

Eignung von Wireless Sensoren in Experimentalphysik-Vorlesungen

Erik Kremser*, Patrick Sekyra*

*Technische Universität Darmstadt, FB Physik, Hochschulstraße 6, 64289 Darmstadt
erik.kremser@physik.tu-darmstadt.de, psek@gmx.net

Kurzfassung

In Experimentalphysik-Vorlesungen werden zahlreiche Versuche durchgeführt, die mit computerunterstützter Messwerterfassung ausgewertet werden. Kabelgebundene Sensoren begrenzen die Größe der Versuche und schränken die Bewegungsfreiheit, beispielsweise bei Messungen in rotierenden Systemen, ein. Werden mehrere Messgrößen gleichzeitig erfasst, kann ein Versuchsaufbau mit den oft gleichfarbigen Anschlussleitungen der Sensoren unübersichtlich werden. Durch den Einsatz von Wireless Sensoren kann diesen Schwierigkeiten begegnet werden.

Aufbauend auf den Untersuchungen im Rahmen der wissenschaftlichen Hausarbeit "Vergleich computerunterstützter Messwerterfassungssysteme für den Physikunterricht" [1] wurden auch Versuche der Experimentalphysik-Vorlesungen am Fachbereich Physik der Technischen Universität Darmstadt mit Wireless-Sensoren an Stelle von kabelgebundenen Sensoren und den dazu angebotenen kostenfreien Apps für mobile Endgeräte der Lehrgerätehersteller PHYWE, PASCO und VERNIER aufgebaut, durchgeführt und ausgewertet. Am Beispiel von ausgewählten Versuchen werden die Vor- und Nachteile beim Einsatz von Wireless-Sensoren vorgestellt.

1. Ausgangslage

Die computerunterstützte Messwerterfassung ist fester Bestandteil von Vorlesungen der Experimentalphysik. Bei Versuchen mit einer kurzen Durchführungszeit kann eine ausreichende Anzahl an Messwerten aufgezeichnet und anschließend umfangreich ausgewertet werden. Sehr lang dauernde Versuche können ohne beständige Aufmerksamkeit durchgeführt und die benötigten Messwerte zuverlässig registriert werden. Andererseits können Abhängigkeiten von einzelnen Parametern mit einer schnellen Folge entsprechender Versuchsdurchführungen und anschließender Darstellung der aufgenommenen Messwerte in Diagrammen mit unterschiedlich skalierten Achsen bzw. durch Fitten von Kurven an die Messdaten ermittelt werden. Hierbei wird von den Dozierenden der Vorlesungen der Experimentalphysik am Fachbereich Physik der Technischen Universität Darmstadt wertgeschätzt, dass die bisher genutzte Software diese Möglichkeiten bereitstellt und ein zeitaufwändiger und vom Lernprozess ablenkender Umweg über zusätzliche Software vermieden wird.

Auch im Physikunterricht findet computerunterstützte Messwerterfassung, nach Angabe der Lehrer*innen an Gymnasien im Großraum Frankfurt und zwei Regionen Bayerns, in Verbindung mit externen Sensoren zu 78% Verwendung [2]. Dass die computerunterstützte Messwerterfassung nicht öfter im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt wird, liegt zum großen Teil an der mangelnden Vorerfahrung der Lehramtsstudierenden im Studium [3]. So gaben über 65% der befragten Studierenden an, nie oder eher selten Erfahrungen mit

computerunterstützter Messwerterfassung und über 80% nie oder eher selten Erfahrung mit Smartphone-Experimente gesammelt zu haben (ebd.). Gerade die Erfahrungen im Studium wurden als ein wichtiger Faktor als Einfluss auf den Einsatz digitaler Medien in Lehr-Lern-Situationen identifiziert [4].

Am Fachbereich Physik der Technischen Universität Darmstadt wird computerunterstützte Messwerterfassung sowohl in den Vorlesungen Physik als auch im Grundpraktikum regelmäßig eingesetzt. Im Demonstrationspraktikum Physik für die Studierenden der Lehramtsstudiengänge, erhalten die Studierenden darüber hinaus die Möglichkeit computerunterstützte Messwerterfassung selbständig einzusetzen und die Nutzung gemeinsam zu reflektieren.

Sowohl in den Vorlesungen Physik als auch im Demonstrationspraktikum finden bisher kabelgebundene Sensoren über entsprechende Interfaces Anbindung an Notebooks, die auf den Experimentiertischen direkt neben dem Versuch platziert werden. Entsprechend werden die Versuche bisher auf die Größe der Experimentiertische und der Länge der Verbindungsleitungen zwischen Sensor und Interface und Interface zum Notebook beschränkt.

Im großen Physikhörsaal der Technischen Universität Darmstadt beträgt die Breite der Bühne 12 Meter. Versuche zur Kinematik könnten entsprechend groß ausgeführt und ohne Kameras von allen Anwesenden im Hörsaal beobachtet werden, wenn die Länge der Verbindungsleitungen zu den verwendeten Sensoren bzw. deren Handhabung dies nicht verhindern würden. Zusätzlich zur Einschränkung der Bewegungsfreiheit wirken in rotierenden Systemen die

Verbindungsleitungen zu den Sensoren mit Drehmomenten auf die zu untersuchende Bewegung ein, so dass die zu untersuchende Messgröße nicht unbeeinflusst gemessen werden kann. Beispielsweise wird die Zentripetalkraft bisher mit einem Kraftsensor im ruhenden System, am Experimentiertisch befestigt, gemessen. Um den Einfluss der Verdrillung des Fadens auf Grund der Rotation entgegenzuwirken, ist in diesem ein Kugellager integriert. Die auf diese Weise realisierten Messwerte sind allerdings nicht frei von Abweichungen, z.B. auf Grund der Reibung im Kugellager (vgl. Abb. 1).

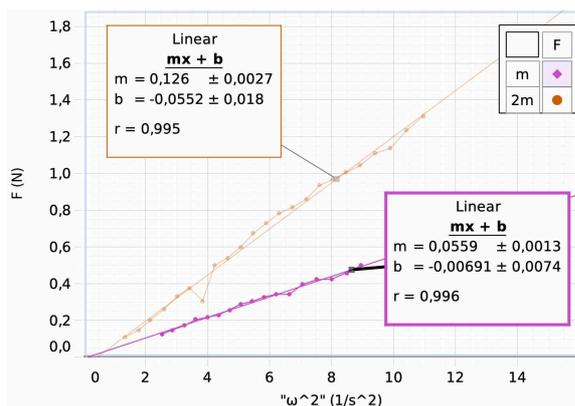


Abb.1: Zentripetalkraft in Abhängigkeit der quadrierten Winkelgeschwindigkeit. Deutlich zu sehen sind Abweichungen auf Grund der Verdrillung des Fadens zwischen Kraftsensor und Versuchswagen.

2. Vorgehensweise

Um die Vor- und auch Nachteile von Wireless-Sensoren in den Vorlesungen Physik in Erfahrung zu bringen, wurden zunächst ausgewählte Versuche aus der Versuchsdatenbank der Vorlesungsassistenz Physik der Technischen Universität Darmstadt an Stelle mit den bisher eingesetzten kabelgebunden Sensoren mit Wireless-Sensoren aufgebaut, durchgeführt und ausgewertet. Weiterhin wurden Versuche neu aufgebaut, wie sie bisher, auf Grund der o.g. Einschränkungen, nicht realisiert werden konnten. Hierzu standen Leihgaben der Lehrgerätehersteller Pasco Scientific (PASCO), PHYWE Systeme GmbH und Co. KG (PHYWE) und Vernier Software & Technology (VERNIER) zur Verfügung. Besonderes Augenmerk galt hier der Bedienung und dem Leistungsumfang der jeweils kostenfrei zur Verfügung gestellten Software für mobile Endgeräte, um die Möglichkeiten einer aktiven Einbindung der Studierenden in Lehr-Lern-Situationen abschätzen zu können. Zum Zeitpunkt der Durchführung der Versuche standen folgende Versionen der Software zur Verfügung: PASCO SPARKvue 4.3.0.10, PHYWE MeasureAPP 1.0.3.0 und VERNIER Graphical Analysis 4.4.10.0.0.

3. Erfahrungen mit Wireless-Sensoren in den Vorlesungen Physik an Beispielen

3.1. Versuche zur Kinematik

Bisher werden in den Vorlesungen Physik der Technischen Universität Darmstadt die Bewegungen von Gleitern auf der Luftkissenbahn mit Ultraschall-Sensoren erfasst und mit diesen die gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegung analysiert. Die dabei zu vermessende Strecke ist von der Länge der Zuleitungen vom Interface zu den Sensoren abhängig. Mit dem Einsatz von Wireless-Sensoren sind diese Beschränkungen aufgehoben. Allerdings bedarf es, um die Gleiter über die gesamte Strecke auf der Luftkissenbahn ohne Aussetzer zu erfassen einer relativ zeitaufwändigen Justage. Bedingt durch die begrenzte Luftzufuhr ist die Zuladung der Gleiter beschränkt, so dass das Massenverhältnis der Stoßpartner nur in einem kleinen Bereich variiert werden kann. Hier sind Fahrzeuge, mit integrierten Bewegungs- und Kraft-Sensoren, auf entsprechenden Fahrbahnen im Vorteil, weil auf Grund ihrer robusten Ausführung deutlich größere Massenunterschiede der Stoßpartner realisiert werden können. Diese Fahrzeuge verfügen über eine Rollreibung, die an den Messwerten deutlich nachvollzogen werden kann. Von den Dozierenden wurde dies allerdings nicht als gravierender Nachteil gewertet. Durch die im Vergleich zur Luftkissenbahn einfachere Handhabung, der freieren Positionierung im Hörsaal und dem Wegfall des lauten Gebläses werden in zahlreichen Vorlesungen Physik der Technischen Universität Darmstadt die Fahrzeuge auf Fahrbahnen bevorzugt.

Mit den integrierten Sensoren in den Fahrzeugen können die Beschleunigungen bei Kollisionen, beispielsweise gegen eine Wand, aufgezeichnet werden. Durch Hinzufügen einer beim Aufprall verformbaren Aluminiumfolie kann so die Auswirkung einer Knautschzone auf die Beschleunigung des Fahrzeuges beim Aufprall verdeutlicht werden. Zusätzlich lässt sich ein Beschleunigungssensor als Modell für einen Insassen auf das Fahrzeug legen und mit einer Mullbinde als Modell eines Haltegurts bei der Kollision gegen eine Wand auffangen (Abb.2).



Abb.2: Vorbereitetes Fahrzeug (PASCO Smart Cart) mit einer gerollten Aluminium-Folie als Knautschzone und einer Mullbinde als Rückhaltesystem für den lose auf dem Fahrzeug liegenden Beschleunigungssensor als Modell eines Fahrzeug-Insassen.

Nacheinander werden die auf das Fahrzeug und den Beschleunigungssensor wirkenden Beschleunigungen ohne Sicherungsmaßnahmen, nur mit Mullbinde als Modell eines Haltegurtes, nur mit der Aluminium-Rolle als Modell einer Knautschzone und anschließend mit Mullbinde und Aluminium-Rolle durchgeführt. Hierbei kann die Wirksamkeit auf die Reduzierung der maximalen Beschleunigungen auf das Fahrzeug jeder einzelnen Maßnahme und die positive Wirkung der Kombination aus Knautschzone und Haltegurt, wie sie im Straßenverkehr für die Sicherheit der Fahrzeug-Insassen sorgt, an Hand eines Modellexperiments demonstriert werden (Abb.3). Mit den Integralen kann, im Rahmen der Auflösung und der beschränkten Abtastrate aufgrund der Anzahl der verwendeten Sensoren, nachvollzogen werden, dass die Flächen unter den Kurven gleich sind, d.h. der Kraftstoß jeweils konstant ist (wenn man die Beschleunigung mit der Masse des beschleunigten Körpers multipliziert).

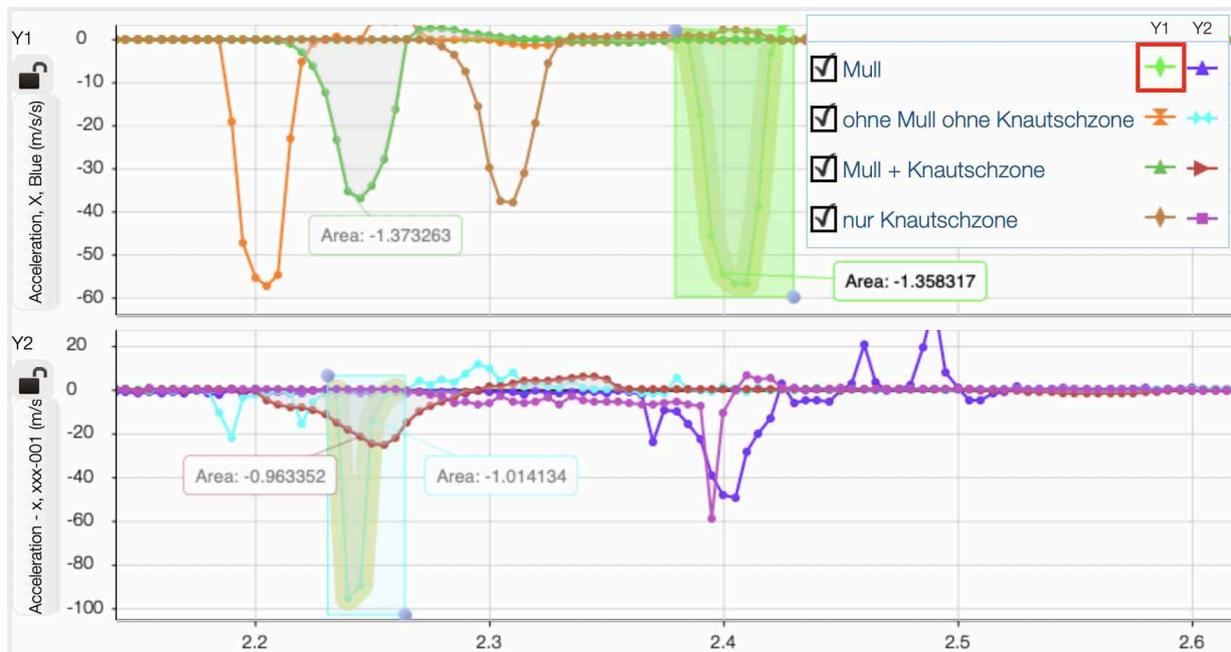


Abb.3: Beschleunigungen beim Aufprall eines Fahrzeuges (hier: PASCO Smart Cart) gegen eine Wand mit einer Mullbinde als Modell eines Haltegurtes und einer Aluminium-Rolle als Modell einer Knautschzone zur Verdeutlichung der Wirkung von Sicherheitseinrichtungen bei Fahrzeugen im Straßenverkehr.

Mit dem Beschleunigungssensor von PASCO, der in einer schützenden gummierten Hülle eingebaut und in dem auch ein Drucksensor verbaut ist, kann die Innenhöhe eines Gebäudes, beispielsweise die des Hörsaals, bestimmt werden. Hierzu wird dieser Sensor senkrecht geworfen, so dass er gegen die Hörsaaldecke prallt und anschließend auf den Boden des Hörsaals fällt. In Abb. 4 ist bei $t=1,5$ s die Ausholbewegung als Höhenänderung zu sehen (rot dargestellt) und die anschließende Beschleunigung des Sensors bei $t=1,9$ s (blau dargestellt). Durch den integrierten Drucksensor können nicht nur die gemessenen

Beschleunigungen grafisch dargestellt werden, sondern auch die dazugehörigen Höhen.

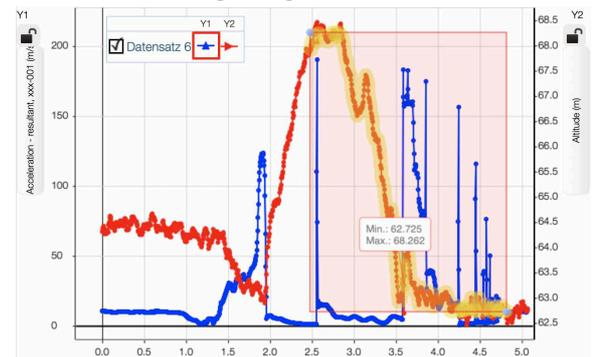


Abb.4: Bestimmung der Höhe des Hörsaals mit dem Beschleunigungssensor von PASCO. Mit dem eingebauten Drucksensor wird die Höhe berechnet (rot dargestellt). Mit den Beschleunigungsmaxima ($t=2,6$ s und $t=3,6$ s) (blau dargestellt) kann die Höhe zu etwa 5,5 m abgeschätzt werden.

Die Beschleunigungsspitze bei $t=2,6$ s resultiert aus dem Aufprall des Beschleunigungssensors mit der Hörsaaldecke und die Beschleunigungsspitze bei $t=3,6$ s aus dem Aufprall auf den Boden des Hörsaals. Anhand der zu diesen Zeitpunkten gemessenen Höhen kann aus deren Differenz die Höhe des Hörsaals bestimmt werden.

3.2. Messungen in rotierenden Systemen

Bei Verwendung eines Wireless-Sensors im rotierenden System wird die in Abb. 1 dargestellte Abweichung von den zu erwartenden Messwerten vermieden.

Darüber hinaus können andere Varianten des Versuchs realisiert werden, die nicht nur eine einfachere Versuchsdurchführung zulassen, sondern durch entsprechende Variation Untersuchungen zu weiteren Fragestellungen ermöglichen (Abb. 5).



Abb.5: Versuchsaufbau zur gleichzeitigen Messung von Zentripetal- und Zentrifugalkraft mit Sensoren von PASCO. Die Schwerpunkte der Testmassen befinden sich im jeweils gleichen Abstand zur Rotationsachse.

Auf einer rotierend gelagerten Schiene sind an zwei entgegengesetzt orientierten Kraftsensoren Massstücke gleicher Masse so montiert, dass die Massenschwerpunkte denselben Abstand zum Rotationsmittelpunkt einnehmen. Durch die unterschiedliche Orientierung der Kraftsensoren können die Zentripetalkraft und die Zentrifugalkraft gleichzeitig gemessen werden. Mit diesem Versuch lässt sich sehr gut zeigen, dass beide Kräfte dieselbe Größe, aber entgegengesetzte Richtung aufweisen, da deren Summe zu jedem Zeitpunkt der Messung null ergibt (Abb. 6).

Besonders positiv fällt der wesentlich gleichmäßigere Verlauf der Messwerte in Abhängigkeit der quadrierten Winkelgeschwindigkeit auf (vgl. Abb. 1).

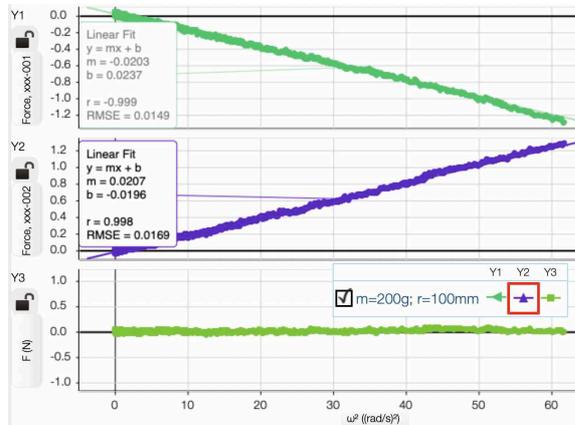


Abb.6: Messschrieb gleichzeitiger Messung der Zentripetalkraft (Diagramm oben), der Zentrifugalkraft (Diagramm in der Mitte) und der Summe beider Kräfte (Diagramm unten) in Abhängigkeit der quadrierten Winkelgeschwindigkeit mit PASCO SPARKvue

Dieser Versuch kann nun stufenweise um weitere Kraftsensoren erweitert werden, so dass die Zentripetal- bzw. Zentrifugalkraft in Abhängigkeit der Masse mit mehreren unterschiedlichen Massestücken an den Kraftsensoren gemessen werden kann. Da in den Vorlesungen der Experimentalphysik die Zeit für die Durchführung der Versuche oft relativ knapp bemessen ist, bietet es sich an, statt in einer Folge von Versuchen mit variiertem Parameter, die gewünschten Messungen in einem Versuch durchzuführen. So

kann in einem Versuchsaufbau mit vier unterschiedlichen Massen, die an den Kraftsensoren montiert alle denselben Abstand zum Rotationsmittelpunkt haben, deren Zentripetalkräfte gleichzeitig gemessen werden (Abb.7).

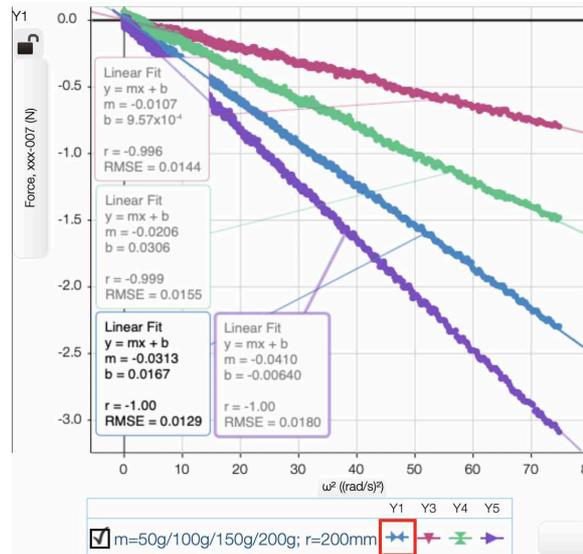


Abb.7: Diagramm in PASCO SPARKvue der Zentripetalkraft der Massen 50g, 100g, 150g und 200g im Abstand von 200mm zum Rotationsmittelpunkt aufgetragen in Abhängigkeit der quadrierten Winkelgeschwindigkeit.

Alternativ kann mit gleichen Massen die Abhängigkeit der Zentripetalkraft vom Abstand zum Rotationsmittelpunkt durch unterschiedliche Positionierung der Kraftsensoren bestimmt werden.

3.3. Übersichtlichkeit ohne Interfaces

Durch die fehlenden Zuleitungen und Interfaces können Versuchsaufbauten übersichtlicher gestaltet werden, wie beispielsweise der zur Untersuchung der Auf- und Entladung von Kondensatoren (Abb. 8). Für die freie Verdrahtung von Schaltkreisen sind die Krokodilklemmen der Spannungssensoren und Stromsensoren von Vernier sinnvoll, für den Einsatz in Schaltungen mit den Bauteilen der Gerätesammlungen in Schulen und Hochschulen allerdings nicht kompatibel.

Bei der Darstellung der Messwerte und den Möglichkeiten der Auswertung weisen die Apps deutliche Unterschiede auf. PHYWE measureAPP lässt die Verrechnung der Messwerte miteinander nur mit den vier Grundrechenarten ohne Berücksichtigung von Faktoren und Summanden zu. Weiterreichende Berechnungen, wie beispielsweise die Linearisierung der Stromstärke beim Entladen eines Kondensators mit der Logarithmusfunktion, sind nicht möglich. Für die Weiterverarbeitung der Messdaten müssen diese exportiert und in eine andere Software, die die gewünschten Darstellungs- und Verrechnungsmöglichkeiten zur Verfügung stellt, importiert werden. Diese Handlung lenkt vom Erkenntnisprozess des physikalischen Inhalts ab und kostet unnötig viel Zeit.

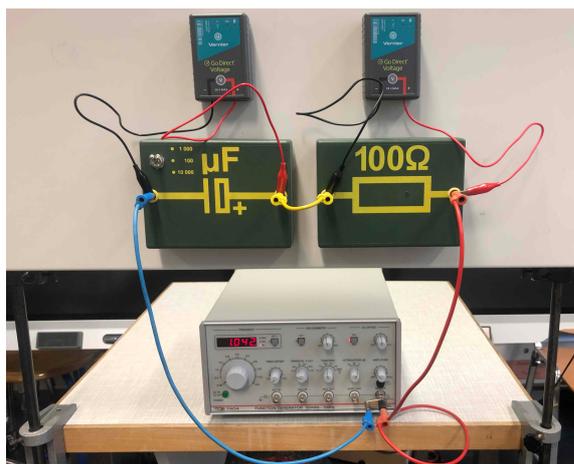


Abb.8: Aufladen und Entladen eines Kondensators am Beispiel der Sensoren von VERNIER.

VERNIER bietet mit der intuitiv zu bedienenden Software Graphical Analysis deutlich mehr Möglichkeiten der Darstellung der Messwerte, die jederzeit geändert und an die Bedürfnisse des Experimentierenden angepasst werden können. Die vordefinierten Funktionen der Weiterverarbeitung der Messwerte orientieren sich am Bedarf in Schulen. So stehen neben Potenz- und Winkelfunktionen auch Logarithmus-Funktionen und die erste und zweite Ableitung zur Verfügung, während die Integralfunktion fehlt. Für die jeweils vorgegebene Struktur der mathematischen Funktionen können Parameter eingegeben und die Messwerte ausgewählt werden, auf die diese Funktion angewendet werden soll. Durch wiederholte und kombinierte Anwendung von diesen Funktionen können solche Funktionen zusammengestellt werden, die nicht vorgegeben sind. Für komplizierte Formeln, wie beispielsweise der Berechnung der Höhenänderung aus der Druckänderung mit der internationalen Höhenformel, ist die Berechnung der gesuchten Größe möglicherweise sehr aufwändig (vgl. [1], S.23). Für die Darstellung der Stromstärke in logarithmierter Skalierung der Abb.9 mussten drei Größen (Größe der Stromstärke aus der gemessenen Spannung, dessen Betrag und Logarithmierung) in drei Berechnungen erfolgen. Die Anzeige der Parameter der eingezeichneten Näherungsfunktion ist am rechten Rand des Bereiches fixiert, der für die Näherungskurve herangezogen wurde und lässt sich nur vertikal verschieben, so dass immer ein Teil des Diagramms verdeckt wird.

Die umfangreichsten Auswertungsmöglichkeiten bietet die Software PASCO SPARKvue an. In einem Formeleditor steht eine große Auswahl an Funktionen bereit, die beliebig kombiniert werden können und den naturwissenschaftlichen Bereich abdecken.

3.4. Die Grenzen der Sensoren

Zur Demonstration des Wienschen Verschiebungsgesetzes wird bisher die Lichtintensität des Spektrums einer Halogenlampe mit einem Lichtsensor in Abhängigkeit vom Brechungswinkel aufgetragen. Dies hat den Vorteil, dass zu der jeweilig gemessenen

Lichtintensität auch die dazugehörige Farbe im Spektrum beobachtet werden kann. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Demonstration des breiten Bereichs im Infrarot. Die zu messende Lichtintensität ist für die Wireless-Sensoren allerdings zu gering, sodass eine vergleichende Messung mit unterschiedlichen Beleuchtungsstärken nicht möglich ist.

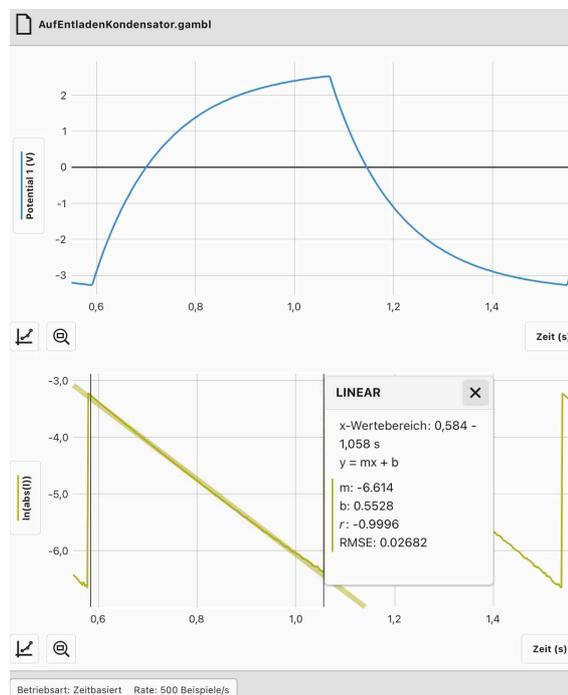


Abb.9: Linearisierte Darstellung der gemessenen Stromstärke mit der Software Graphical Analysis beim Auf- und Entladen eines Kondensators mit Sensoren von VERNIER.



Abb.10: Sensoren der PASPORT-Serie von PASCO können drahtlos mit dem AirLink Interface zusammen mit anderen Wireless-Sensoren genutzt werden, hier mit einem Licht-Sensor hoher Sensitivität zur Bestimmung der Lichtintensität in Abhängigkeit des Brechungswinkels des Lichtes einer Halogenlampe.

In diesem Fall bietet sich die Kombination von Wireless und kabelgebundenen Sensoren an. Dies ist bei PASCO und VERNIER in Verbindung mit deren Interfaces ohne zeitlichen Versatz möglich. Zusätzlich bietet PASCO mit dem AirLink Interface einen Wireless-Adapter für alle PASPORT-Sensoren an, die bisher kabelgebunden an Interfaces betrieben wurden. So ist es möglich, den Versuch mit einem extrem lichtempfindlichen Sensor weiterhin kabellos

übersichtlich aufzubauen und auf Grund der fehlenden Verbindungsleitungen einfacher bedienen zu können. (Abb. 10.)

Auf Grund der beschränkten Datenrate der Bluetooth-Verbindung zwischen Sensoren und Endgerät ist die maximale Abtastrate bei Verwendung eines Sensors auf 1 kHz begrenzt. Werden mehrere Sensoren verwendet, reduziert sich die Abtastrate entsprechend. Die Sensoren können auch per USB-Kabel an einen Rechner angeschlossen werden, jedoch konnten in diesem Fall Messdaten mit einem Sensor nur mit maximal 5 kHz abgetastet werden, so dass Messungen an Schwingkreisen eine entsprechende Dimensionierung der Bauteile erfordern.

3.5. Fächerübergreifende Versuche

Im Widerspruch zur alltäglichen Erfahrung scheint die Aussage in der Physik zu stehen, dass wenn man sich auf einer Horizontalen bewegt, keine Arbeit verrichtet, weil der zurückgelegte Weg und die wirkende Gewichtskraft senkrecht zueinander stehen. Hier bietet es sich an, die Bewegung des Körpers beim Gehen zu untersuchen. Hierzu wird mit einem Ultraschall-Bewegungssensor auf dem Kopf und einem Beschleunigungssensor an unterschiedlichen Stellen des Körpers die Bewegung einer Testperson analysiert.

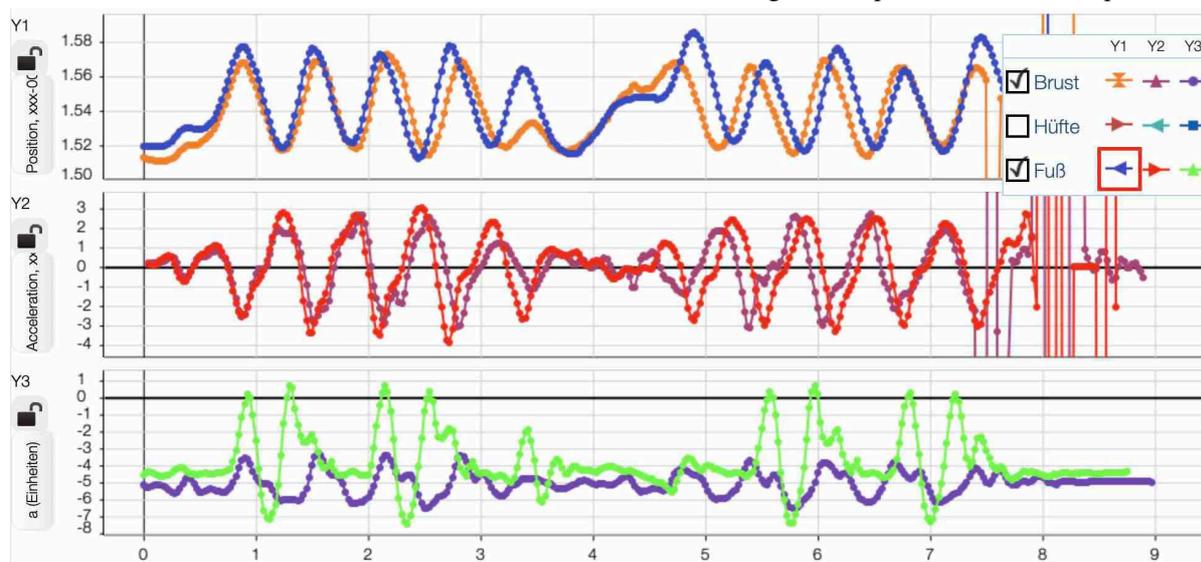


Abb.11: Analyse der Bewegung einer gehenden Testperson mit SPARKVue und Sensoren von PASCO. Im oberen Diagramm wird die Änderung der vertikalen Position des Kopfes, im mittleren Diagramm die vertikale Beschleunigung des Kopfes und im unteren Diagramm die Beschleunigung am Fußgelenk (grün) und auf Brusthöhe (lila) dargestellt.

In Abb.11 ist im oberen Diagramm zu beobachten, dass der Körper der Testperson bei jedem Schritt im Mittel um 6 cm gehoben wird. Diese Hubarbeit muss am Körper verrichtet werden. Das anschließende Fallen des Körpers muss vom Körper wieder abgebremst und in die entgegengesetzte Richtung beschleunigt werden (mittleres Diagramm). Im unteren Bereich des Diagramms kann nachvollzogen werden, dass die

auf einen Wireless Beschleunigungssensor, der an unterschiedlichen Körperregionen befestigt wurde, unterschiedliche Beschleunigungen wirken, die - bedingt durch innere Reibung und der Trägheit der Masse - unterschiedlich stark ausfallen. Die Arbeit die Gliedmaßen entsprechend gegen die Schwerkraft und der inneren Reibung zu bewegen muss ebenfalls von der gehenden Person aufgebracht werden. Somit ist nachvollziehbar, dass man, wenn man sich senkrecht zum Schwerfeld der Erde bewegt, Arbeit verrichten muss.

Auf Grund der positiven Erfahrungen im Rahmen zweier wissenschaftlicher Hausarbeiten ([5], [6]) zur Entwicklung von Experimenten im anwendungsbezogenen Physikunterricht, der sich am Alltag und der gewohnten Umgebung der Lernenden orientiert und neben den fachlichen auch sinnliche Erfahrungen in einem fächerübergreifenden Kontext ermöglicht, steht ein mobiles Küchenmodul zur Verfügung. Mit diesem werden im Hörsaal zahlreiche Experimente zur Thermodynamik und Energie mit Wireless-Sensoren durchgeführt, weil diese die notwendige Bewegungsfreiheit des Experimentierenden nicht einschränken. So können beispielsweise beim Vergleich unterschiedlicher Erwärmungsmethoden von Wasser die benötigten Temperatursensoren frei positioniert

werden.

In der Thermodynamik bieten sich u.a. die Untersuchungen der Gasgesetze an. Werden ein Temperatursensor und ein Drucksensor mit konstant gehaltenem Volumen in einem Gefrierschrank deponiert, kann durch Messung von Druck und Temperatur das Gesetz von Amontons bestätigt werden (vgl. [1], S.17).

3.6. Allgemeines

Die Apps, die die Nutzung der Wireless-Sensoren auf mobilen Endgeräten ermöglichen, sind alle intuitiv bedienbar und haben dadurch den Vorteil, dass sie von den Dozierenden und Assistierenden in den Vorlesungen Physik nach nur kurzer Einarbeitungszeit sicher genutzt werden können.

Ein großer und nicht zu unterschätzender Vorteil der Wireless-Sensoren ist, dass sie durch die integrierten Akkus bzw. Batterien keine Anbindung an das Stromnetz benötigen. Die Experimente können somit beliebig im Hörsaal positioniert werden oder ermöglichen Messungen außerhalb des Hörsaals, deren Messdaten live in diesen übertragen werden können.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Mit Wireless-Sensoren können Versuche in den Vorlesungen übersichtlicher aufgebaut werden, weil keine zusätzlichen Interfaces mit entsprechenden Verbindungsleitungen zu den Sensoren den Beobachtenden vom eigentlichen Versuch ablenken. Die Unabhängigkeit von Verbindungsleitungen und Stromnetz erlaubt eine beliebige Positionierung im Hörsaal und eine freie Gestaltung der Versuche.

In den Vorlesungen Physik der Technischen Universität Darmstadt wird die Software PASCO SPARKvue bevorzugt, da bei einigen Experimenten umfangreiche Berechnungen bzw. aufwändigere Darstellungen der Messdaten benötigt werden.

Im Demonstrationspraktikum Physik stehen den Studierenden neben den Sensoren von PASCO mit der Software SPARKvue und dem AirLink Interface zur Integration der PASPORT-Sensoren, zusätzlich die Sensoren von Vernier zur Verfügung, weil sich die Software Graphical Analysis auf Grund der intuitiven Bedienung besonders für den Einsatz in Schulen anbietet. Durch das Kennenlernen beider Systeme wird den Studierenden die Möglichkeit gegeben, sich selbst einen Eindruck von beiden Systemen zu verschaffen und basierend darauf für den geplanten Einsatz gezielt auswählen zu können. Die Studierenden nutzen diese Systeme in ihren Unterrichtseinheiten, die sie, mit ihren Kommilitonen in der Rolle als Schüler*innen, durchführen. Bei den gemeinsamen Reflexionen der Unterrichtseinheiten werden sehr oft die Übersichtlichkeit der Versuche und die einfache Handhabung der Systeme von allen Beteiligten herausgehoben.

Laut der JIM-Studie besitzen 97% der Jugendlichen ein Smartphone [7]. Somit ist auch unter den Studierenden von einer hohen Verbreitung an Smartphones auszugehen. Die Software der gängigen Lehrgerätehersteller, die Wireless-Sensoren anbieten, stehen kostenfrei für mobile Endgeräte zur Verfügung. Somit sind neue Lehr-Lern-Szenarien denkbar, die die Studierenden aus der passiven Rolle bei den Demonstrationsexperimenten in die aktive Rolle der Durchführung von Versuchen bzw. der Auswertung und Bereitstellung von Messdaten versetzen. Die Messdaten, die von einem gerade durchgeführten Demonstrationsexperiment in den Vorlesungen Physik aufgenommen wurden, können von den Studierenden ausgewertet und diese Daten bzw. deren Analyse in den Vorlesungen oder Übungen präsentiert werden (vgl. [8]). Hierzu bedarf es eines Internetzugangs und bei der Nutzung der Sensoren von VERNIER eines Interfaces der LabQuest-Serie. Die Software

SPARKvue von PASCO bietet über den unabhängigen Austausch an Daten (hier als geteilte Sitzungen bezeichnet) auch geführte Sitzungen an, bei denen der Bildschirm einer Person mit den anderen Teilnehmenden geteilt wird, so dass auch Verarbeitungsprozesse präsentiert werden können.

Denkbar ist auch die Durchführung einer Messaufgabe als Vorbereitung für eine Vorlesung, in der die von den Studierenden erfassten Messdaten zur Erarbeitung eines physikalischen Sachverhaltes oder einer Gesetzmäßigkeit herangezogen werden (vgl. [8]).

Im Idealfall würden die Experimente in den Praktika mit computerunterstützter Messwerterfassung mit derselben App durchgeführt, so dass die Studierenden hierbei von den in den Vorlesungen und Übungen angeeigneten Fertigkeiten profitieren können.

5. Literatur

- [1] Sekyra, P. (2020). Vergleich computerunterstützter Messwerterfassungssysteme für den Physikunterricht. Wissenschaftliche Hausarbeit, Technische Universität Darmstadt, Url: https://www.physik.tu-darmstadt.de/media/fachbereich_physik/phys_studium/vorlesungsassistenz/wiss_hausarbeiten/WH-Vergleich-computerunterstuetzter-messwerterfassungssysteme_sekyra.pdf (Stand: 5/2021)
- [2] Wenzel, M., Wilhelm, T. (2015). Erhebung zum Einsatz Neuer Medien bei Physik-Gymnasiallehrern. In Groetzebauch, H. & Nordmeier, V. (Hrsg.), PhyDid B – Didaktik der Physik. Beiträge zur DPG Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Wuppertal 2015.
- [3] Finger, A., Thyssen, C., Laumann, D. & Vogelsang, C. (2020). Analyse von Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. In S. Habig (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen, S. 182-185. Universität Duisburg-Essen, Url: https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2020/TB2020_182_Finger.pdf (Stand: 5/2021).
- [4] Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. ZfDN, <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6> (Stand 5/2021).
- [5] Dietz, J. C. (2013). Physik in der Küche – ein Konzept, den Physikunterricht am Alltag der Lernenden zu orientieren. Wissenschaftliche Hausarbeit, Technische Universität Darmstadt, Url: <https://www.physik.tu->

- [darmstadt.de/media/fachbereich_physik/phys_studium/vorlesungsassistenz/wiss_hausarbeiten/2013_WH_Diezt_-_Physik_in_der_Kueche.pdf](https://www.tu-darmstadt.de/media/fachbereich_physik/phys_studium/vorlesungsassistenz/wiss_hausarbeiten/2013_WH_Diezt_-_Physik_in_der_Kueche.pdf) (Stand: 5/2021)
- [6] Käß, S. K. (2016). Physik in der Küche – Erarbeitung eines Konzeptes in der Sekundarstufe I für einen anwendungsbezogenen Physikunterricht. Wissenschaftliche Hausarbeit, Technische Universität Darmstadt, nicht veröffentlicht.
- [7] Feierabend, S., Rathgeb, T. & Reutter, T. (2019). Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2018). JIM-Studie 2018 - Jugend, Information, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. Stuttgart: MPFS. Url: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2018/Studie/JIM2018_Gesamt.pdf (Stand: 5/2021)
- [8] Hütz, S., Staaks, S., Stampfer, C. & Heinke, H. (2018). Einsatz der App phyphox in Physikvorlesungen und -übungen. In: C. Maurer (Hrsg.), Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017. (S. 831). Universität Regensburg.