

**Digitale Kompetenzen beim Experimentieren fördern:  
Ortsfaktorbestimmung mit verschiedenen Sensoren im Physikunterricht**

**Thomas Frank\*, Lars-Jochen Thoms<sup>+</sup>**

\*Otto-von-Taube-Gymnasium Gauting, <sup>+</sup>Ludwig-Maximilians-Universität München  
[thomas.frank@ovtg.gauting.de](mailto:thomas.frank@ovtg.gauting.de), [l.thoms@lmu.de](mailto:l.thoms@lmu.de)

**Kurzfassung**

Die KMK-Strategie zur Bildung in der digitalen Welt verlangt von allen Lehrkräften, die digitalen Kompetenzen ihrer Schülerinnen und Schülern im Fachunterricht zu fördern. Als ein mögliches Beispiel für die Förderung digitaler Kompetenzen im Physikunterricht wurde eine projektorientierte Unterrichtseinheit zur Bestimmung des Ortsfaktors durch Messungen der Schwingungsdauer unterschiedlicher Fadenpendel mit verschiedenen Sensoren und Messmethoden entwickelt. Neben fachspezifischen Kompetenzen werden auch allgemeinere digitale Kompetenzen geschult, indem die Lernenden durch die gemeinsame Arbeit in Forscherteams zur digital gestützten Kommunikation und Kollaboration motiviert und angeleitet werden. Ihr Vorgehen und ihre Messungen dokumentieren die Schülerinnen und Schüler digital, präsentieren ihre Ergebnisse im Anschluss und verteidigen ihr Vorgehen spielerisch im Rahmen eines Wissenschaftskongresses. In diesem Beitrag werden das Projekt und damit verbundene Möglichkeiten des fachlich orientierten Erwerbs digitaler Kompetenzen im Unterricht vorgestellt.

**1. Einleitung**

Mit der Veröffentlichung der Strategie der Kultusministerkonferenz für eine „Bildung in der digitalen Welt“ (KMK, 2016) haben sich die Rahmenbedingungen des Einsatzes digitaler Medien im Unterricht grundlegend geändert. Die Medienerziehung und Medienbildung der Schülerinnen und Schüler sind nun wesentliche Bestandteile des Bildungs- und Erziehungsauftrags der Schule (KMK, 2016, S. 10): *„Der Bildungs- und Erziehungsauftrag der Schule besteht im Kern darin, Schülerinnen und Schüler angemessen auf das Leben in der derzeitigen und künftigen Gesellschaft vorzubereiten und sie zu einer aktiven und verantwortlichen Teilhabe am kulturellen, gesellschaftlichen, politischen, beruflichen und wirtschaftlichen Leben zu befähigen.“*

Entsprechend formuliert die KMK auch, was Schulen und Universitäten leisten müssen, um diesem Bildungsauftrag gerecht zu werden (KMK, 2016, S. 25): *„Konkret heißt dies, dass Lehrkräfte digitale Medien in ihrem jeweiligen Fachunterricht professionell und didaktisch sinnvoll nutzen sowie gemäß dem Bildungs- und Erziehungsauftrag inhaltlich reflektieren können.“*

Dieser Erziehungsauftrag soll im schulischen Kontext also nicht in einem eigens dafür eingerichteten Fach, sondern direkt im jeweiligen Fachunterricht umgesetzt werden. Damit dies gelingen kann müssen alle Lehrkräfte *„selbst über allgemeine Medienkompetenz verfügen und in ihren fachlichen Zuständigkeiten zugleich ‚Medienexperten‘ werden“* (KMK, 2016, S. 24f).

*„Daher ist in der fachspezifischen Lehrerbildung für alle Lehrämter die Entwicklung entsprechender Kompetenzen verbindlich festzulegen“* (KMK, 2016, S. 25).

Dies ist eine zentrale Aufgabe der Universitäten und Studienseminare bei der Ausbildung zukünftiger Lehrerinnen und Lehrer. Praktizierende Lehrkräfte können ebenfalls dazu verpflichtet sein, sich über länderspezifische Fortbildungsangebote diese Kompetenzen anzueignen und in ständiger Selbstreflexion immer wieder zu vertiefen. Für den jeweiligen Fachunterricht heißt dies, dass dort digitale Medien reflektiert und in fachdidaktische Konzepte eingebunden genutzt werden sollen.

Daher müssen in einem modernen Unterricht der Schülerschaft neben fachspezifischen Kompetenzen auch allgemeine digitale Kompetenzen vermittelt werden. Dabei ist das Nebeneinander oder besser Ineinander von Fachmethodik und digitaler Arbeitsweise zu betonen. Dies ist eine große und spannende Herausforderung und zugleich zentrales Element der Unterrichtsentwicklung.

In diesem Beitrag wird eine projektorientierte Unterrichtssequenz über vier Unterrichtsstunden präsentiert, in der anhand der Ortsfaktorbestimmung mit einem Fadenpendel unter dem Einsatz verschiedener digitaler Messmethoden diese Forderungen beispielhaft umgesetzt werden. Dabei werden neben den zugrundeliegenden (digitalen) Fachkompetenzen auch allgemeine digitale Basiskompetenzen vermittelt.

## 2. Methoden

Es wurde eine digital-kompetenz-orientierte Unterrichtseinheit zur Messwerterfassung mit Fokus auf die in der KMK-Strategie formulierten digitalen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler (KMK, 2016) entwickelt. Dabei wurden ergänzend auch fachspezifische digitale Kompetenzen adressiert. Da die KMK-Strategie keine konkreten physikbezogenen digitalen Kompetenzen formuliert, wurde auf die Kompetenzdefinitionen im Orientierungsrahmen für die digitalen Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN, Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020; vgl. Abb. 1) zurückgegriffen. Dieser Orientierungsrahmen beschreibt zwar die Basiskompetenzen, die von allen angehenden Lehrkräften mit naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern zum Ende der universitären Lehrkräftebildung erworben sein sollten und richtet sich nicht an Schülerinnen und Schüler. Dennoch bietet er insbesondere im Kompetenzbereich *Messwert- und Datenerfassung* eine gut geeignete Übersicht fachspezifischer digitaler Kompetenzen, die auch Schülerinnen und Schülern im Physikunterricht erwerben sollten. Insbesondere, weil diese Kompetenzbereiche typische naturwissenschaftliche Arbeitsweisen abbilden (Thyssen et al., 2020).

In dieser projektorientierten Sequenz werden die Schülerinnen und Schüler in vier Gruppen eingeteilt, wobei jede mit einer eigenen digitalen Messmethode prinzipiell den gleichen Versuch durchführt. Fachlich beheimatet ist diese bei der Bestimmung des Ortsfaktors mit Hilfe eines Fadenpendels. Dieses Thema eignet sich besonders gut für eine vertiefte Auseinandersetzung mit Vor- und Nachteilen verschiedener Messmethoden, weil sich die Schwingungsdauer nicht direkt messen lässt, sondern indirekt durch Messung anderer physikalischer Größen und nachfolgender Berechnungen bestimmt werden muss. Beispielsweise kann die Position des schwingenden Pendelkörpers beobachtet werden und Nulldurchgänge mit einer Stoppuhr, einer Lichtschranke oder einem Ultraschall-Abstandssensor registriert werden. Mithilfe eines am Aufhängepunkt befestigten Drehgebers kann aber auch der Winkel zwischen dem ausgelenkten Faden und der Nulllage des Fadens gemessen und im zeitlichen Verlauf der Schwingung aufgezeichnet werden.

Jede Gruppe soll dabei zwei Projektaufgaben erfüllen:

- a) den Ortsfaktor  $g$  möglichst exakt bestimmen,
- b) ihre eigene Messmethode auf einer gespielten „Science-Konferenz“ als die beste der behandelten Methoden darstellen.

Die erste Projektaufgabe soll eine intensive Auseinandersetzung mit dem eigenen Vorgehen und eine Optimierung der durchgeführten Messmethoden fördern. Der Begriff *Ortsfaktor* wird hier gegenüber dem Begriff *Erdbeschleunigung* bevorzugt, um die Ortsabhängigkeit der Erdbeschleunigung und die

damit verbundene Bedeutung eigener Messungen herauszustellen.

Die zweite Projektaufgabe hat mehrere methodisch-didaktische Ziele. Erstens sollen die Lernenden ihre Präsentations- und Kommunikations-/Kollaborations-Kompetenzen ausbauen – insbesondere auch im digitalen Bereich. Zweitens soll der gamifizierte Wettbewerb, gerade die eigene Messmethode als die beste herauszustellen (unabhängig von einer objektiven Betrachtung der Qualität der Ergebnisse!), die Schülerinnen und Schüler zu einer vertieften Auseinandersetzung mit der Thematik motivieren – auch bei geringerem eigenen Fachinteresse. Drittens lassen sich über die Projektphasen hinweg verschiedenen Gruppenmitgliedern unterschiedliche Aufgaben zuweisen, so dass eine aktive Beteiligung aller Schülerinnen und Schüler in der Gruppenarbeitsphase forciert wird.

## 3. Ergebnisse

Die entwickelte Unterrichtssequenz ist auf vier Unterrichtsstunden ausgelegt und bietet sich am Ende der Sekundarstufe 1 an. Im Folgenden wird zunächst die Unterrichtssequenz kurz beschrieben. Eine ausführliche Darstellung findet sich bei Thoms et al. (2020). Anschließend werden erste Erfahrungen aus der probeweisen Durchführung des Projektes mit Schülerinnen und Schülern zweier zehnter Klassen des Otto-von-Taube-Gymnasiums Gauting berichtet.

### 3.1. Unterrichtseinheit

Wie in der Einleitung beschrieben, sollen innerhalb der Sequenz sowohl digitale Kompetenzen als auch fachmethodische Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler gefördert werden. Bei den digitalen Kompetenzen stehen vor allem drei Kompetenzbereiche im Vordergrund (vgl. KMK, 2016):

- Kommunizieren und Kooperieren
- Produzieren und Präsentieren
- Problemlösen und Handeln

Die physikalischen Arbeitsweisen (vgl. Duit et al., 2004) – vor allem Beobachten und Messen, Erkunden und Experimentieren, Diskutieren und Interpretieren – werden durch digitale Medien und Umsetzung digitaler Verfahren unterstützt (vgl. Thyssen et al., 2020).

### 3.2. Arbeitsgruppen

Zu Beginn werden die Schülerinnen und Schüler in vier Gruppen eingeteilt.

#### 3.2.1. Klassische analoge Bestimmung

Eine erste Gruppe wertet Pendelversuche hinsichtlich ihrer Schwingungsdauer klassische analog aus. So wird diese mit Hilfe einer oder mehrerer Stoppuhren gemessen. Bei dieser Gruppe lässt sich der Versuch durch verschiedene Methoden einfach optimieren (etwa durch Messen über mehrere Schwingungen) und der Effekt verschiedener Modifikationen schnell überprüfen. Hierdurch erfahren die



**Abb.1:** Orientierungsrahmen für die digitalen Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN; Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020; <https://dikolan.de>).

Schülerinnen und Schüler, dass sich experimentell gefundene Messwerte sowohl durch Verbesserungen am Versuchsaufbau als auch durch Optimierungen im Messprozess verbessern lassen. Nach Rutten et al. (2012) können Simulationen gewinnbringend zur Vorbereitung der Durchführung eines Realexperiments eingesetzt werden. Entsprechend arbeitet diese Gruppe zunächst mit einer Simulation (Abb.2; Olson et al., 2021). Dies ermöglicht den Erwerb digitaler Kompetenzen ohne den Einsatz digitaler Messwertaufzeichnung.

### 3.2.2. Mobile Sensoren

Eine zweite Gruppe verwendet verschiedene mobile Sensoren zur direkten und indirekten Bestimmung der Schwingungsdauer (Lichtschranke, Drehbewegungssensor, Ultraschall-Abstandssensor). Die zur Verfügung stehenden smarten Sensoren können über Bluetooth mit einem Tablet verbunden werden. So können die Daten direkt mit dem Tablet aufgenommen, weiterverarbeitet und für die Präsentation aufbereitet werden. Zur Einführung in die Nutzung der Sensoren werden den Schülerinnen und Schülern zuvor aufgenommene Videos der Experimente zur Verfügung gestellt (Thoms, 2020). Diese „Stummen Videos“ könnten sich ebenfalls zur Vorbereitung auf die Durchführung und insbesondere die Präsentation der verschiedenen Experimente eignen (vgl. Schweinberger et al., 2019). Weil diese Gruppe verschiedene Messmethoden verwendet, muss sie sich intensiv mit den Vor- und Nachteilen sowie den Besonderheiten der einzelnen Verfahren auseinandersetzen. Zum Beispiel kann die Periodendauer indirekt mit einem Ultraschall-Abstandssensor be-

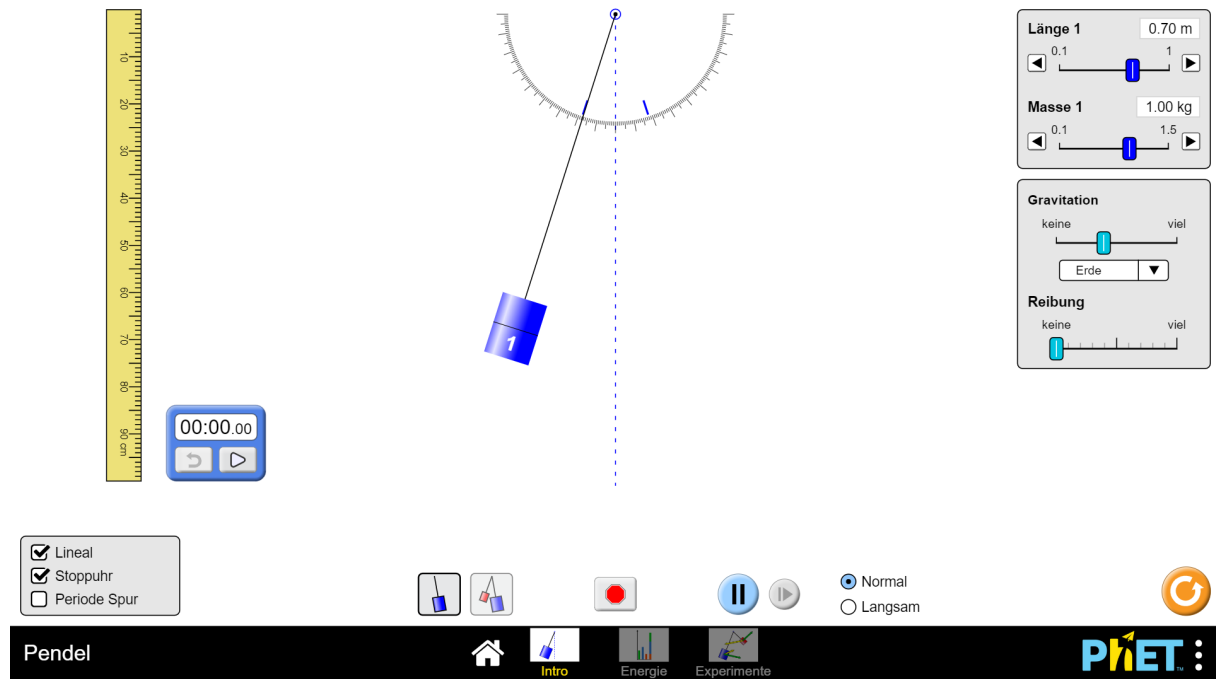
stimmt werden. Wird dieser unterhalb des Pendelkörpers in Ruhelage positioniert, wird während der Schwingung bei jedem Nulldurchgang ein scharfer Ausschlag aufgezeichnet. Aus den zeitlichen Abständen der Ausschläge kann dann die Periodendauer bestimmt werden (Abb.3). Bei der Bestimmung der Periodendauer mit einer Lichtschranke wird nicht die Position der Pendelmasse, sondern für jede halbe Periode direkt die zugehörige Schwingungsdauer ausgegeben. In einem Zeit-Periodendauer-Diagramm wird so die Anharmonizität der Fadenpendelschwingung sehr gut deutlich und muss folglich zwingend diskutiert werden (Abb.4).

### 3.2.3. Videoanalyse

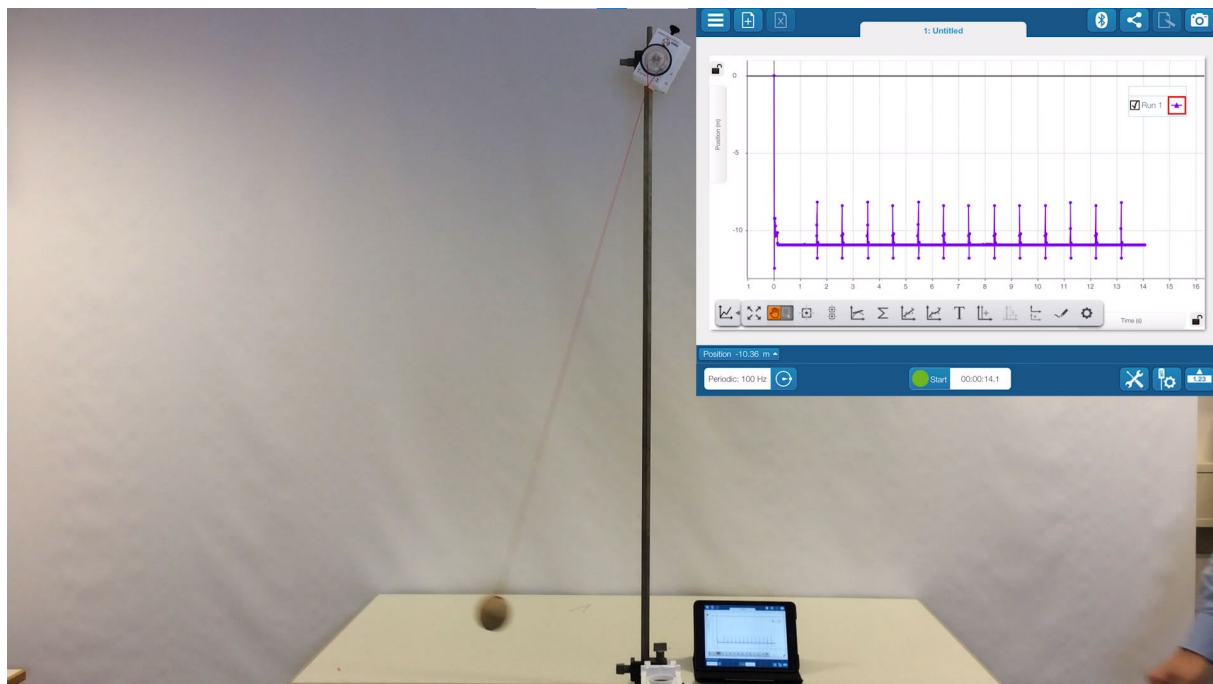
Die dritte Gruppe analysiert selbstgedrehte Videos von Schwingungen verschiedener Fadenpendel mit Hilfe von Laptops und einer geeigneten Software. Die Wahl der beiden Probestellen fiel auf die Software *Tracker* (Abb.5), da ihnen diese bereits aus dem Vorunterricht vertraut war. Alternativ könnte man z. B. *PHYWE measure dynamics* verwenden. Eine weitere spannende Erweiterung bietet die Videoanalyse mit mobilen Endgeräten. Hierbei könnten auch die Vor- und Nachteile verschiedener Apps (z. B. Viana, Vernier Video Physics oder Vid-Analysis) in einer erweiterten Fragestellung diskutiert werden.

### 3.2.4. Smartphone

Zur Analyse der Schwingung eines Fadenpendels eignen sich auch die internen Sensoren mobiler Endgeräte. Daher nutzt die vierte Gruppe den verbauten Beschleunigungssensor eines Smartphones.



**Abb.2:** Screenshot der von der Gruppe „Klassische analoge Bestimmung“ zur Vorbereitung genutzten Simulation (Olson et al., 2021).



**Abb.3:** Bestimmung der Periodendauer eines Fadenpendels mithilfe eines Ultra-Schall-Abstandssensors. Bei jedem Nulldurchgang des Pendelkörpers wird ein Ausschlag registriert.

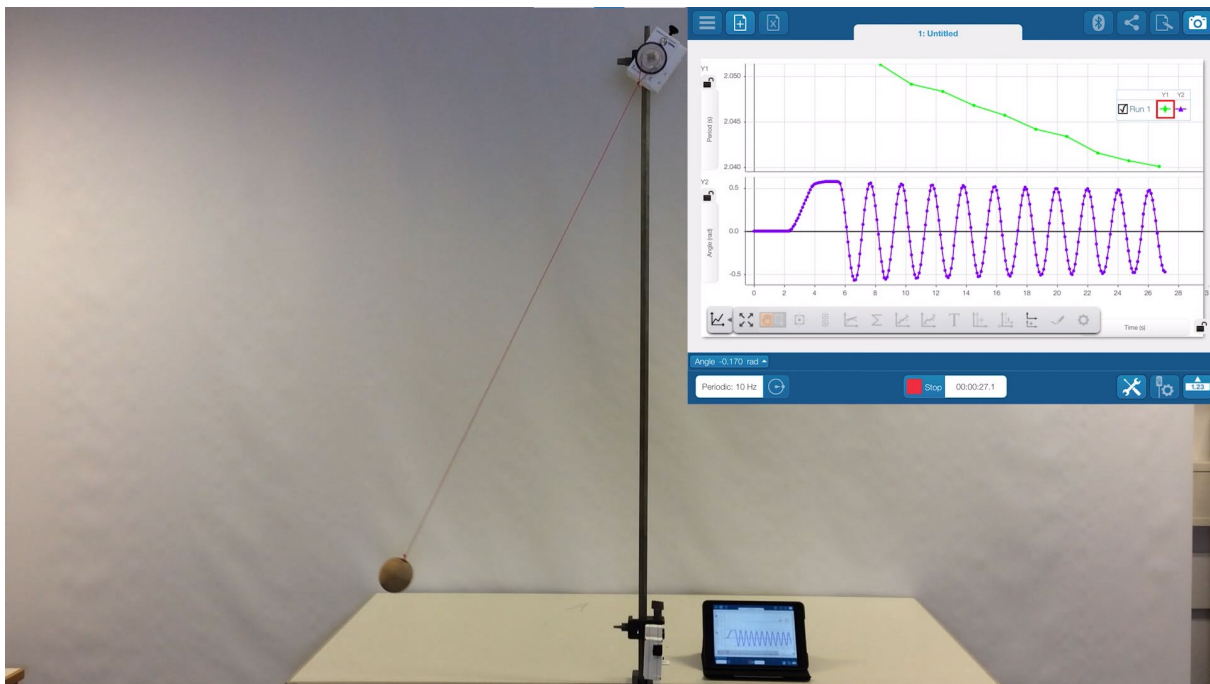
Diese eignen sich aufgrund ihrer Abmessungen besser als Tablets. Aufgrund der Übereinstimmung des Schwingungskörpers mit dem Messgerät, ist es dieser Gruppe nicht ohne erheblichen Aufwand möglich die angehängte Pendelmasse zu variieren.

### 3.3. Unterrichtsverlauf

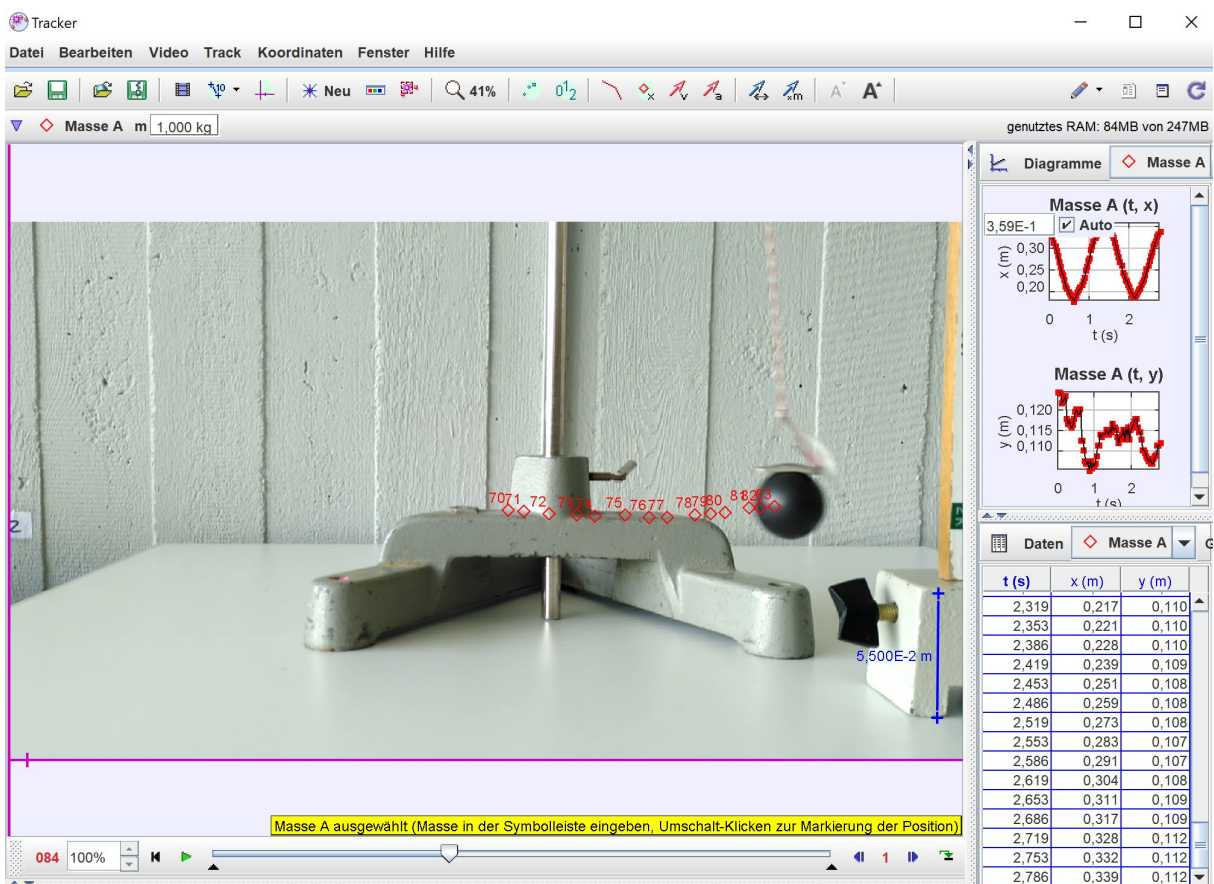
Der Ablauf der gesamten Einheit ist in drei Phasen unterteilt, welche im Folgenden dargestellt werden sollen:

#### 3.3.1. Phase 1: Orientierung

In dieser Phase werden die Gruppen durch die Lehrkraft eingeteilt, der Zeitrahmen festgesetzt und die



**Abb.4:** Vergleichende Anzeige der mit einer Lichtschranke am Nulldurchgang des Pendels bestimmten Periodendauer und der Winkelposition des Drehgebers am Drehpunkt des Fadenpendels.



**Abb.5:** Screenshot des Opens-Source-Videoanalyse-Programms *Tracker* (vgl. Brown, 2009).

Arbeitsaufträge durch die Schülerinnen und Schüler gesichtet. Um sicherzugehen, dass alle Schülerinnen und Schüler gleichermaßen involviert und für das Gelingen des Projekts verantwortlich sind, werden den einzelnen Mitgliedern einer Gruppe konkrete Managementrollen und damit Verantwortungsbereiche zugewiesen. So ist z. B. das Qualitätsmanagement dafür verantwortlich, dass die Ergebnisse physikalisch sinnvoll und korrekt dargestellt und interpretiert werden, während das Präsentationsmanagement primär für die Präsentation der Ergebnisse in Phase drei verantwortlich ist. Bei der zweiten Phase (Erarbeitung) müssen die Schülerinnen und Schüler sich unabhängig von ihrer Rolle alle gleichermaßen einbringen. Zur Festigung der digitalen Kompetenzen im Bereich *Kommunizieren und Kooperieren* wird die Kommunikation über eine digitale Lernplattform (z. B. moodle) und die gemeinsame Arbeit innerhalb dieser Plattform ermöglicht und gefordert. Hierüber werden sowohl die Dateien der einzelnen Gruppen ausgetauscht als auch über Foren (asynchron) und Chats (synchron) innerhalb des Teams oder mit der Lehrkraft kommuniziert. Der große Vorteil bei der Verwendung einer Lernplattform ist, dass die Lehrkraft auch einen ständigen Einblick in den Arbeitsprozess und den Fortschritt der Schülerinnen und Schüler hat und dadurch besser beratend und motivierend zur Seite stehen kann. Auch die Möglichkeiten der Kommunikation außerhalb des Klassenzimmers über den gleichen gesicherten Kanal ist positiv hervorzuheben.

### 3.3.2. Phase 2: Erarbeitung

Diese Phase stellt mit mindestens zwei Unterrichtsstunden den zeitlich größten Teil dieses Unterrichtsprojekts dar. In dieser Zeit sind alle Mitglieder einer Gruppe unabhängig von ihrer Managementrolle involviert. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten in ihrem individuellen Tempo an ihrer gruppeneigenen Messung und verbessern diese weiter. In diesem Prozess unterstützt die Lehrkraft die Lernenden, stattfindende Lernprozesse zu hinterfragen und das selbstregulierte Lernen der Gruppenmitglieder zu optimieren (*reflektive Hilfestellungen*; vgl. Zhang & Quintana 2012). Im Verlauf auftretende, oder von der Lehrkraft gestellte und weiterführende Fragen (*Enrichment*; vgl. Fund, 2007) sollen den Lernprozess vertiefen. Auch die zu erstellende professionelle, kohärente und kreativ gestaltete fünfminütige Präsentation der Messwerte nach vorgegebenen Regeln für die folgende dritte Phase (Präsentation) soll in diesem Zeitraum erstellt werden. Dabei ist insbesondere auch eine schlüssige Diskussion der Messunsicherheiten durchzuführen.

### 3.3.3. Phase 3: Präsentation

Den Abschluss der Sequenz bildet eine als „Science-Konferenz“ angelegte Präsentation. Dadurch soll das wissenschaftliche Vorgehen und ein Eindruck von fachwissenschaftlicher Kommunikation vermittelt

werden. In dieser fünfminütigen Präsentation stellt das Präsentationsmanagement nicht nur die erhobenen Messwerte und das verwendete Verfahren dem Plenum vor, sondern versucht auch die Anwesenden von der Überlegenheit der eigenen Methode zu überzeugen (unabhängig von einer objektiven Betrachtung der Qualität der Ergebnisse!). Im Anschluss findet eine fünfminütige Fragerunde an den Repräsentanten der Gruppe durch die Kongressteilnehmer statt. Abschließend wählen die Schülerinnen und Schüler das Team, welches „ihre Methode“ am überzeugendsten präsentieren konnte.

### 3.4. Beobachtungen

Diese Sequenz wurde bisher zweimal durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass die Schülerinnen und Schüler das ihnen zugewiesene Messverfahren zu „ihrer Methode“ machten. Dadurch konnte ein sehr hoher Grad erkennbarer Motivation bei den Schülerinnen und Schüler beobachtet werden (unabhängig von ihrem sonstigen Leistungsstand in Physik). Aus Fachlehrersicht war ein großer Wissens- und Interessenaufbau zu beobachten, wobei manche Schülerinnen und Schüler gar „Experten“ in „ihrer Methode“ wurden und in weiteren Versuchen im anschließenden Unterricht dieses Wissen gut an- und einbringen konnten. Alle Gruppen kamen nach sehr kurzer Zeit in den Bereich der Optimierung, da erste Messwerte schnell erhoben werden konnten. Dabei kam es in der Vorbereitung auf die Konferenz auch immer wieder zu weiterführende Fragen (z. B. zu einer beobachteten Anharmonizität der Schwingung), welche zu einem tieferen Verständnis physikalischer Arbeitsweisen beitrugen. Besonders spannend war die Diskussion in Phase drei, bei der mit viel Elan, Angriffslust und Überzeugung debattiert wurde. So konnten dabei schnell und sicher die Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden identifiziert werden. Zum Beispiel war es für die Smartphone Gruppe ein Leichtes, akzeptable Messwerte zu erzielen, allerdings erforderte es großes Fachwissen über die verbauten und genutzten Sensoren, um in der anschließenden Diskussion über das Zustandekommen der Messwerte bestehen zu können. Aus messtechnischer Sicht lässt sich zudem feststellen, dass alle Gruppen eine kleinere Abweichung vom erwarteten Literaturwert als 10% erzielen konnten.

### 4. Diskussion und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein Beispiel beschrieben, wie digitale Kompetenzen in einem engen physikalischen Kontext und mit starkem Fachbezug im Unterricht gefördert werden können. Die hier beschriebene Unterrichtssequenz soll als ein möglicher Vorschlag und als Anregung für eine Integration der von der KMK (2016) geforderten Medienbildung im Physikunterricht dienen.

In den durchgeführten Unterrichtsstunden haben sich die Schülerinnen und Schüler sehr motiviert und interessiert gezeigt und sich entsprechend aktiv am

Unterricht beteiligt. Durch die Zuweisung verschiedener Rollen in der Projektarbeit haben sich auch sonst weniger aktive und fachlich eher unsichere Schülerinnen und Schüler in der Gruppe engagieren können. Auch die Kommunikation und Kollaboration über die genutzte Lernplattform lies sich gut umsetzen und wurde vielfältig genutzt. Auch im Bereich der Präsentationskompetenzen lässt sich aufgrund der beobachtbaren Fähigkeitssteigerung ein möglicher Kompetenzzuwachs erwarten. Insgesamt muss allerdings berücksichtigt werden, dass dieser Beitrag keinerlei empirischen Anspruch erhebt und lediglich die Fallbeschreibung einer einzelnen Lehrkraft widerspiegelt und Anregungen aus der Praxis für die Praxis liefern soll.

Dennoch wurde die beschriebene Unterrichtsidee bereits in der Lehrkräftebildung eingesetzt. Dies betrifft sowohl Experimentierseminare für Studierende als auch Lehrkräftefortbildungen mit einem Fokus auf der Integration digitaler Medienbildung in den Physikunterricht. Hierbei wurde die Auswahl möglicher Methoden zur Bestimmung des Ortsfaktors der Erdbeschleunigung noch erweitert. Folgende Alternativen zu den vier in der Unterrichtssequenz beschriebenen Messwerterfassungen wurden ebenfalls gezeigt und von Studierenden bzw. Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Fortbildungen durchgeführt:

Der CASSY-Versuch zur Bestimmung der Erdbeschleunigung mit einer Falleiter dient als Beispiel einer computergestützten Messwerterfassung, bei der Messwerte nicht nur direkt mit einem PC aufgenommen, sondern auch gleich ausgewertet und grafisch repräsentiert werden. Dies liefert einerseits zwar direkt die Erdbeschleunigung, nimmt den Lernenden aber gleichzeitig auch viele wichtige Schritte der kognitiven Elaboration des Sachverhalts.

Ein Klassiker ist die Ermittlung der Erdbeschleunigung durch das Fallenlassen einer Kugel. Wenn die Fallstrecke dabei kurzgehalten werden muss, wird auch hier die Fallzeit mithilfe eines Digitalzählers bestimmt, der beim Loslassen elektronisch startet und beim Auftreffen der Kugel in einem Auffangtopf wieder gestoppt wird. Die Messgenauigkeit des Ergebnisses wird hier neben der zeitlichen Auflösung des Digitalzählers von der Dauer der Fallzeit bestimmt, welche wiederum von der Länge der Fallstrecke abhängt.

Eine höhere Messfrequenz lässt sich einfach durch Aufnahme von akustischen Signalen mit einem mobilen Endgerät oder auch einem Mikrofon an einem Computer erreichen. Hierbei müssen sowohl der Beginn des Falls als auch das Auftreffen des Fallkörpers ein Geräusch erzeugen, welches gut separiert von Hintergrundgeräuschen und Rauschen im zeitlichen Verlauf des Schalldrucks dargestellt werden kann.

Die Videografie von Pendel- oder Fallbewegungen kann auch als Anlass für einen Vergleich verschiedener Videoanalyse-Apps dienen. Beispielsweise kann eruiert werden, wie gut eine automatisierte Bewegungserkennung funktionieren kann und welche Bedingungen hierfür vorliegen.

Schließlich ergeben sich auch interessante Möglichkeiten, die Messwerterfassung mit einer Modellierung zu kombinieren. Mit manchen Videoanalyse-Programmen lassen sich Bewegungen modellieren und die aufgenommenen Bewegungen mit den modellierten vergleichen (z. B. Brown, 2008).

## 5. Literatur

- Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen: Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & Kotzebue, L. von. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen Lehramtsstudierender der Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Messinger-Koppelt & C. Thyssen (Hg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 14–43). Joachim Herz Stiftung. [https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/JHS\\_Digitale\\_Basiskompetenzen\\_web\\_srgb.pdf](https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/JHS_Digitale_Basiskompetenzen_web_srgb.pdf)
- Brown, D. (2008). Video modeling: combining dynamic model simulations with traditional video analysis. In *American Association of Physics Teachers (AAPT) Summer Meeting*.
- Duit, R., Gropengießer, H. & Stäudel, L. (Hg.). (2004). *Naturwissenschaftliches Arbeiten: Unterricht und Material 5-10* [Sonderheft]. Erhard Friedrich Verlag.
- Fund, Z. (2007). The effects of scaffolded computerized science problem-solving on achievement outcomes: a comparative study of support programs. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(5), 410–424. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2007.00226.x>
- KMK (2016). Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“ (2016 & i.d.F.v. 07.12.2017). [https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie\\_2017\\_mit\\_Weiterbildung.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf)
- Olson, J., Rouinfar, A., Dubson, M., Loeblein, T., Paul, A. & Perkins, K. (2021). *Pendel* (Version 1.0.15) [HTML5 Simulation]. University of Colorado Boulder. <https://phet.colorado.edu/de/simulation/pendulum-lab>
- Rutten, N., van Joolingen, W. R. & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers &*

- Education* 58(1), 136–153.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Schweinberger, M., Watzka, B. & Girwidz, R. (2019). Üben mit „stummen“ Experimentiervideos. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 30(173), 28–31.
- Thoms, L.-J. (2020). Bestimmung der Erdbeschleunigung mit mobilen Sensoren. Ludwig-Maximilians-Universität München.  
[https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/neue\\_medien/erdbeschleunigung/index.html#mobil](https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/neue_medien/erdbeschleunigung/index.html#mobil)
- Thoms, L.-J., Finger, A., Thyssen, C., & Frank, T. (2020). Digitale Kompetenzen beim Experimentieren fördern: Schülerexperimente zur Messung der Periodendauer eines Fadenpendels und zur Bestimmung des Ortsfaktors. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(179), 23–27.
- Thyssen, C., Thoms, L.-J., Kremser, E., Finger, A., Huwer, J. & Becker, S. (2020). Digitale Basiskompetenzen in der Lehrerbildung unter besonderer Berücksichtigung der Naturwissenschaften. In M. Beißwenger, B. Bulizek, I. Gryl & F. Schacht (Hg.), *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung* (S. 77–98). Universitätsverlag Rhein-Ruhr.  
<https://doi.org/10.17185/dupublico/73330>
- Zhang, M. & Quintana, C. (2012). Scaffolding strategies for supporting middle school students' online inquiry processes. *Computers & Education*, 58(1), 181–196.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.016>