

Bewegungssensoren und kognitive Aktivierung im Physikunterricht der Neuen Mittelschule

Eine empirische Studie zum EU-Forschungsprojekt COMBLAB

*Hildegard Urban-Woldron**

Zusammenfassung

Forschungsergebnisse zum Einsatz des Bewegungssensors im Physikunterricht legen nahe, dass die Möglichkeit der simultanen Anzeige des Zeit-Positions-Diagramms und Bewegung des eigenen Körpers besonders förderlich zum Aufbau kinematischer Grundbegriffe sein kann. Während sich die bisherigen Studien zur computerunterstützten Messwerterfassung und -auswertung hauptsächlich auf die Anwendung in der Sekundarstufe II oder auf universitärer Ebene beschränken, wird in der vorliegenden Fallstudie untersucht, inwieweit auch schon in der Sekundarstufe I positive Effekte erzielt werden können. Die Ergebnisse sind sehr vielversprechend. Allerdings müsste aufgrund der kleinen Stichprobe eine Replikationsstudie mit einer wesentlich größeren Anzahl von Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden.

Motion detectors and cognitive activation in the middle school physics classroom

An empirical study within the EU-research project COMBLAB

Abstract

Research findings suggest the positive impact of the use of motion sensors on the conceptual understanding in kinematics in the high school physics classroom. In particular, due to the possibility to simultaneously show the position-time-graph when a student walks in front of a motion sensor, useful links in the head of students can be enhanced. The aim of the study is the investigation if the motion sensor could also be a meaningful item in the middle school classroom to foster understanding of kinematics. Although in consideration of the small sample size, the results indicate the high potential of the use of the motion detector to help middle school students to grasp the explanatory power of position-time graphs and help them calculate velocity. In conclusion, further research has to prove if the findings can be replicated with a larger sample size.

Schlüsselwörter:

Bewegungssensor
Bewegungsdiagramme
Konzeptuelles Verständnis

Keywords:

Motion detector
Motion graphs
Conceptual understanding

* Pädagogische Hochschule Niederösterreich, Mühlgasse 67, 2500 Baden.
Korrespondierende Autorin. E-Mail: hildegard.urban-woldron@ph-noe.ac.at

1 Theoretischer Hintergrund

„MBL instruments can be powerful tools that are able to help students within a wide range of ages and abilities learn physics“ (Thornton, 1987, S. 238)

„Real-time microcomputer-based Lab (MBL) experiments allow students to ‚see‘, and at least in kinematics exercises, ‚feel‘ the connection between a physical event and its graphical representation“ (Beichner, 1990, S. 803)

Zahlreiche Befunde fachdidaktischer Forschung zur computerunterstützten Datenerfassung im Physikunterricht zeigen, dass unter bestimmten Voraussetzungen positive Einflüsse sowohl auf die Lernmotivation als auch auf das konzeptuelle Verständnis der Schüler/innen erzielt werden können (z. B. Barton, 2005; Bernhard, 2003; Metcalf & Tinker, 2004; Redish et al., 1997; Reid-Griffin & Carter, 2008; Rogers, 1997; Newton, 1998; Urban-Woldron et al., 2012; Urban-Woldron, 2011c, 2010b, 2010c, 2008, 2007, 2006; Etienne et al., 2006; Zucker et al., 2008). Als besonders erfolgversprechend stellt sich der Einsatz des Bewegungssensors zum Verstehen von Bewegungsdiagrammen sowie zum Erfassen des Geschwindigkeitsbegriffes im Bereich der Kinematik heraus (z. B. Beichner, 1990; Brasell, 1987; Mokros & Tinker, 1987; Newton, 1997; Thornton & Sokoloff, 1990; Trowbridge & Mc Dermott, 1980; Urban-Woldron, 2010a, 2004, 2003, 2001). Da durch die gleichzeitige Darstellung eines bewegten Objekts und des korrespondierenden Bewegungsgraphen in einer Simulation aber noch kein signifikanter Unterschied zum traditionellen Unterricht festgestellt werden kann (Beichner, 1990), wird angenommen, dass das Zusammenwirken von realem Vorgang und graphischer Repräsentation die Effektivität der computerunterstützten Messwerterfassung ausmacht (Brasell, 1987). Die Forschungsbefunde sind allerdings nicht eindeutig: Während Thornton & Sokoloff (1990) in ihren Studien zeigen, dass der Einsatz von Bewegungssensoren das Verstehen von Bewegungsgraphen fördert, weisen andere Untersuchungen davon abweichende Ergebnisse auf (z. B. Slykhuus et al., 2005).

Die Uneinheitlichkeit bisheriger empirischer Forschungsbefunde zum computerunterstützten Physikunterricht spricht allerdings nicht gegen das hohe Potenzial von neuen Technologien. Vielmehr verweist sie auf die Komplexität der Lehr-Lernszenarien und die Vielzahl der beeinflussenden Faktoren und macht damit die Notwendigkeit zur Entwicklung und Erforschung adäquater instruktionaler Ansätze und geeigneter Evaluationsinstrumente deutlich. Neben der fachdidaktischen Einbettung des Technologieeinsatzes in die Unterrichtsplanung und der Konzipierung von Lernaufgaben (Urban-Woldron, 2012a), spielt die Form der personalen Begleitung der selbstständigen Arbeit in der konkreten Unterrichtsstunde eine große Rolle (Urban-Woldron, 2012c). Daraus resultiert die Notwendigkeit für die Lehrpersonen, sich für den pädagogischen Einsatz von Medien im Unterricht weiter zu professionalisieren (Hamne & Bernhard, 2001; Tylia, 2003; Urban-Woldron, 2012b, 2011a, 201b), um einerseits die Potenziale des Technologieeinsatzes adäquat einschätzen und andererseits aus der fachdidaktischen Perspektive erkennen zu können, wie mit diesem Wissen schülerzentrierte Lernumgebungen geschaffen werden können, die konstruktive Lernprozesse ermöglichen.

“Technology should only be used in the teaching and learning of mathematics and science when it allows one to perform investigations that either would not be possible or would not be as effective without its use.” (Bryan, 2006, S. 231)

Der didaktisch sinnvolle Einsatz neuer Technologien kann als Katalysator für eine qualitative Veränderung der Unterrichtsgestaltung im Sinne konstruktivistischer Lernumgebungen wirken (Schaumburg et al., 2008). Beim konstruktivistischen Lernen muss allerdings ein Gleichgewicht zwischen Instruktion und Konstruktion erzielt werden. Nach Mandl und Reinmann-Rothmeier (1995, S. 53) erfordert Lernen einerseits immer Motivation, Interesse und Aktivität seitens der Lernenden und andererseits aber auch Orientierung, Anleitung und Hilfe seitens der Lehrperson. Im Unterricht sollen daher Konstruktionen ermöglicht und angeregt werden. Erfolgreiches Lernen und damit verbundener Wissenserwerb werden unter Bezug auf konstruktivistische Lerntheorien als aktiver, selbst gesteuerter, konstruktiver und sozialer Prozess verstanden. Lernen mit neuen Technologien kann dann effizienter werden, wenn es gelingt, durch Weckung der richtigen Fragen bei den Lernenden individuelle Lernprozesse in Gang zu setzen. Daher besteht im Festlegen des passenden Didaktisierungsgrades und in der sich daraus ergebenden didaktischen Einbettung der neuen Technologien, die per se in den meisten Fällen noch überhaupt keine didaktische Qualität haben, die besondere Herausforderung für die Lehrenden im computerunterstützten Unterricht.

Das EU-Forschungsprojekt COMBLAB¹ zielt darauf ab, Unterrichts- und Lernmaterialien zu kontextbasierten Aufgaben aus dem Biologie-, Chemie- und Physikunterricht zu entwickeln, bei denen zur Datenerfassung

verschiedene Sensoren zum Einsatz kommen. Im Besonderen sollen einerseits durch die Kontextorientierung die Beteiligung und Motivation der Lernenden erhöht und andererseits durch den forschend-entdeckenden Ansatz deren Selbsttätigkeit angeregt werden (Espinoza & Quarless, 2010).

2 Forschungsfragen

Die im Rahmen des COMBLAB-Projekts geplanten Aufgaben und Lernaktivitäten waren ursprünglich hauptsächlich auf den Unterricht in der Sekundarstufe II ausgerichtet und wurden auch in diesem Sinne evaluiert. Erste vorläufige und bisher noch nicht publizierte Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Verbindung von realer Bewegung und gleichzeitig verfügbarem Bewegungsdiagramm das konzeptuelle Verständnis der Lernenden in der Kinematik unterstützt. Schon während der ersten Testung der Beispiele aus dem Bereich Physik stellte sich für die Autorin, aber auch für die beteiligten Lehrkräfte die Frage, welche Aufgaben vielleicht auch für einen Einsatz in der Sekundarstufe I geeignet wären und welche Adaptionen allenfalls durchgeführt werden müssten.

**GESCHWINDIGKEITSKONTROLLE – WIE KANN DIE GESCHWINDIGKEIT
 EINES FAHRENDEN AUTOS BESTIMMT WERDEN?**

(VERSION FÜR ÖSTERREICHISCHE NMS)

Das Überschreiten der erlaubten Höchstgeschwindigkeit im Straßenverkehr wird bestraft.

Wie aber findet die Polizei heraus, dass jemand zu schnell fährt?

Eine Möglichkeit zur Überwachung von Tempolimits ist die sogenannte „Section-Control“ (=Abschnittskontrolle). Dabei wird die Durchschnittsgeschwindigkeit über eine längere Strecke ermittelt.

Hast du eine Idee, wie man diese Durchschnittsgeschwindigkeit herausfinden kann?

Wie kann man die Geschwindigkeit eines Objekts bestimmen? Was ist der Unterschied zwischen Geschwindigkeit und Tempo?

.....

.....

.....

.....

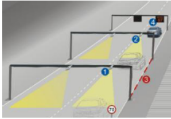


Abbildung 1: Einbettung der Lernaktivitäten mit dem Bewegungssensor in einen Kontext.

Es wurden vier Beispiele für den Einsatz in der Sekundarstufe konzipiert und einem Expertenrating von drei Lehrpersonen unterzogen, bevor sie im Praxisfeld evaluiert werden sollten. Der vorliegende Artikel beschränkt sich auf die Darstellung der Untersuchungsergebnisse zu einer einzigen Aufgabe für den Einsatz des Bewegungssensors (vgl. Abb. 1) in der Praxis-NMS² der PH NÖ, wobei sich die folgenden Forschungsfragen stellten.

- (1) Inwieweit sind die Lernaktivitäten der Aufgabe geeignet, ein konzeptuelles Verständnis eines Zeit-Positions-Diagramms bei Lernenden der Sekundarstufe I zu unterstützen?
- (2) Inwieweit fördert die Verbindung von realer Bewegung und gleichzeitig verfügbarem Bewegungsdiagramm ein begriffliches Erfassen der physikalischen Größe Geschwindigkeit bei Lernenden der Sekundarstufe I?
- (3) In welcher Weise hängen die Lernergebnisse mit motivationalen Einstellungen der Lernenden zusammen?

3 Forschungsdesign

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wird ein Prä-Post-Follow-up Design gewählt. Die Aufgabe „Geschwindigkeitskontrolle“ wird den Schülerinnen und Schülern mit Hilfe eines Arbeitsblattes präsentiert. Ausschnitte sind in Abb. 1 und den Abb. 4 bis 13 dargestellt. Die Aufgabe wird von ausgewählten Schülerinnen und Schülern, die sich freiwillig zur Teilnahme an einem außerhalb des normalen Unterrichts angebotenen Workshop melden, unter Aufsicht und Betreuung von zwei Ausbildungslehrkräften und sechs Studierenden des Faches Physik/Chemie der PH NÖ durchgeführt. Es wird untersucht, ob die angebotenen Lernaktivitäten einen nachweisbaren Lernzuwachs in Hinblick auf die Kompetenzen der Schüler/innen im Umgang mit Zeit-Positions-Diagrammen ermöglichen. Schülerinnen und Schüler sollen verstehen, welche Informationen man aus den Koordinaten eines Punktes im Zeit-Positions-Diagramm sowie aus dem Verlauf eines Bewegungsgraphen entnehmen kann. Um die Komplexität zu reduzieren, erfolgt eine Einschränkung auf gleichförmige Bewegungen.

Aufgabe 1:

Ein Auto fährt mit 1,5 km pro Minute von A nach B.

Zeichne im Diagramm rechts ein, wo sich das Auto

- nach 10 Minuten,
- nach 20 Minuten und
- nach 30 Minuten

befindet, wenn der Ort A im Ursprung des Koordinatensystems liegt.

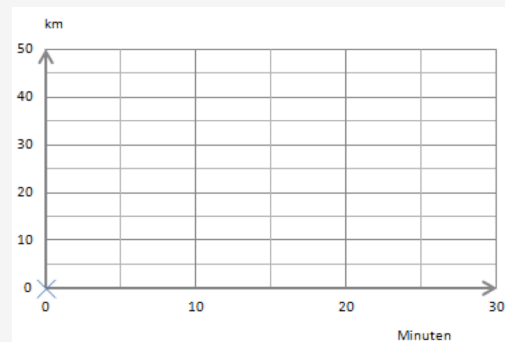


Abbildung 2: Aufgabe 1 (Prä-, Post- und Follow-up Test).

Die beiden Testaufgaben (vgl. Abb. 2 und Abb. 3) kamen so nicht im Unterricht vor und dienen einerseits im Prätest zur Erhebung des Vorwissens und andererseits im Post- und Follow-up Test zur Ermittlung des Lernzuwachses sowie der Nachhaltigkeit des Gelernten. Während bei Aufgabe 1 nach einer relativ einfachen Berechnung drei Punkte im Diagramm eingetragen werden sollen, müssen bei Aufgabe 2 aus einem Diagramm die Geschwindigkeiten der beiden Fahrzeuge ermittelt werden. Die Aufgabe ist alleine schon dadurch komplexer, da zwei Fahrzeuge vorkommen, die aufeinander zufahren. Um die Geschwindigkeit der beiden Fahrzeuge zu ermitteln, muss ein Transfer der Lernaktivitäten, die in Abbildung 12 beschrieben sind, auf eine neue und so nicht eingeübte Situation durchgeführt werden.

Aufgabe 2

Ein Auto X fährt von A nach B. Ein Auto Y fährt von B nach A. Die beiden Orte A und B sind 16 km voneinander entfernt.

Das Diagramm rechts zeigt, wo sich die beiden Autos in den nächsten 12 Minuten befinden.

Kreuze die richtigen Aussagen an:

<input type="checkbox"/> Auto X fährt mit 2 km pro Minute. <input type="checkbox"/> Auto X legt in 3 Minuten 4 km zurück. <input type="checkbox"/> Auto X legt in 8 Minuten 6 km zurück. <input type="checkbox"/> Auto X fährt mit 80 km/h.	<input type="checkbox"/> Auto Y fährt schneller als Auto X. <input type="checkbox"/> Auto Y legt in 1 Minute 1,6 km zurück. <input type="checkbox"/> Auto Y braucht für die Strecke länger als Auto X. <input type="checkbox"/> Auto Y kommt schon nach 9 Minuten im Ort A an.
--	---

Abbildung 3: Aufgabe 2 (Prä-, Post- und Follow-up Test).

Um auch die Forschungsfrage 3 beantworten zu können, werden zu den drei Testzeitpunkten (vor der Unterrichtsintervention, nach der Bearbeitung der Aufgaben und etwa fünf Wochen später) auch motivationale Einstellungen der Schüler/innen erhoben (vgl. Tab. 1 bis Tab. 3). Die Fragen beinhalten Einschätzungen der Schüler/innen zu ihrer Lernfreude im Fach Physik, ihrer Anstrengungsbereitschaft, ihrer Selbstwirksamkeitserwartung, ihrer Einschätzung des eigenen Lernerfolgs bei der spezifischen Aufgabe sowie ihren Einschätzungen über den Wert der Auseinandersetzung mit der Aufgabe.

Ich arbeite und lerne im Fach Physik, ...	stimmt völlig	stimmt eher	stimmt teilweise	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
... weil es mir Spaß macht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... weil ich sonst Ärger mit meiner Lehrkraft bekomme.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... weil ich gerne Aufgaben in diesem Fach löse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... weil ich sonst von zu Hause Druck bekomme.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... weil ich dann vielleicht später einen besseren Job bekomme.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... weil ich sonst schlechte Noten bekomme.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	stimmt völlig	stimmt eher	stimmt teilweise	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
Die Lösung schwieriger Probleme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für jedes Problem kann ich eine Lösung finden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwierigkeiten sehe ich gelassen entgegen, weil ich meinen Fähigkeiten vertrauen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn eine neue Sache auf mich zukommt, weiß ich, wie ich damit umgehen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Tabelle 1: Fragen zum Lernen im Fach Physik und zur Selbstwirksamkeitserwartung (Prätest).

	stimmt völlig	stimmt eher	stimmt teilweise	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
Ich habe mich gerne mit den Lernaktivitäten auseinandergesetzt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich habe mich bei den Lernaufgaben wirklich angestrengt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich denke, dass ich die Aufgaben sehr gut erledigt habe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bin mit meiner Leistung, die ich an diesem Nachmittag erbracht habe, sehr zufrieden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich denke, dass diese Aufgaben zu meinem Verständnis in Physik beigetragen haben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für mich war es wichtig, die Aufgaben sorgfältig zu erledigen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nach der Durchführung dieser Aufgaben fühle ich mich nun etwas kompetenter.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich meine, dass ich aus der Beschäftigung mit diesen Aufgaben einen persönlichen Nutzen gezogen habe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Aktivitäten mit den Sensoren waren für mich sehr schwierig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich würde das Arbeiten mit Sensoren als sehr interessant beschreiben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Tabelle 2: Fragen zur Arbeit mit den Lernaufgaben (Posttest).

	stimmt völlig	stimmt eher	stimmt teilweise	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
Am meisten zufrieden bin ich, wenn ich eine gute Note bekomme.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mir ist es wichtig, bessere Noten zu bekommen als meine Klassenkollegen/Klassenkolleginnen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich Aufgaben auswählen kann, nehme ich einfache, die eine gute Note garantieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich Aufgaben auswählen kann, nehme ich einfache, damit ich mich nicht anstrengen muss.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich denke, dass ich die Aufgaben oben gut gelöst habe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bemühe mich in der Schule immer alles möglichst gut zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich mich nur genügend anstrengende, kann ich alle Aufgaben lösen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich Aufgaben auswählen kann, nehme ich solche, die meine Neugierde wecken, auch wenn sie schwer zu lösen sind.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bevorzuge Aufgaben, die mich herausfordern und bei denen ich mich anstrengen muss.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Tabelle 3: Fragen zur Anstrengungsbereitschaft (Follow-up Test).

4 Durchführung

Die Lernaktivitäten wurden im Rahmen eines freiwilligen Angebots von fünf Schülern und einer Schülerin der PMS der PH NÖ an einem Nachmittag unter Betreuung zweier Ausbildungslehrkräfte und sechs Studierender der PH NÖ aus dem Fach Physik/Chemie durchgeführt. Zwei Schüler (S1 und S6) und eine Schülerin (S2) waren zum Zeitpunkt der Studie 12 Jahre alt; die weiteren drei Schüler waren 13 (S3), 14 (S5) und 15 (S4) Jahre alt. Ein Schüler (S4) und eine Schülerin (S2) haben als Muttersprache Ungarisch, ein Schüler (S5) hat Türkisch und drei Schüler haben Deutsch als Muttersprache.

A. Vorbereitung

Bei dieser Aktivität wirst du einen Bewegungssensor verwenden. Damit kannst du Zeit-Weg-Diagramme von bewegten Objekten darstellen. Du wirst dich verschieden schnell vor dem Sensor bewegen und Zeit-Weg-Diagramme deiner eigenen Bewegung aufnehmen.

So wirst du lernen, was Zeit-Weg-Diagramme über die Bewegung aussagen.

Hinweis: „Abstand“ steht für „Abstand vom Sensor“. Die Abstände werden vom Bewegungssensor weg gemessen.

- ✓ Der Bewegungssensor erkennt das am nächsten liegende Objekt.
- ✓ Der Bewegungssensor kann nur Objekte, die mehr als 15 cm entfernt sind, gut erkennen.
- ✓ Wenn du dich vor dem Sensor bewegst, wird dir angezeigt, wie weit du vom Sensor entfernt bist.

Abbildung 4: Informationstext auf dem Arbeitsblatt der Schüler/innen.



Abbildung 5: Bewegungssensor und TI Nspire Handheld³.

Die Lernaktivität „Geschwindigkeitskontrolle“ wurde über den Kontext „Section Control“ motiviert, wobei die Schüler/innen angeregt wurden, ihr Vorwissen zum Begriff der Geschwindigkeit und zur Ermittlung der

Geschwindigkeit eines bewegten Objekts zu aktivieren (vgl. Abb.1). Um weiter möglichst selbstorganisiertes Lernen zu ermöglichen, erhielten die Lernenden zusammen mit dem Equipment (Bewegungssensor + Handheld, vgl. Abb. 5) ein Arbeitsblatt, das in mehreren Abschnitten strukturiert war. Einleitend wurden die Schüler/innen mit den Besonderheiten (vgl. Abb. 4) sowie mit der Funktionsweise und der Darstellung der Messdaten (vgl. Abb. 6) des Bewegungssensors vertraut gemacht.

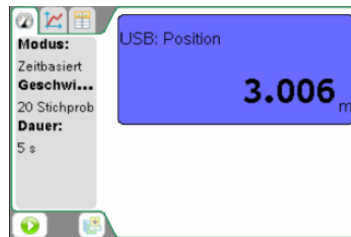


Abbildung 6: Aktuelle Entfernung zu einem Objekt wird auf dem Bildschirm des Handheld angezeigt.

In weiterer Folge führten die Lernenden erste Experimente (vgl. Abb. 7) mit dem Bewegungssensor durch, indem sie sich vor dem Sensor von diesem weg oder auf diesen zu bewegten und die am Handheld simultan angezeigten korrespondierenden Bewegungsbilder (vgl. Abb. 8) betrachteten, um im Anschluss die entsprechenden Fragen (vgl. Abb. 7) zu beantworten.

B. Führe ein Experiment mit dem Bewegungssensor durch

1) Bewege dich vor einem Bewegungssensor und finde heraus, wie die angezeigten Zeit-Weg-Diagramme mit deiner Bewegung zusammenhängen.

Der Bewegungssensor sendet Ultraschallimpulse aus, die von einem nächstgelegenen Objekt reflektiert werden. Aus der Laufzeit wird mit Hilfe der Schallgeschwindigkeit die Entfernung zwischen Sensor und Objekt berechnet. Auf dem Bildschirm siehst du dann ein Zeit-Weg-Diagramm, wobei du dir den Sensor im Ursprung denken musst.

a) Wie sieht das Zeit-Weg-Diagramm aus, wenn du dich langsam bewegst?

b) Wie sieht das Zeit-Weg-Diagramm aus, wenn du dich schnell bewegst?

c) Wie sieht das Zeit-Weg-Diagramm aus, wenn du dich zum Sensor hin bewegst?

d) Wie sieht das Zeit-Weg-Diagramm aus, wenn du dich vom Sensor weg bewegst?

Abbildung 7: Erste Erfahrungen mit dem Bewegungssensor ermöglichen.

Die Schüler/innen konnten mit dem Cursor und den Pfeiltasten den entsprechenden Bewegungsgraphen abtasten und so verinnerlichen, welche Informationen (Zeit und Position) aus der Lage eines Punktes in dem spezifischen Koordinatensystem abgelesen werden können (vgl. Abb. 8).

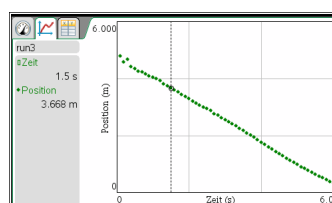


Abbildung 8: Bewegungsdiagramm für eine gleichförmige Bewegung zum Sensor hin.

Um eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem neu Gelernten zu initiieren, wurden die Schüler/innen mit den Fragen F1 und F2 (vgl. Abb. 9) veranlasst, ihre Lernergebnisse noch einmal eigenständig in schriftlicher Form zu präsentieren. Dabei lag der Fokus einmal auf der Größe der Geschwindigkeit und das andere Mal auf deren Richtung beziehungsweise der Richtung der Bewegung.

F1) Beschreibe, wie sich die Zeit-Weg-Diagramme unterscheiden, wenn du dich einmal langsam und das andere Mal schnell vom Sensor weg bewegst.

.....

.....

.....

F2) Beschreibe, wie sich die Zeit-Weg-Diagramme unterscheiden, wenn du dich einmal zum Sensor hin und das andere Mal gleich schnell vom Sensor weg bewegst.

.....

.....

.....

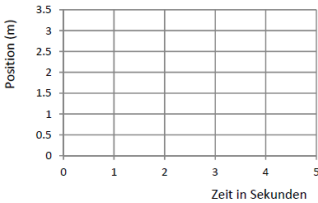
Abbildung 9: Erste Lernergebnisse selbst zusammenfassen und selbst formulieren.

Im nächsten Lernschritt wurden die Schüler/innen angeleitet sich nach bestimmten Vorgaben vor dem Sensor zu bewegen und dann den Bewegungsgraphen mit Hilfe ausgewählter Punkte auf das Arbeitsblatt zu übertragen (vgl. Abb. 10 und Abb. 11). In den Abbildungen 10 und 11 wurde für die Bezeichnung der physikalischen Größe auf der y-Achse aus didaktischen Überlegungen die Bezeichnung *Position* anstelle der sonst üblichen Bezeichnung *Weg* gewählt. Durch die großzügige personale Unterstützungssituation durch anwesende Lehrpersonen und Studierende, die im „normalen Unterricht“ wahrscheinlich nicht gegeben ist, konnte sehr differenziertes und individualisiertes Lernen der Schüler/innen realisiert werden.

2) Bewege dich mit gleichbleibender Geschwindigkeit und erstelle Zeit-Weg-Diagramme

Hinweis: Der Abstand eines Objekts wird hier als "Position" bezeichnet. Da sich der Sensor sozusagen im Ursprung des Koordinatensystems befindet, wir hier der Weg als Position bezeichnet. Wir sprechen daher von Zeit-Positions-Diagrammen. Ein Punkt gibt dann an, wie weit das Objekt zu einem bestimmten Zeitpunkt vom Sensor entfernt ist.

a) Starte etwa einen halben Meter vom Sensor entfernt und bewege dich langsam und gleichförmig vom Sensor weg.



b) Starte etwa einen halben Meter vom Sensor entfernt und bewege dich schneller (als bei a)) und gleichförmig vom Sensor weg.

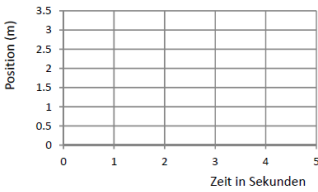


Abbildung 10: Verbindungen zwischen realer Bewegung und Diagramm herstellen.

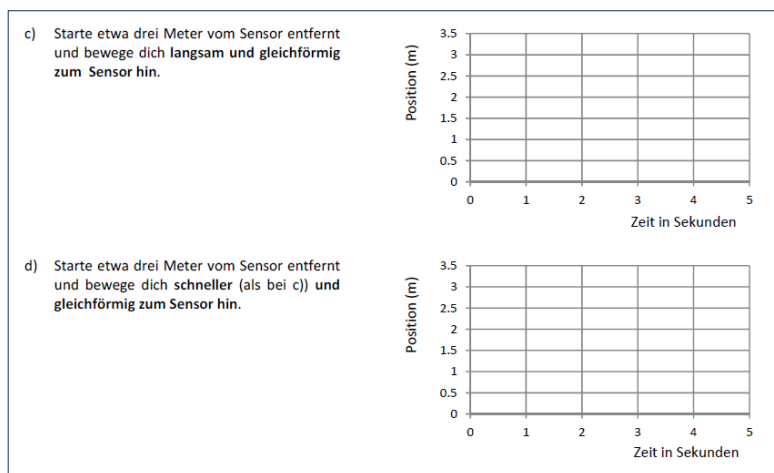


Abbildung 11: „Den vektoriellen Charakter der Geschwindigkeit erleben.“

In weiterer Folge sollten die Schüler/innen aus den selbst „ergangenen“ Bewegungsschaubildern nun jeweils ihre eigene mittlere Geschwindigkeit bestimmen (vgl. Abb. 12). Dabei sollten aus den Koordinaten zweier selbst gewählter Punkte der zurückgelegte Weg und die dafür benötigte Zeit ermittelt werden. Mit Hilfe einer Schlussrechnung oder durch den Hinweis, den Quotienten aus zurückgelegtem Weg und verstrichener Zeit zu bilden, ergibt sich die mittlere Geschwindigkeit der Bewegung zwischen den beiden Positionen. Hier wären weitere Möglichkeiten einer Differenzierung durch Reduzierung der Anleitungen sinnvoll. Jedenfalls sollten die Schüler/innen am Ende der Aktivität ihre Lernergebnisse darstellen, indem sie Frage F3 (vgl. 13) beantworteten.

e) Bestimme die mittlere Geschwindigkeit mit Hilfe der Zeit-Positions-Diagramme

Hinweis: Die mittlere Geschwindigkeit in einem bestimmten Zeitintervall wird berechnet, in dem man den zurückgelegten Weg durch die dafür benötigte Zeit dividiert. Den zurückgelegten Weg berechnest du als Differenz zweier Positionen.

Du weißt schon, dass der Zeit-Position-Graph umso steiler ist, je schneller du dich bewegst. Die Steilheit (= Steigung) des Graphen gibt also Auskunft über die Geschwindigkeit des Objekts.

a) Berechne deine mittlere Geschwindigkeit aus der Steigung im Zeit-Position-Graph für Aktivität 2a)

a1) Trage die Koordinaten für Position und Zeit von zwei Punkten während deiner Bewegung in der Tabelle ein.

	Position (m)	Zeit (Sekunden)
Punkt 1		
Punkt 2		

a2) Berechne den zurückgelegten Weg zwischen den Punkten 1 und 2. Bestimme dann auch die Zeit, die für den zurückgelegten Weg benötigt wird.

Zurückgelegter Weg (m)	
Benötigte Zeit (Sekunden)	
Mittlere Geschwindigkeit (m/s)	

a3) Dividiere dann den Wert für den zurückgelegten Weg durch jenen für die benötigte Zeit und trage den Quotient in der Tabelle ein.

Abbildung 12: Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit aus dem Bewegungsdiagramm

F3) Erkläre mit eigenen Worten, wie du mit Hilfe eines Zeit-Positions-Diagrammes die mittlere Geschwindigkeit eines Objekts bestimmen kannst.

.....

.....

.....

Abbildung 13: Reflexion des Lernprozesses und schriftliche Darstellung des Lernergebnisses.

Nach weiteren Übungen zum Nachgehen gegebener Graphen wurden die Lernenden mit der Aufgabe F (vgl. Abb. 14) wieder zum Ausgangskontext zurückgeführt.

F. Ziehe Schlüsse aus den durchgeführten Lernaktivitäten

Kehren wir nun zur Ausgangsfrage zurück: Erkläre, wie die Polizei mit Hilfe der "Section-Control" die Einhaltung des Tempolimits überprüfen kann. Welche physikalischen Größen benötigt man zur Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Abbildung 14: Rückkehr zum Kontext.

Im Rahmen der Studie wurden am Tag der Durchführung der Lernaktivitäten zwei Fragebögen (Prä- und Posttest) eingesetzt. Fünf Wochen nach der Intervention wurde der Follow-up Test durchgeführt (vgl. Abb. 15). Um den Lernzuwachs möglichst valide erfassen zu können, wurden zu jedem Testzeitpunkt die gleichen beiden Aufgaben verwendet (vgl. Abb. 3).

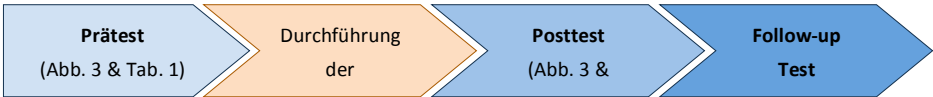


Abbildung 15: Zeitliche Struktur der Datenerhebung.

5 Darstellung und Interpretation ausgewählter Ergebnisse

In Abb. 16 sind die Ergebnisse zu Aufgabe 1 für die drei Testzeitpunkte aufgeschlüsselt nach Schüler/in dargestellt. Es konnten bei der Beantwortung höchstens zwei Punkte erzielt werden. Schüler/in S1 konnte keinen Lernzuwachs erzielen, da er/sie bereits beim Prätest die Aufgabe vollkommen richtig lösen konnte. Die Lernenden S2 und S4 konnten ebenfalls ihre Kompetenzen nicht verbessern; die beiden Schüler/innen hatten allerdings auch beim Erfassen des Vorwissens die Aufgabe 1 nicht gelöst. Deutliche Lernzuwächse konnten von den Lernenden S3, S5 und S6 erzielt werden, die auch im Nachhaltigkeitstest noch vorhanden waren. Von den drei Lernenden, die alle im Prätest null Punkte erzielten, konnten sich sowohl im Post- als auch im Follow-up Test zwei auf den Höchstwert (2 Punkte) steigern; eine Schülerin/ein Schüler erreichte eine Steigerung um jeweils einen Punkt.

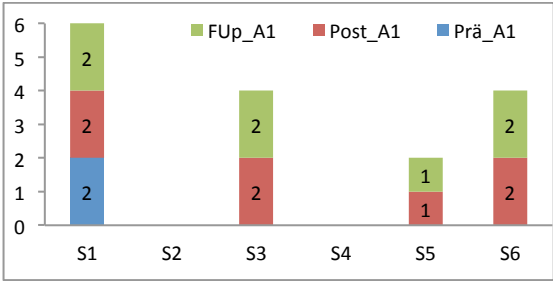


Abbildung 16: Lernergebnisse zu Aufgabe 1.

Bei Aufgabe 2 war die Geschwindigkeit des Autos X aus dem Diagramm zu ermitteln. Alle Schüler/innen, die im Prätest einen Punkt erzielten, konnten aus dem Diagramm richtig ermitteln, dass das Auto in 3 Minuten 4 km zurücklegt. Niemand fand aber im Prätest auch die zweite richtige Lösung, nämlich, dass das Auto X mit 80 km/h fährt. Hingegen wählten alle sechs Lernenden die Option „Auto X legt in 8 Minuten 6 km zurück“, was durch eine Vertauschung der Achsen zustande kommt und damit auch die richtige Lösung „Auto X legt in 3 Minuten 4 km zurück“, die immerhin von fünf Lernenden gewählt wurde, relativiert. Während nur Schüler/in

S3 im Post- und Follow-up Test die vollkommen richtige Lösung und damit die maximale Anzahl an Punkten (2 Punkte) erreichen konnte, fand nun auch Schüler/in S6 sowohl im Post- als auch im Prätest die Lösung „Auto X legt in 3 Minuten 4 km zurück“. Die Lernenden S2 und S4 blieben bei ihrer falschen zweiten Lösung, die auf eine Vertauschung der Koordinatenachsen hinweist. S1 und S5 konnten sich zwar nicht punktemäßig, aber immerhin dahingehend verbessern, dass sie beide nun nicht mehr die Alternative „Auto X legt in 8 Minuten 6 km zurück“ wählten, sondern nur eine Lösung präsentierten.

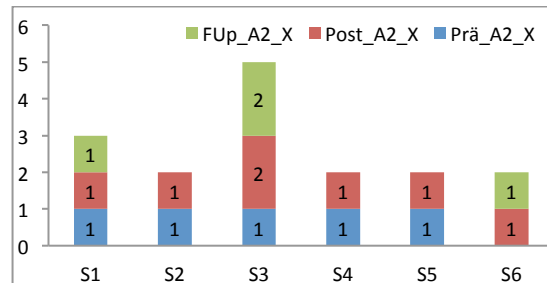


Abbildung 17: Lernergebnisse zu Aufgabe 2 (Auto X).

Für die Beantwortung der Fragen in Aufgabe 2 bezüglich des Autos Y mussten zusätzlich zur Ermittlung der Geschwindigkeit und der Ankunftszeit des Autos Y aus dem Diagramm noch Vergleiche zur Geschwindigkeit und Fahrzeit des Autos X angestellt werden, wodurch dieser Teil der Aufgabe 2 sehr selektiv wurde. Aufgrund der Komplexität der Fragestellungen und da die Fragen darüber hinaus auch wenig Ähnlichkeit mit den Lernaktivitäten hatten, konnten hier erwartungsgemäß auch keine Lernzuwächse festgestellt werden. Zwei Schüler/innen konnten allerdings schon im Prätest zwei Punkte beziehungsweise einen Punkt erzielen, wobei sie dieses Wissen sowohl im Post- als auch im Follow-up Test zeigen konnten.

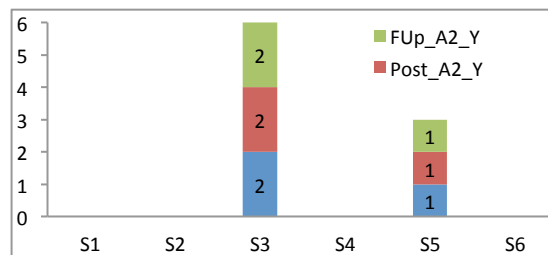


Abbildung 18: Lernergebnisse zu Aufgabe 2 (Auto Y).

In Abb. 19 sind ausgewählte Items zu den motivationalen Orientierungen der sechs Schüler/innen aus der Stichprobe dargestellt. Die beiden Schüler/innen S3 und S6 mit den größten Lernzuwächsen sowie Schüler/in S1 mit dem größten Vorwissen zu Aufgabe 1 unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Anstrengungsbereitschaft; sie wählen im Gegensatz zu den Lernenden S2, S4 und S5 eher nicht gezielt Aufgaben aus, bei denen sie sich nicht anstrengen müssen. Beiden Lernenden mit den größten Lernzuwächsen war es sehr wichtig, die Aufgaben sorgfältig zu erledigen, während das für S2 und S4 eher nicht bedeutsam war. Diese beiden Schüler/innen geben auch an, dass sie im Fach Physik arbeiten und lernen, weil sie dann vielleicht später einen besseren Job bekommen. Alle sechs Schüler/innen meinen, dass sie gerne im Fach Physik arbeiten und lernen, da es ihnen Spaß oder zumindest eher Spaß macht.

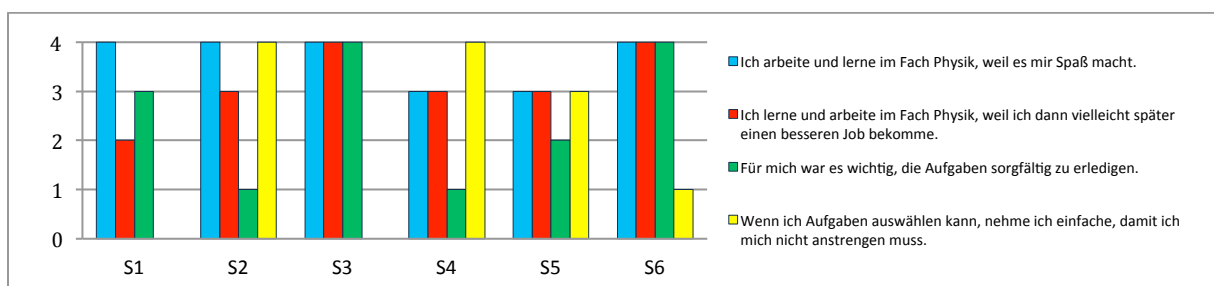


Abbildung 19: Ausgewählte Items zu motivationalen Einschätzungen.

(0 = stimmt gar nicht, 1 = stimmt eher nicht, 2 = stimmt teilweise, 3 = stimmt eher, 4 = stimmt völlig)

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der kleinen Fallstudie weisen darauf hin, dass die Lernaktivitäten geeignet sein könnten, ein konzeptuelles Verständnis eines Zeit-Positions-Diagramms auch schon bei Schülerinnen und Schülern der Mittelschule beziehungsweise der Sekundarstufe I zu unterstützen und zumindest ansatzweise ein begriffliches Erfassen der physikalischen Größe Geschwindigkeit aufzubauen. Die doch sehr bescheidenen Lernzuwächse legen nahe, dass die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler in der vorliegenden Stichprobe doch noch nicht ausreichend in der Lage war, die Lernaufgaben selbstständig zu bewältigen und damit Wissen zu generieren und rücken damit die Bedeutung der Lehrperson zur abschließenden Ko-Konstruktion von Wissen in den Mittelpunkt. Mögliche Ursachen für die ernüchternden Resultate könnten geringes Leseverständnis aber auch wenig Vorerfahrungen mit der selbstständigen Erarbeitung von Unterrichtsinhalten sein. Die Untersuchungen zwischen Lernzuwächsen und motivationalen Einstellungen zeigen jedenfalls Unterschiede zwischen den Lernergebnissen von Schülerinnen und Schülern in Abhängigkeit von ihrer Anstrengungsbereitschaft und der Sorgfalt, mit der sie ihre Lernaktivitäten durchführen, auf. Jedoch muss an dieser Stelle auf den geringen Stichprobenumfang hingewiesen werden sowie auch auf die anfallende Stichprobe, bei der das Alter der Schüler/innen, aber vielleicht auch das Lese- und Textverständnis doch eher heterogen war. So lassen sich anhand der vorliegenden Ergebnisse keine validen Aussagen zum Einfluss des Alters und/oder der Lesekompetenz auf die Lernzuwächse beziehungsweise auf die Qualität des physikalischen Verständnisses machen. Die Schüler/innen mit Deutsch als Muttersprache waren in der Stichprobe die jüngeren und weisen tendenziell die besseren Lernergebnisse auf, die aber wiederum eher auf einen Zusammenhang mit den motivationalen Einstellungen der Schüler/innen und dabei vor allem mit ihrer Anstrengungsbereitschaft hindeuten. Daher ergeben sich schon aus dieser kleinen Fallstudie viele interessante Forschungsfragen, denen man in weiteren Untersuchungen noch nachgehen müsste.

7 Danksagung

Ein besonderer Dank gilt den beteiligten Schülerinnen und Schülern der PMS, die in ihrer unterrichtsfreien Zeit sehr aktiv an den Aufgaben arbeiteten und vor allem die Fragebögen und Arbeitsblätter sorgfältig ausfüllten und damit einen wichtigen Beitrag zur fachdidaktischen Forschung leisteten. Ohne die Unterstützung der beiden Ausbildungslehrpersonen der PMS, Frau Hannelore Schreiner und Herrn Günther Münz, sowie der Studierenden aus dem Fach Physik/Chemie der PH NÖ wäre diese Studie nicht möglich gewesen.

Literatur

- Barton, R. (1997). How do computers affect graphical interpretation. *School Science Review*, 79 (287), S. 55-60.
- Barton, R. (2005). Supporting teachers in making innovative changes in the use of computer-aided practical work to support concept development in physics education. *International Journal of Science Education*, 27 (3), p. 345-365
- Beichner, R.J. (1990). The Effect of Simultaneous Motion Presentation and Graph Generation in a Kinematics Lab. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 8, p. 803-815.
- Bernhard, J. (2003). Physics Learning and Microcomputer Based Laboratory (MBL) — Learning effects of using MBL as a technological and as a cognitive tool. ESERA Paper.
- Brasell, H. (1987). The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, p. 385-395.
- Bryan, J. (2006). Technology for Physics Instruction. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*. Volume 6, Issue 2, p. 230-245.
- Espinoza F., and Quarless, D. (2010). An inquiry-based contextual approach as the primary mode of learning science with microcomputer-based laboratory technology. *J. Ed. Tech. Syst.*, 38(4), p. 407-426.
- Hamne, P., and Bernhard, J. (2001). Educating pre-service teachers using hands-on and microcomputer based labs as tools for concept substitution. In: R. Pinto, and S. Surinach (Eds.). *Physics Teacher Education Beyond 2000*, p. 663-666. Paris: Elsevier.

- Mandl, H. & Reinmann-Rothmeier, G. (1995). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. Forschungsbericht, 60. München.
- Metcalf, S.J. and Tinker, R.F. (2004). Probeware and Handhelds in Elementary and Middle School Science. *Journal of Science Education and Technology*, 13 (1), p. 43-49.
- Mokros, J. and Tinker, R. (1987). The impact of microcomputer-based labs on children's ability to interpret graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, p. 369-383.
- Newton, L. (1997). Graph talk: some observations and reflections on students' data-logging. *School Science Review*, 79 (287), p. 49-54.
- Newton, L.R. (1998). Gathering data: does it make sense. *Journal of Technology for Teacher Education*, 7 (3), p. 379-394.
- Redish, E.F., Saul, J.M. and Steinberg, R.N. (1997). On the effectiveness of active-engagement microcomputer-based laboratories. *American Journal of Physics*, 65, 45.
- Reid-Griffin, A. and Carter, G. (2008). Uncovering the Potential: The Role of Technologies on Science Learning of Middle School Students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, (6,) p. 329-349.
- Rogers, L. (1997). New data-logging tools - new investigations. *School Science Review*, 79 (287), p. 61-68.
- Schaumburg, H., Tschackert, K., Prasse, D. & Blömeke S. (2008). Neuer Unterricht mit Neuen Medien? Ergebnisse einer Videostudie zum Einsatz mobiler Computer im Unterricht. In: Lankes, E.-M. (Hrsg.). *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung*. S. 189-199.
- Slykhuis, D.A., Madison, J. & Park, J.C. (2005). High school physics students' conceptions of position, velocity, and acceleration during a computer-based unit in kinematics. *J. Phys. Tch. Educ. Online*, 2(4), p. 23-30.
- Thornton, R. and Sokoloff, D. (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics*, 58, p. 858-867.
- Thornton, R.K. (1987). Tools for scientific thinking – microcomputer-based laboratories for physics teaching. *Phys. Educ.* 22, p. 230-238.
- Trowbridge, D.E. and Mc Dermott L.C. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48, p. 1020-1028.
- Tylia, F. (2003). Teacher support for the use of MBL in activity-based physics teaching in Tanzania. Doctoral Thesis. Press: PrintPartners Ipskamp-Enschede.
- Urban-Woldron, H. (2012a). Empowering Technology and POETRY Supporting Scientific Inquiry. *Physics Teacher* (2012) , S. 12-16.
- Urban-Woldron, H. (2012b). Gaining Confidence in Integrating Educational Technologies into Student Learning. *Physics Alive*, p. 134-139.
- Urban-Woldron, H. (2012c). Computereinsatz im Physikunterricht. Habilitationsschrift. Universität Wien.
- Urban-Woldron, H., Kawecka, E. and Kedzierska, E. (2012). Modelling and Data-Logging in Teaching Physics - ICTforIST Project. In: Taşar, M. (Hrsg.). *The Role of Context, Culture, and Representations in Physics Teaching and Learning*. World Conference on Physics Education.
- Urban-Woldron, H. (2011a). Educational Technology: No Benefits without Appropriate Teacher Training. *Information and Communication Technology in Education*. p. 35-49.
- Urban-Woldron, H. (2011b). Teaching Physics with Technology: Supporting Teachers in Developing a Technology Pedagogical Content Knowledge. In: *Dwie dekady jak epoka*. p. 68-75.
- Urban-Woldron, H. (2011c). Computer-assisted physics teaching-learning environments as predictors for higher cognitive learning activities. *Transactions on Advanced Research*, July 2011, Volume 7, 2, p. 14-18.
- Urban-Woldron, H. (2010a). Using real time graphs to enhance understanding of kinematics graphs: motion detectors in the physics classroom. In: Zacharia, Z.C., Constantinou, C.P. and Papevripidou, M. (Eds.). *Computer Based Learning in Science. Application of New Technologies in Science and Education*. University of Cyprus. p. 131-140.
- Urban-Woldron, H. (2010b). Mit TI-Nspire and CBR das Verstehen physikalischer Konzepte unterstützen. *TI-Nachrichten*.
- Urban-Woldron, H. (2010c). Der TI-Nspire als kognitives Werkzeug im Physikunterricht. *TI-Nachrichten*.

- Urban-Woldron, H. (2008). Exploring mathematics and physics concepts – Using TI Graphing Calculators in Conjunction with Vernier Sensors. In: Jurdana-Sepic, R.; Labinac, V.; Zuvic-Butorac, M. (2008). *Frontiers of Physics Education*. Opatija. Selected Contributions.
- Urban-Woldron, H. (2007). Messen – Visualisieren – Interpretieren – Modelle bilden. *TI Nachrichten TIN* 2007/01.
- Urban-Woldron, H. (2006). Teaching Mathematics and Physics with Real World-Data. In: Böhm, J. (Hrsg.). *Technology and its Integration into Mathematics Education: DESTIME Conference Proceedings*, Dresden.
- Etienne, S.; Stulens, K.; Urban-Woldron, H.; van Reeuwijk, M. (2006). Applications in the Classroom: Various approaches within the TI-84 Plus Family. *T3 Europe*.
- Urban-Woldron, H. (2004). Diagramme verstehen lernen – Interaktive Kinematik-Experimente mit einem Ultraschallsensor. In: *Naturwissenschaften im Unterricht PHYSIK*. Friedrich Verlag. Heft 83, S. 29-31.
- Urban-Woldron, H. (2003). Verstehen von Diagrammen – ein Lernziel im Physikunterricht. *TI Nachrichten*.
- Urban-Woldron, H. (2001). Bilder und funktionale Zusammenhänge im Physikunterricht. Beispiele aus der Unterrichtspraxis mit CAS-Systemen. *TI Nachrichten TIN* 2001/02.
- Zucker, A.A., Tinker, R.F., Staudt, C., Mansfield, A. and Metcalf, S. (2008). Learning Science in Grades 3-8 Using Probeware and Computers: Findings from the TEEMSS II Project. *Journal of Science Education and Technology*, 17 (1), p. 42-48.

¹ COMBLAB (The acquisition of science competencies through real time experiments) is a Comenius Project (Project Number: 517587-LLP-1-2011-1-ES-COMENIUS-CMP)

² Dieselbe Aufgabe wurde auch mit Schülerinnen und Schülern in Spanien getestet, wobei allerdings noch keine Ergebnisse vorliegen.

³ Bildquelle: http://www.naoco.com/ti-nspire/ti-nspire_cx_dataquest_1.htm