

Messen mit Tablets und externen Sensoren

Thomas Wilhelm, Jeremias Weber

1. Computerbasierte Messwerterfassung

Die computerbasierte Messwerterfassung ist heute im Physikunterricht ein Standard. In einer Umfrage aus dem Jahre 2009 gaben 82 % der bayrischen Physik-Gymnasiallehrkräfte an, dass sie dies schon verwendet haben, und 33 % sagten, dass sie dies schon durchgehend in einer Klasse eingesetzt haben [1]. Eine andere Untersuchung zeigte, dass 89 % aller Naturwissenschaftslehrkräfte am Gymnasium den Computer einsetzen, wobei Physiklehrer ihn am häufigsten einsetzen und die computerbasierte Messwerterfassung im Physikunterricht signifikant häufiger verwendet wird als in Biologie oder Chemie [2].

Diese Art der Messwerterfassung hat viele Vorteile. Es können nicht nur physikalische Größen gemessen, sondern gleichzeitig weitere physikalische Größen daraus berechnet werden. Man kann in Echtzeit den zeitlichen Verlauf einer physikalischen Größe oder die Abhängigkeit einer Größe von einer anderen aufnehmen und auf verschiedene Weisen darstellen. Die im Vergleich zu einer analogen Messung gewonnene Zeit kann man zur Diskussion der Ergebnisse oder für Varianten des Versuches verwenden. Auch Wünschen von Schülern über andere Startbedingungen oder andere Einstellungen können schneller entsprochen werden. Darüber hinaus hat man, verglichen mit der analogen Messung, eine deutlich größere Anzahl an Messwerten, die zur späteren Auswertung zur Verfügung stehen. Auch bei sehr schnell ablaufenden oder lang andauernden Versuchen ist der Computer eine große Hilfe. Und schließlich bietet er viele Möglichkeiten der Auswertung der Daten.

Als der Rechner in den 1980er Jahren langsam im Physikunterricht einzog, hatte man neben Zählern die Analog-Digital-Wandler, die eine analoge Spannung in ein digitales Signal umwandelten. Wollte man eine andere physikalische Größe messen, musste man sich überlegen, wie man diese zuerst in eine Spannung umwandelte. Dann kamen die großen Messboxen, mit denen man mehrere Spannungen gleichzeitig messen konnte oder an die man mehrere Sensoren anschließen konnte. Diese teuren Messboxen wurden über interne Einsteckkarten oder besser über die serielle Schnittstelle und schließlich über den USB-Port an den Computer angeschlossen. Heute bieten Lehrmittelfirmen zu praktisch jeder physikalischen Größe einen kleinen Sensor an, den man über einen kleinen Adapter direkt an den USB-Anschluss anschließen kann. Nun haben aber Smartphones und Tablets nicht die Möglichkeit, über einen USB-Anschluss Daten vom Sensor aufzunehmen. Will man auch mit diesen mobilen Endgeräten eine Messwerterfassung machen, ist die Frage, wie man die Messdaten aufnehmen kann.

2. Überblick über heutige Messwerterfassungssysteme

Messwertsysteme sind heute modular aufgebaut. Es gibt jeweils eine Fülle von Sensoren für viele chemische und physikalische Größen. Dies können über einen USB-Adapter an einen Windows-PC angeschlossen und ausgelesen werden. Die Möglichkeit, auch mit einem Mac oder einem Linux-System zu messen, bieten nicht alle Systeme.

Außerdem gibt es Datenlogger, mit denen man ohne Computer eine Messung aufzeichnen kann, um die Daten später am Computer genauer auswerten zu können. Dies ermöglicht es leicht, mit dem Sensor an interessanten Orten eine Messung durchzuführen. Manche Datenlogger bieten die Möglichkeit, auf einem kleinen Display bereits erste Ergebnisse zu sehen, andere haben keine Ausgabe. Schließlich gibt es auch noch die Möglichkeit, die Daten des Sensors per Funk an ein großes Display zu senden, das nur eine Digitalanzeige hat.

Weiterhin ist es möglich, die Daten des Sensors per Funk an einen PC zu übertragen, wozu man statt dem USB-Adapter einen Funk-Adapter braucht. Die Funkübertragung geschieht entweder mit dem standardisierten Bluetooth, über Wireless LAN oder mit einem eigenen Funksystem. Entsprechend braucht der PC entweder einen entsprechenden Funkempfänger oder kann einen vorhandenen Bluetooth-Empfänger oder WLAN-Empfänger nutzen. Dass die Datenübertragung von einem Sensor zu einem Rechner ohne Kabel über Funk einige Vorteile hat, wurde bereits in [3] gezeigt. Man kann damit nicht nur Temperatur und Druck in einem abgeschlossenen System messen. Auch der Aufbau mancher Experimente wird einfacher und Kabel beeinflussen das Experiment nicht. Dies macht sich insbesondere bei Drehbewegungen und bei Bewegungen über größere Entfernungen von ein paar Metern positiv bemerkbar.

In jüngster Zeit kamen nun noch Lösungen dazu, die eine Messwerterfassung auf Tablets und Smartphones mit externen Sensoren ermöglichen, wobei die Datenübertragung immer ohne Kabel funktioniert. In diesem Überblicksartikel sollen dazu vier verschiedene Systeme von vier verschiedenen Anbietern (Pasco, Vernier, Phywe und Christiani) kurz ohne Anspruch auf Vollständigkeit vorgestellt werden (siehe Tab. 1). Da die Entwicklung recht schnell geht, kann damit nur eine Momentaufnahme skizziert werden (Stand: Frühjahr 2014).

Firma	System	Software für PC	App für Tablets	Verbindung zum Tablet
Pasco, in Deutschland von Conatex vertrieben	Pasport	DataStudio, Capstone, SPARKvue	SPARKvue SPARKvue HD	Bluetooth
Vernier, in Deutschland von LPE vertrieben	LabQuest	Logger Pro, Logger Lite	Graphical	Bluetooth oder WLAN
Phywe	Cobra4	measure	measure App	WLAN
NeuLog, in Deutschland von Christiani vertrieben	NeuLog	NeuLog	NeuLog	WLAN

Tabelle 1: Übersicht über die vorgestellten Systeme

Aus Platzgründen soll hier kein Vergleich dieser Systeme stattfinden, sondern nur eine kurze Vorstellung. Dazu soll eine Messung des jeweils gleichen Beispiels durchgeführt werden: Ein Becherglas mit einer Eis-Wasser-Mischung wird erhitzt und die Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit aufgenommen. Verwendet wird eine Eis-Wasser-Mischung von etwa 0,2 kg mit viel fein gecrushtem Eis und wenig Wasser. Man sieht, dass die Energiezufuhr zunächst keine Temperaturerhöhung bewirkt. Erst wenn alles Eis geschmolzen ist, nimmt die Temperatur linear mit der Zeit zu. Sind fast 100°C erreicht, führt die weitere Energiezufuhr nicht mehr zu einer Temperaturzunahme, sondern wieder zu einer Änderung des Aggregatzustandes.

Meistens wird ein Adapter an die Sensoren gehängt, der seine Daten entweder bei älteren Lösungen per Bluetooth oder bei neueren Lösungen über ein bestehendes WLAN-Netz sendet oder wie ein WLAN-Router ein eigenes neues WLAN-Netz erstellt (siehe Tab. 1). Abhängig davon, ob vom WLAN-Adapter ein eigenes WLAN erzeugt wird oder ob sich Adapter und Endgerät im gleichen vorhandenen WLAN befinden, hängt es ab, ob man gleichzeitig Verbindung zum Internet aufnehmen kann oder nicht.

Bluetooth ist ein Standard zur Datenübertragung mittels Funk über kurze Entfernungen zwischen zwei Endgeräten. Theoretisch können bis zu sieben Verbindungen gleichzeitig aufrechterhalten werden, wobei sich die beteiligten Geräte die verfügbare Bandbreite teilen müssen. Mit WLAN (Wireless Local Area Network) bezeichnet man ein lokales Funknetz. Dabei übernimmt ein Wireless Access Point oder ein drahtloser Router die Koordination aller Endgeräte. Bei WLAN sind wesentlich größere Übertragungsraten als bei Bluetooth möglich. WLAN-Netzwerke haben üblicherweise eine größere Reichweite als Bluetooth-Verbindungen und sind flexibler; es können also leichter neue Geräte ins Netzwerk eingebunden werden. Bei Bluetooth-Verbindungen müssen neue Geräte einzeln gekoppelt werden, bei WLAN-Verbindungen ist die Verknüpfung durch einfache Verbindungsaufnahme und eine eventuelle Passwordeingabe möglich.

3. Pasco: Sensormessung per Bluetooth

Die amerikanische Lehrmittelfirma Pasco bietet das System Passport an, das in Deutschland von der Lehrmittelfirma Conatex vertrieben wird [4]. Es stehen mehr als 70 verschiedene Sensoren zur Verfügung. Diese können per USB oder Bluetooth an einen PC (Windows oder MAC OS) angeschlossen werden oder über zwei verschiedene Datenlogger, die man auch allein als Anzeigergeräte verwenden kann. Dafür gibt es drei verschiedene Analyseprogramme (DataStudio, Capstone, Sparkvue). Tablets und Smartphones (iOS und Android) können per Bluetooth verbunden werden.

Über USB können mehrere Sensoren an einen Rechner angeschlossen werden, über das Universal Interface z.B. vier Stück. Mit dem AirLink 2 kann über Bluetooth ein Sensor an jedes Bluetooth-fähige Endgerät angeschlossen werden. Will man zwei Sensoren gleichzeitig auslesen, geht das mit dem Sparklink Air ebenfalls über Bluetooth; dazu hat Sparklink Air selber noch einen eingebauten Temperatur- und Spannungssensor. Mehr als zwei eigenständige Sensoren können damit nicht kabellos an ein Endgerät angeschlossen werden.

Für Tablets gibt es die App "Sparkvue" sowohl für iOS als auch für Android ab Version 4.0, und für iOS noch die App "Sparkvue HD". Auf den getesteten Android-Smartphones lief die App nicht.

Abbildung 1 zeigt einen Heizmagnetrührer, einen Temperatursensor mit dem akkubetriebenen Air-Link 2 sowie ein Android-Tablet. Abbildung 2 zeigt den Temperaturverlauf in der App Sparkvue. In der gewählten Darstellung wird nur ein Zeit-Graph dargestellt, bei dem man schön die konstante Temperatur beim Eis-Wasser und beim Kochen sieht. Rechts unten kann man alternativ auf eine Digitalanzeige des aktuellen Wertes, auf eine Messtabelle oder auf ein Zeigermessgerät umstellen. Die Messdaten können auf Knopfdruck per E-Mail versandt werden.



Abb. 1: Heizmagnetrührer, Temperatursensor und Air-Link 2 von Pasco sowie Tablet



Abb. 2: Temperaturverlauf in Sparkvue

4. Vernier: Sensormessung per Bluetooth und WLAN

Die amerikanische Lehrmittelfirma Vernier bietet das System LabQuest an, das in Deutschland von der Lehrmittelfirma LPE Naturwissenschaft & Technik vertrieben wird [5]. Es stehen knapp 60 verschiedene Sensoren zur Verfügung. Einige wenige Sensoren sind mit einem Bluetooth-Sensor versehen, die meisten Sensoren müssen aber an ein Interface angeschlossen werden. Zur Auswahl stehen zwei verschiedene USB-Adapter, an die bis zu fünf Sensoren angeschlossen werden können, sowie ein eigenständiger Datenlogger namens LabQuest2 mit fünf Sensoranschlüssen. Letzterer kann auch per Bluetooth oder WLAN Verbindung mit Windows- und Mac-Rechnern sowie mit Android- und iOS-Geräten aufnehmen. Auch ohne Verbindung kann LabQuest2 die Erfassungsrate der Daten steuern und aufgenommene Datensätze zur späteren Verwendung speichern. Es muss kein WLAN-Netz vorhanden sein, das Gerät kann selber als WLAN-Router fungieren. Diese Funktion ist bei iOS-Geräten nur eingeschränkt nutzbar, da iOS-Geräte sich bevorzugt mit einem Router mit Internetverbindung verknüpfen.

Sowohl Logger Pro bzw. Logger Lite (Windows und MacOS) als auch Graphical (Android und iOS) können alle am Datenlogger angeschlossenen Sensoren gleichzeitig erfassen. Beide Programme haben verschiedene Auswertemöglichkeiten. Die Datenerfassung kann durch die App Graphical ferngesteuert werden, die Erfassungsrate und die Kalibrierung muss jedoch an dem Datenlogger selbst eingestellt werden. Es ist auch möglich, die Daten der mobilen Version als Tabelle zu extrahieren und dann mit einer üblichen Tabellenkalkulation oder mit Logger Pro bzw. Lite weiter zu verarbeiten.

In Abbildung 3 kann man den Versuchsaufbau sehen, bestehend aus Heizmagnetrührer und zu erhitzendem Wasser. In dem Becherglas steht der Sensor, der wiederum an den akkubetriebenen Datenlogger angeschlossen ist. Daneben ist das iPad zu sehen, das zur Fernsteuerung der Datenerfassung genutzt wurde. Auf dem Datenlogger LabQuest2 kann man während der Datenerfassung durch das iPad die aktuelle Temperatur sehen. Auf dem iPad ist ein Ausschnitt

des Temperaturverlaufs zu sehen. Abbildung 4 zeigt den Temperaturverlauf des Wassers in der App Graphical.



Abb. 3: Heizmagnetrührer, Temperatursensor, LabQuest 2 von Vernier sowie iPad

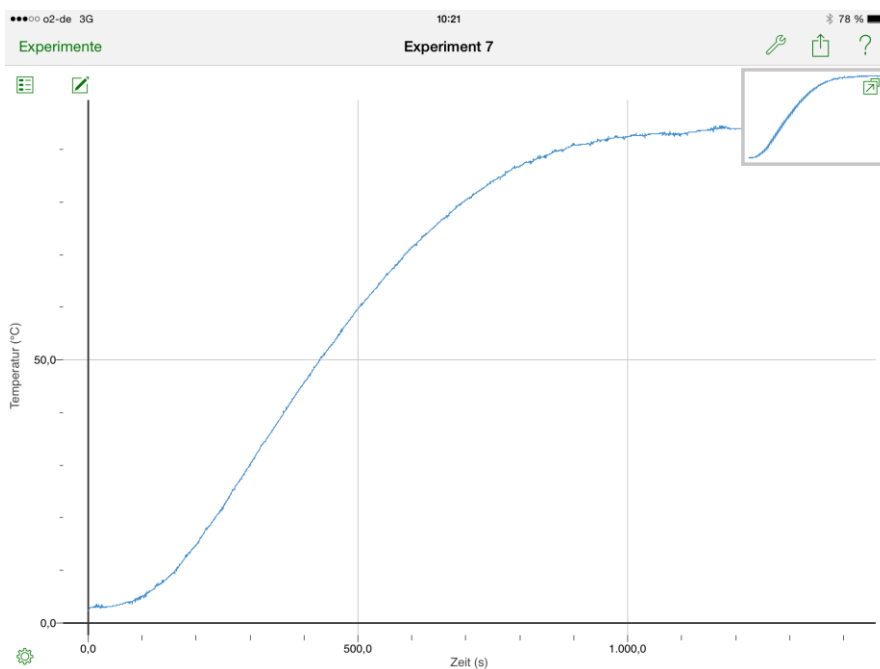


Abb. 4: Temperaturverlauf in Graphical

5. Phywe: Sensormessung per WLAN

Die deutsche Lehrmittelfirma Phywe bietet das System Cobra4 an [6], zu dem mehr als 30 verschiedene Sensoren zur Verfügung stehen. Diese können per USB oder per eigenem Funk an einen Windows-PC oder an einen Datenlogger mit Digitalanzeige angeschlossen werden. Außerdem können die Messwerte an eine digitale Großanzeige gesandt werden. Bei einem Experiment am Windows-Rechner können bis zu 99 Sensoren ausgelesen werden, wobei je-

der einzelne entweder über einen USB-Adapter oder über Funk an den Rechner angeschlossen werden muss. Über WLAN sollen auch bis zu zehn Sensoren auslesbar sein, wobei jeder Sensor einen WLAN-Adapter bekommt. Der entsprechende Adapter Wireless-Link 2 erscheint 2014.

Tablets und Smartphones können ebenso per WLAN verbunden werden. Die measure App für iOS erscheint 2014, die Android-Version soll bald darauf folgen. In dieser App, die für einfache Schülerversuche gedacht ist, kann nur ein Sensor ausgelesen werden. Die Daten, die mit dem Tablet aufgenommen wurden, können auch an einen PC übertragen werden, wenn dieser im gleichen WLAN-Netz ist. Dann können die Daten im Windows-Programm measure weiter bearbeitet werden.

Wenn kein WLAN verfügbar ist, erzeugt der Wireless-Link sein eigenes WLAN, auf dem sich das Tablet oder der Computer dann einwählt. Wenn ein WLAN verfügbar ist, wählen sich das Endgeräte und der Wireless-Link in dieses WLAN ein. Erzeugt ein Wireless-Link ein eigenes WLAN, können sich Wireless-Links weiterer Sensoren in dieses Netz einloggen.

Die App bietet zusätzlich noch die Möglichkeiten, Fotos, Videos oder Tondateien des Experimentes aufzunehmen. Informationen zum Experiment kann man als Text notieren oder als Audiodatei aufsprechen. Bei Freilandexperimenten kann man auch die GPS-Koordinaten des Ortes abspeichern.

Abbildung 5 zeigt ein Heizgerät, den Temperatursensor mit dem akkubetriebenen Wireless-Link 2 von Phywe sowie ein iPad. Da ein rotierendes Magnetfeld die Temperaturmessung stört, wird per Hand umgerührt. Abbildung 6 zeigt den Temperaturverlauf in der measure App auf dem Tablet. Wieder sieht man, dass die Temperatur anfangs fast konstant ist. Sie erhöhte sich erst linear, als alles Eis geschmolzen war.

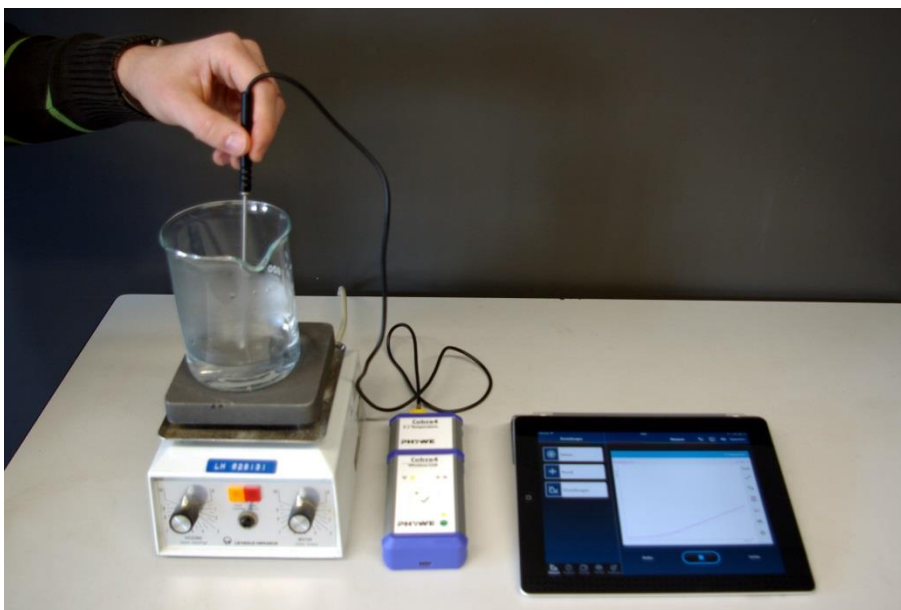


Abb. 5: Heizgerät, Temperatursensor und Wireless-Link 2 von Phywe sowie iPad

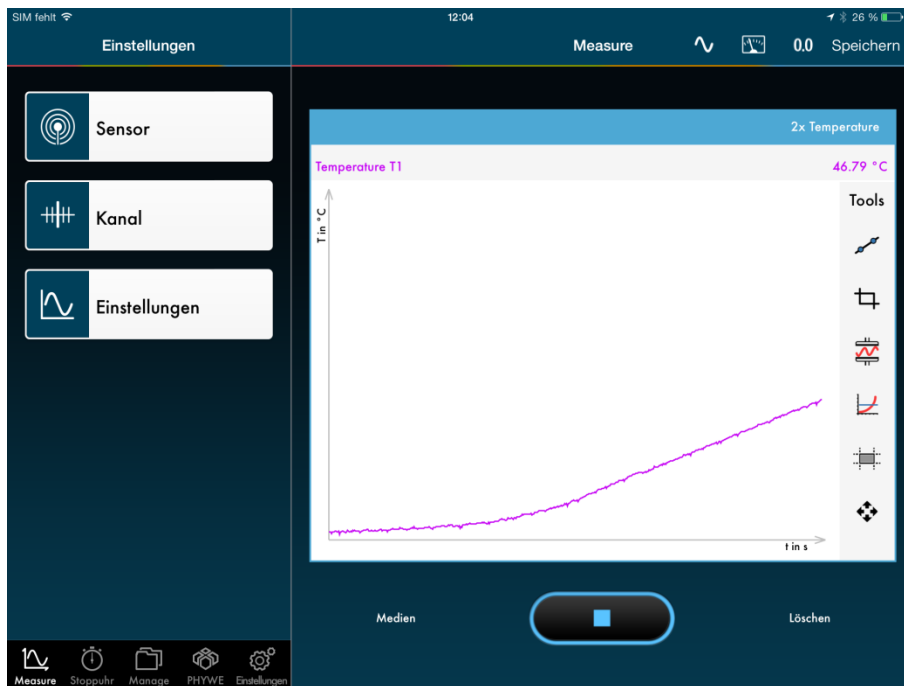


Abb. 6: Temperaturverlauf in der measure App

6. NeuLog: Sensormessung per WLAN im Browser

Die israelische System NeuLog wird in Deutschland von der Lehrmittelfirma Christiani vertrieben [7]. Dazu stehen mehr als 40 verschiedene Sensoren zur Verfügung. Diese können per USB, per eigenem Funk oder per WLAN an einen PC (Windows, MAC OS oder Linux) oder direkt an ein Anzeigergerät angeschlossen werden, wobei es ein Anzeigergerät für Graphen und ein kleines mit einer Digitalanzeige gibt. Tablets und Smartphones können per WLAN verbunden werden. Das WLAN-Modul erzeugt dabei entweder ein eigenes WLAN, mit dem sich das Endgerät verbindet, oder es wird indirekt auf das Modul über einen anderen WLAN-Router zugegriffen, so dass parallel ein Zugriff auf das Internet möglich ist.

Bei einem Experiment mit USB- oder WLAN-Kontakt können bei jedem Endgerät bis zu zehn Sensoren ausgelesen werden, die nicht einzeln angeschlossen werden müssen, sondern einfach in beliebiger Reihenfolge als Kette aneinander gesteckt werden, so dass ein einziger WLAN-Sender für mehrere Sensoren ausreicht, was kostensparend ist. Verwendet man nur das Grafikdisplay-Modul sind immer noch fünf Sensoren anschließbar.

Die Software läuft dabei bei allen Systemen in einem Browser. Da die Software schon auf dem WLAN-Adapter vorhanden ist, muss sie weder installiert noch aus dem Internet heruntergeladen werden. Somit sieht sie auch in allen Systemen immer gleich aus und man arbeitet auf allen Endgeräten auf der gleichen Oberfläche, die viele Möglichkeiten bietet.

Für den Unterricht interessant ist auch, dass man eine Messung gleichzeitig auf fünf Endgeräten betrachten kann. Zwar kann nur ein Endgerät den Sensor steuern, aber weitere vier Geräte können im sogenannten Betrachtermodus die Messungen sehen.

Jeder Sensor kann auch an einem Endgerät eingestellt werden und dann können ohne zusätzlichen Datenlogger und ohne das Endgerät mit ihm Daten aufgenommen werden, um sie später auszulesen. Das ist für Messungen im Freien günstig.

Abbildung 7 zeigt einen Heizmagnetrührer, eine Messkette von aus dem System NeuLog mit Temperatursensor (blau), WiFi-Modul (orange) und Batteriemodul (grün) sowie ein Android-Tablet. Abbildung 8 zeigt den Temperaturverlauf im Browser auf dem Tablet. In der gewählten Darstellung wird links der aktuelle Messwert als Zahl angezeigt und rechts ein Zeit-Graph dargestellt, bei dem man schön die konstante Temperatur beim Eis-Wasser und beim Kochen sieht.

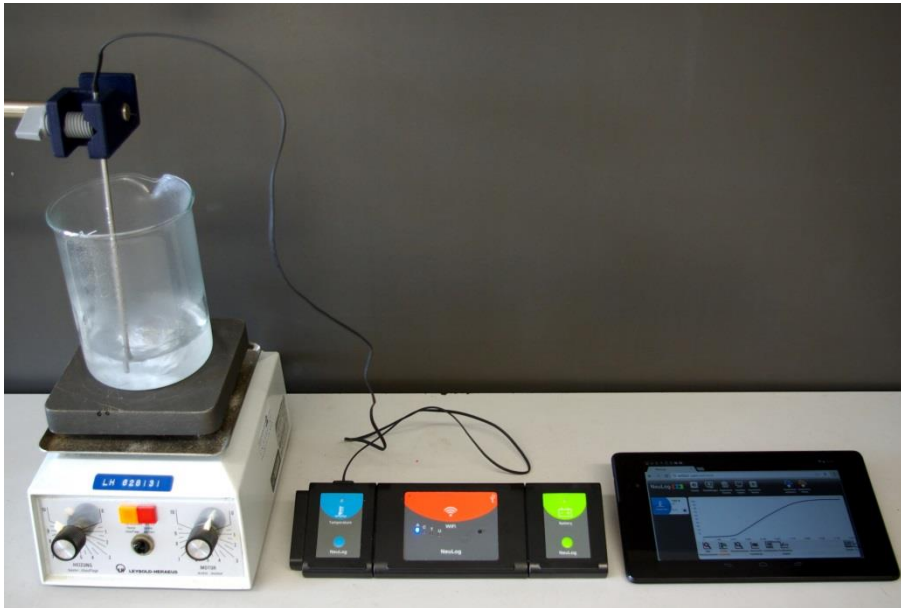


Abb. 7: Heizmagnetrührer, Temperatursensor mit WiFi-Modul und Batteriemodul von NeuLog sowie Tablet



Abb. 8: Temperaturverlauf im Browser

7. Fazit

Die vier vorgestellten Messwerterfassungssysteme unterscheiden sich in den Möglichkeiten, der Handhabung und dem Preis erheblich. Hat die Schule schon ein solches Messwerterfassungssystem für den PC, dann interessiert das sicher wenig, da man die gleichen Sensoren auch mit dem Tablet nutzen will. Möchte sich die Schule ein neues Messwerterfassungssystem anschaffen, sollte man sich zunächst gut überlegen, auf welchen Rechnern, Tablets oder Smartphones man es nutzen will, welche Datenlogger und Anzeigegeräte man braucht und welche Details einem wichtig sind. Grundsätzlich sind jedenfalls die Messmöglichkeiten, die man vom PC kennt, heute auch mit Tablets möglich, auch ohne eine USB-Buchse zu nutzen.

Literatur

- [1] T. Wilhelm, & T. Trefzger, Erhebung zum Computereinsatz bei Physik-Gymnasiallehrer - In: PhyDid-B – Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Hannover 2010, www.phydid.de
- [2] V. Pietzner, Computer im naturwissenschaftlichen Unterricht – Ergebnisse einer Umfrage unter Lehrkräften – In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 15, 2009, S. 47 - 67
- [3] S. Scheler & T. Wilhelm, Neue Möglichkeiten durch Funksensoren – In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 58, Nr. 7, 2009, S. 28 - 35
- [4] www.conatex.com, Menü “Datenlogger”
- [5] <http://www.naturwissenschaftundtechnik.de>, Menüpunkt „Vernier“
- [6] www.phywe.de/174/Schule/Cobra4-kabellos-Messen.htm
- [7] http://www.schule-trifft-technik.de/product_info.php/products_id/2996

Anschriften der Verfasser

Prof. Dr. Thomas Wilhelm, Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de;
Jeremias Weber, Institut für Physik und ihre Didaktik, Fachgruppe Didaktiken der Mathematik und der Naturwissenschaften, Universität zu Köln, Gronewaldstraße 2, 50931 Köln, jere-mias.weber@uni-koeln.de

Stichworte

Messwerterfassungssysteme, Tablets, Smartphones, Sensoren, WLAN

Kurzfassung

Die computerbasierte Messwerterfassung hat sich im Physikunterricht längst etabliert. Verschiedene Lehrmittelfirmen bieten eine Fülle von Sensoren an. Während bei PCs die Datenübertragung meistens über die USB-Schnittstelle geht, ist dies bei Tablets und Smartphones nicht möglich. Um trotzdem Messwerterfassung mit externen Sensoren zu ermöglichen, gibt es andere Wege der Datenübertragung ohne Kabel, wie Bluetooth und WLAN. In diesem Überblicksartikel werden kurz vier verschiedene Systeme von vier Anbietern (Pasco, Vernier, Phywe und Christiani) vorgestellt.