

Möglichkeiten der Videoanalyse

Habilitationsschrift
zur Erlangung der Lehrbefähigung
der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von
Thomas Wilhelm
aus Reichenberg

Würzburg 2011

Für Sara und Daniel

Inhaltsverzeichnis

0. Einleitung	4
1. Videoanalyse heute.....	7
1.1 Einsatz der Videoanalyse 2004 bei Gymnasiallehrern in Rheinland-Pfalz.....	7
1.2 Einsatz der Videoanalyse 2009 bei Gymnasiallehrern in Unterfranken	16
1.3 Die neue Videoanalysesoftware „measure dynamics“	26
2. Neue Möglichkeiten im Mechanikunterricht	36
2.1 Videoanalysen von Hochgeschwindigkeitsvideos	36
2.2 Videoanalysen von Sportbewegungen	45
2.3 Videoanalysen im Freizeitpark.....	64
2.4 Lehr-Lern-Labor „Zweidimensionale Bewegungen“	72
3. Neue Möglichkeiten außerhalb der Mechanik	77
3.1 Der Bierschaumzerfall als Analogon zum radioaktiven Zerfall?.....	77
3.2 Modellgase zur kinetischen Gastheorie.....	86
3.3 Videoanalysen bei einer Nebelkammer.....	97
3.4 Bildanalysen bei der Beugung am Gitter	104
4. Zweidimensionaler Mechanikunterricht mit Betonung der Richtung der Größen	108
4.1 Probleme mit gerichteten Größen	108
4.2 Lehrerkenntnisse von diesen Schülervorstellungen	116
4.3 Ein Unterrichtsgang in der Sekundarstufe II mit Videoanalyse.....	120
4.4 Ein Unterrichtsgang in der Sekundarstufe I mit Videoanalyse	128
4.5 Zweidimensionale Mechanik mit „measure dynamics“	133
4.6 Schulbücher zur Mechanik.....	140
4.6.1 <i>Mechanik in Realschulbüchern</i>	140
4.6.2 <i>Mechanik in Gymnasialbüchern</i>	146
4.7 Überprüfung eines Mechanikkonzeptes mit Videoanalyse in der Sekundarstufe I ...	154
4.7.1 <i>Konzeption der Studie</i>	154
4.7.2 <i>Konzeption des Mechanikkonzeptes</i>	158
4.7.3 <i>Quantitative Ergebnisse der Erprobungsgruppe</i>	173
4.7.4 <i>Qualitative Ergebnisse der Erprobungsgruppe</i>	188
4.7.5 <i>Ergebnisse der Vergleichsstudie</i>	197
5. Anhang	206
6. Zusammenfassung.....	226
7. Abstract.....	236
8. Danksagung	245

0. Einleitung

Der Computer ist längst ein selbstverständlicher Teil unseres Alltags geworden und auch ein Standardwerkzeug im Physikunterricht. Auch das Aufnehmen digitaler Videos ist für viele Schüler eine Selbstverständlichkeit, da dies ihr Handy ermöglicht. Solche Videos können am Computer im Physikunterricht analysiert werden. In dieser Arbeit sollen die unterrichtlichen Möglichkeiten des Werkzeugs „Videoanalyse“ aufgezeigt werden. Dabei wird in dieser Arbeit unter „Videoanalyse“ die „digitale Videoanalyse von Bewegungen“ verstanden, nicht die „Videoanalyse von Unterrichtssituationen“.

Grundidee ist, dass Videos aufgezeichneter Bewegungen Orts- und Zeitinformationen über diese Bewegung enthalten, da die Einzelbilder des Videos in der Regel in festen Zeitabständen aufgenommen werden. Ist eine Referenzlänge im Video bekannt, kann jeder Ort einer zur optischen Achse senkrechten zweidimensionalen Bewegung berechnet werden. Damit ist die Videoanalyse ein berührungsfreies Messwerterfassungssystem, das vor allem aber nicht nur für den Mechanikunterricht geeignet ist und bereits in einigen Lehrplänen vorgesehen ist (Bayern, Brandenburg, Hessen und Schleswig-Holstein).

Die Videoanalyse von Bewegungen begann im Physikunterricht bereits in den 1980er Jahren, als man auf dem Fernsehbildschirm eine Folie klebte und am VHS-Recorder schrittweise weiterschaltete, während man auf der Folie jeweils den Ort markierte und so die Bahnkurve der Bewegung erhielt. Seit der zweiten Hälfte der 1990er Jahre gibt es deutschsprachige Computersoftware, die Videoanalyseprogramme, mit denen der Ort erfasst und daraus weitere physikalische Größen berechnet und dargestellt werden können. Seitdem hat sich viel geändert, sodass es viele neue Möglichkeiten gibt. Die Veränderungen betreffen die Videoaufnahme, die Ortserfassung und die Darstellungsmöglichkeiten.

Die *Videoaufnahme* geschah in den 1990er Jahren mit analogen Videokameras. Diese analogen Videos mussten mit Hilfe einer Wankkarte und dazugehöriger Software zuerst digitalisiert werden, was vielen ein zu großer Aufwand war. Die digitalen Videokameras mit Magnetband (DV-Kamera und MiniDV-Kamera) erzeugten bereits digitale unkomprimierte Videos. Zur Reduzierung des Speicherbedarfs empfahl es sich, diese mit einer Videobearbeitungssoftware zu komprimieren. Die heutigen komprimierenden digitalen Videokameras, wie sie auch in digitalen Fotoapparaten und Handys integriert sind, liefern bereits komprimierte Videos, die direkt verwendet werden können, so dass das Erzeugen der Videos heute selbst für Schüler problemlos möglich ist. Zudem gibt es mittlerweile auch günstige komprimierende Hochgeschwindigkeitskameras, mit denen auch sehr schnelle Bewegungen erfasst werden können.

Die *Ortserfassung* in den Videoanalyseprogrammen geschah zunächst ausschließlich dadurch, dass in jedem Frame (Bild) des Videos das Objekt durch Mausklick markiert werden musste.

0. Einleitung

Mittlerweile gibt es Programme, die diese Ortserfassung bei vielen Bewegungen automatisch nach einmaligem Markieren des Objektes durchführen, was insbesondere bei längeren Videos eine erhebliche Zeitersparnis ist.

Die *Darstellungsmöglichkeiten* waren bei den ersten Videoanalyseprogrammen beschränkt. Die erfassten und daraus berechneten Größen konnten nur in der Form von Tabellen und Liniendiagrammen dargestellt werden. Insbesondere die Software „measure dynamics“ bietet hier vielfältige weitere Möglichkeiten. So können physikalische Größen in Form von Säulen, Pfeilen oder Linien, auch dynamisch ikonische Repräsentationen genannt, auf unterschiedliche Weise ins Video eingeblendet werden, sowie Serienbilder und Stroboskopbilder erzeugt werden. Die Multicodierung durch Videos, dynamisch ikonische Repräsentationen und Liniengraphen sowie die räumliche und zeitliche Kontiguität der verschiedenen Darstellungen werden als vorteilhaft angesehen. Da bei gerichteten Größen Pfeile leichter zu lesen sind als Liniengraphen, kann dadurch auch die kognitive Belastung des Lernenden verringert werden. Diese Software wurde von Michael Suleder programmiert, wobei er im Rahmen dieser Arbeit beraten wurde. Vom Autor dieser Arbeit wurde die Software an die Lehrmittelfirma Phywe vermittelt und steht seit 2007 zur Verfügung.

Kapitel 1 versucht den aktuellen Stand bei den Videoanalyseprogrammen darzustellen. Dazu dienen zwei empirische Erhebungen zum Computereinsatz bei Physikgymnasiallehrern (Kapitel 1.1 und 1.2) sowie Übersichten über die neuen Möglichkeiten der Videoanalysesoftware „measure dynamics“ (Kapitel 1.3).

Kapitel 2 zeigt neue, für Schüler interessante Möglichkeiten, die sich im Mechanikunterricht ergeben. Dazu gehören Hochgeschwindigkeitsvideos (Kapitel 2.1), die Analyse von Sportbewegungen, insbesondere Bewegungen des eigenen Körpers (Kapitel 2.2) sowie Bewegungen im Freizeitpark (Kapitel 2.3). Des Weiteren wird gezeigt, dass sich die Videoanalyse auch für Lehr-Lern-Labore an außerschulischen Lernorten eignet (Kapitel 2.4).

Kapitel 3 zeigt, dass die Videoanalyse auch außerhalb der Mechanik neue Möglichkeiten eröffnet. Die Messung des Bierschaumzerfalls, der traditionell als Analogon zum radioaktiven Zerfall verwendet wird, ist mit der Videoanalyse möglich. Dabei ist die Möglichkeit entscheidend, nur jeden n-ten Frame des langen Videos in die Messung aufzunehmen (Kapitel 3.1). Ein anderes nicht-mechanisches Beispiel sind Pucks auf einem Luftkissentisch, die ein Modellgas für die kinetische Gastheorie darstellen. Dabei ist die automatische Analyse entscheidend, da für die verwendete Statistik eine größere Anzahl von Frames berücksichtigt werden müssen (Kapitel 3.2). Des Weiteren ist es auch beim Zerfall von Radongas in einer kontinuierlichen Diffusionsnebelkammer von Vorteil, nur jeden n-ten Frame angezeigt zu bekommen (Kapitel 3.3). Auch das Ausmessen der Länge der Nebelspuren kann hier verwendet werden. Ein viertes nicht-mechanisches Beispiel ist die Beugung eines Laserstrahls an einem Gitter, die mit einer Nebelmaschine sichtbar gemacht wird. Dabei kann die Möglichkeit von Video-

0. Einleitung

analyseprogrammen genutzt werden, nur ein einzelnes Bild zu analysieren; in diesem Fall wurden Winkel gemessen (Kapitel 3.4).

In *Kapitel 4* geht es um die Richtung der physikalischen Größen im Mechanikunterricht. Die Videoanalyse ist insbesondere eine wichtige Hilfe in einem Mechanikunterricht, der die physikalischen Größen an Hand zweidimensionaler Bewegung einführt, um so Fehlvorstellungen bei den Schülern zu reduzieren oder zu verhindern. Eine Studie mit Studienanfängern zeigt zunächst, dass selbst diese große Probleme bei der Richtung der Beschleunigung und der Kraft haben (Kapitel 4.1). Eine Studie mit Gymnasiallehrern zeigt, dass diese aber kein Bewusstsein für dieses Problem haben (Kapitel 4.2). Ein Unterrichtsgang, der in der Sekundarstufe II über zweidimensionale Bewegungen in die Mechanik einsteigt und dabei die Videoanalyse als Messmöglichkeit verwendet, wurde erstmals mit der Videoanalysesoftware „Coach 5“ durchgeführt (Kapitel 4.3), wobei hier von Nachteil ist, dass die Software nur Diagramme aber keine Pfeile darstellen kann. Ein Unterrichtsgang, der für die Einführung in die Mechanik in der Sekundarstufe I über zweidimensionale Bewegungen konzipiert wurde, verwendete deshalb die Videoanalysesoftware „AVA“ zur Analyse und die Software „PAKMA“ zur Darstellung (Kapitel 4.4). Dies ist umständlich und erfordert Erfahrung mit der Software, so dass es vor dem Unterricht mit einigem Aufwand vorbereitet werden muss. Viel einfacher ist dies in „measure dynamics“, das die Einführung mechanischer Grundgrößen an Hand zweidimensionaler Bewegung durch das Einblenden von Ortsmarken und verschiedener Pfeile in das Video ermöglicht (Kapitel 4.5). Eine Analyse der Sachstruktur von Realschulbüchern und Gymnasialbüchern zeigt große Unterschiede bei der Betonung der Richtung von Größen (Kapitel 4.6). Wenn in den Schulbüchern die Richtungen betont werden, dann wird auch die Videoanalyse verwendet.

Schließlich wird in einer größeren Kooperationsstudie ein Mechanikkonzept überprüft, das in der Sekundarstufe I über allgemeine zweidimensionale Bewegungen und konsequent dynamisch in die Mechanik einführt und dabei u.a. die Videoanalyse verwendet (Kapitel 4.7). Es wird zunächst die Konzeption der Studie (Kapitel 4.7.1) und die Konzeption des Mechanikkonzeptes (Kapitel 4.7.2) vorgestellt. Dann werden quantitative und qualitative Ergebnisse der Würzburger Erprobungsgruppe vorgestellt (Kapitel 4.7.3 und 4.7.4), bevor letztlich die Ergebnisse der eigentlichen Vergleichsstudie dargelegt werden (Kapitel 4.7.5). Im Anhang (Kapitel 5) findet man auch das Schulbuch, das für dieses Konzept bzw. für diese Studie geschrieben wurde.

6. Zusammenfassung

In einer Befragung an allen staatlichen Gymnasien von Rheinland-Pfalz im Herbst 2004 wurden Daten zur digitalen medialen Arbeitsplatzausstattung und zur Physikmediennutzung der Physiklehrkräfte an Gymnasien erhoben (Kapitel 1.1). Es wurde ermittelt, wie die Lehrkräfte den Computer im Physikunterricht einsetzen, welche Art von Software und welche konkreten Softwareprodukte sie bereits eingesetzt haben. Betrachtet man den Unterrichtseinsatz der verschiedenen Arten von Computernutzung, so wurden das Informationsmedium Internet (75 % der Lehrkräfte), Simulationen (69 %) und die PC-Messung (68 %) am häufigsten im Unterricht eingesetzt. Es folgen Interaktive Bildschirmexperimente (51 %), Modellbildung (41 %), Kommunikationsmedium Internet (32 %) und Videoanalyse (22 %). Der geringe Unterrichtseinsatz der Videoanalyse ist auf die mit Abstand geringsten Mediumskenntnisse (55 % haben keine Kenntnisse) und auf den sehr themenspezifischen Einsatz in der Mechanik zurückzuführen. Damit war die Videoanalyse das unbekannteste und am wenigsten eingesetzte Medium trotz der Verfügbarkeit kostenloser Videoanalyseprogramme und Videos. Das Interesse am Einsatz der genannten Medien war aber hoch. Erschwert wurde der Einsatz dadurch, dass es damals in 60 % der Schulen keinen Physikraum mit eigenem Beamer gab.

Ein Teil dieser Fragebogenerhebung zum Computereinsatz im Physikunterricht wurde im Jahr 2009 an den Gymnasien von Unterfranken (in Bayern) wiederholt (Kapitel 1.2). Deshalb wurde ein Vergleich mit Daten aus Rheinland-Pfalz aus dem Jahr 2004 durchgeführt. Es zeigen sich ähnliche Ergebnisse, aber eine intensivere Nutzung: der Computer ist heute ein Standardmedium im Physikunterricht, obwohl es große Unterschiede bei den verschiedenen Einsatzarten gibt. Meist ist der Computer ein Werkzeug in der Hand des Lehrers für Demonstrationzwecke. Es zeigt sich, dass es viele regionale Unterschiede gibt – insbesondere bei den konkret verwendeten Softwareprodukten.

Überraschenderweise gibt es bei drei Informationsquellen der Lehrkräfte zur Videoanalyse (Studium, Lesen und Informationen von Kollegen) keinen signifikanten Unterschied zwischen Nutzern bzw. Nicht-Nutzern. Diesen gibt es nur beim Referendariat und vor allem bei Fortbildungen, was die Bedeutung von Fortbildungen unterstreicht. Fortbildungen sind entscheidend dafür, ob der Computer im Physikunterricht eingesetzt wird und vor allem dafür, welche Software eingesetzt wird. So ist es auch verständlich, dass 15 % der Lehrkräfte angeben, dass sie an einer angebotenen Fortbildung zu Videoanalyse auf jeden Fall teilnehmen würden und weitere 51 % angeben, dass sie daran vielleicht teilnehmen würden.

Mit „measure dynamics“ ist ein neues Programm verfügbar, das eine deutliche Verbesserung darstellt und eine Vielzahl neuer Möglichkeiten bietet (Kapitel 1.3). Dazu gehören vielfältige Exportiermöglichkeiten und die automatische Analyse des bewegten Objektes, die neben der Farbe die geometrische Form und die Größe des zu analysierenden Objektes erkennt. Von

6. Zusammenfassung

Vorteil ist, dass Diagramme in Echtzeit synchron mit dem ablaufenden Video erstellt werden und mehrere Objekte analysiert werden können. Mit wenig Aufwand können dynamisch ikonischer Repräsentation von physikalischen Größen in Form von Säulen oder Vektorpfeilen in das Video eingeblendet werden, Serienbilder erstellt werden und Stroboskopbilder erzeugt werden.

Anfang 2008 wurde von Casio mit der EX F1 die erste auch für Schulen bezahlbare Hochgeschwindigkeitskamera vorgestellt. Weitere Modelle folgten kurz darauf, sodass inzwischen digitale Kameras mit Hochgeschwindigkeitsfunktion bereits für ca. 100 € erhältlich sind. Daraus ergeben sich neuen Möglichkeiten für den Physikunterricht an der Schule (Kapitel 2.1). Ein Nachteil der Videoanalyse lag bisher darin, dass die Framerate (quasi die „Abtastrate“) von Videoaufnahmen bei 25 bzw. 30 Bildern (Messwerten) pro Sekunde fest war und bei einigen Experimenten nicht ausreichte. An dieser Stelle setzt die Hochgeschwindigkeitskamera an, da sie dank der einstellbaren Bildrate eine höhere Abtastrate hat. Damit werden Experimente wie Stöße, waagrechte oder schräge Würfe, fallende Kugeln, Loopingfahrten von Spielzeugautos, das Maxwell-Rad und Schwingungsanalysen exakter und realistischer auswertbar.

Eine Möglichkeit, um im Unterricht interessante, alltagsnahe Themenbezüge herzustellen, bietet der fächerverbindenden Unterricht beim Thema Sport. Reale Sportbewegungen können aufgenommen und mithilfe der Software gemeinsam im Unterricht aufgearbeitet werden (Kapitel 2.2). Unterrichtsbeispiele erstrecken sich von leichtathletischen Disziplinen bis hin zum Fußball und können in vielfältiger Weise sowohl im Physik- als auch im Sportunterricht eingesetzt werden: So kann zum Beispiel der Stabhochsprung herangezogen werden, um Energieumwandlungsprozesse in einem sportlichen Kontext darzustellen, wohingegen der Weitsprung eine alternative Anwendung des schiefen Wurfes bietet. Andere Sportarten wie etwa der Schleuderball- und der Hammerwurf bieten weitere Ansatzpunkte. Die auf Kontrast und Bewegung basierende automatische Analyse der Software trägt dabei zu einer leichteren Umsetzung im Unterricht bei. Durch neuartige Darstellungsmöglichkeiten wie Stroboskopbilder, Einblenden von Vektoren oder Serienbilder werden manche Betrachtungen erst möglich. Mithilfe berechneter Fitfunktionen kann die real gemessene Bewegung außerdem mit dem zugrunde gelegten physikalischen Modell verglichen werden.

Eine weitere Möglichkeit, um den Unterricht stärker auf den Alltag von Schülern zu beziehen und einen Bezug zum menschlichen Körper herzustellen, ist das Behandeln von alltäglichen Bewegungen, wie z.B. Gehen, Laufen, Treppensteigen oder einfachen Sprüngen. Die Erfassung der physikalisch relevanten Größen entsprechender Bewegungen der Schüler kann heute durch verschiedene computerbasierte Messwerterfassungsmöglichkeiten erfolgen, wie Kraftmessplatte, Funk-3D-Beschleunigungssensoren oder Videoanalyse, die unterschiedliche Vor- und Nachteile bei diesem Thema haben. Eine besondere Möglichkeit ist die Darstellung von Sensordaten in Videos mit Hilfe des Videoanalyseprogramms „measure dynamics“. Durch

6. Zusammenfassung

den einfachen Import von Datentabellen können die Daten von Beschleunigungssensoren oder der Bodenreaktionskraftmessung in einem Video mit dynamisch ikonischen Repräsentationen angezeigt werden. Dazu muss man eine Bewegung filmen und gleichzeitig mit einem entsprechenden Sensor messen und danach die Messdaten in das Videoanalyseprogramm importieren, wo sie im Video auf vielfältige Weise dargestellt werden können. Das heißt, hier wird das Videoanalyseprogramm nur als Darstellungsprogramm von Sensor-Messwerten verwendet.

Da sich Vergnügungsparks immer größerer Beliebtheit erfreuen, sind Fahrgeschäfte in Freizeitparks geeignete Lernanlässe im Mechanikunterricht. Hierzu wurden bei einigen Fahrattraktionen des Europa-Parks in Rust Messungen mit Beschleunigungs- und GPS-Sensoren sowie Videoanalysen durchgeführt und verglichen, beispielsweise eine Kreisbewegung, eine Schiffschaukel und Achterbahnfahrten mit Looping und Hügel Fahrt (Kapitel 2.3). Ein Vorteil der Videoanalyse ist, dass es sich dabei immer um eine objektive Betrachtung der Bewegung aus Sicht eines außenstehenden, ruhenden Beobachters handelt. Eine Schwierigkeit ist jedoch häufig, einen geeigneten Aufnahmeort für die Kamera zu finden, so dass eine zweidimensionale Bewegung ohne Verzerrung gefilmt werden kann. Ein weiterer Vorteil der Videoanalyse ist, dass bei ausgedehnten Objekten mehrere verschiedene Punkte des Objektes betrachtet werden können. Die GPS-Messung im Freizeitpark erwies sich dagegen nur bedingt als möglich. Bei Attraktionen mit kleinen Ortsänderungen bzw. mit (Teil-)Überdachung sind die Messungen nicht sinnvoll bzw. nicht möglich. Beschleunigungssensoren haben den Vor- bzw. Nachteil, dass sie dreidimensional messen. Das wesentliche Problem ist, dass sich die Lage des Sensors ändern kann und man damit die Problematik des Bezugssystem hat.

Schülerlabore als außerschulischer Lernort werden immer verbreiteter. Vor diesem Hintergrund haben Schülerinnen und Schüler der siebten Jahrgangsstufe (Realschule und Gymnasium) in einem Lehr-Lern-Labor die wichtigsten Grundbegriffe der Mechanik anhand zweidimensionaler Bewegungen selbst erkundet (Kapitel 2.4). In spielerischen Experimenten in verschiedenen Stationen, z.B. mit Carrera-, Darda- und Spielzeugeisenbahn, wurden Bewegungsabläufe betrachtet und gefilmt. Mit Hilfe des Videoanalyseprogramms „measure dynamics“ können die Schüler selbst die aufgezeichneten Filmsequenzen analysieren und die Geschwindigkeit sowie die Beschleunigung visuell durch Vektorpfeile sichtbar machen.

Die anfänglichen Bedenken, die Schüler mit der Technik der Videokameras und des Videoanalyseprogramms zu überfordern, wurden schnell widerlegt. Der Umgang mit der Kamera fiel den Schülern erstaunlich leicht und sie haben sich schnell in das intuitiv bedienbare Programm „measure dynamics“ eingearbeitet. Das Lehr-Lern-Labor hat den Schülern gut gefallen und die Mehrheit der Schüler möchte gerne ein weiteres Schülerlabor besuchen. Auch begleitende Lehrkräfte wurden dadurch motiviert, selbst einmal die Videoanalyse im Unterricht einzusetzen und dazu selbst Videos mit Schülern aufzunehmen.

6. Zusammenfassung

Auch außerhalb der Mechanik gibt es Anwendungen für die Videoanalyse. Der Bierschaumzerfall wird häufig als Analogon zum radioaktiven Zerfall verwendet. Ein Literaturüberblick zeigt, dass der Bierschaumzerfall fachlich komplex ist und dass verschiedene Veröffentlichungen zu unterschiedlichen mathematische Beschreibungen finden (Kapitel 3.1). An dem Messbeispiel von Leike wird gezeigt, wie man eine mathematische Gleichung findet, was man dabei beachten muss und wie man verschiedene Modelle bewerten kann. Schließlich wird ein Bierschaumzerfall mittels Videoanalyse studiert und die Messung kritisch beleuchtet. Insgesamt zeigt sich, dass der biexponentielle Zerfall ein brauchbares Modell für den Bierschaumzerfall ist.

1905 beendete Einstein seinen Artikel über die Brownsche Molekularbewegung mit dem Wunsch „Möge es bald einem Forscher gelingen, die hier aufgeworfenen, für die Theorie der Wärme wichtigen Fragen zu entscheiden!“. Mit Hilfe der Videoanalyse kann die Richtigkeit der Annahmen Einsteins im Experiment gezeigt werden. Dazu werden drei Möglichkeiten für ein Modellgas bzw. für ein Modell der Brownschen Bewegung vorgestellt (Kapitel 3.2). Dabei wird aufgezeigt, wie diese jeweils mittels Videoanalyse qualitativ und sogar quantitativ ausgewertet werden können, um so die Maxwell-Boltzmann-Geschwindigkeitsverteilung zu gewinnen und Einsteins Theorie zu bestätigen: Die Abhängigkeit des mittleren Verschiebungsquadrats oder des mittleren Geschwindigkeitsquadrats von der Temperatur lassen sich einfach und überzeugend erkennen. Da es sich um statistische Verteilungen handelt, ist ein langes Video mit einer großen Bildanzahl nötig und dafür ist die automatische Analyse unabdingbar.

Der Unterricht zur Radioaktivität steht vor dem Problem, dass wenig motivierende Schulexperimente möglich sind. Die Wilsonsche Nebelkammer ist auf Grund ihrer kurzen Sensitivität für den Schulunterricht ungeeignet im Gegensatz zu einer kontinuierlichen Diffusions-Nebelkammer, die jedoch sehr teuer ist. Damit Lehrkräfte oder Schüler selbst eine kostengünstig bauen können, wurde eine Nebelkammer mit Peltier-Elementen konstruiert und ausführliche Bauanleitungen erstellt (Kapitel 3.3). Schon der Nulleffekt genügt hier, um Bahnspuren zu beobachten.

Bei dieser kontinuierlichen Diffusions-Nebelkammer sind zwei Einsatzmöglichkeiten der Videoanalysesoftware „measure dynamics“ möglich (Kapitel 3.3): Bringt man Radongas in die Kammer ein, zeichnet man die Nebelspuren des Radonzerfalls mit einer Videokamera auf und stellt im Videoanalyseprogramm ein, dass man nur jedes 50-te oder 100-te Bild sehen will, sieht man beim Abspielen des Videos durch den so erzielten Zeitraffer qualitativ die Abnahme der Aktivität. Für eine quantitative Auswertung zählt man die Spuren in jedem 100-ten Frame oder man zählt mithilfe der Zählfunktion in den einzelnen Bildern, wobei man jedes 100-te hat exportieren lassen. Mit dem Videoanalyseprogramm ist auch das Ausmessen der Länge der Spuren einfach möglich und aus der gemessenen Spurlänge kann man dann die Geschwindigkeit und die kinetische Energie von α -Teilchen bestimmen.

6. Zusammenfassung

Um einen Laserstahl in Luft im Physikunterricht sichtbar zu machen, ist der Einsatz einer Verdampfer-Nebelmaschine einfach und führt zu beeindruckenden Ergebnissen (Kapitel 3.4). Solche Nebelmaschinen sind von Bühnen, aus Discos und von privaten Partys bekannt und kosten ab 30 €. Anwendungen im Unterricht sind beispielsweise Anordnungen von Planspiegeln, das Sichtbarmachen von Schwingungen mit einem Drehspiegel, das Michelson-Interferometer und die Beugung an Spalten und am Gitter. Bei der Beugung am Gitter kann eine quantitative Auswertung mit einem Videoanalyseprogramm geschehen: Macht man ein Foto, kann man in einem Videoanalyseprogramm wie z.B. „Coach 6“ oder „measure dynamics“ direkt die Winkel im Bild mit der Software sehr genau ausmessen.

Vektorielle Größen spielen in der Physik und speziell in der Mechanik eine wichtige Rolle. Wie bereits seit Jahrzehnten von vielen Didaktikern gefordert, ist es zum Verständnis der Mechanik nötig, im Mechanikunterricht mit zweidimensionalen Bewegungen zu beginnen, um so Fehlvorstellungen bei den Schülern zu reduzieren oder zu verhindern. Dazu braucht man aber ein Messwerterfassungssystem für zweidimensionale Bewegungen, das nicht die beiden Komponenten von Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung getrennt angibt, sondern diese Größen als Pfeile anzeigt. Dies ist in der Videoanalysesoftware „measure dynamics“ möglich, in der die Größen durch Pfeile im Video eingeblendet werden können.

An der Universität Würzburg wurde in einem Mathematikvorkurs vor Beginn der Vorlesungszeit untersucht, inwieweit Physikstudierende des ersten Semesters grundlegende Fähigkeiten im Umgang mit Vektoren aus der Schule mitbringen (Kapitel 4.1). Dazu mussten sie vor Studienbeginn einerseits mathematische Aufgaben und Aufgaben mit physikalischem Kontext aus der Statik bearbeiten. Andererseits wurden Aufgaben zum vektoriellen Verständnis der Beschleunigung und Kraft gestellt. Die Ergebnisse bei der graphischen Addition und Subtraktion von Vektoren sind besser als dies vorher aufgrund von Erfahrungen in Übungen erwartet wurde. Aber es zeigte sich, dass die Studienanfänger große Probleme bei der Richtung der Beschleunigung und der Kraft haben. Somit zeigt auch diese Untersuchung erneut das Scheitern des Konzeptes des herkömmlichen Physikunterrichts, die Kinematik und Dynamik an eindimensionalen Bewegungen einzuführen und später auf mehrere Dimensionen zu erweitern.

In vielen Lehrerfortbildungen hat sich herausgestellt, dass Lehrkräfte kaum Vorstellungen von den Schülervorstellungen haben, aber dieses Thema sehr wichtig finden, sobald sie etwas davon erfahren. Dadurch verbessern sich ihre Überzeugungen bezüglich Schülervorstellungen und die Handlungen der Lehrkräfte. Dennoch gab es lange kaum Erhebungen, welche Vorstellungen Lehrkräfte über die Vorstellungen der Schüler haben. Im Vorfeld einer Lehrerfortbildung ergab sich die Möglichkeit, die Physikgymnasiallehrer von Unterfranken (245 teilnehmende Lehrkräfte) mit einem Fragebogen zu befragen (Kapitel 4.2). In dieser Untersuchung sollte zum einen ermittelt werden, ob Physiklehrkräfte typische Schülerfehlvorstellungen kennen und zum anderen, welche Vorstellungen sie bezüglich der Häufigkeit ihres Auf-

6. Zusammenfassung

treten bei typischen Fragestellungen haben (vor und nach dem entsprechenden Unterricht). Interessant ist insbesondere, dass Lehrkräfte die Schwierigkeiten der Schüler im Umgang mit Beschleunigungsgraphen bei eindimensionalen Bewegungen kennen, aber keine Vorstellung haben von den Problemen bei zweidimensionalen Bewegungen, wie sie nach einem traditionellen Unterricht vorhanden sind. Man kann vermuten, dass Lehrkräfte denken, Schüler könnten ihr Wissen über eindimensionale Bewegungen auf zwei Dimensionen erweitern, was aber nicht der Fall ist.

Ein Unterrichtsgang, der in der Sekundarstufe II über zweidimensionale Bewegungen in die Kinematik einsteigt und dabei die Videoanalyse konsequent als Messmöglichkeit verwendet, wurde erstmals mit der Videoanalysesoftware „Coach 5“ durchgeführt (Kapitel 4.3). An drei zweidimensionalen Bewegungen, einer allgemeinen Fahrradfahrbewegung, einem Basketballkorbwurf und der Rotorbewegung einer Windkraftanlage lernen Schüler Bewegungen zu erfassen und mit Vektoren zu beschreiben. Das funktioniert, obwohl es damals noch kein Videoanalyseprogramm gab, das direkt Vektorpfeile in das Video einzeichnen kann. Die traditionell im Vordergrund stehenden eindimensionalen einfachen Bewegungsformen ergeben sich aus den Projektionen von Wurf- und Kreisbewegung auf die Koordinatenachse.

Im neuen bayerischen Gymnasiallehrplan werden die kinematischen Größen sowie die Newtonschen Gesetze bereits in der siebten Jahrgangsstufe kennen gelernt, während Diagramme und Bewegungsfunktionen erst in späteren Jahren behandelt werden. Dafür wurde ein entsprechender Unterricht konzipiert und durchgeführt, bei dem über zweidimensionale Bewegungen in die Mechanik eingeführt wurde und die Darstellung der Größen durch Pfeile betont wurde (Kapitel 4.4). Hierbei wurde besonders darauf geachtet, dass die Schüler selbst aktiv beteiligt sind. Außerdem wurden verschiedenste Medien vom Spielzeug bis zu Videos und Simulationen eingesetzt. Eine zentrale Veranschaulichung in diesem Unterrichtskonzept waren Videoprojekte, in denen die kinematischen Größen durch Pfeile dynamisch auf einem gefilmten Eisenbahnzug im Video dargestellt wurden. Da es damals noch keine Software gab, mit der das einfach möglich war, wurde vor dem Unterricht die Bewegung gefilmt und in dem Videoanalyseprogramm AVA analysiert. Dann wurde vor dem Unterricht in der Software PAKMA das Video eingebunden und die Pfeile gemäß den Daten der Videoanalyse darüber gezeichnet, was im Unterricht gezeigt und besprochen wurde.

Das Einblenden von Ortsmarken und verschiedener bewegter Pfeile im Video ist in „measure dynamics“ einfach mit wenigen Mausklicks möglich (Kapitel 4.5). So können im Video Größen sichtbar gemacht werden, die sonst für das Auge nicht fassbar sind, z.B. die Größen „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“. Das erleichtert die Betonung des vektoriellen Charakters dieser Größen und damit die Einführung kinematischer Grundgrößen an Hand zweidimensionaler Bewegungen.

6. Zusammenfassung

Für den Mechanikunterricht gibt es verschiedene Sachstrukturen. Traditionell wird im Mechanikunterricht bei der Einführung der Kraft der statische Aspekt betont. Die dynamischen Aspekte sowie die kinematischen Größen werden dann meist nur anhand eindimensionaler Bewegungen behandelt. Seit knapp 40 Jahren werden jedoch bereits andere Sachstrukturen formuliert und weiterentwickelt – die aber bisher z.T. kaum Eingang in die Praxis gefunden haben. Da Schulbücher als „heimliche Lehrpläne“ gelten, wurden Physikschulbücher analysiert.

Bei einer Analyse von Physikschulbüchern der 7. und 8. Jahrgangsstufe der bayerischen Realschule (Kapitel 4.6.1) zeigten sich erheblich Unterschiede in den Schulbüchern, nicht nur bezüglich der Gestaltung, sondern insbesondere in der Sachstruktur und dem Berücksichtigen von bekannten Fehlvorstellungen. In den Schulbüchern eines Verlages wird auf die Schülervorstellungen eingegangen und es werden neuere Sachstrukturen zumindest ansatzweise integriert. Das zeigt sich vor allem durch die behandelten zweidimensionalen Bewegungen und der damit verbundenen Hervorhebung der Richtung einer Bewegung, durch die konsequente Unterscheidung von Schnelligkeit und Geschwindigkeit, die Betonung der Geschwindigkeit als vektorielle Größe, die Verwendung von Ortsänderungs- und Geschwindigkeitsänderungsvektoren und den geforderten Einsatz von Computermesswerterfassung und Videoanalyse.

Bei einer Analyse von sechs Physik-Schulbüchern für die 7. Jahrgangsstufe in Bayern wurden fünf Bücher von Schulbuchverlagen und das Buch aus dem Forschungsprojekt von Wiesner/Wilhelm/Tobias/Waltner/Hopf verglichen (Kapitel 4.6.2). Einige Werke sind stark quantitativ ausgerichtet und setzen auf Graphen und auf Messtabellen. Die Messung der Textlesbarkeit weist zudem auf eine schwer verständliche Sprache hin. Die Sachstruktur der fünf zugelassenen Werke sind sehr ähnlich, aber der Anteil statischer Aspekte ist unterschiedlich. Das Schulbuch aus dem Forschungsprojekt benutzt eine völlig abgeänderte Sachstruktur, ist aber trotzdem lehrplankonform. Das Buch stellt zudem ein qualitatives Verständnis in den Vordergrund und verzichtet konsequent auf Graphen, mathematische Gleichungen, Messtabellen und Rechenaufgaben. Stattdessen wird hauptsächlich auf qualitative Denkaufgaben und logische Bilder mit Pfeilen für die physikalischen Größen zurückgegriffen und in diesem Zusammenhang die Videoanalyse verwendet.

Bisherige Studien zeigten, dass sich verschiedene Unterrichtsmethoden nur wenig auf die Lernleistung der Schüler auswirken, die Auswirkungen unterschiedlicher Sachstrukturen sind allerdings – wie verschiedene Indizien nahe legen – schwerwiegender. In einer vergleichenden Untersuchung wurde der Einfluss der Sachstruktur auf das Lernen der Newtonschen Mechanik untersucht (Kapitel 4.7.1). Der traditionelle Zugang zur Mechanik anhand linearer Bewegungen wird mit einer Sachstruktur verglichen, die von zweidimensionalen Bewegungen direkt zur Dynamik überleitet (Kapitel 4.7.2).

6. Zusammenfassung

Seit den Anfängen des Physikunterrichts bis mindestens in die 1980er Jahre wurde in der Sekundarstufe I über die Statik in die Mechanik eingeführt und in der Sekundarstufe II wurde erst Kinematik, dann Dynamik behandelt – aber fast nur eindimensional. In den letzten beiden Jahrzehnten wurde die Statik zurückgedrängt, so dass nun in der Sekundarstufe I die eindimensionale Kinematik dominiert und in der Weiterführung die Beschleunigung und die Gleichung $F = m \cdot a$ eine wichtige Rolle spielen. Neben der statischen und eindimensional-kinematischen Einführung gibt es seit den 1970er Jahren zwei Zugänge, die stark dynamisch orientiert sind: Der Karlsruher Physikkurs mit Impulsströmen, der bisher im Bereich Mechanik keine empirischen Erfolge vorweisen kann, und das Wiesnersche Kraftstoßkonzept, das empirische Erfolge vorweisen kann. Dieses wurde weiterentwickelt und mit neuen Medien wie der Videoanalyse aufbereitet (Kapitel 4.7.2). Grundideen sind, die Geschwindigkeit vektoriell anhand zweidimensionaler Bewegungen und die Mechanik dynamisch über die Kraftstoßgleichung $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$ einzuführen, wobei die Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$ als eigenständige Größe anstelle der Beschleunigung eingeführt wird. Geeignete Möglichkeiten, eine Bewegung im Rahmen des Schulunterrichts aufzuzeichnen und adäquat darzustellen, bietet die Erstellung von Videos, in die mit Hilfe einer Videoanalysesoftware Geschwindigkeits- und Geschwindigkeitsänderungspfeile eingezeichnet werden, sowie die Erstellung von Stroboskopbildern, die ebenso mit Hilfe einer Videoanalysesoftware aus Videos möglich ist. Das Mechanikkonzept ist damit eine Kombination des Wiesnerschen Kraftstoßkonzeptes mit den Möglichkeiten der Videoanalyse und mit dynamisch dargestellten Vektorpfeilen.

Für die Vergleichsstudie wurden ein Lehrtext (siehe 5. Anhang), Videoaufnahmen von Experimenten, passende Videoanalysen sowie ein Simulationsprogramm produziert. Zur Überprüfung der Wirksamkeit der verschiedenen Sachstrukturen wurde in einer Kooperation der Universitäten Würzburg, München und Wien in den Schuljahren 2007/08 und 2008/09 eine vergleichende Untersuchung durchgeführt (Kapitel 4.7.1). Verfolgt wurden dabei neben der Wissensentwicklung der Schülerinnen und Schüler deren Interesse und selbstbezogene Kognitionen. Um den Einfluss verschiedener Lehrpersonen möglichst auszuschalten, unterrichtete jede an der Hauptstudie beteiligte Lehrkraft sowohl in der Kontroll- als auch in der Experimentalgruppe. In allen Klassen wurden die Verläufe von Wissen und nicht kognitiven Merkmalen im Prä-Post-Follow-Up-Design verfolgt. Weder für den Unterricht in der Kontrollklasse noch für den in der Treatmentklasse wurden den Lehrkräften Vorschriften zur Durchführung gemacht. Die Ausgestaltung der einzelnen Stunden oblag der einzelnen Lehrperson. Zur weiteren Kontrolle des Unterrichtsgeschehens wurden die Lehrpersonen aber jeweils aufgefordert, ein Unterrichtstagebuch zu führen. Es wurde erwartet, dass durch dieses die methodische Gestaltung des Unterrichts über den Untersuchungszeitraum nur wenig variiert und z. B. das Ausmaß an schüleraktivierenden Unterrichtsmethoden oder die Verwendung des Experiments relativ konstant bleibt.

6. Zusammenfassung

In einer Kontrollgruppe im Raum München wurde 2008 die Mechanik in herkömmlicher Weise unterrichtet; die gleichen Lehrkräfte unterrichten 2009 nach dem veränderten Konzept (Treatmentgruppe). Um die Lehrermaterialien und das Schülerbuch vorher auf Unterrichtstauglichkeit zu testen, hat eine Erprobungsgruppe von 14 Lehrkräften in 19 Klassen in Unterfranken nach dem veränderten Konzept unterrichtet. Die Rückmeldung ihrer Erfahrungen führte zu einer Überarbeitung des Schülertextes. Die Schüler der Erprobungsgruppe zeigen im Posttest signifikant mehr fachliches Verständnis, signifikant mehr Interesse am Fach Physik und eine signifikant höhere Selbstwirksamkeitserwartung (Kapitel 4.7.3). Aber es werden zwei Gruppen verglichen, in denen verschiedene Lehrkräfte an verschiedenen Orten zu unterschiedlichen Jahreszeiten die Mechanik unterrichtet haben.

Interviews von Schülerinnen und Schülern in der Erprobungsgruppe zeigten, dass diese den zweidimensionalen Geschwindigkeitsbegriff gut erfasst haben, d.h. dass die Geschwindigkeit sowohl Tempo als auch Richtung beinhaltet (Kapitel 4.7.4). Dies führt zu erstaunlichen Ergebnissen im Hinblick auf die Kurvenfahrt mit konstantem Tempo, bei der den Befragten klar war, dass sich die Geschwindigkeit immer ändert, da sich die Richtung der Geschwindigkeit ändert.

Bei genauerer Betrachtung der tabellarischen Tagebücher der Lehrkräfte in der Erprobungsgruppe ist auffällig, dass die konzeptspezifischen Inhalte unterschiedlich viel Zeit einnahmen (Kapitel 4.7.4). Die Frage wurde in der Hauptstudie daher detaillierter untersucht und als Erhebungsinstrument zusätzlich das Videographieren einer Unterrichtsstunde eingeplant, um Informationen über die Konzepttreue in der unterrichtlichen Umsetzung zu erhalten. Nach Abschluss des Mechaniklehrgangs wurden die beteiligten Lehrkräfte der Erprobungsstudie in Leitfadeninterviews zu ihrer Bewertung des Konzeptes befragt. Alle zwölf befragten Lehrkräfte hielten den zweidimensionalen Geschwindigkeitsbegriff mit Tempo und Richtung für sinnvoll und für verständlich, was sie in ihren Unterricht adaptieren wollen. Im Hinblick auf die Newtonsche Bewegungsgleichung ergab sich ein etwas differenzierteres Bild, denn sechs Lehrkräfte wollen wieder so unterrichten, vier Lehrkräfte wollen es nur mit Modifikation und zwei nicht weiterführen. Dabei zeigte sich: Je größer die Kenntnisse konzeptueller Lernschwierigkeiten waren, desto weitgehender wurde das Konzept akzeptiert.

Im Rahmen der Studie wurde das zweidimensional-dynamische Unterrichtskonzept für die 7. Jahrgangsstufe des Gymnasiums evaluiert (Kapitel 4.7.5). Zehn Lehrpersonen unterrichteten im Sommer 2008 als Kontrollgruppe nach dem herkömmlichen Konzept und im Sommer 2009 als Treatmentgruppe nach dem neuen Konzept. Bei den vergleichbaren Aufgaben zum Grundverständnis ergibt sich zwischen Kontroll- und Treatmentgruppe ein höchst signifikanter Unterschied mit mittlerer Effektstärke. D.h. durch den Unterricht nach zweidimensional-dynamischem Lehrgang wurde ein signifikant besserer Lernerfolg erreicht. In Kontroll- und Treatmentgruppe sind die Jungen erwartungsgemäß den Mädchen im Vorwissen hoch bzw. höchst signifikant überlegen. Diese Unterschiede bleiben in der Kontrollgruppe bestehen oder

6. Zusammenfassung

wachsen sogar an, während es in der Treatmentgruppe nach dem Unterricht keine signifikanten Unterschiede mehr gibt, die Mädchen also aufholen. Im Hinblick auf die nicht-kognitiven Variablen „Interesse“ und „Selbstkonzept“ konnten keine Effekte durch die Zugehörigkeit der Lernenden zur Kontroll- bzw. zur Treatmentgruppe festgestellt werden. Allerdings fühlen sich Schüler der Treatmentgruppe höchst signifikant kompetenter beim Einzeichnen einer Kraft, beim Vorhersagen einer Bewegung und beim Erklären einer Bewegung, während sich Schüler der Kontrollgruppe selbst signifikant kompetenter beim Rechnen und beim Diagramme-Lesen fühlen, was kein Inhalt des Lehrplans ist.

In der Kontrollgruppe korreliert die Zahl der Mechanik-Lernschwierigkeiten, die eine Lehrkraft im Interview nennen kann, wie erwartet positiv mit dem Lernerfolg, d.h. Schüler von Lehrkräften mit hohen Kenntnissen zeigen mehr Verständnis. Überraschenderweise lag hier aber in der Treatmentgruppe kein Zusammenhang vor, d.h. diese Kenntnisse der Lehrkräfte spielen für das Verständnis der Lernenden bei diesem Konzept keine Rolle mehr. Das erwartete Ergebnis, dass die Anzahl gehaltener Unterrichtsstunden ein Prädiktor für den Lernerfolg ist, konnte lediglich in der Treatmentgruppe festgestellt werden. In der Kontrollgruppe lag dieser Zusammenhang erstaunlicherweise nicht vor; mehr Unterrichtszeit führte nicht zu besseren Schülerergebnissen.

Insgesamt zeigt sich, dass die Videoanalyse ein Werkzeug ist, das neue Möglichkeiten eröffnet bzw. mit der sich bekannte Ideen gut umsetzen lassen. Es geht in dieser Arbeit also nicht um die Motivationswirkung eines modernen Mediums; für den Unterricht werden in dieser Arbeit geeignete motivierende Kontexte und erfolgreiche didaktische Konzepte als wichtiger angesehen, d.h. auch geschickte didaktische Rekonstruktionen und insbesondere an die Schüler angepasste Sachstrukturen. Dazu ist die Videoanalyse aber ein geeignetes Hilfsmittel.

7. Abstract

In a survey conducted at all state grammar schools of Rhineland-Palatinate in autumn 2004, data regarding the digital media workplace equipment and the use of media by grammar school Physics teachers in class were collected (chapter 1.1). It was established how teachers use computers in Physics lessons, what type of software and what specific software products they have already worked with. In class, computers were mainly used to access the information medium internet (75 % of teachers), for simulations (69 %), and for PC-based measurements (68 %). It was further used for Interactive Screen Experiments (51 %), modelling (41 %), the internet as communication medium (32 %), and for video analysis (22 %). Video analysis is used so little in class because the teachers have got by far the least knowledge regarding this medium (55 % claim to have no knowledge), as well as due to the fact that it is used for very specific areas in mechanics. Therefore video analysis was the least known and least used medium, despite the availability of free-of-charge video analysis programmes and videos. However, the interest in the use of the aforementioned media was very high. Using them was even more difficult, because back then, 60 % of the schools did not have Physics classrooms with their own beamers.

Part of this questionnaire regarding the use of computers in Physics was repeated at the grammar schools of Lower Franconia (Bavaria) in 2009 (chapter 1.2). Therefore the data were compared with those collected in Rhineland-Palatinate in 2004. The results were similar, but the use was more intensive: today, the computer is a standard medium in Physics classes, even though there are great differences when it comes to the various types of use. Usually the teacher uses the computer as a tool for demonstrations. A great number of regional differences were detected – in particular regarding the software products used.

Surprisingly, with three information sources for video analysis available to teachers (studying, reading, and information from colleagues), there is no significant difference between users and non-users. This difference is only prevalent during the practical phase of teacher training, and mainly in further training courses – a fact that emphasises the importance of further training courses. Further training courses are a decisive factor for the use of computers in Physics classes, and especially regarding which software is used. It is therefore quite understandable, that 15 % of teachers stated that they would definitely, and 51 % answered that they might take part in a further training course on video analysis, .

“measure dynamics” is a new program providing a significant improvement and a variety of new possibilities (chapter 1.3). These include numerous exporting options and the automatic analysis of a moving object, recognising geometric shape, size, and colour of the object that is being analysed. It is also advantageous that real-time diagrams are generated synchronously with the video, and that several objects can be analysed. With only little effort, dynamic-

7. Abstract

iconic representations of physical values in the shape of columns or vector arrows can overlay the video, and serial images and stroboscope images can be created.

At the beginning of 2008, Casio launched the EX F1, the first high-speed camera that was affordable for schools as well. Further models followed shortly afterwards, so that today, digital cameras with high-speed function are available for as little as approx. EUR 100. This opens up new possibilities for teaching Physics in schools (chapter 2.1). Up to now, one disadvantage of video analysis has been that the frame rate (sampling rate) of video recordings was fixed at 25 or 30 images (measuring values) per second, and was not sufficient for some experiments. This is where the high-speed camera came in, because it has got a higher sampling rate, thanks to the adjustable frame rate. It allows for much more exact and realistic evaluations of experiments such as impacts, horizontal or oblique throws, falling spheres, matchbox cars doing roller coaster loops, the Maxwell's wheel, and vibration analyses.

Aspects of PE lessons can be integrated in Physics lessons to create a connection of the relevant topic with interesting, real-life situations. Real movements in sports can be recorded and processed during the lesson, using the software (chapter 2.2). Examples for lessons range from athletics to football, and can be used in different ways in Physics as well as in PE lessons. For example pole vault can be used to demonstrate energy conversion processes within a sports context, whereas long jump provides an alternative use of the oblique throw. Other types of sport such as sling ball and hammer throw offer further starting points. The automatic analysis of the software based on contrast and motion supports an easier realisation in class. Some observations only become possible thanks to new display options such as stroboscope images, fading in of vectors or serial shots. Thanks to calculated fit functions, the measured real motion can also be compared to the underlying physical model.

Another option to increasingly tie in the students' everyday lives with the lessons and to create a link with the human body is by analysing everyday movements such as walking, running, climbing stairs or jumping. Today, the physically relevant values of the students' movements can be collected using different, computer-based measurement value logging options such as a force plate, remote 3-D acceleration sensors or video analysis; all of which have got advantages and disadvantages for this use. One particular option is the representation of sensor data in videos using the video analysis program "measure dynamics". The easy import of data tables allows for the data from the acceleration sensors or the ground reaction force measurement to be displayed in a video with dynamic-iconic representations. For that, a movement must be filmed and at the same time measured with the respective sensor, then the measurement data are imported into the video analysis program, where they can be represented in the video in multiple ways. That means that here, the video analysis program is only used as a program to show sensor measurement values.

7. Abstract

Leisure parks are becoming increasingly popular, and therefore fun rides provide ideal learning incentives in mechanics lessons. In that context, some fun rides at the Europa Park leisure park in Rust have taken and compared measurements with acceleration and GPS sensors, as well as video analyses, of for example a circular motion, a swing boat, and roller coaster rides with looping and hill climb (chapter 2.3). Video analysis has got the advantage that it is always an objective observation of the motion from the viewpoint of an outside, inert observer. One common difficulty, however, is finding a suitable location for the camera, so that a two-dimensional motion can be filmed without any distortions. Another advantage of video analysis is that with larger objects, several points of an object can be monitored. The GPS measurements, however, were only partly possible in the leisure park. In case of attractions with small changes of location or with (partial) roofing, measurements are either not expedient or not possible. Acceleration sensors produce three-dimensional measurements, which is both advantage and disadvantage. The fundamental problem is that the position of the sensor can change, which creates the problem of the reference system.

Student labs as out-of-school places of learning are becoming more and more common. Against this background, students of year 7 (secondary modern school and grammar school) have explored the most important basic concepts of mechanics based on two-dimensional motions in a teaching-learning lab (chapter 2.4). Motion-sequences were observed and filmed in hand-on experiments at different stations, using for example Carrera or Darda tracks, and train sets. The students analysed the recorded sequences and depicted velocity as well as acceleration through vector arrows using the video analysis program “measure dynamics”.

Initial worries that using the technology of the video cameras and the video analysis program might be asking too much of the students were quickly dispersed. The students found it surprisingly easy to handle the camera, and they quickly familiarised themselves with the intuitively operable program “measure dynamics”. They liked the teaching-learning lab, and the majority of students would like to go to another student lab. Accompanying teachers were also motivated to use video analysis in their classroom, and to record videos with students themselves.

Video analysis has got further uses outside of mechanics as well. The decay of beer foam is often used as an analogon to radioactive decay. A literature overview shows that the decay of beer foam is a complex matter, and that various publications find different mathematical descriptions (chapter 3.1). The measuring example by Leike shows how you can find an equation, what needs to be observed, and how various models can be evaluated. Finally the decay of beer foam is studied using video analysis, and the measurements are critically examined. The overall result is that the bi-exponential decay is a usable model for the decay of beer foam.

7. Abstract

In 1905, Einstein concluded his paper on the Brownian Motion with the request “May soon a researcher be successful, to solve the question posed here, which is so important for the theory of heat.” Video analysis can help prove the correctness of Einstein’s assumptions in an experiment. For that purpose, three possibilities for a model gas and for a model of the Brownian Motion, respectively, are introduced (chapter 3.2). It is shown how they can be evaluated regarding quality and even quantity using video analysis, in order to achieve the Maxwell-Boltzmann distribution and to prove Einstein’s theory: The dependence of the mean square displacement or the mean square velocity of temperature are easily and convincingly shown. Since it is statistic distributions, a long video with a high number of images is required, which renders automatic analysis indispensable.

When teaching about radioactivity, the problem arises that only few motivating school experiments are possible. Due to its short sensitivity, the Wilson cloud chamber is not suitable for school lessons, unlike a continuous diffusion cloud chamber, which is, however, very expensive. A cloud chamber using Peltier elements was constructed, and an extensive construction manual was prepared, so that teachers and students could build their own, inexpensive cloud chamber (chapter 3.3). Here, even the background level suffices for an observation of particle tracks.

There are two possible applications of the video analysis software “measure dynamics” with this continuous diffusion cloud chamber (chapter 3.3). If radon gas is added to the chamber, the cloud tracks of the decay of radon are recorded using a video camera, and the video analysis program is set to show only every 50th or 100th image, the thusly created time-lapse effect shows the quality reduction of activity when the video is being played. For an evaluation regarding quantity, the tracks are counted in every 100th frame, or using the count function in the individual images (with every 100th image being exported). The video analysis program also facilitates the easy reading the length of the tracks, so that velocity and kinetic energy of the α -particles can be determined from the measured track length.

In order to make a laser beam visible in Physics lessons, a vaporiser fog machine is easy to use and yields impressive results (chapter 3.4). Those fog machines are known from stages, clubs, and private parties, and cost around EUR 30. In class they can be used for example in alignments of plane mirrors, making vibrations visible using rotating mirrors, the Michelson interferometer, and the diffraction on slits and gratings. The video analysis program can be used for a quantitative evaluation for diffractions on the grating: If you take a picture, the video analysis program software such as “Coach 6” or “measure dynamics” allows you to take a direct and exact measurement of the angles in the picture.

In Physics and especially in mechanics, vector values play an important role. As educationalists have been requesting for decades, it is essential to start teaching mechanics using two-dimensional motions, in order to reduce or to avoid the students having misconceptions, and

7. Abstract

for them to understand mechanics. This, however, requires a measurement collection system for two-dimensional motions that does not show the two components of velocity and/or acceleration separately, but shows these values as arrows. This is possible with the video analysis software “measure dynamics”, where values can be displayed as arrows in the video.

At the University of Würzburg in a prep course in Mathematics before the start of the lecture period it was examined, to what extent students of Physics in their first semester have got basic vector-handling skills that they learned at school (chapter 4.1). Within the framework of this prep course and before embarking on their studies, they had to solve mathematical problems and Physics-based problems from statics on the one hand. On the other hand, they had to solve problems regarding the vectorial understanding of acceleration and force. The results in the graphic addition and subtraction of vectors are much better than previously expected due to experiences in tutorials. However, it also turned out that first-year students have got major problems regarding direction of acceleration and force. This study therefore proved once more that the traditional approach in Physics lessons of introducing kinematics and dynamics using one-dimensional motions, which are then extended to several dimensions at a later stage, has failed.

During numerous further training courses for teachers it has turned out that teachers hardly know about the students’ conceptions, but that they consider this subject to be very important, as soon as they learn something about it. This improves their ideas of students’ conceptions, as well as the teachers’ actions. For quite some time, however, there have been hardly any surveys regarding the teachers’ perceptions of the students’ conceptions. In the run-up to a further training course for teachers, the Physics teachers at grammar schools in Lower Franconia (245 participating teachers) were asked to fill in a questionnaire (chapter 4.2). This survey should identify on the one hand if Physics teachers know typical misconceptions of students, and on the other hand which perceptions they have regarding the frequency with which they appear in the context of typical questions (before and after the relevant lesson). It is particularly interesting that teachers know the difficulties students have when dealing with acceleration graphs in one-dimensional motions, but have no idea of the problems with two-dimensional motions, as they exist after a traditional lesson. One can assume that teachers think students could transfer their knowledge on one-dimensional motions to two dimensions, but that is not the case.

A sequence of lessons, which introduces kinematics in secondary education level II by starting with two-dimensional motions and consistently using video analysis as a measurement tool has been realised for the first time with the video analysis software “Coach 5” (chapter 4.3). Students learn to record motions and to describe them with vectors using three two-dimensional motions: a general cycling movement, throwing a basketball, and the rotor movements of a wind turbine. Even though back then there was no video analysis program that could mark vector arrows directly into the video, it worked. The one-dimensional, simple

7. Abstract

forms of motion, which are traditionally in the foreground, result from projecting throwing and circular motions onto the coordinate axis.

According to the new curriculum at Bavarian grammar schools, kinematic values as well as Newton's laws are introduced as early as year seven, while charts and motion functions are covered in later years. For that purpose, relevant lessons introducing mechanics via two-dimensional motions, and emphasising the representation of values through arrows were conceived and implemented (chapter 4.4). Care was taken that the students are actively involved. A variety of media ranging from toys to videos and simulations was furthermore used. A central visualisation in this lesson concept were video projects, where kinematic values were dynamically represented via arrows in a filmed train in the video. Since there was no software yet, with which this would have been easily possible, the motion was filmed before class, and analysed using the video analysis program AVA. Then the video was embedded in the software PAKMA before class, and the arrows were drawn on top of it in compliance with the data from the video analysis, which was then shown and discussed in class.

Integrating placemarks and various animated arrows in the video is simply a matter of a few mouse clicks in "measure dynamics" (chapter 4.5). That way it is possible to display values in the video, which otherwise would not be visible to the eye, e.g. the values "velocity" and "acceleration". This makes it easier to emphasise the vectorial character of these values, and thus to introduce basic kinematic values based on two-dimensional motions.

There are different content structures for teaching mechanics. Traditionally, the static aspect is emphasised when force is introduced in mechanics lessons. The dynamic aspects as well as the kinematic values are then usually only addressed using one-dimensional motions. For almost 40 years, however, other content structures have been formulated and developed further – partly, however, they have hardly been implemented in practice up to now. Since schoolbooks are considered to be "secret curriculum", physics schoolbooks have been analysed.

An analysis of physics schoolbooks of years 7 and 8 at Bavarian secondary modern schools (chapter 4.6.1) revealed great differences in schoolbooks, not only regarding design, but mainly regarding content structure and the way known misconceptions are taken into consideration. Schoolbooks of one publishing house address students' conceptions, and newer content structures are integrated at least rudimentally. This is mainly shown on the following examples: two-dimensional motions and the associated accentuation of the direction of a motion, the consistent differentiation of speed and velocity, the emphasis of velocity as a vectorial value, the use of change of location and change of velocity vectors, and the required use of computer measurement value recording and video analysis.

In an analysis of six physics schoolbooks for year 7 in Bavaria, five books by educational publishing companies and the book from the research project of Wiesner/Wilhelm/Tobias/Waltner/Hopf were compared (chapter 4.6.2). Some books show a clear focus on quantity and

7. Abstract

rely on graphs and measurement tables. The assessment of the readability of the text revealed language that is difficult to understand. The content structure of the five approved books is very similar, but the share of static aspects is different. The schoolbook from the research project uses a completely different content structure while at the same time being absolutely compliant with the curriculum. The book furthermore sets great store by a qualitative understanding, and consistently dispenses with graphs, equations, measurement tables, and arithmetic problems. Instead of that, it mainly resorts to qualitative brainteasers and logical pictures with arrows representing the physical values, and uses video analysis in this context.

Previous studies showed that different teaching methods only have little influence on the students' learning efficiency; various evidence points towards the fact that different content structures have got more serious impacts. In a comparative study, the influence of the content structure on learning Newton's mechanics was analysed (chapter 4.7.1). The traditional access to mechanics with the help of linear motions is compared with a content structure that leads over from two-dimensional motions directly to dynamics (chapter 4.7.2).

Since the early days of teaching Physics until at least the 1980s, students were introduced to mechanics via statics in secondary education level I, and in secondary education level II first kinematics and then dynamics were taught – but almost exclusively one-dimensional. In the last two decades, statics was pushed back, so that now one-dimensional kinematics dominates in secondary education level I, and in continuation, acceleration and the equation $F = m \cdot a$ play an important role. Besides the static and the one-dimensional kinematic introduction there have been two approaches with a strong dynamics orientation since the 1970s. The Karlsruhe physics course with momentum currents, which up to now can not show any empirical successes in mechanics, and Wiesner's Impulse Concept, which has achieved empirical successes. This has been developed further, and refined using new media such as video analysis (chapter 4.7.2). The basic ideas are to introduce velocity vectorially with the help of two-dimensional motions, and to introduce mechanics dynamically via the impulse equation $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$, with the change of velocity $\Delta \vec{v}$ being introduced as a separate value instead of acceleration. Suitable options to record and to adequately show a motion within the framework of a lesson are making videos with the possibility to include velocity and change of velocity arrows using video analysis software, as well as the generation of stroboscope images, which can also be made from videos using video analysis software. The mechanics concept is therefore a combination of Wiesner's Impulse Concept, the possibilities of video analysis, and dynamically displayed vector arrows.

For the comparative study, a teaching text (see appendix 5), video recordings of experiments, suitable video analyses, as well as a simulation program were produced. In order to verify the effectiveness of the various content structures, a comparative study was carried out by the universities of Würzburg, Munich, and Vienna in school years 2007/08 and 2008/09. Besides the development of the students' knowledge, their interest and self-referential cognitions were

7. Abstract

being monitored. In order to prevent the influence of different teachers as far as possible, every teacher involved in the main study taught the control as well as the treatment group. In all classes, the development of knowledge and non-cognitive characteristics were being monitored in the pre-post-follow-up design. The teachers received no instructions regarding implementation for teaching both the control class and the treatment class. Every individual teacher was responsible for preparing the individual lessons. In order to further monitor the lessons, however, the teachers were asked to keep a classroom diary. It was expected that that way the methodic structuring of the lessons would vary only little throughout the period of the study, and that for example the degree of student-activating teaching methods or the use of the experiment remained relatively consistent.

In 2008, mechanics was taught the conventional way in a control group in the Munich area. The same teachers taught according to the changed concept in 2009 (treatment group). In order to test the teaching material and the students' book for suitability for teaching, a test group of 14 teachers taught 19 classes in Lower Franconia according to the changed concept. Following the feedback of their experiences, the students' text was revised. In the post-test, the students of the test group showed significantly more understanding of the subject, significantly more interest in the subject Physics, and significantly higher self-efficacy expectations (chapter 4.7.3). However, the comparison was between two groups, where different teachers taught mechanics at different places and different seasons.

Interviews of students in the test group showed that they have grasped the two-dimensional concept of velocity, i.e. that velocity contains speed as well as direction (chapter 4.7.4). This leads to surprising results regarding cornering at a constant speed, where the interviewed students realised that the velocity always changes, because the direction of the velocity changes.

Upon closer inspection of the tabular diaries of the teachers in the test group it is apparent that the concept-specific contents used up different amounts of time (chapter 4.7.4). The question was therefore analysed in detail in the main study, and it was planned to additionally videotape one lesson as a data collection tool, to gain more information on how closely the concept was being followed in the lessons. After the end of the mechanics course, the teachers involved in the test study were asked for their assessment of the concept in guided interviews. All twelve teachers asked considered the two-dimensional notion of velocity with speed and direction to be expedient and understandable, and they wanted to include this in their lessons. Regarding Newton's equation of motion there was a more differentiated picture: six teachers wanted to teach like that again, four teachers wanted to follow this concept but only with modifications, and two did not want to continue teaching according to this concept. It became evident that the broader the knowledge of conceptual learning difficulties was, the more widely accepted the concept was.

7. Abstract

Within the framework of the study, the two-dimensional-dynamic teaching concept was evaluated for year 7 at grammar schools (chapter 4.7.5). In summer 2008, ten teachers taught according to the traditional concept as control group, and as treatment group according to the new concept in summer 2009. There was a very significant difference with medium effect size in comparable problems regarding the basic understanding between the control group and the treatment group. I.e. teaching according to the two-dimensional-dynamic sequence of lessons yielded a significantly better learning success. As expected, boys have got a more or most significantly higher previous knowledge than girls in the control group and in the treatment group. In the control group, these differences remain or even increase, while in the treatment group there are no significant difference after the teaching, the girls therefore catch up. With regard to the non-cognitive variable “interest” and “self-image”, no effect resulting from the learner being part of the control group or the treatment group could be established. However, when it comes to drawing in a force, predicting a motion, and explaining a motion, the students of the treatment group feel most significantly more competent, whereas students of the control group itself feel significantly more competent in calculating and reading charts, which is not part of the curriculum.

As expected, in the control group the number of learning difficulties with mechanics that a teacher can name in an interview correlates positively with the learning success, i.e. students of teachers with great knowledge show more understanding. It was surprising, however, that here there was no connection in the treatment group, i.e. with this concept, the knowledge of the teachers was irrelevant for the understanding of the learners. The expected result, that the number of lessons predicts the learning success, could only be established in the treatment group. Surprisingly, this correlation did not exist in the control group; more lessons did not lead to better student results.

All in all, video analysis turned out to be a tool that opens up new possibilities, and that allows for known ideas to be implemented well. This thesis is not about the motivational effect of a modern medium; it rates suitable motivating contexts and successful didactic concepts as more important, i.e. also clever didactic reconstructions and especially content structures that were adjusted to suit the students. For that purpose, however, video analysis is a suitable tool.

8. Danksagung

Bei einer solchen Arbeit ist eine Danksagung schwierig, da so viele Menschen irgendwie dazu beigetragen haben, dass eine Aufzählung immer unvollständig ist.

Bedanken möchte ich mich bei allen Lehrern, die bereit waren, einen Fragebogen auszufüllen oder einen Test ihren Schülern zu stellen und dafür Unterrichtszeit zur Verfügung stellten. Gedankt sei aber auch den Schülern und Studierenden, die Tests beantworteten. Herzlicher Dank vor allem gilt den Lehrern, die bereit waren, sich auf neue Unterrichtskonzepte einzulassen, danach zu unterrichten und zur Evaluation beizutragen.

Bedanken möchte ich bei all den vielen Koautoren, mit denen ich zusammen einiges untersuchte, Neues ausprobierte und schließlich etwas veröffentlichte. Danke für die konstruktive Zusammenarbeit!

Besonderer Dank gilt auch Herrn Dipl.-Phys. StR Michael Suleder, der die Software „measure dynamics“ programmierte, ohne die vieles nicht möglich gewesen wäre. Danke für die Geduld bei all den vielen Fragen, Wünschen und Kritiken, die ich immer wieder hatte, und danke für das Umsetzen vieler dieser Punkte.

Herzlich bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei meinem Mentorat, Herrn Prof. Dr. Thomas Trefzger, Herrn Prof. Dr. Hans-Georg Weigand und Herrn Prof. Dr. Jean Geurts, die stets an den Erfolg der Arbeit glaubten. Herrn Prof. Dr. Thomas Trefzger sei für die Möglichkeiten gedankt, die ich am Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik nutzen konnte.

Schließlich sei besonders meiner Frau Angelika gedankt, die diese Arbeit unterstützte und Verständnis dafür hatte, wenn ich abends erst spät heimkam und auch am Wochenende arbeitete. Besonders möchte ich auch Jesus Christus danken, der mir zu dieser Arbeit Mut und Ideen gab sowie die nötige „Kraft“, d.h. die innere Stärke und das Durchhaltevermögen.