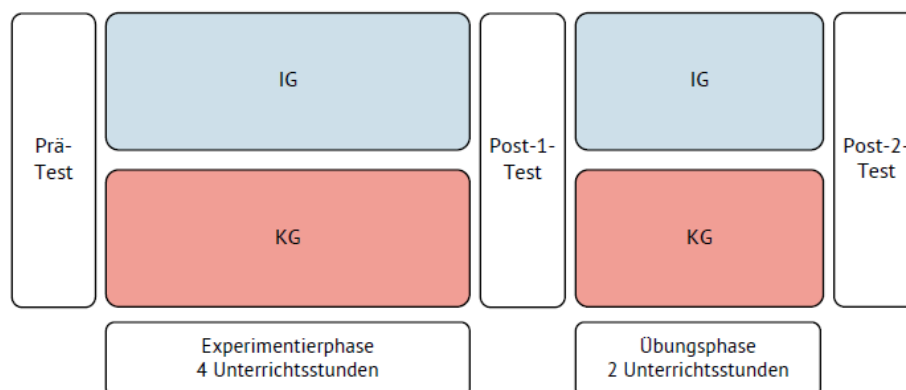










Abbildung 2: Exemplarisches Studiendesign.

Als abhängige Variablen und Kovariaten wurde dabei folgende Aspekte erhoben, die für das Lernen wichtige Randbedingungen darstellen: Das konzeptionelle Verständnis und die konzeptionelle Repräsentationskompetenz wurden über standardisierte Tests (FCI [3], KCI [4], KiRC [5]) und Eigenentwicklungen für alle gängigen Repräsentationsformen des Inhaltsgebietes (z.B. Diagramm, Stroboskopabbildung, Tabelle, Formel) gemessen. Als affektive Lernindikatoren wurde die Motivation und die Neugierde betrachtet, Belastungsindikatoren wurden anhand der Testinstrumente NASA-TLX [6] und PSQ [7] erhoben. Darüber hinaus wurde die Bearbeitungszeit im Sinne von „time-on –task“ als Variable aufgenommen.

Folgende Abbildung gibt einen Überblick über die einzelnen Studien, deren empirischen Fokus sowie der Stichprobengrößen (Details sind [8], [10-12] sowie [46] zu entnehmen):

Thema	Stichprobe (matched) Interventionsdauer	Kontrast	Hauptvariablen
1) Mechanik⁸ Schwingungen	Sek. II (N=154) 4 h	 Vs.  Beschleunigungssensor	Konzeptwissen
2) Mechanik Schwingungen	Sek. II (N=60) 4 h	 Vs.  Mobile Videoanalyse	Konzeptwissen, Repräsentations- kompetenz
3) Mechanik⁹ Gleichförmige Bewegung (v=konst.)	Sek. II (N=109) 4 h Experimente + 2 h Übungen		
4) Mechanik⁹ Gleichförmige Bewegung (a=konst.)	Sek. II (N=70) 4 h Experimente + 2 h Übungen		
5) Mechanik¹⁰ Universität	Erstsemester (N=76) 4 Wochen (16 Übungsaufgaben)	 Vs.  Videobasierte Aufgaben	
6) Akustik¹¹ Schwebung	Sek. I (N=38) 4 h	 Vs.  Lautsprecher/Mikrofon	Leistung (themenbezogen)




Abbildung 3: Zusammenfassung der Studien (s. [8], [10-12] und [46]).

Ergebnisse und Diskussion

Folgende Abbildung fasst die in den o.a. Studien (s. [8], [10-12] und [46]) gefundenen Erkenntnisse hinsichtlich des konzeptionellen Verständnisses, der Repräsentationskompetenz und der Motivation übersichtlich zusammen:

Studie	Konzeptionelles Verständnis	Repräsentations- kompetenz	Motivation
1)	<i>Kein Effekt</i>	<i>Kein Effekt</i>	d = 0.40
2)	d = 0.55	<i>Kein Effekt</i>	(noch) keine Analyse
3)	d = 0.34 (Exp.-Phase)	d = 0.31 (Exp.-Phase)	(noch) keine Analyse
4)	d = 0.92 (Ges. Lernzeit)	<i>Kein Effekt</i>	(noch) keine Analyse
5)	d = 0.40	d = 0.72	<i>Kein Effekt</i>
6)	$\omega^2 = 0.16$	Nicht untersucht	$\omega^2 = 0.09$

Abbildung 4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Vergleichsstudien (s. [8], [10-12] und [46]).

Dabei zeigt sich, dass eine kognitive Aktivierung durch mobile Videoanalyse sowohl im Mechanikunterricht der Sekundarstufe 2 [10] als auch in der Studieneingangsphase Physik [11; 46] erfolgt und Konzeptverständnis und Repräsentationskompetenz stärker fördert als konventioneller Unterricht. Der unterrichtliche Einsatz der Videoanalyse zeigte sich vor allem bei komplexeren

Themen als wirksamer, wobei die Vorteile der Methode vor allem bei den Experimentierphasen zum Tragen kamen.

Wenn jedoch traditionelle Experimentiermaterialien durch Smartphones oder Tablets lediglich ersetzt werden ohne die repräsentationalen Vorteile der Medien zu nutzen, kann keine kognitive Aktivierung der Lernenden und keine Leistungssteigerung gegenüber den traditionellen Materialien erreicht werden [8]. Allerdings kann auch in diesen Fällen eine Steigerung von Motivation und Neugierde durch die Medien erzeugt werden, die größer ist als in der Kontrollgruppe, mit einer Effektgröße, die mehr als einen Neuigkeitseffekt indiziert [8].

In allen Studien wurde zudem keine zusätzliche kognitive Belastung durch das Medium oder die Methode aufgezeigt verglichen zum traditionellen Unterricht.

Insgesamt zeigen die bisherigen Ergebnisse somit ein positives Bild zu Lernwirkung und Motivation von Smartphones und Tablets als mobile Experimentiermedien in der Physik, wobei dabei die kognitive Aktivierung durch das Medium entscheidend zu sein scheint. Dieser Aspekt sollte somit bei der Implementation der Medien zentrale Beachtung finden.

Referenzen

1. Wong *et al.* (2015), *Seamless learning in the age of mobile connectivity*. Singapore: Springer
2. Mayer, R. E. (2009), *Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press
3. Hestenes *et al.* (1992), *The physics teacher* 30.3, 141
4. Lichtenberger *et al.* (2017), *Physical Review Physics Education Research* 13.1, 010115.5
5. Klein, P., Müller, A. & Kuhn, J. (2017). KiRC inventory: Assessment of representational competence in kinematics. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 13, 010132
6. Hart *et al.* (1988), *Advances in psychology*. Vol. 52. North-Holland, 139-183
7. Levenstein *et al.* (1993), *Journal of psychosomatic research* 37.1, 19-32
8. Hochberg, K., Kuhn, J. & Müller, A. (2018). Using Smartphones as experimental tools – effects on interest, curiosity and learning in physics education. *Journal of Science Education and Technology* 27, accepted, accepted.
9. Becker, S., Klein, P. & Kuhn, J. (2016). Video analysis on Tablet Computers to Investigate Effects of Air Resistance. *Phys. Teach.* 54 (2016), 440-441.
10. Becker, S., Klein, P., Gößling, A. & Kuhn, J. (2018). Förderung von Konzeptverständnis und Repräsentationskompetenz durch Tablet-PC-gestützte Videoanalyse: Empirische Untersuchung der Lernwirksamkeit eines digitalen Lernwerkzeugs im Mechanikunterricht der Sekundarstufe 2. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24, submitted.
11. Klein, P., Kuhn, J. & Müller, A. (2018). Förderung von Repräsentationskompetenz und Experimentbezug in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Experimentalphysik - Empirische Untersuchung eines videobasierten Aufgabenformates. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24 (1), 1-18
12. Kuhn, J. & Vogt, P. (2015), *Smartphone & Co. in Physics Education: Effects of Learning with New Media Experimental Tools in Acoustics*. In W. Schnotz, A. Kauertz, H. Ludwig, A. Müller & J. Pretsch (Eds.), *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning* (pp. 253-269). Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan.
13. De Cock, M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. *Physical Review Physics Education Research*.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.020177>.

14. Kohl, P.B., & Finkelstein, N.D. (2005). Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. *Physics Review Physics Education Research*, 1(1), 10104.
15. Kozma, R. & Russel, J. (2005). Students becoming chemists: developing representational competence. *Visualization in science education*, 1, 121-146.
16. Rau, M.A. (2017). Conditions for the effectiveness of multiple visual representations in enhancing STEM learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 717-761.
<https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>.
17. Klein, P., Müller, A., & Kuhn, J. (2017). Assessment of representational competence in kinematics. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 10132.
18. Tytler, R., Prain, V., Hubber, P., & Waldrup, B. (Hrsg.). (2013). *Constructing representations to learn in science*. Rotterdam: Sense.
19. Tsui, C., & Treagust, D. (Hrsg.). (2013). *Multiple representations in biological education*. Dordrecht: Springer.
20. Gilbert, J.K., & Treagust, D. (Hrsg.). (2009). *Multiple representations in chemical education*. The Netherlands: Springer.
21. Docktor, J.L., & Mestre, J.P. (2014). Synthesis of discipline-based education research in physics. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.020119>.
22. Treagust, D., Duit, R., & Fischer, H. (Hrsg.). (2017). *Multiple representations in physics education*. Dordrecht: Springer.
23. Lesh, R., Post, T., & Behr, M. (1987). Representations and translations among representations. In mathematics learning & C. solving. Janvier (Hrsg.), *Problems of representation in the teaching and learning of mathematics* (S. 3-40). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
24. Even, R. (1998). Factors involved in linking representations of functions. *Journal of mathematical Behaviour*, 17, 105-121.
25. Van Heuvelen, A., & Zou, X. (2001). Multiple representations of work-energy processes. *American Journal of Physics*, 69, 184.
26. Hubber, P., Tytler, R., & Hanslam, F. (2010). Teaching and learning about force with a representational focus: pedagogy and teacher change. *Research in Science education*, 40 (1), 5-28.
27. Opfermann, M., Schmeck, A., & Fischer, H. (2017). Multiple representations in physics and science education – why should we use them? In [18].
28. Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: a review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59, 891-897.
29. Plötzner, R., & Spada, H. (1998). Constructing quantitative problem representations on the basis of qualitative reasoning. *Interactive Learning Environments*, 5, 98-107.
30. Verschaffel, L. De Corte, E., de Jong, T., & Ellen, J. (2010). *Use of external representations in reasoning and problem solving*. New York: Routledge.
31. Schnotz, W. (2010). Reanalyzing the expertise reversal effect. *Instructional science*, 38(3), 315-323.
32. DiSessa, A.A. (2004). Metarepresentation: native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), 293-331.

33. Etkina, E., Van Heuvelen, A., White-Brahmia, S., Brookes, D.T., Gentile, M., Murthy, S., Rosengrant, D., & Warren, A. (2006). Scientific abilities and their assessment. *Physical review Physics Education Research*, 2(2), 020103-1-020103-15.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.020103>.
34. Ainsworth, S.E., Bibby, P.A., & Wood, D.J. (2002). Examining the effects of different multiple representational systems in learning primary mathematics. *Journal of the Learning Sciences*, 11, 25-61.
35. Schoenfeld, A., Smith, J.P., & Arcavi, A. (1993). Learning: the microgenetic analysis of one student's evolving understanding of a complex subject matter domain. In R. Glaser (Hrsg.), *Advances in instructional psychology*. Hillsdale: LEA.
36. Scheid, J., Müller, A., Hettmansperger, R., & Kuhn, J. (2017). Erhebung von repräsentationaler Kohärenzfähigkeit von Schülerinnen und Schülern im Themenbereich Strahlenoptik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 181-203.
37. Nieminen, P., Savinainen, A., & Viiri, J. (2010). Force concept inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020109>.
38. Moreno, R. (2006). Learning in high-tech and multimedia environments. *Current Directions in Psychological Science*, 15(2), 63-67.
39. Schnotz, W. (2014). Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 72-103). New York: Cambridge University Press.
40. Moreno, R. & Mayer, R. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*, 19, 309-326.
41. Kuhn, J., Molz, A., Gröber, S. & Frübis, J. (2014). iRadioactivity - Possibilities and Limitations for Using Smartphones and Tablet PCs as Radioactive Counters. *The Physics Teacher* 52 (2014), 351-356.
42. Schwarz, O., Vogt, P. & Kuhn, J. (2013). Acoustic measurements of bouncing balls and the determination of gravitational acceleration. *The Physics Teacher* 51 (2013), 312-313
43. Hochberg, K., Gröber, S., Kuhn, J. & Müller, A. (2014). The spinning disc: Studying radial acceleration and its damping process with smartphones' acceleration sensor. *Phys. Educ.* 49 (2), 137-140.
44. Klein, P., Müller, A., Gröber, S., Molz, A. & Kuhn, J. (2017). Rotational and frictional dynamics of the slamming of a door. *Am. J Phys..* 85 (1), 30-37.
45. Hirth, M., Kuhn, J. & Müller, A. (2015). Measurement of sound velocity made easy using harmonic resonant frequencies with everyday mobile technology. *Phys. Teach.* 53 (2015), 120-121.
46. Klein, P., Kuhn, J., Müller, A. & Gröber, S. (2015). Video analysis exercises in regular introductory mechanics physics courses: Effects of conventional methods and possibilities of mobile devices. In W. Schnotz, A. Kauertz, H. Ludwig, A. Müller & J. Pretsche (Eds.), *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning* (pp. 270-288). Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan

Physics holo.lab: Kognitive Aktivierung beim Experimentieren durch Augmented-Reality-basierte Unterstützung mit intelligenten Datenbrillen

Autoren: Michael Thees, Martin P. Strzys, Sebastian Kapp, Pascal Klein und Jochen Kuhn

Institut: Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Physik/AG Didaktik der Physik

Einführung

Bei der Gestaltung multimedialer Szenarien für Lehr-Lern-Kontexte gibt es viele Freiheitsgrade bezüglich der Präsentation von und Interaktion mit Informationen. So gilt es auch bei der Verwendung von Augmented-Reality-Technologie (AR), diese Freiheitsgrade sinnvoll zu nutzen, um den Lernprozess zu unterstützen. Dabei sind grundlegende Erkenntnisse der Lernpsychologie bezüglich der kognitiven Prozesse beim Lernen zu beachten, welche die Szenarien restringieren.

Für den Kontext des physikalischen Experimentierens werden im „Physics holo.lab“ AR-Szenarien unter Verwendungen von intelligenten Datenbrillen wie z.B. die Microsoft HoloLens (sog. Smartglasses) entwickelt, in den laufenden Betrieb der Anfängerpraktika in der Studieneingangsphase implementiert und empirisch untersucht. Aufbauend auf den hier gewonnenen Erkenntnissen bezüglich der Umsetzung und Lernwirkung soll ein möglicher zukünftiger Einsatz der Technologie im Schulunterricht skizziert werden. Somit bildet das „Physics holo.lab“ eine Grundlagenforschung, um die Unterstützung des Lernprozesses in AR-basierten multimedialen Lernumgebungen von Schule und Hochschule zu evaluieren und konstruktiv zu optimieren.

Kognitionspsychologischer Hintergrund

Generell können die kognitiven Prozesse beim Lernen mithilfe der Aussagen der Cognitive Load Theory [1] beschrieben werden. Diese sagt grundlegend aus, dass Wissenszuwachs einer aktiven Ausbildung und Integration von Handlungs- und Denkschemata vom Arbeitsgedächtnis in das Langzeitgedächtnis entspricht. Dabei ist jedoch das Arbeitsgedächtnis gegenüber dem Langzeitgedächtnis limitiert. Diese Limitierung wird durch die kognitive Belastung bestimmt, welche sich in drei Bereiche unterteilen lässt (siehe Abbildung 1). Der „intrinsic load“ wird durch die innere Struktur des Lerngegenstandes bestimmt und entspricht der Komplexität des Lerngegenstandes bzw. der Aufgabenstellung. Dagegen wird der „extraneous load“ durch lernirrelevante Information bzw. Gestaltung der Materialien hervorgerufen. Die Lernenden müssen diese unnötigen Informationen zunächst in kognitiv aufwändigen Prozessen von den relevanten Informationen trennen, um zum Kern der Aufgaben zu gelangen. Der gewünschte Teil ist der „germane load“, welcher durch Konstruktion und Integration von Schemata, also der eigentlichen Verarbeitung des Lerngegenstandes und damit dem Lernprozess im engeren Sinne, erzeugt wird. Diese drei Arten der Belastung sind additiv zu verstehen und sind durch die Limitierungen des Arbeitsgedächtnisses begrenzt. Deshalb gilt es durch die Gestaltung der Lernmaterialien die kognitiven Prozesse so zu beeinflussen, dass sie – entsprechend dem Leistungsniveaus der Lernenden – das gewünschte Verhältnis dieser drei Arten der kognitiven Belastung entsprechen.

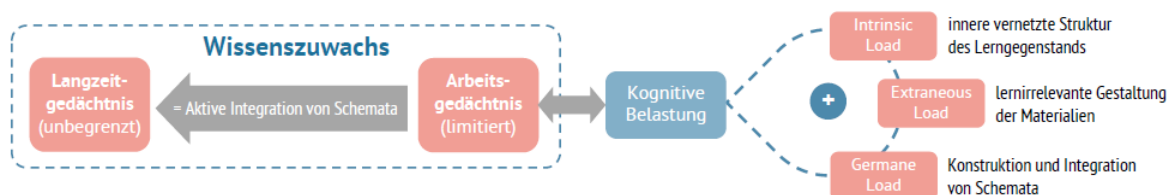


Abbildung 1: Schema zu grundlegenden Aussagen der CLT.

Für die Studierenden der Anfängerpraktika spielt vor allem die didaktische Aufbereitung der Messdaten eine große Rolle. Mithilfe von digitaler Messwerterfassung und AR-Technologie können Echtzeit-Messdaten (bzw. die entsprechenden Repräsentationen) via Smartglasses direkt in das

Sichtfeld der Lernenden eingeblendet werden. Repräsentationen sind externe Darstellungsformen wie Bilder, Diagramme, Formeln und Vektoren, mit denen ein physikalischer Prozess oder Sachverhalt beschrieben werden kann [2]. Der kompetente Umgang mit verschiedenen Repräsentationsformen, also die Fähigkeiten externe Darstellungsformen zu interpretieren, selbstständig zu erzeugen und zwischen verschiedenen Darstellungen flexibel und zielgerichtet zu wechseln [3], wird unter dem Begriff der (konzeptionellen) „Repräsentationskompetenz“ zusammengefasst ([4, 5, 6, 7]). Die wichtige Rolle von Repräsentationskompetenz für naturwissenschaftliches Denken und Lernen ist gut belegt für die Naturwissenschaften im Allgemeinen [8], für verschiedene Einzeldisziplinen (Biologie: [9]; Chemie: [10]; Physik: [11, 12]), sowie die Mathematik ([13, 14]). Insbesondere ist Repräsentationskompetenz als notwendige Voraussetzung für den Gebrauch von multiplen Repräsentationen im Sinne domänenspezifischer Denkwerkzeuge von hoher Bedeutung für andere Fähigkeiten, z. B. konzeptuelles Verständnis [15, 16], „construction and reconstruction of meaning“ [17], schlussfolgerndes Denken („reasoning“, [18, 19, 20]), Problemlösen [4, 20] und Kreativität [21]. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, warum diese Kompetenz für die Physik als notwendige Bedingung für die Bildung eines tieferen Verständnisses [22, 4] diskutiert wird. Sie wird sogar als erste von sieben disziplinspezifischen Fähigkeiten, die in der Hochschule ausgebildet werden sollten, genannt [23]. Auf der anderen Seite weisen Forschungsbefunde darauf hin, dass kompetenter Umgang mit Repräsentationen eine erhebliche Schwierigkeit für Lernende darstellt [24, 25]. Empirische Belege hierfür gibt es von der Primarstufe [24], über die Sekundarstufen [26], bis zum universitären Niveau [27]. Das Potential von Repräsentationen zur Förderung von Lernprozessen ergibt sich u.a. unter Beachtung fundamentaler Designprinzipien multimedialer Lernumgebungen [28], da nun die für den Experimentierprozess relevanten Informationen so angeordnet werden können, dass sie die unerwünschten kognitiven Belastungen möglichst reduzieren, um so die Kernprozesse des Lernens hervorheben zu können. Diese Gestaltungsprinzipien adressieren die Anordnung von visuellen und auditiven Informationen [29] und basieren auf der Text- und Bildverarbeitung nach der Cognitive-Affective Theory of Learning with Media (CATLM) [30].

Folgende Auflistung zeigt die für das „Physics holo.lab“ relevanten multimedialen Gestaltungsprinzipien [30]:

- Multimedia-Prinzip: Kombination von text- und bildhaften Darstellungen, wie bspw. geschriebener und gesprochener Text sowie statische Bilder und Filme (Videos, Animation, etc.)
- Modalitäts-Prinzip: Verwenden unterschiedlicher Repräsentationen, um sowohl den visuellen als auch den auditiven Kanal zur Verarbeitung der Informationen zu adressieren.
- Räumlicher und zeitlicher Zusammenhang: Direkte räumliche Verknüpfung korrespondierender Informationen mit realem Objekt in Echtzeit durch die Visualisierung der Echtzeitdaten im Raum
- Interaktivität: Beeinflussung der multimedialen Darstellungen durch Manipulation des Experimentes, bzw. Fortschreiten im Experimentierprozess
- Begleitung: multimediale Hinweise zu möglichen Handlungsschemata in Abhängigkeit vom experimentellen Kontext und dem Fortschritt im Experimentierprozess

Zielsetzung und Forschungsfragen

Das übergeordnete Ziel des „Physics holo.lab“ ist es, durch eine studiengangübergreifende Implementation von Smartglasses als Assistenzsystem die kognitiven Prozesse beim Lernen am realen Experiment zu unterstützen. Dabei erfolgt die technische Realisierung mithilfe aktuell verfügbarer Smartglasses und AR-Technologie. Basierend auf dem theoretischen Hintergrund sollen folgende Forschungsfragen untersucht werden:

Ist das Experimentieren mit dem holo.lab lern- und/ oder motivationsförderlich?

Reduziert das Experimentieren mit dem holo.lab die kognitive Belastung beim Lernprozess?

Diese Fragen werden in den physikalischen Anfängerpraktika der TU Kaiserslautern empirisch erforscht. Dabei werden experimentbezogene Leistungstests verwendet, um das Konzeptwissen vor und nach der Intervention zu erheben. Zudem beantworten die Lernenden Fragebögen zur kognitiven

Belastung beim Experimentieren, zu affektiven Variablen und auch Usability-Aspekten, mit denen Randbedingungen für den Lernerfolg untersucht werden.

Es werden Experimente aus verschiedenen Themengebieten der Physik adressiert, aktuell sind Experimente zur Wärmeleitung in Metallen, zu den Kirchhoffschen Gesetzen bei einfachen Gleichstromkreisen und zu Stoßversuchen auf einem Luftkissentisch in der Überarbeitungsphase. Ausgehend von bereits implementierten traditionellen Experimenten wird dabei die Technologie integriert, ohne die Charakteristika der Experimente zu verändern. Die größte Änderung gegenüber dem traditionellen Experiment besteht in der Gestaltung der Repräsentationen der Echtzeit-Messdaten, welche sich nach grundlegenden Gestaltungsprinzipien aus den Multimedia-Forschung orientiert.

Perspektivisch soll die Validierung möglicher Lernerfolge mithilfe von Eye-tracking abgesichert werden.

Realisierung als physikalisches Experiment

Zur Umsetzung der obigen Gestaltungsprinzipien wurde der Versuch „Wärmeleitung in Metallen“ aus dem Anfängerpraktikum Physik der TUK adaptiert [31,32]. Bei diesem Versuch wird ein massiver Metallstab aus Kupfer oder Aluminium (schwarz lackiert zur maximalen Emission von Wärmestrahlung) an einer Seite durch ein Heizelement erwärmt und auf der anderen Seite mithilfe eines CPU-Lüfters gekühlt. Nach einiger Zeit stellt sich ein stationärer thermodynamischer Zustand ein, welcher durch einen charakteristischen Verlauf der Temperatur entlang des Stabes gekennzeichnet ist. Dieser Verlauf soll in der nachfolgenden Auswertung des Versuches weiter analysiert werden, um bspw. materialspezifische Kennwerte mit Literaturangaben vergleichen zu können. Der wesentliche Aspekt beim experimentellen Handeln ist jedoch die Entscheidung über das Erreichen des Zustandes. Traditionell würden in gewissen Abständen Bilder mit einer Handheld-Wärmbildkamera aufgenommen, die nach der Experimentierzeit ausgewertet werden. Im adaptierten Aufbau jedoch wird mithilfe einer Wärmebildkamera (Infrarotkamera) in Echtzeit die Temperaturinformation an eine Smartglass (Modell: Microsoft HoloLens [33]) gesendet, welche den Temperaturverlauf entlang des Stabes in drei verschiedenen Repräsentationen visualisiert (siehe Abbildung 2):

- Falschfarbendarstellung, welche als Zylinder um den Metallstab gelegt wird
- Graph (T-x-Diagramm), welche die Temperatur über den korrespondierenden Messpunkten auf dem Metallstab wiedergibt
- Numerische Werte der Temperatur an drei Messpunkten am Metallstab

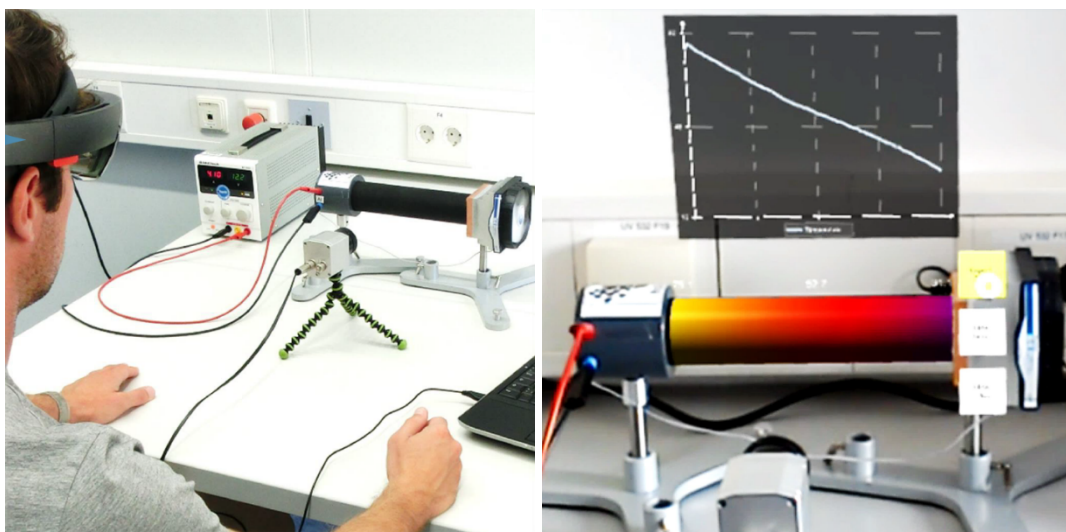


Abbildung 2: Links: Photographien des experimentellen Aufbaus. Rechts: Screenshot der Visualisierungen (entspricht Blick durch die Smartglass).

Diese dynamische Darstellung der Temperaturen am Metallstab erlaubt die direkte Beobachtung der kontinuierlichen Veränderung des Temperaturverlaufs beim Heizen, sowie eine direkte visuell begründbare Entscheidung über den Grad der Ausprägung des stationären Zustandes. Dementsprechend können die Studierenden selbständig darüber diskutieren und entscheiden, ob der Gleichgewichtszustand erreicht ist oder ob noch längere Zeit gewartet werden. Durch die integrierte Exportfunktion des Temperaturverlaufs als .csv-Datei mit den einzelnen numerischen Werten stehen den Studierenden trotz des leicht veränderten Handlungsverlaufes weiterhin alle notwendigen Daten zur Verfügung, die sie für die spätere tiefergehende Auswertung benötigen.

Der Vorteil der Nutzung von Smartglasses in Verbindung mit AR-Technologie liegt nicht nur in der reinen Möglichkeit, dynamische Prozesse zu visualisieren, sondern auch in der einfachen Handhabung der Interaktion mit dem System via digitaler Bedienelemente und einfacher Standardgesten. Die Studierenden können selbst entscheiden, welche Art der Repräsentation sie ein- oder ausblenden wollen und können damit die Komplexität und den Umfang der digitalen Information steuern. Dabei bleiben die Hände der Lernenden frei, um das Experiment wie beim traditionellen Verlauf auch, zu manipulieren und zu beeinflussen. Somit bleiben die traditionellen Charakteristika der Versuche erhalten und werden um die digitalen Informationen erweitert, bzw. angereichert. Insbesondere werden bei den Visualisierungen die o.a. multimedialen Gestaltungsprinzipien erfüllt, vor allem der räumliche und zeitliche Zusammenhang zwischen digitaler Repräsentation und realem Objekt sowie der Interaktivität zwischen den Lernenden und dem Experiment.

Danksagung:

Das „Physics holo.lab“ wird im Rahmen der Projekte „Be-greifen: Be-greifbare, interaktive Experimente: Praxis und Theorie im MINT-Studium erfahrbar machen“ und „gLabAssist: Smartglasses als Assistenzsystem für natur- und ingenieurwissenschaftliche Hochschullaborpraktika“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Referenzen

1. Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Camberwell, ACER Press.
2. Klein, P., Kuhn, J. & Müller, A. (2018). Förderung von Repräsentationskompetenz und Experimentbezug in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Experimentalphysik - Empirische Untersuchung eines videobasierten Aufgabenformates. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24 (1), 1-18
3. De Cock, M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. *Physical Review Physics Education Research*. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.020177>.
4. Kohl, P.B., & Finkelstein, N.D. (2005). Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. *Physics Review Physics Education Research*, 1(1), 10104.
5. Kozma, R. & Russel, J. (2005). Students becoming chemists: developing representational competence. *Visualization in science education*, 1, 121-146.
6. Rau, M.A. (2017). Conditions for the effectiveness of multiple visual representations in enhancing STEM learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 717-761. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>.
7. Klein, P., Müller, A., & Kuhn, J. (2017). Assessment of representational competence in kinematics. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 10132.

8. Tytler, R., Prain, V., Hubber, P., & Waldrip, B. (Hrsg.). (2013). *Constructing representations to learn in science*. Rotterdam: Sense.
9. Tsui, C., & Treagust, D. (Hrsg.). (2013). *Multiple representations in biological education*. Dordrecht: Springer.
10. Gilbert, J.K., & Treagust, D. (Hrsg.). (2009). *Multiple representations in chemical education*. The Netherlands: Springer.
11. Docktor, J.L., & Mestre, J.P. (2014). Synthesis of discipline-based education research in physics. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.020119>.
12. Treagust, D., Duit, R., & Fischer, H. (Hrsg.). (2017). *Multiple representations in physics education*. Dordrecht: Springer.
13. Lesh, R., Post, T., & Behr, M. (1987). Representations and translations among representations. In mathematics learning & C. solving. Janvier (Hrsg.), *Problems of representation in the teaching and learning of mathematics* (S. 3-40). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
14. Even, R. (1998). Factors involved in linking representations of functions. *Journal of mathematical Behaviour*, 17, 105-121.
15. Van Heuvelen, A., & Zou, X. (2001). Multiple representations of work-energy processes. *American Journal of Physics*, 69, 184.
16. Hubber, P., Tytler, R., & Hanslam, F. (2010). Teaching and learning about force with a representational focus: pedagogy and teacher change. *Research in Science education*, 40 (1), 5-28.
17. Opfermann, M., Schmeck, A., & Fischer, H. (2017). Multiple representations in physics and science education – why should we use them? In [18].
18. Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: a review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59, 891-897.
19. Plötzner, R., & Spada, H. (1998). Constructing quantitative problem representations on the basis of qualitative reasoning. *Interactive Learning Environments*, 5, 98-107.
20. Verschaffel, L. De Corte, E., de Jong, T., & Ellen, J. (2010). *Use of external representations in reasoning and problem solving*. New York: Routledge.
21. Schnotz, W. (2010). Reanalyzing the expertise reversal effect. *Instructional science*, 38(3), 315-323.
22. DiSessa, A.A. (2004). Metarepresentation: native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), 293-331.
23. Etkina, E., Van Heuvelen, A., White-Brahmia, S., Brookes, D.T., Gentile, M., Murthy, S., Rosengrant, D., & Warren, A. (2006). Scientific abilities and their assessment. *Physical review Physics Education Research*, 2(2), 020103-1-020103-15.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.020103>.
24. Ainsworth, S.E., Bibby, P.A., & Wood, D.J. (2002). Examining the effects of different multiple representational systems in learning primary mathematics. *Journal of the Learning Sciences*, 11, 25-61.
25. Schoenfeld, A., Smith, J.P., & Arcavi, A. (1993). Learning: the microgenetic analysis of one student's evolving understanding of a complex subject matter domain. In R. Glaser (Hrsg.), *Advances in instructional psychology*. Hillsdale: LEA.

26. Scheid, J., Müller, A., Hettmansperger, R., & Kuhn, J. (2017). Erhebung von repräsentationaler Kohärenzfähigkeit von Schülerinnen und Schülern im Themenbereich Strahlenoptik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 181-203.
27. Nieminen, P., Savinainen, A., & Viiri, J. (2010). Force concept inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020109>.
28. Moreno, R. (2006). Learning in high-tech and multimedia environments. *Current Directions in Psychological Science*, 15(2), 63-67.
29. Schnotz, W. (2014). Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 72-103). New York: Cambridge University Press.
30. Moreno, R. & Mayer, R. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*, 19, 309-326.
31. Strzys, M. P., Kapp, S., Thees, M., Klein, P., Lukowicz, P., Knierim, P., Schmidt, A. & Kuhn, J. (2018): Physics holo.lab learning experience: using smartglasses for augmented reality labwork to foster the concepts of heat conduction. *European Journal of Physics* 39 (2018) 035703 (12pp). doi: 10.1088/1361-6404/aaa8fb
32. Strzys, M. P., Kapp, S., Thees, M., Klein, P., Lukowicz, P., Knierim, P., Schmidt, A. & Kuhn, J. (2017): Augmenting the Termal Flux Experiment: A Mixed Reality Approach with the HoloLens. *The Physics Teacher*, 36(6): 371-376.
33. Die Microsoft HoloLens kann für \$3000 USD erworben werden unter <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/buy> (This is an independent publication and is neither affiliated with, nor authorized, sponsored, or approved by, Microsoft Corporation).

3.5.4 Physikalische Größen im Alltag erfahrbar machen mit FELS (Forschend-Entdeckendes Lernen mit dem Smartphone)

Jirka Müller, Dr. Uta Magdans, Prof. Dr. Andreas Borowski, Universität Potsdam

Physikalische Größen im Alltag erfahrbar machen mit FELS (Forschend-Entdeckendes Lernen mit dem Smartphone)

Jirka Müller* Dr. Uta Magdans* Prof. Dr. Andreas Borowski*

*Universität Potsdam, Institut für Physik und Astronomie, Didaktik der Physik

Einführung

Schülerinnen und Schüler haben häufig Probleme im Umgang mit physikalischen Größen, weil diese zu abstrakt sind oder keine Entsprechungen in deren Lebenswelt haben (vgl. Pisa, 2015). Als Lösungsansatz stellen wir mit der Lernumgebung FELS smartphone-gestützte Experimente vor (Müller et al., 2016). Diese werden im Unterricht vorbereitet, als Hausaufgabe (vgl. Kasper et al., 2014) in Kleingruppen durchgeführt und anschließend im Unterricht diskutiert (vgl. Abbildung 1).

Besonderer Schwerpunkt liegt auf der didaktischen Ausreizung der Besonderheiten von Smartphones. Mit einem Smartphone steht dem Lernenden eine hochmobile und vernetzte Sensorstation zum Experimentieren zur Verfügung. So können nicht nur Daten gemessen, sondern auch auf Lernplattformen hochgeladen werden. Diese können zusätzlich mit Fotos und Beobachtungen ergänzt werden (Kuhn et al, 2016; Kuhn et al., 2011), um die Lernerfahrung nachvollziehbarer zu gestalten. Zu den Beobachtungen sind auch insbesondere die eigenen Körperwahrnehmungen zu nennen, die als Interpretationshilfe der aufgenommenen Messdaten einen eigenen Zugang zur Physik gewährleisten (Lück & Wilhelm, 2011). Ein solches Vorgehen kann Physikunterricht positiv konnotieren, da der eigene Alltag mit Freunden kompetenzorientiert erforscht wird (Müller et al., eingereicht).

FELS (Forschend-Entdeckendes Lernen mit dem Smartphone)

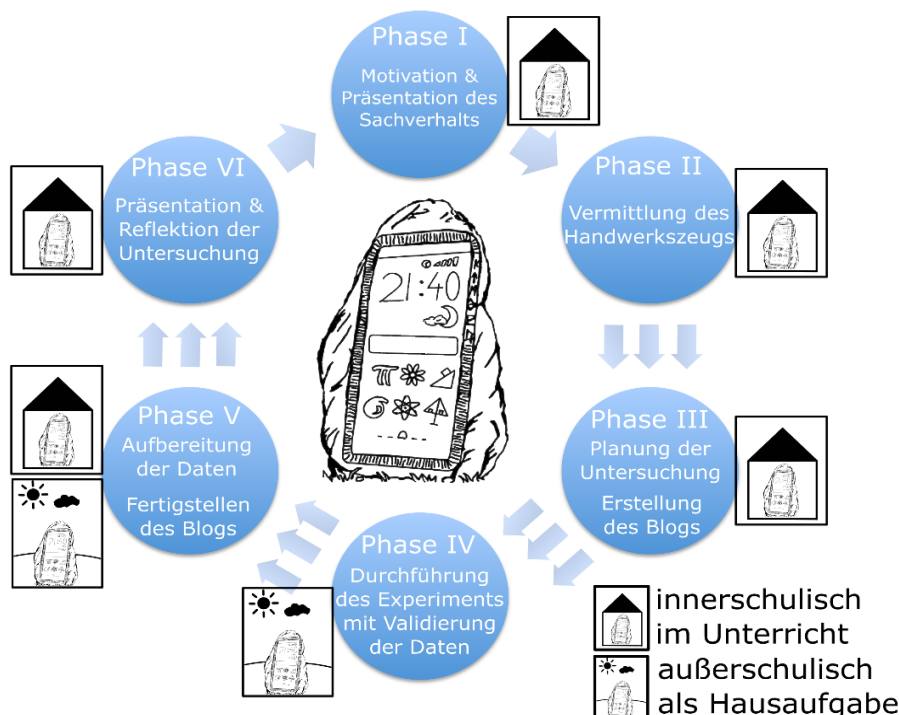


Abb. 1: Felszyklus, der die Teile Vorbereitung (Phase I - III), Durchführung (Phase IV) und Auswertung (Phase V und VI) eines Schülerexperiments in Anlehnung an den Experimentierkreislauf (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010) aufgliedert.

FELS ist ein mehrphasiger Lernzyklus, der im Folgenden näher beschrieben wird.

In der ersten Phase, die im regulären Unterricht innerhalb des Klassenraumes stattfindet, steht ein physikalischer Sachverhalt als „Phänomen“ im Mittelpunkt. Mit der Präsentation des physikalischen Sachverhalts in Form eines Demonstrationsexperiments sollen die Schülerinnen und Schüler motiviert werden, innerhalb des Brainstormings Fragestellungen zu dem Phänomen zu entwickeln. Diese werden an der Tafel fixiert und wenn nötig von der Lehrkraft ergänzt. Die Fixierung der durch die Lernenden entwickelten Fragestellungen verfolgt drei Ziele: Die Schülerinnen und Schüler bekommen erstens das Gefühl, selbst einen Teil des Unterrichts mitzugestalten und dabei ernst genommen zu werden. Außerdem gibt es hier für Lehrkräfte die Möglichkeit, Gruppen zur Bearbeitung zu organisieren und zu planen (Streller, 2013). Drittens erhält die Lehrkraft die Gelegenheit, mögliche, den Lernprozess behindernde Präkonzepte zu diagnostizieren, um in späteren Phasen darauf eingehen zu können.

Phase II stellt einen Einschub dar, bei dem die Sozialform eine untergeordnete Rolle spielt und der Wahl der Lehrkraft obliegt. Die Lernenden benötigen ein Minimum an theoretischem Input. Die Experimente sind hypothesengeleitet und die Schülerinnen und Schüler sollten wissen, was genau sie wie mit dem Smartphone messen oder aufzeichnen können. Außerdem benötigen die vier schriftlichen, aufgabenbasierten Arbeitsblätter (vgl. Absatz „Aufgabengestützte Durchführung“), die auf den Fragestellungen aus Phase I basieren und mit deren Hilfe in Phase III ein Experimentierplan entstehen soll, eine gewisse Vorbereitungszeit der Lehrkraft.

Phase III ist nicht als Frontalunterricht, sondern als Gruppenarbeit ausgelegt. In dieser Phase erarbeiten sich die Lernenden aufgabengestützt ihre jeweilige Experimentierplanung. Sie beginnen bei ihrer zum Teil in Alltagssprache formulierten Fragestellung aus Phase I und werden über Aufgaben zur Hypothesenbildung und schließlich zu einem Experimentierplan geführt. Dadurch bleiben der Lehrkraft genügend Freiräume, um bei Fragen oder Problemen den einzelnen Gruppen zu helfen. Die Gruppenarbeit ist als Sozialform hierbei aus didaktischer Perspektive ideal, da die Lehrkraft z.B. durch ein Klassengespräch den Erfordernissen bedingt durch die verschiedenen Teilthemen nicht gerecht werden kann. Um jeden Lernenden bzw. jede Gruppe ernst zu nehmen, werden in einer durchschnittlichen Klasse vier verschiedene Hypothesen benötigt, wobei bis zu zwei Gruppen die gleiche Hypothese bearbeiten können. Dadurch wird ein Thema von vier Facetten aus beleuchtet und es gibt jeweils eine Gruppe, die der anderen hilfreiche Tipps in den Phasen IV und V geben kann. Im einfachsten Fall werden die verschiedenen Hypothesen durch die Variablenkontrollstrategie gebildet. Dabei sind auch Hypothesen zulässig, die letztendlich nicht bestätigt und damit verworfen werden müssen. Bei den Planungen ist darauf zu achten, dass die einzelnen Experimente, also die Testung der Hypothesen innerhalb von maximal 15 Minuten durchführbar sind, um die Hausaufgaben nicht übermäßig lang zu halten.

Die geplanten, außerschulischen Smartphoneexperimente führen die Schülerinnen und Schüler innerhalb ihrer Gruppen in Phase IV durch. Damit bearbeiten die Lernenden nicht normale Hausaufgaben, sondern sie führen den Unterricht an einem anderen Ort durch.

Die Auswertung in Phase V kann sich dabei entweder an das Experimentieren zu Hause in Phase IV anschließen, oder findet - je nach Bedürfnissen der Lehrkraft - im Unterricht statt. Für die Schülerinnen und Schüler ist die Heimarbeit wegen der freien Zeiteinteilung bei der Erstellung der Präsentation für

Phase VI positiv zu sehen. Auf der anderen Seite kann die Lehrkraft innerhalb des Unterrichts stärker regulativ und helfend eingreifen und reduziert so den Umfang der anfallenden Hausaufgaben.

Alle Planungen, Beobachtungen und Ergebnisse werden in dem „Untersuchungsblog“ hochgeladen, sodass die Mitlernenden und auch die Lehrkraft jederzeit die Möglichkeit haben, Kommentare und Hilfestellungen zu den einzelnen Experimenten der jeweiligen Gruppe zu geben (Grell & Rau, 2011). Dies umfasst nicht nur die Ergebnisse, sondern explizit auch den Entstehungsprozess. Über eine Lernplattform wie moodle oder einer Blog-Plattform wie wordpress, in der alle Untersuchungsblogs entsprechend verlinkt werden können, lässt sich ein virtuelles Klassenzimmer generieren. Um die Schülerinnen und Schüler zu entlasten, sie ernst zu nehmen und um Hausaufgabenzeit zu minimieren, dient der Untersuchungsblog als Präsentationsgrundlage, daher muss die jeweilige Lehrkraft eine Gliederungsstruktur (vgl. Absatz „Aufgabengestützte Durchführung“) für den Untersuchungsblog vorgeben.

Phase VI findet im Klassenverband innerhalb des regulären Klassen- oder Physikraumes statt. Die Schülerinnen und Schüler präsentieren anhand ihres Untersuchungsblogs, was sie warum wie gemacht haben und zu welchen Daten, Ergebnissen und Schlussfolgerungen sie bezogen auf die Hypothese kamen. Darüber hinaus sollte jeweils noch kurz diskutiert und Rückfragen der Mitschüler geklärt werden. Dieses gegenseitige Erklären fördert auch den Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler (Rabe & Mikelskis, 2007). Da jeweils zwei Gruppen die gleiche Fragestellung bearbeiten und dadurch ein zumindest ähnliches Experiment erarbeitet haben, gibt es auch die Möglichkeit des Vergleichs. Diese wiederum kann eine kritische Reflexion des Vorgehens erleichtern.

Je nach Schwerpunktsetzung lässt sich auch die Produktorientierung der Schülerinnen und Schüler nutzen. Die Produktorientierung verleitet die Lernenden bei gewöhnlichen Experimenten dazu, zügig Messwerte für das von der Lehrkraft geforderte Protokoll zu produzieren, wobei alles andere untergeordnet wird (Sander, 2000). Bei FELS läge der Fokus eines zu erarbeitenden Produktes aber nicht auf Messwertgenerierung, sondern auf dem im Untersuchungsblog nachvollziehbaren Experimentierplan sowie auf der Präsentation am Ende von FELS. In Anlehnung an Müller, Scharner & Henneberg (2014) könnte das Manko einer Produktorientierung also bei FELS positiv genutzt werden. Für ausführlichere Informationen über FELS und dessen Theoriefundament sei auf Müller et al. (eingereicht) verwiesen.

Im Folgenden ist ein möglicher Unterrichtsverlauf zum Federschwinger unter Angabe der Lernziele tabellarisch skizziert. Dabei sind der Verlauf sowie der Medieneinsatz prototypisch, die Lernziele hingegen stellen eine beispielhafte Auswahl dar (vgl. Abschnitt „Vergleich mit Bildungsstandards der KMK“).

Verlauf	Phase von FELS	Lehrtätigkeit	Schülertätigkeit	Medieneinsatz	Zielsetzung
Stunde 1	I	<ul style="list-style-type: none"> - Macht Sequenz transparent - Zeigt Video einer Frau, die auf einem Gymnastikball wippt - Leitet Brainstorming an, sammelt Antworten, clustert diese und ergänzt ggf. 	<ul style="list-style-type: none"> - Beobachten und hören zu - Sammeln Fragen zu ihren Beobachtungen des Videos 	<ul style="list-style-type: none"> - Sprache beim einführenden Lehrervortrag, der Sammlung sowie der Moderation - Video zur Präsentation des Phänomens - Tafel zur Fixierung der einzelnen Fragestellungen (Smartboard) 	<ul style="list-style-type: none"> - Schülerinnen und Schüler zur Mitarbeit innerhalb der Sequenz motivieren - Schülerinnen und Schüler können ein Phänomen beobachten und physikalische Fragestellungen unter Verwendung von Alltagssprache entwickeln
	II	<ul style="list-style-type: none"> - Vermittelt bzw. wiederholt Definitionen von Periodendauer, Amplitude, Beschleunigung - Stellt passende Apps vor (Vidanalysis free und Phyphox) 	<ul style="list-style-type: none"> - Hören zu und arbeiten mit - Laden sich Apps runter - Recherchieren ggf. selbst weiter im Internet 	<ul style="list-style-type: none"> - Sprache beim Lehrervortrag - Systematisierungen und Nachschlagewerke (Tafelbild der Lehrkraft, Lehrbuch, Smartphone mit Internet) - Notizen (im Hefter, im Smartphone) 	<ul style="list-style-type: none"> - Schülerinnen und Schüler können einen Federschwinger mit Hilfe ihres Smartphones vermessen

Stunde 2	III	<ul style="list-style-type: none"> - Teilt Klasse in 8 Gruppen ein - Teilt Aufgaben aus, je 2 Gruppen erhalten die gleiche Aufgabe - Geht herum, hilft ggf. bei der Aufgabenbearbeitung 	<ul style="list-style-type: none"> - Bearbeiten weitgehend selbstständig die Aufgaben - Formulieren aus einer vorgegebenen Fragestellung (\rightarrow 1. Stunde) eine Hypothese 	<ul style="list-style-type: none"> - Sprache bei der Erarbeitung des Experimentierplans innerhalb der einzelnen Gruppen - (digitales) Aufgabenblatt mit Eingabeaufforderungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Schülerinnen und Schüler können anhand eines Beispiels aus einer Fragestellung eine Hypothese in Form eines physikalischen Zusammenhangs zweier Größen aufstellen und einen Plan zur experimentellen Untersuchung aufstellen.
Hausaufgabe	IV	/	<ul style="list-style-type: none"> - Führen geplantes Experiment durch, z.B. Wippen auf einem Sitzball zur Prüfung der Hypothese „Die Periodendauer nimmt zusammen mit der Amplitude ab“ 	<ul style="list-style-type: none"> - Sprache zur Koordinierung der Aufgabenbewältigung innerhalb der Gruppen - Messapp auf dem Smartphone, z.B. Phyphox zur Messung der physikalischen Größen Zeit und Beschleunigung (hier: als Maß für die Amplitude) Zeit - Untersuchungsblog als einsehbare Mischform aus Lerntagebuch und Protokoll 	<ul style="list-style-type: none"> - Schülerinnen und Schüler können selbstständig ein Experiment durchführen und dokumentieren
	V	<ul style="list-style-type: none"> - Liest Untersuchungsblogs - Gibt Hilfestellung via Kommentar-funktion 	<ul style="list-style-type: none"> - Werten gesammelte Daten aus - Bestätigen bzw. (hier) widerlegen Hypothese - Vervollständigen Untersuchungsblog 	<ul style="list-style-type: none"> - Tabellenkalkulationsprogramm am PC zur feineren Auswertung der auf der App angezeigten Diagramme - Untersuchungsblog (ggf. am am PC) als einsehbare Mischform aus Lerntagebuch und Protokoll 	<ul style="list-style-type: none"> - Schülerinnen und Schüler können ein selbst durchgeführtes Experiment auswerten und ihr Vorgehen dokumentieren. - Schülerinnen und Schüler sind in der Lage, Kritik an ihrem Vorgehen einzuarbeiten.

			- Kommentieren die Untersuchungsblogs der anderen	sowie Kommentierung anderer als Hilfestellung	
Stunde 3	VI	<ul style="list-style-type: none"> - Moderiert Präsentationen der einzelnen Gruppen, indem er die Diskussionen leitet und die Untersuchungsblogs der einzelnen Gruppen evaluiert sowie zu einem Gesamtbild zusammenfasst - Leitet zum nächsten Thema ausblicksartig über 	<ul style="list-style-type: none"> - Präsentieren ihre jeweilige Gruppenarbeit, z.B. die Untersuchung eines Federschwingers am Beispiel eines Sitzballs - Diskutieren den Erkenntnisprozess sowie die Ergebnisse der anderen Gruppen - Geben Ratschläge für Verbesserungen - Hören zu und übernehmen das Tafelbild 	<ul style="list-style-type: none"> - Untersuchungsblog als Präsentationsgrundlage mit PC und Beamer - Tafel (Smartboard) zur Zusammenfassung aller Beiträge - Hefter / Foto mit dem Smartphone zur Sicherung des Tafelbildes - Sprache bei der Präsentation, Diskussion und dem Lehrervortrag 	<ul style="list-style-type: none"> - Schülerinnen und Schüler können eine selbst geplante und durchgeführte Untersuchung präsentieren und ihre Ergebnisse sowie Vorgehensweisen unter Verwendung von Fachsprache diskutieren

(vgl. Müller et al., eingereicht)

Weitere Beispiele

Beschleunigung

Beschleunigung ist eine wichtige physikalische Größe, die in verschiedenen Jahrgängen in verschiedenen Themen immer wieder auftaucht. Entsprechend wichtig ist es, diese Größe auch im Zusammenspiel mit mitbewegten Bezugssystemen zu verstehen. Hierfür können verschiedene Fahrmanöver mit Beschleunigungssensoren vermessen werden. Als Fahrmanöver kommen hierbei Kurvenfahrten sowie Anfahrten und Bremsvorgänge in Frage. Zwei Richtungskomponenten reichen meistens aus, um die im mitbewegtem Bezugssystem „Fahrzeug“ parallel zur Fahrbahn auftretenden Trägheitsbeschleunigungen zu messen. Dies umfasst neben Zentrifugalbeschleunigungen bei Kurvenfahrten (s. Abb. 2) vor allem solche bei Betragsänderungen der Geschwindigkeit. Je nach Fahrzeugtyp, also Auto/Bus, Zug oder Fahrrad, können auch Schaltvorgänge in den Beschleunigungs-Zeitdiagrammen abgebildet werden. Darüber hinaus können Beschleunigungsmessungen auch als Geländeuntersuchungen ausgeweitet werden. Mögliche Fragestellungen wären „Gibt es Absenkungen im Gleisbett?“ oder auch „Wie abschüssig ist die Straße?“. Durch die Ähnlichkeit der Experimente eignet sich dieses Themenfeld besonders zur Einführung von FELS (vgl. Abschnitt „Hinweise“).

a-t-Diagramm einer Kurvenfahrt

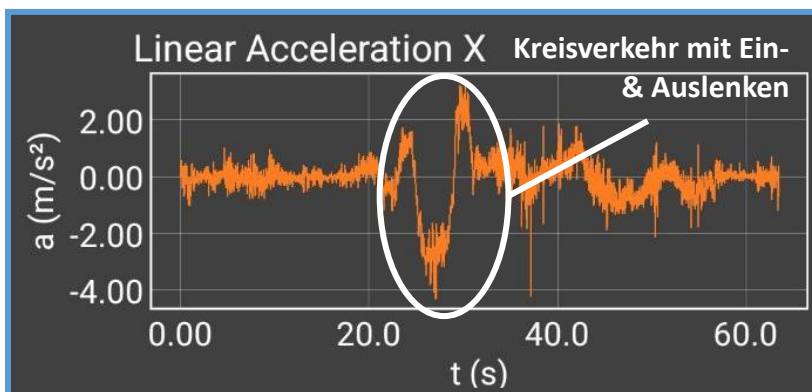


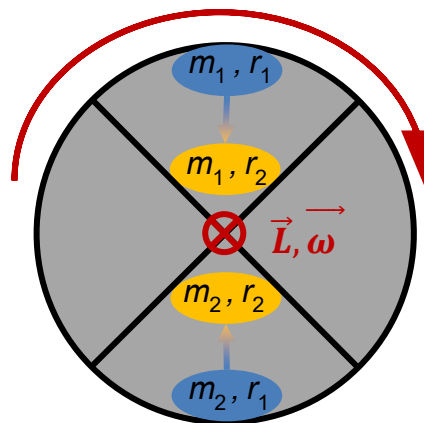
Abb. 2: a-t-Diagramm einer Autofahrt. Als deutliche Peaks sind das Einlenken nach rechts, die Linkskurve im Kreisverkehr sowie das anschließende Auslenken nach rechts zu sehen

Trägheitsmoment und Rotationsgrößen

Rotationsgrößen wie Drehmomente spielen im Alltag eine wichtige Rolle. Auch hier können Smartphones behilflich sein, da diese Winkelgeschwindigkeiten messen können. Insbesondere Spielplätze bieten hier gute Experimentiermöglichkeiten, da sich bspw. auf einem Kinderkarussell verschiedenste Hypothesen experimentell testen lassen. Zudem werden die Experimentatoren direkt Teil des Experiments. Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft mögliche Hypothesen:

Fragestellung	Hypothese	Zu bestimmende Größe
Gibt es physikalische Größen außerhalb spezieller Messapparaturen?	Alltagsobjekte lassen sich mit physikalischen Größen beschreiben.	Trägheitsmoment des Kinderkarussells (s. Abb. 3)

Welche Auswirkung hat das Trägheitsmoment?	Je kleiner das Trägheitsmoment ist, desto leichter lässt es sich bewegen.	Bestimmung der Winkelgeschwindigkeiten & Beobachtung des nötigen Kraftaufwands
--- ---	Je größer das Trägheitsmoment ist, desto länger bleibt die Winkelgeschwindigkeit erhalten	Aufnahme eines Winkelgeschwindigkeits-Zeit-Diagramms
Wovon ist das Trägheitsmoment abhängig?	Das Trägheitsmoment ist abhängig von der Masse und deren Verteilung	Bestimmung der Winkelgeschwindigkeiten & Beobachtung des nötigen Kraftaufwands



$$L_1 = L_2$$

...

$$J_K = \frac{J_{2P}\omega_2 - J_{1P}\omega_1}{\omega_1 - \omega_2} \approx 124 \text{ kg m}^2$$

$$\text{mit } J_{1P} = (m_1 + m_2) r_1^2$$

$$\text{und } J_{2P} = (m_1 + m_2) r_2^2$$

Abb. 3: 2 Experimentierende sind auf einem Karussell und bestimmen durch Messung der Winkelgeschwindigkeiten ω_1 & ω_2 unter Annahme der Drehimpulserhaltung $L_1 = L_2$ sowie Kenntnis ihrer Massen m_1 & m_2 und Abstände zum Zentrum r_1 & r_2 das Trägheitsmoment des Karussells J_K .

Abgleich mit Bildungsstandards bzw. Bildungsempfehlungen der KMK

Unten werden die Bildungsstandards Physik (KMK, 2005) sowie die Bildungsempfehlungen zur Medienkompetenz (KMK, 2016) mit FELS tabellarisch verglichen und aufgezeigt, an welchem Teilaspekt von FELS die entsprechende Kompetenz geübt werden kann. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird auf eine Darstellung der nicht mit FELS vermittelbaren Teilkompetenzen verzichtet.

Physik

Kernkompetenz: Umgang mit Fachwissen

Teilkompetenzen ((KMK, 2005, S. 11)	Implementierung in FELS
F1: „Die Schülerinnen und Schüler verfügen über ein strukturiertes Basiswissen auf der Grundlage der Basiskonzepte“	→ Phase II: Vermittlung von Fachwissen zur Planung und Auswertung der Experimente → Phase VI: Zusammentragen der Erkenntnisse der einzelnen Untersuchungen und strukturierte Erweiterung des Theoriekonstrukts
F2: „Die Schülerinnen und Schüler geben ihre Kenntnisse über physikalische Grundprinzipien, Größenordnungen, Messvorschriften, Naturkonstanten sowie einfache physikalische Gesetze wieder“	→ Phase III: Kommunikation der Lernenden zur Experimentplanung als Anwendung physikalischer Kenntnisse → Phase VI: Vorstellung des Untersuchungsprozesses und der Ergebnisse
F3: „Die Schülerinnen und Schüler nutzen diese Kenntnisse zur Lösung von Aufgaben und Problemen“	→ Phasen III – V: Planung, Durchführung und Auswertung eines Experiments zur Prüfung einer Hypothese
F4: „Die Schülerinnen und Schüler wenden diese Kenntnisse in verschiedenen Kontexten an“	→ Phasen III-V: Experiment mit Planung, Durchführung und Auswertung finden in lebensweltlichen Kontext statt → Phase VI: Präsentationen und Diskussion der jeweiligen Gruppenarbeit (Gruppen haben freie Kontextwahl)

Kernkompetenz: Kommunikation

Teilkompetenzen (KMK, 2005, S. 11)	Implementierung in FELS
K1: „Die Schülerinnen und Schüler tauschen sich über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen unter angemessener Verwendung der Fachsprache und fachtypischer Darstellungen aus“	→ Phase III bis V: innerhalb der Gruppenarbeit bei der Erarbeitung, Durchführung und Auswertung des Experiments → Phase V: Erstellung und Nutzung des Untersuchungsblogs als Kommunikationsmedium → Phase VI: Präsentation und Diskussion über Vorgehen und Ergebnisse sowie strukturierte Erweiterung des Theoriekonstrukts durch Zusammentragung der einzelnen Gruppen
K3: „Die Schülerinnen und Schüler recherchieren in unterschiedlichen Quellen“	→ Phase III: Nutzung von Literatur und andere Quellen zur Erstellung des Untersuchungsplans

	→ Phase V: Abgleich der Ergebnisse mit Literaturwerten
K4: „Die Schülerinnen und Schüler beschreiben den Aufbau einfacher technischer Geräte und deren Wirkungsweise“	→ Phase III: Erarbeitung des Experiments auf Grundlage der Kenntnis von Sensoren in Gruppen → Phase V: Aufbereitung der Vorgehensweise inklusive Sensornutzung im Untersuchungsblog → Phase VI: Präsentation der Vorgehensweise inklusive Sensornutzung
K5: „Die Schülerinnen und Schüler dokumentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit“	→ Phase V: Erstellung des Untersuchungsblogs
K6: „Die Schülerinnen und Schüler präsentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit adressatengerecht“	→ Phase VI: Ergebnispräsentation vor eigener Klasse
K7: „Die Schülerinnen und Schüler diskutieren Arbeitsergebnisse und Sachverhalte unter physikalischen Gesichtspunkten“	→ Phase VI: Diskussion des Vorgehens und der Ergebnisse mit Klasse

Kernkompetenz: Bewertung

Teilkompetenzen (KMK, 2005, S.12)	Implementierung in FELS
B1: „Die Schülerinnen und Schüler zeigen an einfachen Beispielen die Chancen und Grenzen physikalischer Sichtweisen bei inner- und außerfachlichen Kontexten auf“	→ Phase VI: Reflexion und Diskussion der Ergebnisse
B3: „Die Schülerinnen und Schüler nutzen physikalisches Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen bei Experimenten, im Alltag und bei modernen Technologien“	→ Ggf. bei entsprechendem Fokus der Lehrkraft

Kernkompetenz: Erkenntnisgewinnung

Alle Standards aus dem Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (KMK, 2005, S. 11) werden durch FELS geübt, da im Sinne des forschend-entdeckenden Lernen Experimente von den Schülerinnen und Schülern unter Anleitung selbst geplant, durchgeführt, ausgewertet, dokumentiert und vorgestellt werden.

Medienkompetenz

Kompetenzbereich: Suchen, Verarbeiten und Aufbewahren

Teilkompetenz	Implementierung in FELS
1.2.1. „Informationen und Daten analysieren, interpretieren und kritisch bewerten“	→ Phase IV - V: Datenanalyse und Interpretation bezüglich des Experiments

	→ Phase VI: Bewertung der Messergebnisse in Diskussion; Erleichterung der Interpretation durch Kenntnisse der Sensortechnik → ABER: keine traditionelle Quellenkritik
1.3.1. „Informationen und Daten sicher speichern, wiederfinden und von verschiedenen Orten abrufen“	→ Phase IV - VI: Verwendung verschiedener Hardware (Smartphone, PC, Smartboard) während Durchführung, Auswertung und Präsentation
1.3.2. „Informationen und Daten zusammenfassen, organisieren und strukturiert aufbewahren“	→ Phase V: Auswertung der Daten und Erstellung des Untersuchungsblogs

Kompetenzbereich: Kommunizieren und Kooperieren

Teilkompetenz	Implementierung in FELS
2.1.1. „Mit Hilfe verschiedener digitaler Kommunikationsmöglichkeiten kommunizieren“	→ Phase V: Kommentierungen der Untersuchungsblogs
2.2.1. „Dateien, Informationen und Links teilen“	→ Phase V: Teilen der Messergebnisse zur gemeinsamen Auswertung in der Gruppe sowie Veröffentlichung der Messergebnisse und deren Interpretation im Untersuchungsblog
2.3.1. „Digitale Werkzeuge für die Zusammenarbeit bei der Zusammenführung von Informationen, Daten und Ressourcen nutzen“	→ Phase V: Nutzung von eMails zum Datenaustausch innerhalb der Gruppe, Tabellenkalkulationen zur Datenauswertung mehrerer Messreihen und Erstellung des Untersuchungsblogs
2.4.1. „Verhaltensregeln bei digitaler Interaktion und Kooperation kennen und anwenden“	→ Phase V: Kommunikationsregeln bei der Kommentierung anderer Untersuchungsblogs

Kompetenzbereich: Produzieren und Präsentieren

Teilkompetenz	Implementierung in FELS
3.2.1. „Inhalte in verschiedenen Formaten bearbeiten, zusammenführen und präsentieren“	→ Phase V: Zusammenführung und Auswertung digitaler Messdaten in Tabellenkalkulation sowie Protokollierung im Untersuchungsblog → Phase VI: Präsentation des Untersuchungsblogs
3.2.2. „Informationen, Inhalte und vorhandene digitale Produkte weiterverarbeiten und in bestehendes Wissen integrieren“	→ Phase VI: Zusammenführung und Vernetzung der Untersuchungsblogs verschiedener Gruppen in Diskussion und Evaluation des Themas
3.1.2. „Eine Produktion planen und in verschiedenen Formaten gestalten, präsentieren, veröffentlichen oder teilen“	→ Phase III bis VI: Planung (teilweise durch Lehrkraft), Gestaltung und Veröffentlichung des Untersuchungsblog → Phase IV & V: Formatvariabilität durch Variabilität der Datenaufnahme und –verarbeitung in verschiedenen Repräsentationsformen (z.B. Gleichungen, Graphen)

Kompetenzbereich: Problemlösen und Handeln

Teilkompetenz	Implementierung in FELS
5.2.1. „Eine Vielzahl von digitalen Werkzeugen kennen und kreativ anwenden“	→ Phase III: Planung der Verwendung digitaler Werkzeuge beim Experimentieren und Auswerten → Phase IV & V: Durchführung und Auswertung der Experimente
5.2.2. „Anforderungen an digitale Werkzeuge formulieren“	→ Phase III: Planung der Verwendung digitaler Werkzeuge beim Experimentieren und Auswerten → Phase V: Begründung des Vorgehens bei der Untersuchung und Erstellung helfender Kommentare für andere Gruppen → Phase VI: Darlegung der Überlegungen in der Präsentation
5.2.3. „Passende Werkzeuge zur Lösung identifizieren“	→ Phase II: je nach Kenntnisstand
5.4.2. „Persönliches System von vernetzten digitalen Lernressourcen selbst organisieren können“	→ Phase IV – VI: Bedienung verschiedener digitaler Werkzeuge auf unterschiedlichen Endgeräten → Phase V: Transferierung der Daten in den Untersuchungsblog → Phase IV & V: Selbstorganisation des Netzwerks bedingt durch außerunterrichtliche Lernumgebung
5.5.1. „Funktionsweisen und grundlegende Prinzipien der digitalen Welt kennen und verstehen.“	in Abhängigkeit von Kenntnisstand der Lernenden und Zielen der Lehrkraft: → Phase II: Kennen und Verstehen von zu nutzenden Sensoren und Apps → Phase III: siehe oben; implizit hilfreich bei Erstellung des Untersuchungsplans
5.5.3. „Eine strukturierte, algorithmische Sequenz zur Lösung eines Problems planen und verwenden“	→ implizit: Betrachtung der Vorgehensweise bei FELS (Experimentierkreislauf) als strukturierter Algorithmus zur Problemlösung

Kompetenzbereich „Analysieren und Reflektieren“

Teilkompetenz	Implementierung in FELS
6.2.6. „Potenziale der Digitalisierung im Sinne sozialer Integration und sozialer Teilhabe erkennen, analysieren und reflektieren“	→ Phase V & VI (implizit): Tipps als Kommentare im Untersuchungsblog können Qualität der Untersuchungen und Präsentationsleistung (→ Unterrichtsqualität) erhöhen; Bewusstmachung obliegt Lehrkraft

(vgl. Müller et al., eingereicht)

Aufgabengestützte Durchführung

Im Folgenden sind Beispielaufgaben für die zweite Unterrichtseinheit von FELS sowie die Hausaufgabe aufgelistet. Diese Aufgaben sind inhaltlich an das jeweilige Phänomen und sprachlich an die jeweilige Klassenstufe anzupassen. Je nach dem gewähltem Lernziel, d.h. der konkret zu übenden Kompetenz, können einige der Aufgaben durch Vorgaben der Lehrkraft ersetzt werden (s. Abschnitt „Hinweise“).

Planung der Untersuchung

- *Fragestellung*
 - Zu Beginn der Unterrichtsreihe wurde euch ein Phänomen oder Sachverhalt gezeigt. Notiert, welcher Idee oder Frage ihr dazu nachgehen werdet.
- *Bekanntes*
 - Schreibt auf, was ihr bereits über das gezeigte Phänomen im Internet oder in Büchern recherchiert habt bzw. was ihr aus dem Unterricht darüber wisst.
- *Unbekanntes*
 - Schreibt auf, was euch, bezogen auf eure Anfangsidee, noch nicht über das Phänomen oder den Sachverhalt bekannt ist.
- *Hypothese*
 - Formuliert eine Behauptung aus dem, was ihr bei „Unbekanntes“ aufgeschrieben habt, in dem ihr physikalische Zusammenhänge formuliert. Diese Art der Behauptung über etwas Unbekanntem nennt man Hypothese. Notiert eure Hypothese.
- *Experimentierplanung*
 - Eure aufgestellte Hypothese werdet ihr außerhalb der Schule in einem Experiment testen. Wie muss das Experiment gestaltet sein? Welche physikalischen Größen benötigt ihr, um die Hypothese zu bestätigen oder zu widerlegen? Wie kann man diese (mit welchen Sensoren im Smartphone) messen? Dokumentiert eure Überlegungen und Ergebnisse.

Durchführung des Experiments

- *Messen*
 - Führt euer Experiment gemäß eurer Planung mit deinen Gruppenmitgliedern durch. Könnt ihr mit den Daten etwas anfangen? Wenn sie merkwürdig aussehen, messt noch einmal und macht zusätzlich ein Video der Messung. Damit könnt ihr mögliche Messfehler besser auswerten und Mitschüler einfacher um Rat fragen.
- *Beobachtungen*
 - Wenn ihr euer Experiment durchführt, müsst ihr aufmerksam beobachten, was passiert. Notiert eure Beobachtungen (und Körperwahrnehmungen vom Experimentieren). Um das Experiment später besser auswerten zu können, könnt ihr zusätzlich auch ein Foto des Aufbaus oder ein Video von der Durchführung machen.

Aufbereitung der Daten

- *Entdeckung*
 - Nach dem Messen habt ihr euch die Daten in Diagrammen angesehen. Wie sah der Graph aus oder welchen funktionalen Zusammenhang konntet ihr ableiten? Welche Schlussfolgerungen aus euren Daten könnt ihr aus euren Beobachtungen ziehen? Notiert eure Überlegungen.
- *Ergebnis*
 - Schreibt mit Hilfe eurer Überlegungen zu "Entdeckung", ob eure Hypothese richtig oder falsch ist. Begründet.

Untersuchung reflektieren

- *Gelungenes*
 - Notiert, was bei eurer Untersuchung besonders gut funktionierte oder euch geholfen hat, wie bereitgestellte Materialien oder euer Arbeitswille.
- *Hürden*
 - Schreibt auf, welche Schwierigkeiten ihr beim Experimentieren und Auswerten hattet. Habt ihr eure Planung an konkrete Erfordernisse angepasst? Begründet.
- *Ich habe gelernt, ...*
 - Hier schreibt ihr auf, was ihr gelernt habt. Dabei könnt ihr euch entweder auf Inhalte und Methoden der Physik oder auf eure "Aha-Momente" bzw. für euch interessante Gedanken beziehen, die ihr beim und rund um das Experimentieren hattet.

Hinweise

Möglich gemacht wird ein solches Lernszenario durch eine Smartphoneverbreitungsrate von über 90 % (Feierabend et al., 2016). Zwar besitzt nicht jeder Lernende ein eigenes Smartphone, aber auch normale Schülerexperimente im Regelunterricht werden zu zweit oder dritt durchgeführt. Bei diesen überschaubaren Gruppenstärken hat zumindest jede Gruppe ein Smartphone.

Mittlerweile gibt es auch genügend kostenfreie Apps, die unter beiden großen Betriebssystemen laufen und so die Nutzung eines BOYD-Prinzips erleichtern. Als ein Beispiel ist phyphox (s. den Beitrag zu phyphox) zu nennen. Mit phyphox lassen sich unter anderem Sensoren auslesen, Standardexperimente durchführen, eigene Experimente erstellen und die Daten auf den PC exportieren. Um Konnektivitätsprobleme weitestgehend zu umgehen, eignet sich die Verwendung einer Lernplattform wie moodle oder eines Blog-Formats wie wordpress. Für beide Lösungen gibt es entsprechende Apps. Außerdem sind diese online-Lösungen vom Browser aus nutzbar, sodass diese Plattformen dem Austausch dienen und für eine Präsentation auf einem Smartboard vom angeschlossenen PC online

abgerufen werden können. Hierdurch lässt sich auch ein virtuelles Klassenzimmer ohne komplexe Konnektivitätsprobleme anlegen.

Die Themen sollten nach Möglichkeit so angelegt sein, dass die Lernenden nicht nur als Experimentatoren das Experiment überwachen, sondern selbst Teil davon werden. Dies ermöglicht die Dateninterpretation und die Beantwortung weiterführender Fragen mit Hilfe der Körperwahrnehmungen der Lernenden während des Experimentierens.

Es ist weiterhin zu beachten, dass eine Klasse erst langsam an offenere Unterrichtsform gewöhnt werden muss. Eine völlige Öffnung ohne vorheriges Üben kann die Schülerinnen und Schüler überfordern und ist nicht zu empfehlen. Besser ist ein langsames, stetiges Öffnen, wo die Vorgaben der Lehrkraft nach und nach Aufgaben für die Schülerinnen und Schüler weichen. Zur Gewöhnung an das selbstständige Arbeiten im Rahmen dieses Lernzyklus sollten die einzelnen Punkte auch unter Vorgabe der Lehrkraft strukturell vorhanden sein.

Zur Eingewöhnung in diese Methode kann die Lehrkraft auch eine Hypothese mit den Schülerinnen und Schülern erarbeiten. Die (möglicherweise angeleiteten) Experimente können dann von den Lernenden selbstständig zu Hause bearbeitet werden. Als Beispiel sei hier auf die im Abschnitt „weitere Beispiele“ skizzierten Experimente zur Beschleunigung verwiesen. Wichtig ist, dass nicht nur einzelne Schülerinnen und Schüler ihre Untersuchungen kurz darlegen, sondern dass im Rahmen einer Diskussion (z.B. mit think-pair-share) oder eines Klassengesprächs Verständnisfragen geklärt und weitergehende Fragen erörtert werden, um alle Lernenden ernst zu nehmen und in den Unterricht mit einzubeziehen. Grundlage kann ein Lerntagebuch bieten, welches nicht als „richtig-falsch“ bewertet wird, sondern mit hilfreichen Kommentaren und Verbesserungsmöglichkeiten als Lernanregungen versehen werden sollte. Ein solches Lerntagebuch kann im einfachsten Fall durch eine Aneinanderreihung von Untersuchungsblogs und im besten Fall durch ein e-Portfolio realisiert werden.

Erste Erfahrungen

Die Durchführung solcher Experimente macht den Lernenden Spaß. Es werden größtenteils lieber eigene als Leihgeräte verwendet. Rückfragen der Lehrkraft in den Blogs werden zügig eingearbeitet bzw. um diese ergänzt. Kommentare der Lernenden zeigten, dass Körperwahrnehmungen als Interpretationshilfe der Messdaten genutzt werden, was einen weiteren Zugang zur Physik darstellt.

Literatur

- OECD, 2016. PISA 2015 Ergebnisse im Fokus. https://www.oecd.org/berlin/themen/pisa-studie/PISA_2015_Zusammenfassung.pdf
- S. Feierabend, T. Plankenhorn und T. Rathgeb (2016). JIM 2016. Jugend, Information, (Multi-) Media. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland. Herausgegeben vom Medienpädagogischen Forschungsverbund Südwest. https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf.
- U. Frischknecht-Tobler und P. Labudde (2010). Beobachten und Experimentieren. In: Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1. – 9. Schuljahr, hrsg. v. Peter Labudde. S. 133 – 148. Bern: Haupt.
- P. Grell und F. Rau (2011). Partizipationslücken – Social Software in der Hochschullehre. MedienPädagogik Themenheft Nr. 21, Online publiziert: 21. November 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.21240/mpaed/21/2011.11.21.X>
- L. Kasper, A. Müller and P. Vogt, 2014. Smartphone Physics: Neue Experimente und Fragestellungen rund um das Messwerterfassungssystem Smartphone, phydid B, 12 <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/viewFile/546/693>.
- J. Kuhn, F. Theilmann und P. Vogt (2016). Going nuts. Measuring free-fall acceleration by analyzing the sound of falling metal pieces. The Physics Teacher, 3(54). S. 182 – 183. doi: <http://dx.doi.org/10.1119/1.4942145>.
- S. Lück und T. Wilhelm (2011). Beschleunigungspfeile mit dem iPhone. PdN PHYSIK in der Schule. 7(60). S. 27 – 29.
- J. Müller, U. Magdans und A. Borowski (2016). Der Einsatz von Smartphones und Tablet-PCs in Physiklehramts- und Schüler_innenpraktika. In: Lehrende arbeiten mit dem Netz, hrsg. v. Akin-Hecke, Meral, Andraschko, Monika, Eiselmaier, Peter u. Röhler, David. S. 228- 231. Wien: Werde Digital.at & Education Group.
- J. Müller, U. Magdans und A. Borowski (eingereicht). FELS (Forschend-Entdeckendes Lernen mit dem Smartphone). MedienPädagogik (31).
- J. Müller, R. Scharner und O. Henneberg (2014). LabVIEW im Informatik- und Physikunterricht. PdN Physik in der Schule 5(63): 36 – 39.
- T. Rabe und H. F. Mikelskis (2007). Kohärenzbildungshilfen und Selbsterklärungen: Fördern sie das Physiklernen?. ZfDN 13 (2007): 33 – 52. http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/002Rabe_13.pdf.
- F. Sander (2000). Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum. Berlin: Logo.
- S. Streller (2013): PROFILES in der Lehramtsausbildung. In: Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen, hrsg. v. Sascha Bernholt. S.194 - 196. Kiel: IPN-Verlag.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2005). Strategie der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004..

http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf

- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2016). Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildung in der digitalen Welt. Beschluss vom 08.12.2016..
https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2016/Bildung_digitale_Welt_Webversion.pdf

3.5.5 phyphox – Physical Phone Experiments

Dr. Sebastian Staacks, RWTH Aachen University

phyphox – Physical Phone Experiments

Dr. Sebastian Staacks, RWTH Aachen University

Beitrag zum Expertentreffen „Sensorgestütztes Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht“ auf dem 109. MNU Bundeskongress in Garching bei München

Die an der RWTH Aachen University entwickelte und im September 2016 veröffentlichte App „phyphox“ ermöglicht es Schülerinnen und Schülern, die Sensoren in Smartphones für Physikexperimente zu verwenden. Für den Einsatz einer solchen App in Schulen ist es erforderlich, dass sie kostenfrei und werbefrei ist und dass Sie ohne eine aktive Internetanbindung genutzt werden kann. Hinzu kommt, dass bei der Entwicklung von phyphox Wert darauf gelegt wurde, dass die App auf den beiden am weitesten verbreiteten Systemen, Android und iOS, den gleichen Funktionsumfang (soweit technisch möglich) mit möglichst gleicher Benutzeroberfläche (im Rahmen der systemüblichen Designvorgaben) bietet, so dass den Schülerinnen und Schülern die Bedienung einheitlich erklärt werden kann.

Neben der einfachen Aufzeichnung von Sensordaten bietet phyphox viele Funktionen, die die App von vergleichbaren Angeboten abhebt. So ist es beispielsweise leicht möglich, die Messung von einem zweiten Gerät aus zu überwachen und zu steuern. Diese „Fernzugriff“ genannte Funktion wurde im Rahmen des Expertentreffens anhand des Experiments „Zentripetalbeschleunigung“ demonstriert. Das Smartphone ist dazu in der Lage, die Zentripetalbeschleunigung direkt über den Beschleunigungssensor zu messen und dies als Funktion der Winkelgeschwindigkeit darzustellen, welche über das Gyroskop (bzw. treffender dem „Drehratensensor“) erfasst werden kann. Phyphox übernimmt nicht nur die zugehörige Darstellung, sondern es ist auch möglich, auf einem zweiten Gerät (Notebook, Tablet oder zweites Smartphone beispielsweise eines anderen



Abbildung 1:
Die App "phyphox".

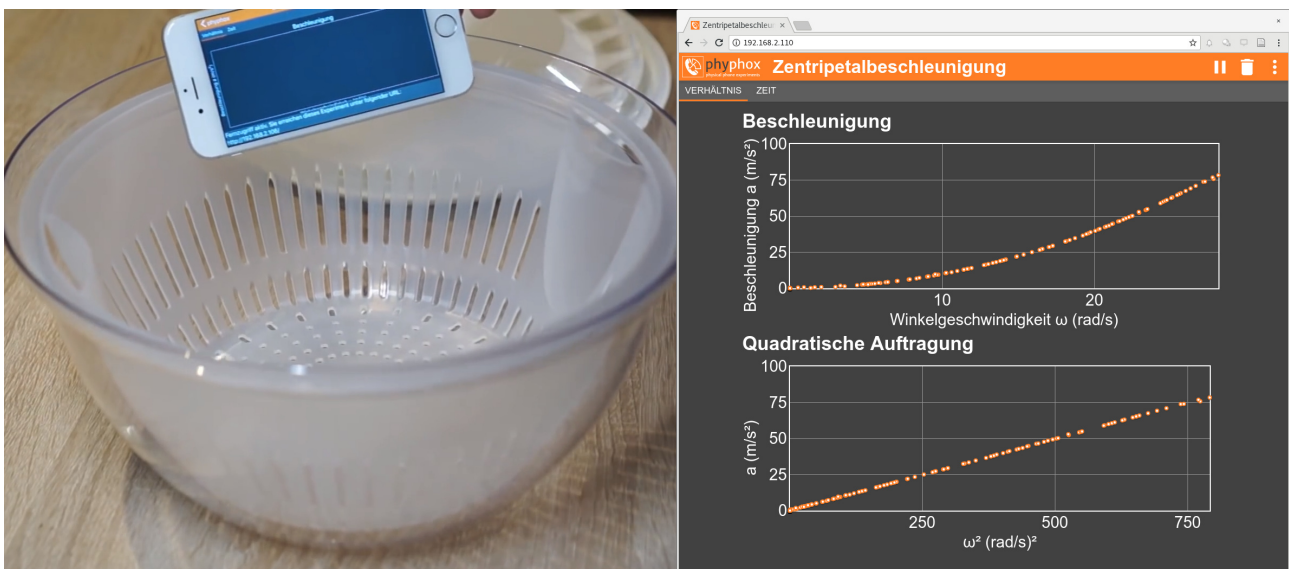


Abbildung 2: Das Smartphone wird in einer Salatschleuder rotiert (link), während in einem Webbrowser die Messwerte auf einem zweiten Gerät überwacht werden können.

Schülers) die Entstehung der Messwerte zu verfolgen. Es wird für die Schülerinnen und Schüler direkt nachvollziehbar, wie hohe Drehgeschwindigkeiten Datenpunkte mit hoher Winkel-geschwindigkeit erzeugen und sie können gezielt langsamer drehen, um fehlende Datenpunkte zu ergänzen.

Hierbei ist auch die Darstellung der Beschleunigung als Funktion der Winkel-geschwindigkeit statt einer separaten Auftragung beider Größen gegen die Zeit eine besondere Funktion von phyphox. Die App bietet eine ganze Sammlung vorgefertigter Konfigurationen an, die das direkte Ausführen bestimmter Experimente ermöglicht, welche auf <http://phyphox.org> dokumentiert und in vielen Fällen in Videoanleitungen beschrieben werden. Diese Konfigurationen können zudem von Nutzern mittels eines Editors auf der Webseite editiert und so auf eigene Ideen oder spezielle Lehrsituationen angepasst werden.

Als Beispiel für die Möglichkeiten einer Datenauswertung direkt im Gerät wurde auf dem Bundeskongress vor allem die „akustische Stoppuhr“ vorgestellt. Diese Konfiguration dient als Werkzeug, welches es ermöglicht, die Zeit zwischen zwei akustischen Ereignissen zu messen. Da das Mikrophon in Smartphones typischerweise mit einer Rate von 48.000 Hz arbeitet, ist es dabei problemlos möglich, Schallereignisse auf Millisekunden genau zu vermessen. Hierzu wurde ein Experiment zum freien Fall vorgestellt, bei welchem ein Gewicht an einem Luftballon befestigt ist, welcher wiederum in eine Drahtschleufe gehängt wird. Lässt man den Ballon platzen, erzeugt dieser ein Startgeräusch, mit welchem (nahezu) simultan der Fall des Gewichts beginnt. Der Aufprall des Gewichts auf dem Boden (bzw. einer Metallplatte zum Schutz des Bodens und zu Verstärkung des Geräuschs) erzeugt das Stoppsignal. Die Messung ist empfindlich genug, dass die Platzierung des Smartphones und die Gangunterschiede des Schalls aufgrund der Schallgeschwindigkeit einen Einfluss auf das Ergebnis haben. Tatsächlich kann mit diesem Werkzeug auch sehr anschaulich die Schallgeschwindigkeit bestimmt werden, wozu eine genauere Anleitung auf <http://phyphox.org> zu finden ist.

Über die bereits verfügbaren Funktionen von phyphox hinaus wurden zudem zukünftige Entwicklungen im Rahmen des Expertentreffens vorgestellt. Neben einer einfacheren Übertragung der von Nutzern erstellten Experimentkonfigurationen mittels QR-Codes, ist dies vor allem die Möglichkeit, externe Sensoren mittels Bluetooth Low Energy (BLE) einzubinden. Dies wird es ermöglichen, sowohl alltägliche Geräte (beispielhaft wurde eine Computermaus gezeigt) als auch dedizierte Sensorboxen (hier wurde der Texas Instruments Sensor Tag CC2650 verwendet) als Datenquellen zu nutzen. Die Funktion wird derart in das Konfigurationssystem eingebunden, dass (gewisse IT-Kenntnisse vorausgesetzt) nicht nur bereits von phyphox unterstützte Geräte, sondern auch vollkommen neue Sensoren über den Editor auf der Webseite des Projekts nutzbar gemacht werden können. Die Hoffnung ist, dass sich ein Netzwerk aus Lehrkräften bildet, die sich gegenseitig Konfigurationen zu günstigen oder bereits vorhandenen Geräten zur Verfügung stellen.

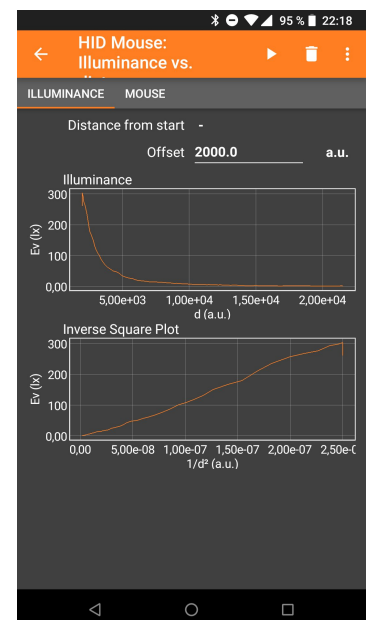


Abbildung 3: Die Intensität am Lichtsensor des Smartphones wird gegen die Entfernung einer Lichtquelle aufgetragen, die mit einer Bluetooth Low Energy Maus ermittelt wird.