

Vergleich computerunterstützter Messwerterfassungssysteme für den Physikunterricht

Patrick Sekyra, Erik Kremser

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

Kurzfassung

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Hausarbeit an der TU Darmstadt für das Lehramt an Gymnasien bestand die Möglichkeit verschiedene computerunterstützte Messwerterfassungssysteme zu vergleichen. Dabei konnten durch eine Reihe unterschiedlicher Experimente, die typisch für die Schulphysik sind, Vergleichskriterien erarbeitet werden, die letztlich zu einem Bewertungsschlüssel führten, um die zur Verfügung stehenden Messwerterfassungssysteme zu bewerten. Zur Verfügung standen dazu die Hersteller Pasco Scientific (Pasco), PHYWE Systeme GmbH und Co. KG (Phywe) und Vernier Software & Technology (Vernier). Ermittelt wurde durch die Nutzwertanalyse eine Rangfolge der jeweiligen Messwerterfassungssysteme mit Schwerpunkt auf den Physikunterricht in der Schule, wobei durch die Auswahl der jeweiligen Software darauf geachtet wurde, dass die Nutzung mobiler Geräte und somit auch die Nutzung der Messwerterfassungssysteme durch die Schüler_innen möglich ist.

1. Einleitung

Die computerunterstützte Messwerterfassung ist für die Schule eine Bereicherung. Experimente können in Echtzeit gemessen und graphisch ausgewertet werden und es bieten sich eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Darstellung an. Einige Experimente wären ohne die computerunterstützte Messwerterfassung nicht denkbar oder schwer umsetzbar. Zusätzlich bieten kabellose Sensoren weitere Einsatzmöglichkeiten, etwa im Freien und unabhängig von der Stromversorgung in Verbindung mit mobilen Endgeräten.

Für einen Vergleich muss zunächst ein Schwerpunkt gesetzt werden, der hier für den Physikunterricht in der Schule gewählt wurde. Damit werden bewusst die Experimente im Physikunterricht der Schule fokussiert, wo zwei spezielle Herausforderungen an die Messwerterfassungssysteme auftreten, nämlich einerseits der Gebrauch durch Schüler_innen, die keinen täglichen Kontakt mit den Systemen haben und deshalb eine einfache und intuitive Benutzeroberfläche benötigen und andererseits die Anforderung, durch die Auswertung der Experimente einen Mehrwert im Sinne des Lernerfolgs (Erkenntnisgewinnung) der Schüler_innen zu produzieren.

2. Die Messwerterfassungssysteme

Zum Vergleich standen für die Arbeit die aktuellen drahtlosen Sensoren der Lehrgerätehersteller zur Verfügung, die in der Umgebung in Südhessen am häufigsten verwendet werden [1]: Pasco Scientific (Pasco), PHYWE Systeme GmbH und Co. KG (Phywe) und Vernier Software & Technology (Vernier). LD Didactic GmbH (Leybold) hatte dem Vergleich zugestimmt, konnte aber aufgrund der Pandemie-Situation letztlich nicht rechtzeitig die Sensoren

für die beabsichtigten Experimente (siehe Kapitel 3) liefern. Die Messwerterfassungssysteme verwenden jeweils eine eigene Software, von der es unterschiedliche Ausführungen gibt. Da Experimente nicht nur von den Lehrkräften, sondern auch von den Schüler_innen mit den eigenen mobilen Geräten durchgeführt werden können, wurden im Zuge der Arbeit hauptsächlich die kostenlosen Software-Optionen der Hersteller verwendet. Folglich soll die Software auch die Betriebssysteme mobiler Geräte (besonders Smartphones) unterstützen, da sie bei Schüler_innen häufiger vorhanden sind als beispielsweise Laptops oder Tablets [2] und der Transport, sowie die Flexibilität mobiler Geräte die Vielseitigkeit und Spontaneität der Experimente erhöhen können. Zusätzlich eröffnet es den Schüler_innen die Möglichkeit mit ihren eigenen mobilen Geräten selbstständig Messungen durchzuführen und auszuwerten. Die ausgewählten Software-Optionen waren schließlich: Pasco's SPARKvue (Version 4.3.0.10), Phywe's Measure-APP (Version 1.0.3.0) und Vernier's Graphical Analysis 4 (Version 4.10.0.0).

Um die Messwerterfassungssysteme besser vergleichen zu können, stand eine Auswahl an Sensoren zur Verfügung, mit denen Experimente aus verschiedenen Jahrgangsstufen und Themengebieten der Physik durchgeführt werden können. Folgende Sensoren wurden für die Experimente benötigt: Beschleunigungssensor, Bewegungssensor, Drehbewegungssensor, Drucksensor, Kraftsensor, Lichtsensor, Magnetfeldsensor, Spannungssensor, Stromsensor, Temperatursensor.

3. Die Experimente

Um die Sensoren vergleichen zu können, werden sie in typischen Schulexperimenten aus der Physik getestet. Im Sinne eines Vergleichs sollen möglichst viele verschiedene Sensoren verglichen werden, da im Schulalltag des Physikunterrichts auch Experimente verschiedener Teilgebiete der Physik durchgeführt werden müssen (die Vielzahl verschiedener Sensoren und Experimente bedingt sich somit gegenseitig). Somit wurden Experimente aus den vier Teilbereichen der Physik ausgewählt (Mechanik, Optik, Elektrizitätslehre und Wärmelehre). Es sollten hauptsächlich solche Experimente ausgewählt werden, für die der Einsatz computerunterstützter Messwerterfassungssysteme nötig ist oder zumindest einen klaren Vorteil bietet. Die einzelnen Experimente inklusive der Ergebnisse lassen sich in diesem Artikel nicht alle darstellen, deshalb soll hier auf die Arbeit selbst verwiesen werden, wo alle neun Experimente inklusive Skizzen und Auswertung dokumentiert sind [3].

Exemplarisch sei hier ein Experiment zur Aufzeichnung von Bewegungen dargestellt (siehe Skizze in Abb. 1 und Foto des Aufbaus in Abb. 2), bei dem die Bewegung eines Wagens auf einer Aluminiumfahrbahn untersucht wurde, indem ein Bewegungssensor (Ultraschallsensor) und ein Beschleunigungssensor gleichzeitig zur Datenerfassung verwendet wurden.



Abb. 1: Skizze des Versuchsaufbaus zur Bewegung eines Wagens auf einer Aluminiumbahn.



Abb. 2: Foto des Aufbaus zur Bewegung eines Wagens auf einer Aluminiumbahn mit den Sensoren von Pasco.

Der Wagen wurde von Hand beschleunigt und auch wieder abgebremst und die Messwerte der beiden Sensoren konnten durch Funktionen innerhalb der Software (Differentiation, bzw. Integration) verglichen werden (siehe Abb. 3 und Abb. 4).

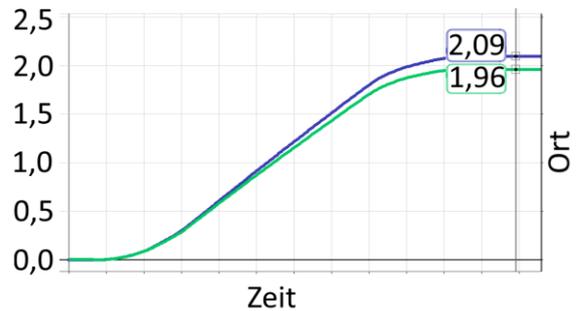


Abb. 3: Graphen des Vergleichs der Messwerte des Bewegungssensors (blau) mit den berechneten (zweimalige Integration) des Beschleunigungssensors (grün) im s-t-Diagramm aus SPARKvue mit den Sensoren von Pasco (Schriftgröße nachträglich angepasst zur besseren Sichtbarkeit). Markiert sind die Endpunkte und somit die Strecke, die der Wagen insgesamt zurückgelegt hat.

Eine auf der Aluminiumbahn verklebte Skala diente als zusätzlicher Vergleich zur Strecke, die vom Wagen während der Messung zurückgelegt wurde. Dort konnte die Strecke von 2,10 m abgelesen werden. Der Bewegungssensor misst eine Strecke von 2,09 m und der Beschleunigungssensor nach zweimaliger Integration 1,96 m. Der Bewegungssensor misst demnach die Strecke sehr akkurat, der Beschleunigungssensor allerdings nur sehr ungenau und ist zudem sehr sensibel für kleine Abweichungen im Aufbau.

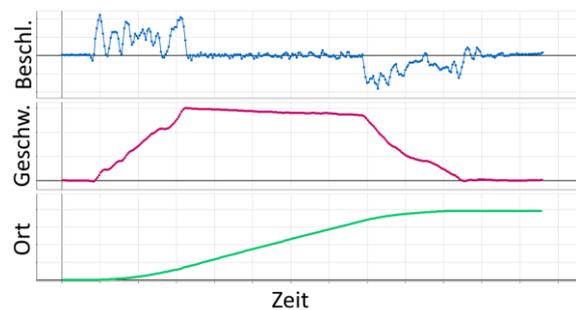


Abb. 4: Graphen mit den Messwerten des Beschleunigungssensors im a-t-Diagramm (oben, blau) und den durch Integration berechneten Größen Geschwindigkeit (v-t-Diagramm, mittig, rot) und Ort (s-t-Diagramm, unten, grün) aus SPARKvue mit den Sensoren von Pasco (Schriftgröße nachträglich angepasst zur besseren Sichtbarkeit).

Abgesehen vom Tarieren der Bahn ist dieser Versuch durch die kabellosen Sensoren sehr leicht aufzubauen und durchzuführen. Die Möglichkeiten zur Auswertung innerhalb der jeweiligen Software führten zu einigen Vergleichskriterien (siehe nächsten Abschnitt bezüglich Vergleichskriterien).

4. Die Vergleichskriterien

Die Vergleichskriterien, die durch die Experimente herausgestellt wurden, sollen im Folgenden vorgestellt und erläutert werden. Dabei wird zwischen Kriterien, die direkt mit den Sensoren zusammenhängen und solchen, die sich aus den Möglichkeiten der Software ergeben, unterschieden. Vergleichskriterien ergeben sich dann, wenn sie bei der Messwerterfassung der zuvor durchgeführten Experimente einen Vor- oder Nachteil bewirkten.

4.1. Sensor-Kriterien

Die Vergleichskriterien der Sensoren ergeben sich im Wesentlichen aus deren Hardwarekomponenten und somit aus den Spezifikationen der einzelnen Sensoren. Darunter fielen die folgenden Kriterien.

4.1.1. Handhabung

Unter Handhabung soll das Vorhandensein von Gewinden und Löchern zur Befestigung verstanden werden. Zusätzlich wird das Verhalten der LEDs beim Ein- und Ausschalten und bei bestehender Bluetooth-Verbindung der Sensoren verglichen. Dabei wird nur unterschieden, ob die LEDs entsprechende Lichtzeichen geben.

4.1.2. Akkulaufzeit

Die Akkulaufzeit wird nur für diejenigen Sensoren verglichen, die keine austauschbaren Batterien haben. Dabei gilt als Kriterium nur, dass die Akkus im Dauerbetrieb einen ganzen Schultag (etwa acht Stunden) betrieben werden können. Dies ist insofern von Relevanz, als dass die Akkus nach dem Einsatz an einem Schultag wieder aufgeladen werden können - ein zwischenzeitliches Laden ist nicht nötig.

Das Verwenden von Batterien gegenüber wiederaufladbaren Akkus hat Vor- und Nachteile [4]. Batterien halten länger ihre Ladung, tolerieren Temperaturschwankungen besser – insbesondere tolerieren sie höhere und niedrige Temperaturen im Vergleich zur Raumtemperatur besser – und benötigen keinen Zugang für ein Ladekabel, was die Abdichtung gegen eindringende Flüssigkeiten erleichtert. Allerdings müssen zum Auswechseln Batterien gekauft und auch korrekt entsorgt werden. Das bedeutet, dass Batterien bei den Sensoren am sinnvollsten sind, deren Einsatz besonders hohe oder tiefe Temperaturen erwarten lässt und die gegebenenfalls Spritzwasser oder anderen Flüssigkeiten ausgesetzt werden müssten. Temperatursensoren sollten demnach mit einer Batterie statt eines Akkus betrieben werden, was beim Temperatursensor von Vernier aber nicht der Fall ist.

4.1.3. Bluetooth-Reichweite

Für die Reichweite der Bluetooth-Verbindung gilt als Kriterium, dass die Verbindung zum Sensor innerhalb eines geschlossenen Raumes (Größe vergleichbar mit typischen Klassenraum in der Schule) nicht abreißt. Dazu wurde Raum 118 im Gebäude S|113 der TU Darmstadt genutzt. Der Raum hat 40 Sitzplätze (Seminarraum) und eine Fläche von 110,86 m².

4.1.4. Auflösung

Die Auflösung eines Sensors ist die kleinste messbare Differenz, die der Sensor noch auflösen kann. Sie wird direkt aus den Messwerten der Sensoren bestimmt. Je kleiner der Wert ist, desto vielseitiger kann der Sensor eingesetzt werden, wobei die Auflösung erst dann relevant wird, wenn die zu messende Messgröße sich in der Größenordnung der Auflösung des Sensors befindet.

4.1.5. Messunsicherheit

Die Messunsicherheit ist ein wesentliches Merkmal eines Sensors und entscheidet über die Zuverlässigkeit eines Messwertes. Einige der Sensorhersteller haben Messunsicherheiten für manche ihrer Sensoren in den Spezifikationen angegeben, für die Arbeit wurden aber nur Daten verwendet, die direkt mit den Sensoren ermittelt wurden. Dazu werden Messwerte von Messgrößen aufgezeichnet, die konstant bleiben, was einer Wiederholungsmessung entspricht und somit eine statistische Methode [5] zur Ermittlung der Messunsicherheit ist. Unter der Annahme einer Normalverteilung [6] wird die zweifache Standardabweichung 2σ bestimmt, also der Bereich, in dem 95,45 % der Messwerte liegen. Es werden immer die ersten 500 Messwerte zur Auswertung verwendet und dann die Standardabweichung mit einem Tabellenkalkulationsprogramm bestimmt. Sofern es möglich ist, wird die Messung mit einer veränderten, aber wiederum konstanten Messgröße wiederholt und ebenfalls die Messunsicherheit bestimmt. Damit soll festgestellt werden, ob die Messunsicherheit auch vom Wert der Messgröße abhängt.

4.1.6. Messbereich

Der Messbereich ist für die Gestaltung eines Experiments von großer Bedeutung, da er festlegt, in welchem Intervall sich die Messgrößen befinden dürfen. Um die Sensoren nicht zu beschädigen, wurden die Messbereiche der einzelnen Sensoren nicht durch ein Experiment ermittelt, sondern von den Herstellerangaben in den Spezifikationen übernommen.

4.1.7. Abtastrate

Die Abtastrate ist für die Sensoren bis zu einer maximalen Abtastrate einstellbar, wobei allerdings kein Nachteil darin besteht die höchstmögliche Abtastrate einzustellen – abgesehen vom Datalogging, bei dem eine erhöhte Abtastrate den Datenspeicher schneller füllt. Da die Abtastraten auch von der Datenübertragungsart abhängig sind, wurde hierbei zwischen kabelloser und kabelgebundener Übertragung unterschieden.

4.1.8. Datalogging

Sensoren, die auch als Datenlogger fungieren, können Messwerte aufzeichnen und in ihrem internen Speicher abspeichern, bis sie durch eine Software heruntergeladen werden. So ist zur Datenaufzeichnung kein Endgerät nötig, was für Experimente im Freien oder Langzeit-Experimente (beispielsweise Temperaturmessung über die ganze Nacht) hilfreich sein kann.

4.2. Software-Kriterien

Die Vergleichskriterien der Software ergeben sich aus den jeweils spezifischen Möglichkeiten, die Messwerte darzustellen und direkt auszuwerten. Darunter fielen die folgenden Kriterien.

4.2.1. Anforderungen

Die Anforderungen der Software-Optionen an das Betriebssystem der Endgeräte sind gegebenenfalls eine Einschränkung für die Benutzung mit den vorhandenen Geräten. Besonders problematisch fiel hier die Anforderung der Software MeasureAPP von Phywe auf, die Mac-Betriebssysteme und ältere Versionen von Windows oder iOS nicht unterstützt.

4.2.2. Schwuppdizität

Die Schwuppdizität bezeichnet die gefühlte Geschwindigkeit eines Programms (oder Rechners) und ist eine Wortneuschöpfung von Carsten Meyer, die durch das c't Magazin geprägt wurde [7]. Im Kontext der Arbeit diente der Begriff vor allem der Abgrenzung des bereits bei den Sensoren verwendeten Begriffs der Handhabung und drückt aus, wie einfach die jeweilige Software zu bedienen ist und wie intuitiv die Software – von Kopplung der Sensoren bis zur Messwertaufzeichnung – zu verwenden ist. Da die Messwertaufzeichnung auch von Schüler_innen durchgeführt werden soll und somit auch auf Smartphones genutzt wird, ist eine einfache Oberfläche mit einfacher Bedienung vorteilhaft (beispielsweise möglichst wenige Funktionen in Menüs und Untermenüs verborgen).

4.2.3. Darstellungsvielfalt

Unter Darstellungsvielfalt sollen alle Möglichkeiten der Software-Optionen verstanden werden, die Messwerte darzustellen, die zur Durchführung und besonders zur Auswertung der Experimente benötigt wurden oder aufgefallen sind. Die unterschiedlichen Möglichkeiten sind im Anhang in Tab. 2 zusammengefasst, wobei ein „ja“ bedeutet, dass die entsprechende Software diese Funktion anbietet und ein „nein“ bedeutet, dass die Funktion nicht vorhanden ist. Es werden nicht nötigerweise alle Möglichkeiten für die Auswertung oder Darstellung eines Experiments benötigt, aber diese Möglichkeiten (und gegebenenfalls weitere, die in der Arbeit nicht aufgefallen sind) können im Physikunterricht benötigt werden und bieten deshalb einen Mehrwert bei der Darstellung und Auswertung.

4.2.4. Berechnete Größen

Die berechneten Größen ermöglichen die Eingabe von Funktionen, um aus Messgrößen andere physikalische Größen zu berechnen oder auch, um Umrechnungen umzusetzen. Damit ist es auch möglich Offsets zu korrigieren oder Achsen zu skalieren (beispielsweise logarithmische Skalierung).

4.2.5. Teilen von Daten (Data-Sharing)

Unter Umständen (beispielsweise für die Präsentation von Gruppenarbeitsergebnissen) ist es nötig, dass auf-

gezeichnete Sensordaten von einem Gerät auf ein anderes übertragen werden. Das kann entweder - wie beispielsweise bei Pasco - durch eine Live-Übertragung oder durch ein einfaches Kopieren der Sensordaten geschehen.

4.2.6. Praktisches

Unter „Praktisches“ soll alles in einem Kriterium zusammengefasst werden, was als hilfreich oder nützlich innerhalb der Software aufgefallen ist (aus Gründen der besseren Übersicht). Unter diesen Punkt fallen folgende Kriterien: Anzeige des momentanen Akku- oder Batterie-Ladezustandes; Sensoren werden nach Distanz zum Endgerät sortiert gelistet; Automatische Kopplung zum Sensor, der sich am nächsten befindet; Lehrmaterial (Arbeitsblätter) innerhalb der Software; Graphen können direkt als Bilddateien exportiert werden; Sensoridentifizierung innerhalb der Software (beispielsweise durch klare Benennung).

Diese Kriterien beeinflussen nicht die Darstellung oder Umsetzbarkeit eines Experiments, sind aber besonders im Schulunterricht sehr hilfreich, wie beispielsweise die Sensoridentifizierung oder die Näherungskopplung, wenn in Kleingruppen mit vielen gleichen Sensoren gearbeitet wird, damit es nicht zu Kopplungen der Geräte einer anderen Gruppe kommt.

4.3. Kosten

Die Kosten eines Messwertaufzeichnungssystems sind für Schulen ein entscheidender Faktor, da die Ausgaben gerechtfertigt werden müssen.

5. Bewertungsschlüssel

Aus den Bewertungskriterien, die im vorangegangenen Kapitel gesammelt wurden, sollte ein Bewertungsschlüssel für die Messwertaufzeichnungssysteme entwickelt werden. Es handelt sich um eine große Anzahl an Kriterien mit wiederum mehreren Aspekten, die einerseits unterschiedlich gewichtet werden müssen und andererseits keine einheitlichen Größen – auch keine einheitliche Bewertungsmethode – verwenden. Der Bewertungsschlüssel soll schließlich jedem Messwertaufzeichnungssystem eine Zahl zuweisen, mit der – möglichst objektiv – eine Rangfolge aufgestellt werden kann, die für Dritte dennoch transparent bleibt. Dazu eignet sich die Nutzwertanalyse.

5.1. Die Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist als Bewertungsverfahren in der Lage durch die Vergleichskriterien (siehe Abschn. 4) jedem Messwertaufzeichnungssystem einen Wert (Gesamtnutzwert) zuzuweisen, mit dessen Hilfe sich die Systeme in eine Rangfolge bringen lassen. Die optimale Wahl ist dann durch die Alternative gegeben, die den höchsten Nutzwert erreicht. Genaueres zur Nutzwertanalyse findet sich in der Arbeit und in der Literatur [8] [9] [10] [11].

5.2. Gewichtung

Die Gewichtungsfaktoren erlauben es Schwerpunkte zu setzen. Sie dienen somit dem Hervorheben bestimmter Kriterien, indem sie deren Kriterienbewertung mit einem größeren Anteil in die Nutzwertanalyse eingehen lassen. Gewichtungsfaktoren sind immer subjektiv und auch, wenn versucht wurde, die gewählten Gewichtungsfaktoren durch die Erkenntnisse aus den Experimenten zu begründen, ist dies nur ein Versuch, einen objektiven Orientierungspunkt zu erhalten und keineswegs als Anspruch einer tatsächlichen Objektivität zu interpretieren.

5.3. Bewertung der einzelnen Kriterien

Die Bewertung der Kriterien erfolgte relativ, also stets auf die Alternative bezogen, die bei diesem Kriterium am besten bewertet wurde. So ist sichergestellt, dass alle Kriterien gleich stark in die Nutzwertanalyse eingehen und nur durch die Gewichtungsfaktoren gewichtet werden (die Bewertungsskala war bei allen Kriterien identisch). Für die Bewertung der Kriterien musste außerdem noch unterschieden werden, ob sich das Kriterium aus untergeordneten Aspekten zusammensetzt oder nicht. Wenn es untergeordnete Aspekte gab, wurden diese einzeln bewertet und anschließend durch eine Nutzwertanalyse (mit eigenen Gewichtungsfaktoren) berechnet. Die Ergebnisse (Nutzwerte) dieser untergeordneten Nutzwertanalysen wurden dann auf den besten (höchsten) Nutzwert bezogen, damit daraus die endgültige Bewertung des Kriteriums auf der 10er-Skala ermittelt werden konnte. Damit ist die beste Alternative mit einer zehn auf der 10er-Skala bewertet und die anderen Alternativen relativ dazu.

Die Bewertung erfolgte dann folgendermaßen: Kriterien, zu denen es messbare Werte gibt, wurden relativ auf den besten Wert bezogen und so in einer 10er-Skala ausgedrückt. Kriterien, die entweder erfüllt sind oder nicht, wurden mit einer zehn auf der 10er-Skala bewertet, wenn sie erfüllt sind und mit einer null, wenn sie nicht erfüllt sind. Kriterien, die teilweise erfüllt, die aber nicht messbar sind, wurden anhand der Erfahrungen aus den Experimenten bewertet. Diese Bewertung anhand der Erfahrungen aus den Experimenten ist subjektiv und bezieht sich auf die Vorstellungen des Verfassers.

6. Bewertung der Systeme

Es können nun alle Kriterienbewertungen und die jeweiligen Gewichtungen in einer Tabelle zusammengefasst (siehe Tab. 1) und so der Nutzwert jeder Alternative berechnet werden. So ergibt sich eine Rangfolge der Messwerterfassungssysteme, bei der das System von Pasco als die beste Alternative hervorgeht (Nutzwert von 8,84), gefolgt von Vernier (Nutzwert von 8,31) und schließlich Phywe (Nutzwert von 7,22).

Der theoretische maximale Nutzwert, den ein Messwerterfassungssystem hätte erreichen können, wäre ein Nutzwert von 10,00, da die Bewertungen der einzelnen Kriterien durch die 10er-Skala so angelegt wurden, dass eine höhere Wertung als 10,00 nicht möglich ist. Zusätzlich zum Gesamt-Nutzwert könnten nur die Kriterien der Sensoren (siehe Abschn. 4.1) oder nur die Kriterien der Software (siehe Abschn. 4.2) betrachtet werden (in Tab. 1 ebenfalls angegeben). In diesem Fall zeigt sich allerdings kein Unterschied zu der Rangfolge, die sich durch den Gesamt-Nutzwert ergibt.

6.1. Sensibilitätsanalyse

Die aus der Nutzwertanalyse hervorgebrachte Rangliste kann nun als Entscheidungshilfe bei der Auswahl eines Messwerterfassungssystems dienen, wobei zu berücksichtigen ist, dass nicht jede Person mit den gewählten Gewichtungsfaktoren übereinstimmen würde. Um die Subjektivität, die in die Gewichtungsfaktoren eingeflossen ist, zu überprüfen, kann nun eine Sensibilitätsanalyse durchgeführt werden. Dabei werden die Gewichtungsfaktoren variiert und somit neue Nutzwerte bestimmt, die mit den Nutzwerten der ursprünglichen Gewichtungsfaktoren verglichen werden können. Das Ergebnis der Nutzwertanalyse gilt dann als empfindlich, wenn sich die Rangfolge der Alternativen bei einer solchen Variation ändert und als robust, wenn sie sich nicht ändert [12].

Zur Überprüfung der Sensibilität der Gewichtung sollen die folgenden beiden Variationen durchgeführt werden:

1. Alle Kriterien werden identisch gewichtet (Pasco mit Nutzwert von 8,90, Phywe mit Nutzwert von 6,81, Vernier mit Nutzwert von 8,00),
2. Alle Gewichtungsfaktoren werden invertiert (Pasco mit Nutzwert von 8,98, Phywe mit Nutzwert von 6,17, Vernier mit Nutzwert von 7,51).

In beiden Fällen bleibt die Rangfolge unverändert und – wie zu erwarten – ändert sich nur der Wert der Nutzwerte und auch deren Differenz. Somit kann die Nutzwertanalyse mit der vorgenommenen Gewichtung als robust eingestuft werden und die Gewichtung bevorzugt keines der Messwerterfassungssysteme.

Kriterien	Gewichtung	Pasco	Phywe	Vernier
Handhabung	5 %	10	6,17	6,88
Akkulaufzeit	6 %	10	10	10
Bluetooth-Reichweite	7 %	10	10	10
Auflösung	7 %	8,63	4	10
Messunsicherheit	3 %	7,85	4,28	10
Messbereich	10 %	10	9,68	8,81
Abtastrate	9 %	9,42	8,58	10
Datalogging	3 %	10	5	0
Anforderungen	7 %	10	4,62	8
Schwuppdizität	10 %	3	10	7,5
Darstellungsvielfalt	10 %	10	6,39	9,4
Berechnete Größen	8 %	10	2	8
Data-Sharing	4 %	10	2,5	4
Praktisches	1 %	6,67	8,89	10
Kosten	10 %	7,86	10	7,36
Nutzwert		8,84	7,22	8,31
Nutzwert der Sensorkriterien		4,79	3,91	4,43
Nutzwert der Softwarekriterien		3,27	2,31	3,15

Tab 1: Nutzwertanalyse der drei Messwertaufzeichnungssysteme.

7. Fazit

Die Nutzwertanalyse stellte das System von Pasco als das unter den berücksichtigten computerunterstützten Messwerterfassungssystemen zu bevorzugende Messwerterfassungssystem heraus (Tab. 1), da dessen Software den größten Funktionsumfang bereitstellt und die Sensoren den Anforderungen der Experimente stets genügten. Auch das System von Vernier konnte einen ähnlich hohen Nutzwert erreichen, wobei der Funktionsumfang der Software und der Sensoren im Vergleich zu Pasco etwas geringer ausfiel. Das System von Phywe erreichte dagegen einen geringeren Nutzwert, was sich auch durch den deutlich geringeren Funktionsumfang der Software erklärt.

Dieses Ergebnis deckt sich auch mit meinen Erfahrungen während des Aufbaus der Experimente: Bei der Ausgestaltung habe ich häufig die Sensoren genutzt um schnell meinen Aufbau zu überprüfen (beispielsweise um die passende Lichtquelle mit entsprechender Beleuchtungsstärke auszuwählen) und dabei bevorzugt die Messwerterfassungssysteme von Pasco oder Vernier verwendet. Dabei fiel auf, dass ich für Experimente mit komplizierteren Berechnungen eher die Software von Pasco und zur schnellen Aufzeichnung von Messgrößen eher die Software von Vernier bevorzugte.

Das ideale computerunterstützte Messwerterfassungssystem müsste die Vorteile der betrachteten Systeme verbinden. Dabei sind vor allem Funktionsumfang und Übersichtlichkeit nicht leicht zu vereinen – das ist aber gerade für den Physikunterricht in der Schule relevant, da hier die Systeme von Schüler_innen verwendet werden. Die Integration von internen Sensoren der mobilen Geräte halte ich dabei für einen zusätzlichen Anreiz, die Systeme auch außerhalb des Unterrichts zu nutzen und so die Möglichkeiten und den Umgang mit der Software kennenzulernen. Schüler_innen könnten, beispielsweise beim Sport, Messwerte mit ihren mobilen Geräten aufzeichnen, die sie dann in der nächsten Unterrichtsstunde mit der Klasse diskutieren möchten. Das eröffnet neue Unterrichtskonzepte und Möglichkeiten einen Alltagsbezug und Bezug zur Lebenswelt der Schüler_innen herzustellen. Zudem kann spekuliert werden, dass interne Sensoren in den mobilen Geräten in Zukunft häufiger und besser werden und so stünden im Physikunterricht viele Sensoren bereits durch die mobilen Geräte der Schüler_innen zur Verfügung.

8. Literatur

- [1] Wenzel, M.; Wilhelm, T. (2015): Erhebung zum Einsatz Neuer Medien bei Physik-Gymnasiallehrern. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung / Fachverband Didaktik der Physik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) 2015.
- [2] Feierabend, S.; Karg, U.; Rathgeb, T. (2016): JIM-Studie 2016: Jugend, Information, (Multi-)Media; Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland. Stuttgart. URL: http://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf (Stand 9/2020).
- [3] 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).
- [4] Leuthold, S., Hrsg. (2006): Batterien und Akkus: Das sollten Sie wissen! Fragen und Antworten zu Batterien, Akkus und Umwelt. Stand: Juli 2006. Ratgeber / Umweltbundesamt.
- [5] Krystek, M., Hrsg. (2012): Berechnung der Messunsicherheit: Grundlagen und Anleitung für die praktische Anwendung. 1. Aufl. Beuth Praxis Messwesen. Berlin: Beuth, 2012. ISBN: 978-3-410-20932-4.
- [6] Adunka, F. (2007): Messunsicherheiten: Theorie und Praxis. 3. Aufl. Essen: Vulkan-Verl., 2007. ISBN: 978-3-8027-2205-9.
- [7] Meyer, C. (1998): Vollgestopfter Muskelprotz: Power Mac G3/300: Der Ausstattungs-Overkill. In: c't 9 (1998), S. 50–51.
- [8] Bechmann, A. (1978): Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung: Zugl.: Hannover, Habil.-Schr., 1977. Bd. 29. Beiträge zur Wirtschaftspolitik. Bern: Haupt, 1978. ISBN: 3-258-02694-7.
- [9] Dreyer, A. (1975): Nutzwertanalyse als Entscheidungsmodell bei mehrfacher Zielsetzung. 1975.
- [10] Kühnapfel, J. B. (2019): Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb. 2. Aufl. 2019. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019. ISBN: 9783658251642. DOI: 10.1007/978-3-658-25164-2.
- [11] Zangemeister, C. (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. 4. Aufl.
- [12] Kühnapfel, J. B. (2017): Vertriebscontrolling: Methoden im praktischen Einsatz. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN: 9783658138974. DOI: 10.1007/978-3-658-13897-4.

Anhang

	<i>SPARKvue</i>	<i>MeasureAPP</i>	<i>Graph. Analysis 4</i>
Mehrere Koordinatensysteme	ja	nein	ja
Automatische Skalierung	ja	ja	ja
Abszissenachse Messgröße wählen	ja	ja	ja
Bereiche vergrößern	ja	ja	ja
Anzeige der Messwerte als Zahlenwert	ja	ja	ja
Anzeige der Messwerte in Tabelle	ja	ja	ja
Messwerte als Punkte oder verbunden	ja	ja	ja
Unterschiedliche Messgrößen für Abszissenachse in verschiedenen Koordinatensystemen auswählen	nein	nein	ja
Mehrere Koordinatensysteme gemeinsam skalieren	ja	nein	nein
Mehrere Messgrößen in einem Koordinatensystem	ja	ja	ja
logarithmische Achsenskalierung	nein	nein	nein
Skalierung der Schriftgröße	nein	nein	ja
Näherungsgleichungen einfügen	ja	nein	ja
Farbe der Graphen anpassen	ja	nein	nein
Einheit der Messgröße anpassen	ja	nein	nein

Tab. 2: Kriterien-Aspekte der Darstellungsvielfalt.