



Physik im Kontext

Unterrichtsreihe

Kinematik

in der Jahrgangsstufe 11

mithilfe der Digitalen Videoanalyse

Set Ostwestfalen-Lippe

März 2006



UNIVERSITÄT PADERBORN
Die Universität der Informationsgesellschaft



„**Physik im Kontext**“ (piko) ist ein Programm*, das die naturwissenschaftliche Grundbildung von Schülerinnen und Schülern durch Physikunterricht fördern will. Dabei arbeiten erfahrene Lehrkräfte und Fachdidaktiker gemeinsam in sogenannten „Schulsets“ an der Entwicklung von neuen Unterrichtskonzepten und Materialien, die sich an drei Leitlinien orientieren:

1. **Entwicklung einer neuen Lehr-Lern-Kultur:** Ein methodisch vielfältiger und auf die Lernziele abgestimmter Unterricht bietet Schülerinnen und Schülern unterschiedliche Zugänge zu einem Thema, hilft bei der Überwindung von Lernschwierigkeiten und kann selbstgesteuertes Lernen ermöglichen. Die Anbindung an Alltagskontexte fördert Interesse und Motivation.
2. **Förderung des naturwissenschaftlichen Denkens, Arbeitens und Anwendens:** Ein grundlegendes Verständnis naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen kann Schülerinnen und Schülern zu eigenständiger Arbeit befähigen sowie die Anwendung schulischen Wissens in der Auseinandersetzung mit Problemen aus Alltag und Lebenswelt fördern.
3. **Integration von Themen aus dem Bereich moderne Physik/Technologien:** Moderne Themen können als Anwendungskontexte das Interesse von Schülerinnen und Schülern fördern. In höheren Jahrgangsstufen kann darüber hinaus ein Grundverständnis für moderne theoretische Perspektiven entwickelt werden.

* Das Programm wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) in Kiel in Kooperation mit den Universitäten Kassel und Paderborn, der Humboldt-Universität zu Berlin und der Pädagogischen Hochschule in Ludwigsburg durchgeführt.

Impressum

Autoren: Marc van der Schmidt, Harald Vogel, Gunnar Friege & Peter Reinhold

1. Version März 2006

Inhalt

<i>1. Vorbemerkungen</i>	<i>1</i>
<i>2. Einordnung der Kinematik-Unterrichtseinheit in das Projekt Physik im Kontext</i>	<i>3</i>
<i>3. Beschreibung der Reihe</i>	<i>6</i>
Einstiegsphase	6
Erarbeitung der Bewegungsgesetze	8
Übungsphasen	13
Der Freie Fall	17
Der Bremsvorgang	20
<i>4. Didaktischer Kommentar und Resümee</i>	<i>24</i>
A N H A N G	27

1. Vorbemerkungen

„Heute reicht es längst nicht mehr, unseren Kindern in der Schule die klassischen Fertigkeiten Lesen, Schreiben und Rechnen beizubringen. Die technologische Entwicklung erfordert zwingend die Kenntnis neuer Kulturtechniken: Nur wer mit den neuen Medien kompetent und kritisch umgehen kann, kann auch das richtige Wissen finden, auswählen und anwenden.“ (ehem. Bundespräsident Johannes Rau)

Trotz der rasanten Entwicklung und Verbreitung der neuen Medien und Informationstechnologien in weiten Teilen unserer Wirtschaft und Gesellschaft finden Computer, multimediale Lernumgebungen oder das Internet bislang nur zögernd Eingang in den Fachunterricht. Dies trifft insbesondere auch auf den Physikunterricht zu, von dem man von Hause aus eine große Affinität zu diesem Bereich erwarten könnte. Handelt es sich hierbei doch um eine im weitesten Sinne technische Anwendung physikalischen Wissens, die auch Gegenstand von Unterricht sein könnte.

Dieser Tatbestand einer zögernden Computernutzung im Unterricht ist umso verwunderlicher, als die Ausstattung der Schulen im Hardwarebereich in den letzten fünf Jahren beträchtlich vorangeschritten ist. Auch an der Entwicklung von Software und Materialien mangelt es wohl nicht. Hier gibt es ein umfangreiches Angebot, in dessen Entwicklung in den letzten Jahren ein nicht unbeträchtlicher Mittel- und Personaleinsatz geflossen ist.

Hinzukommt, dass von Seiten der Medienpädagogik, der allgemeinen Didaktik und der pädagogisch-psychologischen Lehr-Lernforschung schon seit längerem auf die Bedeutung einer umfangreichen Medienkompetenz und die Möglichkeiten der neuen Medien auch und gerade in fachlichen Lehr-Lernprozessen hingewiesen wird. Ihr Potenzial wird in der Unterstützung kognitiver Prozesse bei der Aneignung der Fachinhalte, der Förderung von Motivation und Interesse sowie von kooperativem oder selbstgesteuertem Lernen gesehen. Eine Reflexion physikbezogener Lehr-Lernprozesse kann darüber hinaus den Beitrag des Fachs Physik zu einer Medienbildung liefern.

Neben diesen außerfachlichen Fragestellungen gibt es auch fachimmanente Entwicklungen, die einen verstärkten Einsatz der neuen Medien und Informationstechnologien nahe legen. So wird schon seit längerem eine massive Akzeptanz-, Inhalts- und Methodenkrise des Physikunterrichts beklagt. Jüngster Beleg sind die großen internationalen Vergleichsstudien TIMSS und PISA. Ihnen zufolge gelingt es dem Physikunterricht nicht, den Lernenden die Bedeutung der physikalischen Inhalte für ihren weiteren Bildungsweg aufzuzeigen. Auf der

kognitiven Ebene wird festgestellt, dass die Defizite im konzeptionellen Verständnis und insbesondere im Übertragen des Gelernten auf neue inner- wie außerfachliche Problemstellungen liegen. Das geringe Interesse am Physikunterricht ist mittlerweile offenkundig. Videostudien kritisieren des Weiteren die unterrichtsmethodische Monokultur des fragend-entwickelnden Unterrichts, der im Physikunterricht typischerweise um ein Experiment herum organisiert wird.

Angesichts der gesellschaftlichen Forderungen nach einer umfassenden Medienbildung, dem unterstellten lernpsychologischen Potenzial multimedialer Lernumgebungen und der Krise des gegenwärtigen Physikunterrichts stellt daher die systematische Einbeziehung der neuen Medien gegenwärtig eine besondere Herausforderung für den Physikunterricht dar. Es geht darum, Ansätze der Medienpädagogik, der Lehr-Lernforschung, sowie der allgemeinen Didaktik für den Physikunterricht zu konkretisieren und in einem fachdidaktischen Ansatz zu integrieren.

In der folgenden Zusammenfassung wird eine Unterrichtsreihe vorgestellt, die in den vergangenen fünf Jahren – zunächst im Projekt **KUS** (Kooperation Universität Schule) und anschließend im Projekt **Physik im Kontext** – entwickelt und an zwei Schulen in Ostwestfalen-Lippe mehrfach erprobt und überarbeitet wurde.

Die Unterrichtsreihe wurde mit dem Ziel entwickelt, das Messverfahren der digitalen Videoanalyse als ein motivationssteigerndes Element in den Unterricht der Klasse 11 aufzunehmen, das zudem den Vorteil bietet, dass auch Bewegungen analysiert werden können, die der direkten Messung sonst nicht zugänglich wären (Sprung eines Astronauten auf dem Mond, Raketenstart, Crashtest, komplizierte Sprungbewegungen etc). Darüber hinaus sollten die Kooperation, das Lernen und das Problemlösen fördernde Unterrichtsformen mit der Reihe erprobt werden. Eine Einordnung der Unterrichtsreihe in das Projekt Physik im Kontext findet sich im nächsten Kapitel.

Zur besseren Lesbarkeit werden wir in den folgenden Ausführungen das Wort „Schüler“ verwenden; hiermit sind sowohl die Schülerinnen als auch die Schüler gemeint.

Marc van der Schmidt, Harald Vogel, Gunnar Friege & Peter Reinhold

Detmold, Paderborn und Kiel, im März 2006

2. Einordnung der Kinematik-Unterrichtseinheit in das Projekt *Physik im Kontext*

„Physik im Kontext“ (piko) ist ein Programm, das die naturwissenschaftliche Grundbildung von Schülerinnen und Schülern durch Physikunterricht fördern will. Dabei arbeiten erfahrene Lehrkräfte und Fachdidaktiker gemeinsam in sogenannten „Schulsets“ an der Entwicklung von neuen Unterrichtskonzepten und Materialien, die sich an drei Leitlinien orientieren: Leitlinie 1 „Entwicklung einer neuen Lehr-Lern-Kultur“, Leitlinie 2 „Förderung des naturwissenschaftlichen Denkens, Arbeitens und Anwendens“ und Leitlinie 3 „Integration von Themen aus dem Bereich moderne Physik/Technologien“ (siehe Klappentext und www.physik-im-kontext.de). Die einzelnen Sets setzen bei der Umsetzung dieser drei Leitlinien unterschiedliche Akzente. Das Set piko-OWL (Ostwestfalen-Lippe), aus der die vorliegende Unterrichtseinheit hervorgegangen ist, hat sich folgende Schwerpunkte gesetzt:

1. Die Förderung der Selbstregulierungskompetenz und Erprobung veränderter Unterrichtsmuster stellt die spezifische Realisierung der Leitlinie 1 dar. Entsprechend des vielschichtigen Begriffs der Selbstregulation werden bei der Entwicklung der Lernumgebungen kognitive, metakognitive und motivationale Aspekte auf der Seite der Schüler und v.a. auch die Rolle des Lehrers in der Lernumgebung berücksichtigt.
2. Die Förderung der Problemlöse-/Modellierungskompetenz, d.h. die Förderung der Fähigkeit, Probleme im physikalischen Sinne zu modellieren und Problemlösungen zu finden, ist die Umsetzung der Leitlinie 2.
3. Im Sinne der Leitlinie 3 sollen Aspekte der modernen Physik und Technik als interessante und lernrelevante Kontexte einbezogen werden. Durch das Einbeziehen unterschiedlicher Kontexte wird die Dekontextualisierung des erworbenen Wissens systematisch betrieben, damit Schüler ihr Wissen flexibel anwenden können.

Die Leitlinie 1, d.h. die Gestaltung einer veränderten (neuen) Lehr-Lernkultur in Form neuer Unterrichtsmuster und die besondere Förderung der Selbstregulierungskompetenz der Schüler, wird mit der vorliegenden Unterrichtseinheit *Kinematik* folgendermaßen angestrebt:

- a) Es geht zum einen um die Einbettung und insbesondere die Ausschöpfung der besonderen Möglichkeiten neuer Medien im Physikunterricht. Dieses Anliegen bildete auch den Ausgangspunkt für die Anlage der Unterrichtseinheit (siehe auch Kapitel 1). Elemente dieses Medieneinsatzes sind die Nutzung eines Programms zur digitalen Videoanalyse

(VIMPS) und von Programmen zur Datenaufbereitung, -auswertung und zur graphischen Darstellung der Daten (MS-Excel, Tabellen-, Fit- und Graphenfunktionen).

- b) Zum anderen geht es in mehreren Phasen der Unterrichtseinheit darum, bei Zurücknahme des fragend-entwickelnden Unterrichts einen aufgabengeleiteten Unterricht zu verwirklichen, um damit die sogenannte Aufgabekultur zu fördern (*„Unter Aufgabekultur ist das Zusammenwirken folgender Aspekte zu verstehen: Die Art und die Qualität der Aufgaben, deren Vernetzungen untereinander und vor allem die Einbettung der Aufgaben in das gesamte Unterrichtsgeschehen.“*, Leisen 2003). Die Unterrichtseinheit bietet hierzu mehrere Anlässe und macht einige Vorschläge; die konkrete Umsetzung wird jedoch – wie sich in den verschiedenen Erprobungen gezeigt hat – sehr unterschiedlich ausfallen.
- c) Die Förderung der Selbstregulierungskompetenz geschieht einerseits durch die Wahl motivierender Inhalte und deren Bearbeitung (Sport, Verkehrsphysik), mit dem an Alltagserfahrung und Interesse der Schüler angeknüpft werden soll, und andererseits durch die Einbettung einer umfangreicheren Projektarbeit, deren Inhalt die Schüler selbst wählen, und mit der Selbsttätigkeit unterstützt und Erfolgserlebnisse ermöglicht werden können.

Es hat sich in den ersten Vorerprobungen dieser Unterrichtseinheit gezeigt, dass ein gravierendes Defizit bei einer Vielzahl der unterrichteten Schüler die sichere Anwendung der Bewegungsgesetze auf Situationen ist, die nicht Gegenstand des Unterrichts waren. Aufgegriffen wird dies mit der besonderen Förderung der Problemlöse- und Modellierungskompetenz im Rahmen von piko-OWL. In der Unterrichtseinheit Kinematik geschieht dies in zweierlei Hinsicht:

- a) Ausgehend von der realen Bewegung eines Läufers (und im weiteren Verlauf auch von anderen Personen oder Objekten) wird über die Analyse die Bewegung modelliert, und zwar durch das Setzen von Zeit- und Ortnullpunkten, Berechnen von Intervallgeschwindigkeiten, Berechnen von Fits an die so erhaltenen Daten, etc.
- b) Im Anschluss an Unterrichtsabschnitte, in denen die Grundlagen der eindimensionalen Kinematik gelegt werden, finden sich regelmäßig verteilt Übungsphasen, in denen zum Teil die Grundlagen angewendet, aber auch über das Lösen anspruchsvollerer Aufgaben neues Wissen erarbeitet werden soll.

Die Kontextualisierung/Dekontextualisierung, als die vom Set piko-OWL spezifische Umsetzung der Leitlinie 3 des Projektes *Physik im Kontext*, wird in der hier vorgestellten Unterrichtseinheit Kinematik dadurch realisiert, dass zunächst die digitale Videoanalyse als ein Werkzeug zur Analyse von Bewegungen eingeführt wird, dessen Einsatz im (Hochleistungs-)Sport oder aus der Rehabilitation vielen Schülern vermutlich bekannt ist (siehe S. 9ff). Eine Dekontextualisierung des Wissens findet im Verlauf der Unterrichtseinheit insofern statt, dass in mehreren Erarbeitungs- und Übungsphasen

- a) Wissen über verschiedene Bewegungsformen auf eine Vielzahl unterschiedlicher Bewegungen und kinematischer Fragestellungen im alltagsnahem Kontext angewandt wird,
- b) die Analyse von Bewegungen schließlich sowohl mit dem Werkzeug der digitalen Videoanalyse als auch graphisch und nicht-computerunterstützt oder analytisch vorgenommen werden.

3. Beschreibung der Reihe

Einstiegsphase

Zu Beginn der Reihe werden die folgenden Einstiegsvideos gezeigt, die zu einer Diskussion über die unterschiedlichen Bewegungsformen und ihrer Beschreibung führen und in den Themenbereich einstimmen:

- „Armin Hary, der schnellste Mann der Welt“ (Armin Hary_der schnellste Mann der Welt.avi)
- Amateurvideo von zwei Sprintern (Einstiegsvideo Sprint.avi)
- Zwei Crash Tests (CrashTest1.avi & CrashTest5.avi)
- Raketenstart (Raketenstart.avi)
- Torschuss eines Fußballspielers (Torschuss.avi)
- Sprung eines Astronauten auf dem Mond (Sprung auf Mond.avi)

Anschließend wird den Schülern die Aufgabe gestellt, den Lauf eines 100-m-Sprinters aus der Sicht eines Physikers zu beschreiben (zur Motivation kann man nochmals das Video von Armin Hary zeigen).

Im anschließenden Unterrichtsgespräch werden die auftretenden Begriffe wie z.B. „schneller“, Geschwindigkeit, Beschleunigung, etc. in einen sinnvollen Zusammenhang gebracht. Dabei werden Messverfahren entwickelt, um über die Begriffe genauere Aussagen machen zu können. Als Ergebnis stellt sich heraus, dass es notwendig ist, Informationen über den Ort und die Zeit aufzunehmen. Zur Sicherung wird das Ergebnis festgehalten:

Die **Kinematik** ist die Lehre von den Bewegungen ohne Berücksichtigung ihrer Ursachen. In der Kinematik lernt man, Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung von Körpern zu messen, zu berechnen und darzustellen.

Um eine Bewegung beschreiben zu können, muss man für einige Zeitpunkte angeben können, wo sich ein Körper befunden hat: Man benötigt Messwertpaare für Zeit (Abkürzung: t) und Ort (Abkürzung: s). Wir sprechen auch von Zeit-Weg-Koordinaten. Aus diesen Informationen lassen sich weitere Größen wie Geschwindigkeit und Beschleunigung ermitteln.

Jetzt wird den Schülern das Videoanalyseprogramm VIMPS¹ vorgestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass den Schülern die Verbindung des vorangegangenen Unterrichtsgesprächs zu

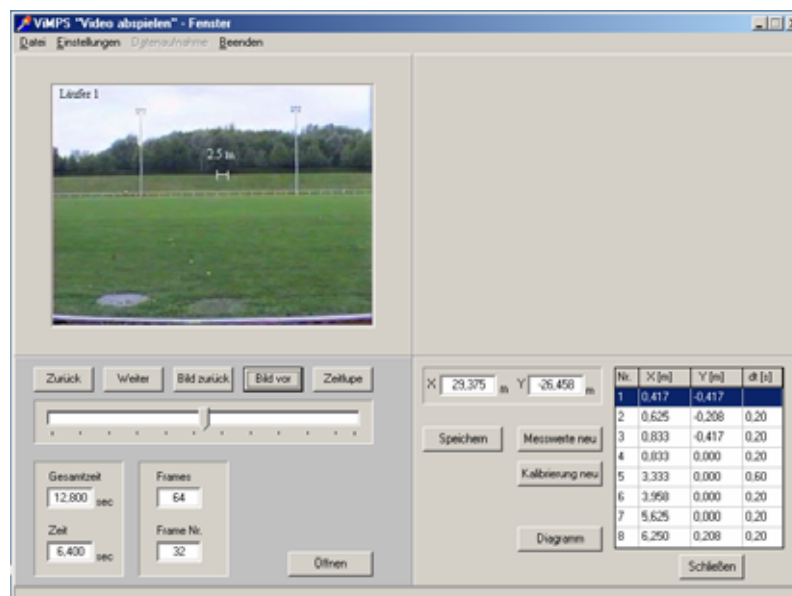
¹ Für den Einsatz in der Schule werden verschiedene Programme angeboten, darunter sind erfreulicherweise auch einige frei erhältliche Programme wie VIMPS (Das VideoMess- und Präsentationssystem; <http://wswww.physik.uni-mainz.de/lehramt/vimps/>) und Viana (<http://didaktik.physik.uni-essen.de/viana/>).

dem Messverfahren von VIMPS deutlich wird. Das Video Sprint.avi vom Beginn der Unterrichtsreihe kann zu diesem Zweck hilfreich sein.

Digitale Videoanalyse:

- Bildweise Erfassung der Zeit-Weg-Koordinaten eines Objektes (oder eines Punktes des Objekts), dessen Bewegung in einem Videofilm festgehalten wurde.
- VIMPS: Software zum Erfassen der Koordinaten am Computer; durch einfaches Anklicken eines bestimmten Punktes des bewegten Objektes lassen sich die Koordinaten dieses Punktes in eine Messwerttabelle eintragen.
- Voraussetzung für dieses Verfahren:
 - der zeitliche Abstand der Bilder muss bekannt sein;
 - auf einem Bild muss sich ein Eichmaßstab befinden, damit die Streckenlängen korrekt erfasst werden;
 - der Abstand zwischen Kamera und bewegtem Objekt darf sich nicht stark verändern.

Die Messwertaufnahme mit VIMPS wird dann am Beispiel des Videos Läufer_1.avi vorgeführt. Hinweise zur Benutzung von VIMPS sind im Anhang zusammengefasst. Dabei ist zu beachten, dass vor der Datenaufnahme der Abstand zweier aufeinanderfolgender Bilder ermittelt werden muss. VIMPS geht standardmäßig von einem Wert von 40 ms aus.



Wir haben VIMPS als reines Analysierwerkzeug verwendet, die gewonnenen Messdaten exportiert und mit einer Tabellenkalkulation (MS EXCEL) weiter verarbeitet.

Erarbeitung der Bewegungsgesetze

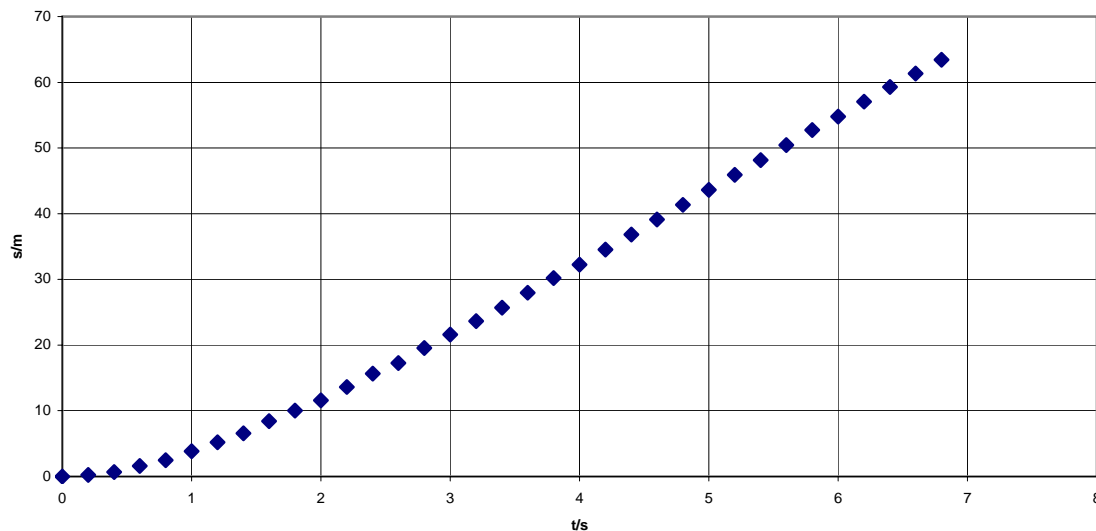
Nachdem die Messwerte der Bewegung von Läufer 1 aufgenommen sind, werden die Daten nach MS EXCEL exportiert und es wird über die Darstellungsform der Daten gesprochen. Dabei ist zu diskutieren, wie man aus den aufgenommenen Zeitintervallen Δt auf die Zeitkoordinate t kommt, und hierbei die Möglichkeiten der Tabellenkalkulation ausnutzt. Anschließend erstellt man ein Zeit-Weg-Diagramm der Bewegung:

t/s	s/m	$\Delta t/s$
0	0	
0,2	0,227	0,2
0,4	0,682	0,2
0,6	1,591	0,2
0,8	2,5	0,2
1	3,864	0,2
1,2	5,227	0,2
1,4	6,591	0,2
1,6	8,409	0,2
1,8	10	0,2
2	11,59	0,2
2,2	13,64	0,2

t/s	s/m	$\Delta t/s$
2,4	15,68	0,2
2,6	17,27	0,2
2,8	19,55	0,2
3	21,59	0,2
3,2	23,64	0,2
3,4	25,68	0,2
3,6	27,95	0,2
3,8	30,23	0,2
4	32,27	0,2
4,2	34,55	0,2
4,4	36,82	0,2
4,6	39,09	0,2

t/s	s/m	$\Delta t/s$
4,8	41,36	0,2
5	43,64	0,2
5,2	45,91	0,2
5,4	48,18	0,2
5,6	50,45	0,2
5,8	52,73	0,2
6	54,77	0,2
6,2	57,05	0,2
6,4	59,32	0,2
6,6	61,36	0,2
6,8	63,41	0,2

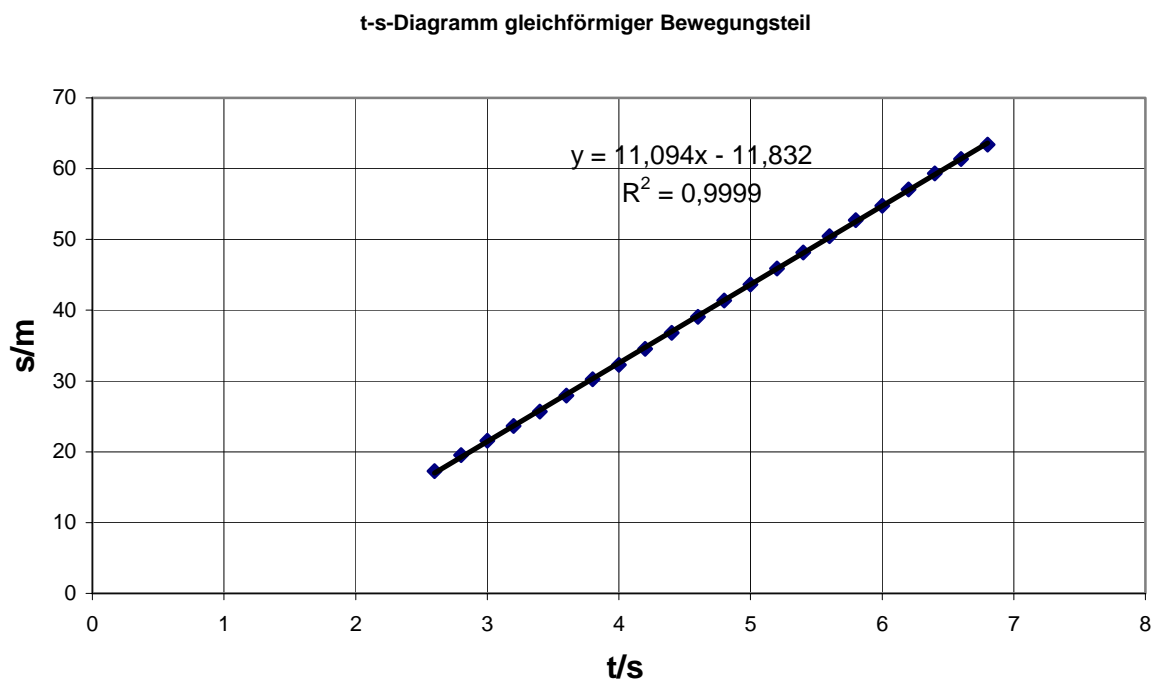
t-s-Diagramm



Am Diagramm erkennt man sehr gut einen Abschnitt mit beschleunigter Bewegung und einen gleichförmigen Teil. Da die Beschreibung des gleichförmigen Bewegungsabschnitts einfacher ist, beginnt man zunächst mit der Erarbeitung der Bewegungsgesetze für die **geradlinig gleichförmige Bewegung**:

Am Beispiel der Daten erarbeitet man, dass der Läufer bis etwa 2,8 s beschleunigt und anschließend mit einer konstanten Geschwindigkeit weiterläuft. Dabei sollte sich herausstellen, dass der Läufer im zweiten Bewegungsabschnitt in gleichen Zeitintervallen gleiche Strecken zurücklegt. In diesem Zusammenhang wird dann an die mathematischen Vorerfahrungen der Schüler angeknüpft und erarbeitet, dass dies gerade die Steigung der linearen Funktion im Zeit-Weg-Diagramm ist. Einige Schüler werden auch den Begriff Durchschnittsgeschwindigkeit einwerfen oder sogar berechnen, wenn man die Frage nach der Geschwindigkeit des Läufers stellt. Die Bestimmung der Geschwindigkeit des Läufers kann dann „per Hand“ erfolgen oder mit Hilfe von MS EXCEL und der Funktion der Ausgleichsgeraden (Trendlinie) bestimmt werden:

Es ergibt sich eine Geschwindigkeit von etwa 11 m/s für den gleichförmigen Bewegungsabschnitt. Die Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt etwa 9,3 m/s.



Als Ergebnis bleibt festzuhalten:

Eine Bewegung heißt **gleichförmig**, wenn ihr Graph im Zeit-Weg-Diagramm linear (geradlinig) verläuft.

Die Steigung des Graphen einer Bewegung im Zeit-Weg-Diagramm ist die Geschwindigkeit v . Bei der gleichförmigen Bewegung gilt:

$$v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Die Einheit ist: $[v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3600 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Die **Durchschnittsgeschwindigkeit** \bar{v} ist die konstante Ersatzgeschwindigkeit, mit der man für die gleiche Strecke dieselbe Zeit gebraucht hätte:

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Im Folgenden beschäftigt man sich nun mit dem **beschleunigten Teil der Bewegung**:

Zuerst wird herausgestellt, was es überhaupt bedeutet, dass eine Bewegung beschleunigt ist.

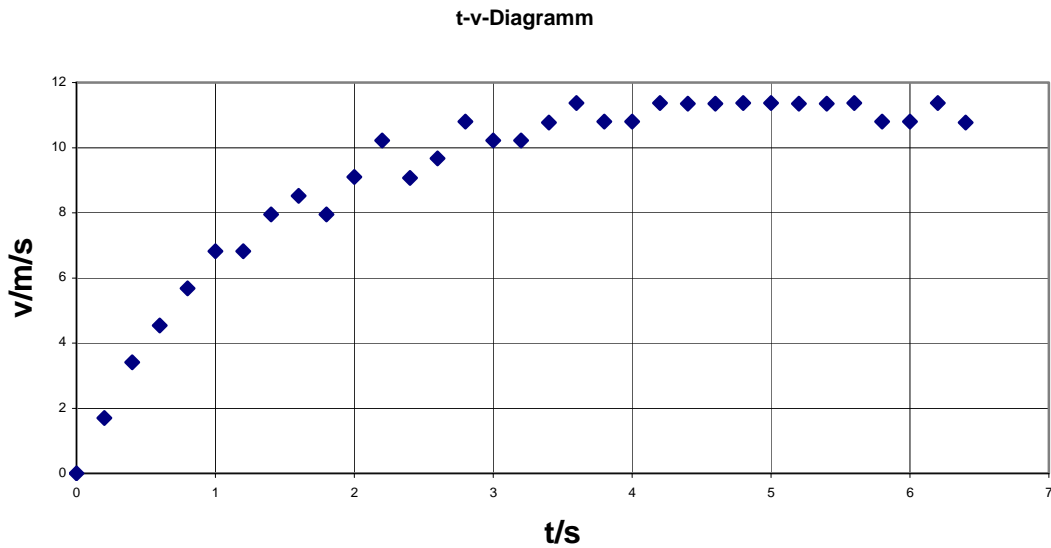
Man erhält recht schnell folgende Definition einer beschleunigten Bewegung:

Bewegungen, bei denen sich die Geschwindigkeit ändert, heißen **beschleunigte Bewegungen**.

Anschließend wird im Unterrichtsgespräch darüber diskutiert, wie man die Beschleunigungsphase des Läufers 1 auswerten und die Beschleunigung ermitteln kann. Dazu werden die (Intervall-)Geschwindigkeiten von Läufer 1 bestimmt. Wichtig ist dabei, den Schülern klar zu machen, dass man nicht die Momentangeschwindigkeit bestimmen kann, sondern nur Intervallgeschwindigkeiten. Wir haben z.B. die Durchschnittsgeschwindigkeit im Intervall von 0 s bis 0,4 s als Geschwindigkeit dem Zeitpunkt 0,2 s zugeordnet:

t/s	s/m	v/(m/s)	$\Delta t/s$
0	0	0	
0,2	0,227	1,705	0,2
0,4	0,682	3,41	0,2
0,6	1,591	4,545	0,2
0,8	2,5	5,6825	0,2
1	3,864	6,8175	0,2
1,2	5,227	6,8175	0,2
1,4	6,591	7,955	0,2
1,6	8,409	8,5225	0,2
1,8	10	7,9525	0,2
2	11,59	9,1	0,2
2,2	13,64	10,225	0,2
2,4	15,68	9,075	0,2
2,6	17,27	9,675	0,2
2,8	19,55	10,8	0,2
3	21,59	10,225	0,2

Zur weiteren Darstellung wählt man ein Zeit-Geschwindigkeitsdiagramm:



Man erkennt recht gut, dass sich die Geschwindigkeit nach etwa 1 s nicht mehr so stark ändert, und nach etwa 2,8 s eine annähernd konstante Geschwindigkeit erreicht wird. Besonders interessant scheint die erste Sekunde zu sein, denn dort verläuft der Graph etwa linear. Dies führt zur Einführung des Begriffs der gleichmäßig beschleunigten Bewegung:

Ist der Graph im t-v-Diagramm eine Gerade (linear), so spricht man von einer **gleichmäßig beschleunigten Bewegung**.

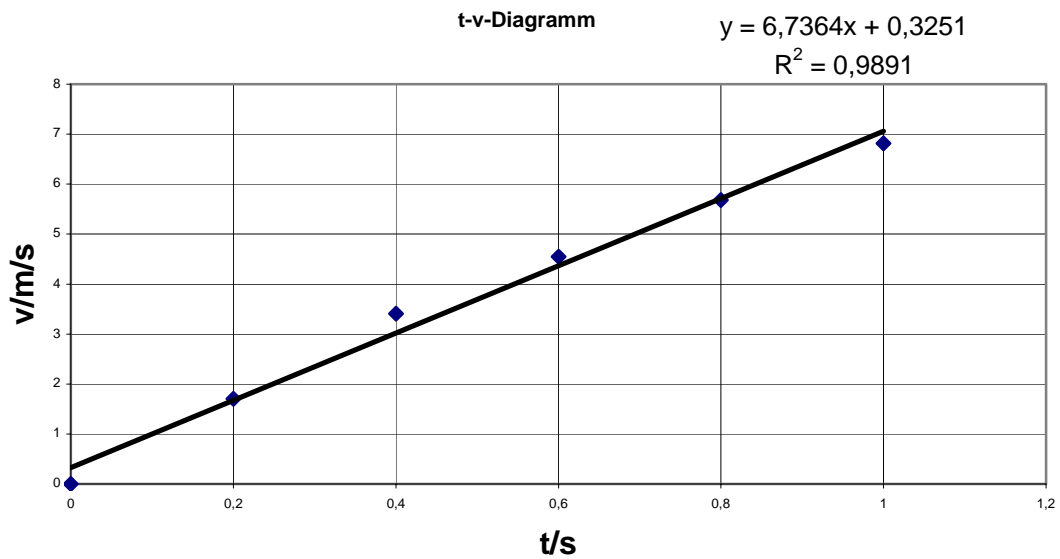
Daran schließt sich nun eine Diskussion über die Größe der Beschleunigung an. Man erhält relativ schnell, dass die Steigung des Graphen im t-v-Diagramm ein Maß für die Beschleunigung darstellt, denn durch die Steigung dieses Diagramms wird die Änderung der Geschwindigkeit pro Zeit ausgedrückt:

Die Beschleunigung a einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist der Quotient aus Geschwindigkeitsänderung Δv und zugehöriger Zeitspanne Δt

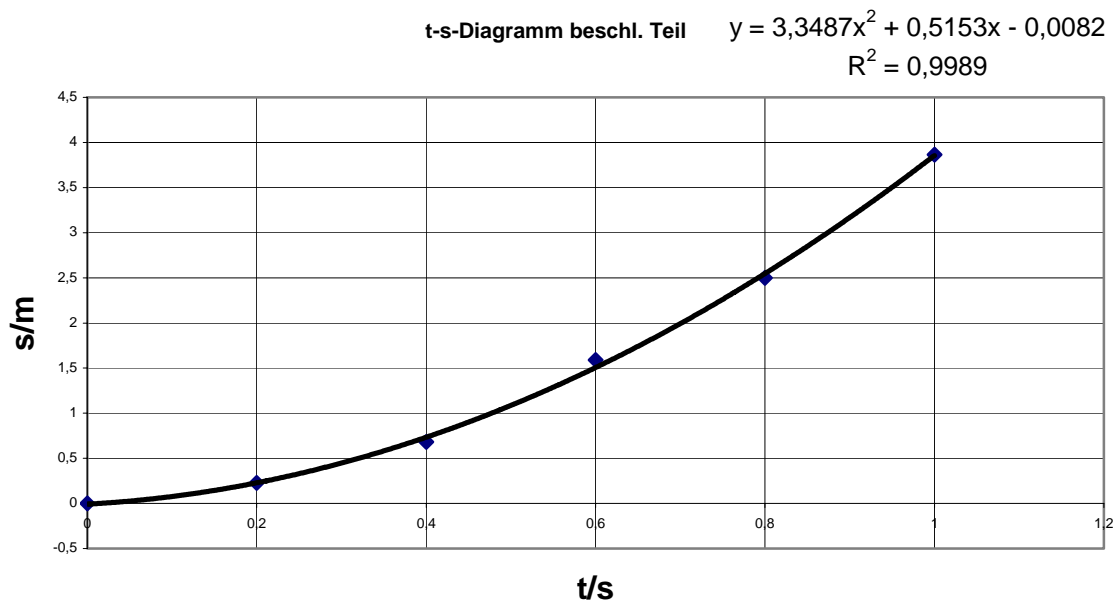
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}.$$

Die Einheit der Beschleunigung ist $[a] = \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Für Läufer 1 ergibt sich dann eine Beschleunigung in der ersten Sekunde von etwa $6,7 \text{ m/s}^2$.



Nun bleibt noch die Frage zu klären, „Wie stehen der Weg s und die Beschleunigung a im Zusammenhang, vor allem wie hängt der Weg s von der Zeit t ab?“. Dazu verwendet man die Trendlinienfunktion von MS EXCEL und das Bestimmtheitsmaß. Betrachtet man das t-s-Diagramm des beschleunigten Teils der Bewegung, so kommen die Schüler schnell zu der Vermutung, dass der Weg s eine Funktion in Abhängigkeit von t^2 ist, also $s \sim t^2$. Dies kann man sehr gut mit MS Excel und den oben beschriebenen Funktionen zeigen:



Betrachtet man den Faktor des quadratischen Gliedes der Ausgleichskurve, so stellt man fest, dass dieser halb so groß ist wie die bestimmte Beschleunigung des Läufers, so dass man den Zusammenhang zwischen Weg und Zeit folgendermaßen beschreiben kann: $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$.

Lineare und konstante Glieder als „Störungsterme“ in den Gleichungen der Ausgleichskurven können zurückgeführt werden auf:

- Messfehler, z.B. ungenaue Festlegung des Zeitnullpunktes und
- Abweichung der modellierten von der realen Bewegung.

Somit hat man die Bewegungsgesetze der gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegung erarbeitet und hält fest:

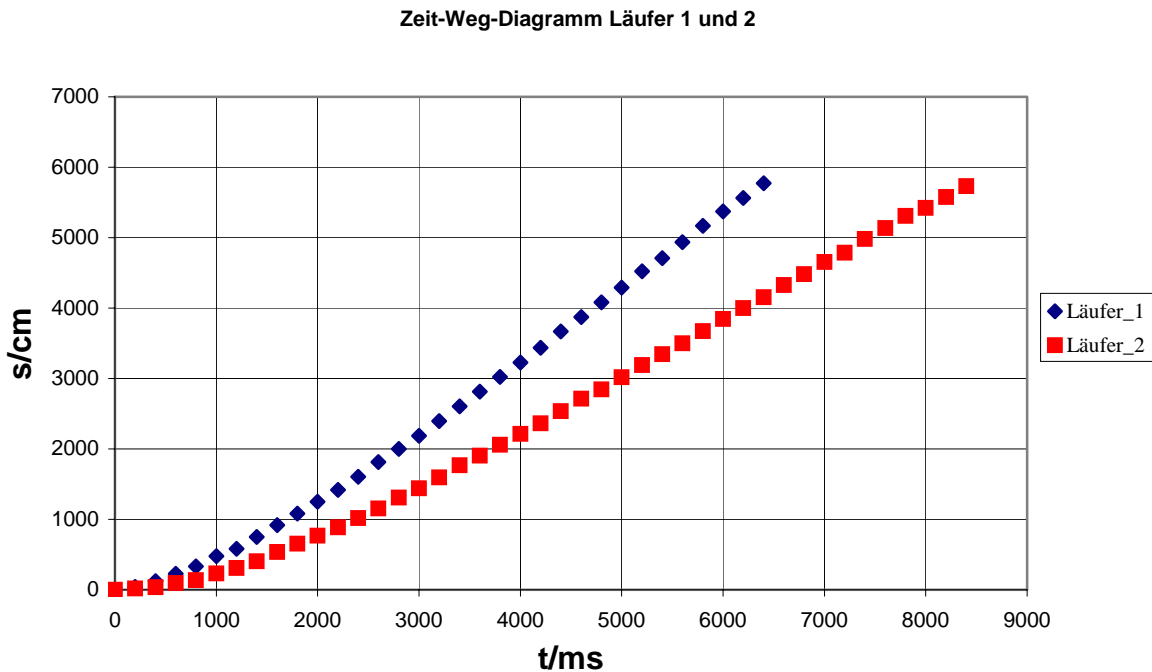
Bewegungsgesetze der gleichförmigen	Bewegungsgesetze der gleichmäßig
Bewegung:	beschleunigten Bewegung:
$s = v \cdot t$ (Zeit-Weg-Gesetz)	$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ (Zeit-Weg-Gesetz)
$v = \text{konstant}$ (Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz)	$v = a \cdot t$ (Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz)
	$a = \text{konstant}$ (Zeit-Beschleunigungs-Gesetz)

Alternativ kann man auch nach der Erarbeitung der gleichförmigen Bewegung die Schüler zuerst einmal selber die Bewegung des Videos Läufer_2.avi aufnehmen lassen und an diesem Video die gleichmäßig beschleunigte Bewegung erarbeiten. Läufer 2 liefert bessere Werte in diesem Bereich und ist leichter auszuwerten (s.u.).

Übungsphasen

Nach der Erarbeitung der Bewegungsgesetze (s.o.) schließt sich eine dreigliedrige Übungsphase an. Das Ziel dieser Übungsphasen ist die Anwendung des Wissens über die gleichförmige und die gleichmäßig beschleunigte Bewegung, sowie die Erarbeitung neuer Inhalte. Im Folgenden werden typische Schulaufgaben zum Thema Kinematik vor dem Hintergrund einer verbesserten Aufgabekultur im Unterricht kommentiert (siehe auch Kapitel 2). Angelehnt sind die Ausführungen an die Darstellung von zwei möglichen Unterrichtsdrehbüchern von Leisen (2003), in denen die Wiederholung, Übung und Erarbeitung von Inhalten aufgabengeleitet geschieht. Die Auseinandersetzung mit Aufgaben spielt in einem solchen Unterricht die zentrale Rolle, während die fragend-entwickelnden Unterrichtsanteile zurückgehen.

In der **ersten Phase** sollen die Schüler die Bewegung des Videos Läufer_2.avi analysieren, die Kenngrößen (v und a) der Bewegung bestimmen (Ergebnisse s. Anhang S. 32 ff.) sowie die Bewegungen der Läufer 1 und 2 vergleichen. „Wie unterscheiden sich die Bewegungen? Welcher Läufer beschleunigt besser? Welcher Läufer ist schneller?“ etc. Dabei sollte gesagt werden, dass das Video des Läufers 1 den Sprint eines Profisportlers wiedergibt.



Die Transferanforderung ist im ersten Teil dieser Aufgabe gering, da es zunächst um eine einfache Übertragung der im vorangegangenen Unterricht behandelten Inhalte geht.

Der anschließende Vergleich von zwei Bewegungen ist hingegen neu und lässt verschiedene Bearbeitungen zu. Die erste Übungsphase könnte man zum Beispiel entsprechend dem ersten Unterrichtsdrehbuch von Leisen realisieren: Teil 1 (Aufgabenstellung) ist ein kurzer zielgerichteter Lehrervortrag, in dem die Aufgabe vorgestellt wird. Im zeitlich längeren Teil 2 (Erarbeitung) geht es um die eigenständige Bearbeitung der Aufgaben ggf. unter Hilfestellung des Lehrers, wobei verschiedene Sozialformen denkbar sind. In Teil 3 (Präsentation) werden im Frontalunterricht die Ergebnisse (die unterschiedlichen Bearbeitungen) des 2. Teils vorgestellt und zusammengefasst. Eine lehrergesteuerte Einbettung der Aufgabe in den Kontext der Thematik bildet den abschließenden Teil 4.

In der **zweiten Übungsphase** werden Aufgaben zur gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegung ohne Verwendung des Computers gerechnet. Der folgende Block

zeigt typische Aufgaben, wie man sie in Schulbüchern, Aufgabensammlungen oder Lehrerhandreichungen findet. Kommentiert wird im Folgenden nicht die Attraktivität oder Originalität der Aufgabenformulierungen, sondern die Möglichkeit, mit diesen Aufgaben einen aufgabengeleiteten Unterrichtsgang zu gestalten.

Aufgaben zur gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegung

- Bestimmen Sie die Zeiten, die Läufer 1 und Läufer 2 für einen 100-m-Sprint benötigen würden, wenn man davon ausgeht, dass sie ihre Geschwindigkeiten halten könnten.
- Die Lichtgeschwindigkeit beträgt etwa $3 \cdot 10^8$ m/sec.
 - Wie lange braucht das Licht, um die mittlere Entfernung von $1,5 \cdot 10^{11}$ m zwischen Sonne und Erde zurückzulegen?
 - Wie lange braucht das Licht, um von der Erde zum Mond zu gelangen, der im Mittel $3,48 \cdot 10^8$ m von ihr entfernt ist?
 - Ein Lichtjahr ist die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt. Wie viele Kilometer sind das?
- Im ersten Drittel seines Weges fährt ein PKW mit $v_1 = 40$ km/h, danach mit $v_2 = 100$ km/h. Bestimmen Sie die Durchschnittsgeschwindigkeit.
- Ein Flugzeug startet und hebt nach einer Rollstrecke von $s = 2,4$ km mit der Geschwindigkeit $v = 300$ km/h ab. Berechnen Sie die Startdauer für die als konstant angenommene Beschleunigung und bestimmen Sie die Größe der Beschleunigung.
aus: Klett - Impulse Physik 2 (1997) S. 29 Nr. 12
- Zwei jeweils 4,5 m lange Autos A und B fahren auf gerader Strecke im Abstand $d = 40$ m mit konstanter Geschwindigkeit $v_A = v_B = 15$ m/sec hintereinander. Nun beschleunigt Auto A konstant mit $a = 2$ m/sec² und überholt Auto B. Der Überholvorgang ist abgeschlossen, wenn beide Fahrzeuge wieder den Abstand d haben.
 - Berechnen Sie die für den Überholvorgang benötigte Zeitspanne und die Länge der Überholstrecke für das Auto A.
 - Bestimmen Sie die Geschwindigkeit von Auto A am Ende des Überholvorgangs.
aus: Klett - Impulse Physik 2 (1997) S. 29 Nr. 13

Lösungen:

- Läufer 1: 10,4 s Läufer 2: 13,8 s (hängt auch von den Ergebnissen ab)
- a) 500s = 8,33 min b) 1,16 s c) $9,47 \cdot 10^{12}$ km
- 66,67 km/h
- $t = 57,6$ s $a = 1,45$ m/s²
- a) $t = 9,43$ s $s = 230,5$ m b) $v = 121,9$ km/h

Angelehnt an Leisens zweites Unterrichtsdrehbuch könnte man um diese fünf Aufgaben herum eine Art "Häppchen"-Unterricht gestalten, d.h. eine kleinschrittige Abfolge von Übungs- und Erarbeitungsphasen, wobei die vorgestellten Aufgaben in die Übungsphasen fallen und mit weiteren Aufgaben neue Inhalte erarbeitet werden:

In Teil 1 würde z.B. mit den Aufgaben 1 und 2 der „alte“ Stoff aus dem vorangegangenen Unterricht wiederholt: Die Kenntnisse der Bewegungsgesetze der gleichförmigen Bewegung müssen angewandt werden. Der Begriff Durchschnittsgeschwindigkeit würde in einem

zweiten Teil anhand einfacher gleichförmiger und gleichmäßig beschleunigter Bewegungen erarbeitet bzw. wiederholt werden, wobei neben der formalen Einführung auch graphische Veranschaulichungen und einfache Experimente denkbar sind. Im dritten Teil, einer weiteren Übungsphase, ist in Aufgabe 3 nach der Durchschnittsgeschwindigkeit bei einer zusammengesetzten Bewegung gefragt. Hier sind verschiedene Bearbeitungen der Aufgabe möglich.

Die letzten beiden Aufgaben 4 und 5 befassen sich ausschließlich mit der gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Einen Übungsteil zur schlichten Anwendung der Bewegungsgesetze lässt sich mit Aufgabe 4 gestalten. Als Vorbereitung zu einem weiteren Übungsteil um Aufgabe 5 könnte man in einem Erarbeitungsteil systematischer als bislang auf graphische Lösungsverfahren oder auf Betrachtungen in verschiedenen Bezugssystemen eingehen. Mit diesen neu erarbeiteten Kenntnissen wird Aufgabe 5 zu einer Aufgabe mit mehreren Lösungswegen. Denkbar ist dann sogar, dass man allein um diese Aufgabe einen Unterricht entsprechend dem ersten Unterrichtsdrehbuch von Leisen (s.o.) gestaltet.

Die **dritte Übungsphase** besteht aus einem Projektbericht, den die Schüler zu einem selbst ausgewählten oder auch selbst erstellten Bewegungsvideo erstellen. Darin soll die Bewegung beschrieben und ihre Kenngrößen sollen bestimmt werden. Wichtig ist dabei, dass der Lehrer darauf achtet, dass die Bewegung nur in einer Dimension stattfindet. Dieser Projektbericht ist nach etwa einer Woche von den Schülern beim Lehrer abzugeben und wird zensiert. Zuvor bekommen die Schüler ein Musterbeispiel, wie sie einen solchen Bericht zu verfassen haben (s. Anhang S. 34 f.) und sie erhalten noch eine Information zur Linearisierung (s. Anhang S. 36), die sie alternativ zur bisherigen Auswertung durchführen können.

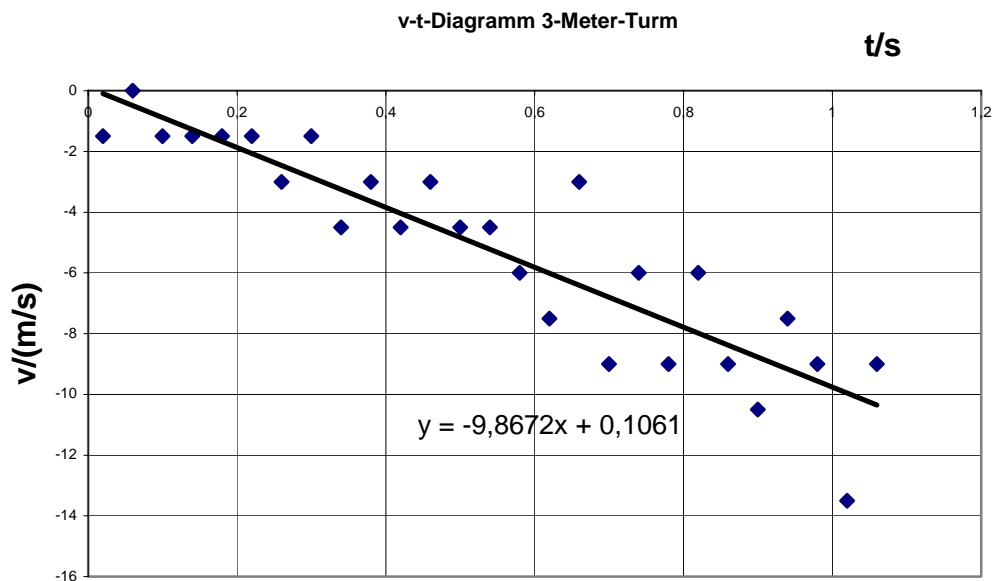
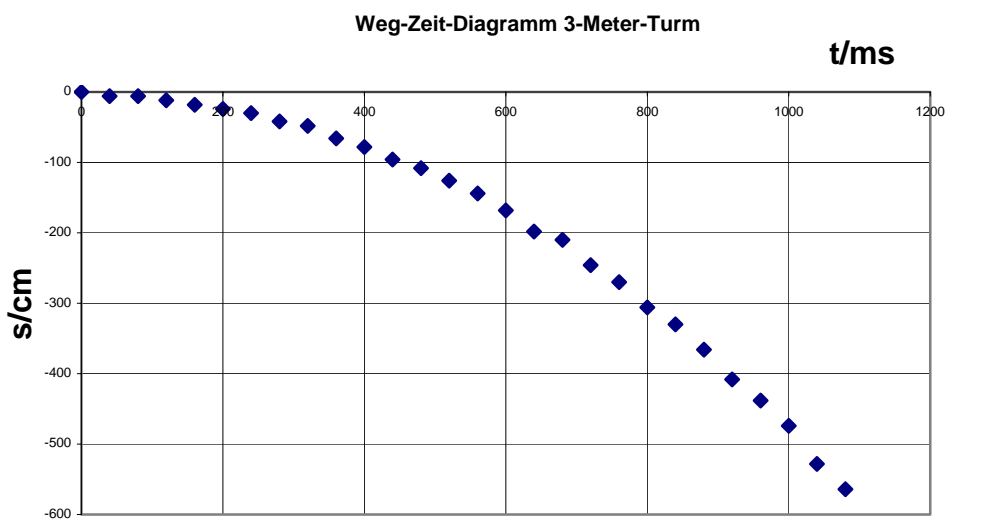
Neben den genannten drei Übungsphasen und deren Einbettung in einen aufgabengeleiteten Unterrichtsgang sind noch weitere Ergänzungen möglich:

- Aufwärmübungen zu Beginn einer Stunde mit dem Ziel Wissen über gleichförmige, gleichmäßig beschleunigte und kompliziertere Bewegungen zu wiederholen. Beispiel: Zuordnung von Geschichten über Bewegungen zu Zeit-Weg-Diagrammen.
- Betrachtung von Aufgaben, mit denen die oben dargestellten Bewegungsgesetze auf beliebige Anfangsbedingungen verallgemeinert werden. Hier bieten sich Aufgaben an, in denen es um Treffpunkte und –zeiten geht.

Der Freie Fall

Zu Beginn zeigt man den bekannten Fallversuch mit Feder und Bleikugel in Luft und im Vakuum.

Die Gesetze des Freien Falls können die Schüler durch die Analyse eines fallenden Körpers mit Hilfe von VIMPS selbst erarbeiten. Es bieten sich die Videos compfall.avi (Fall eines Computers aus dem Fenster) oder Turm_3m.avi (Sprung eines Schwimmers vom 3-Meter-Turm) an. Die Ergebnisse sind ähnlich, deshalb seien hier nur die Ergebnisse von Turm_3m.avi dargestellt:



Als Ergebnis hält man fest:

Ohne den Einfluss der Luft benötigen alle fallenden Körper aus der Ruhe heraus für gleiche Weglängen die gleiche Zeit. Diese Bewegung heißt **freier Fall**.

Der freie Fall ist eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung, bei der die Beschleunigung aller Körper am selben Ort gleich groß ist. Diese Beschleunigung heißt Fallbeschleunigung g ; sie hängt von der geographischen Breite des Ortes und von der Höhe ab. Für Deutschland beträgt die Fallbeschleunigung etwa $9,81 \text{ m/s}^2$.

Fallgesetze für den Freien Fall aus der Ruhe:

Zeit-Weg-Gesetz: $s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz: $v = g \cdot t$

Übungsphase:

Wie in der Übungsphase zur gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegung lassen sich mit den nachfolgend gezeigten, typischen Aufgaben das Wissen über die Bewegungsgesetze für den freien Fall in unterschiedlichen Kontexten bzw. Fragestellungen anwenden.

Aufgaben zum Freien Fall

1. Nach welcher Zeit hat ein frei fallender Körper
 - a) die Geschwindigkeit 25 m/sec
 - b) den Fallweg 10 m aus der Ruhe heraus erreicht?
2. Wie lange braucht ein Stein von der Spitze des Ulmer Münsters (160 m), vom Eiffelturm (300 m), bis er am Boden aufschlägt? Aus welcher Höhe müsste ein Körper frei fallen, damit er Schallgeschwindigkeit (340 m/sec) erreicht? Vom Luftwiderstand ist abzusehen.
3. Um die Auswirkungen von Auffahrunfällen zu demonstrieren, lässt eine Versicherung ein Auto aus 20 m Höhe frei zu Boden fallen. Mit welcher Geschwindigkeit (in km/h) müsste dasselbe Auto stattdessen gegen eine feste Wand fahren?

aus: Klett - Impulse Physik 2 (1997) S. 30 Nr. 22
4. In einer Pipette wird der Hahn so eingestellt, dass genau dann ein Tropfen abfällt, wenn der Vorgänger $1,75 \text{ m}$ entfernt auf dem Boden aufschlägt. Innerhalb von 30 sec fallen 50 Tropfen. Bestimmen Sie damit die Fallbeschleunigung.

aus: Klett - Impulse Physik 2 (1997) S. 30 Nr. 21

Lösungen:

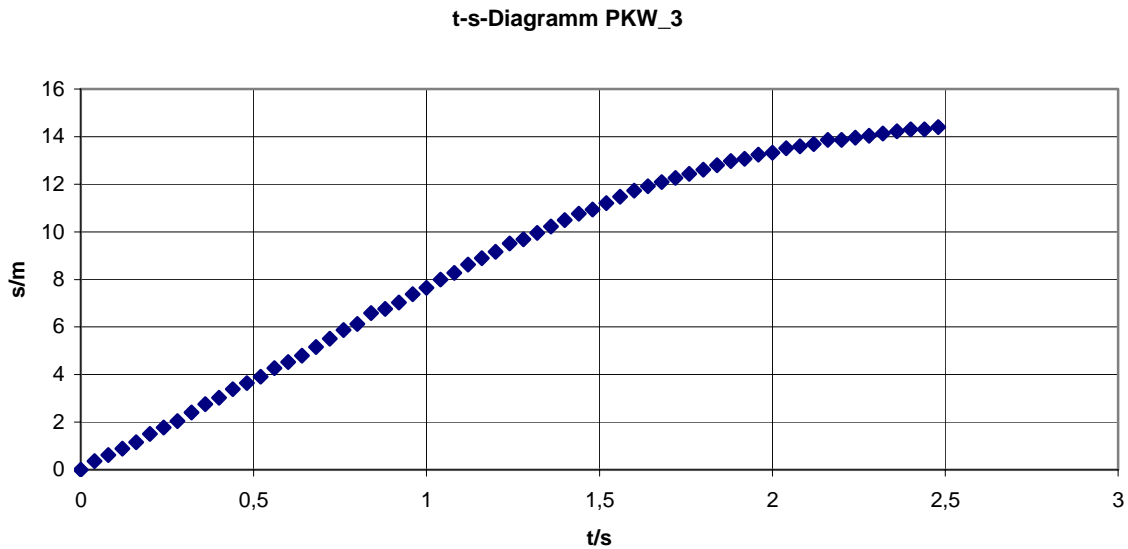
1. a) $t = 2,55 \text{ s}$ b) $t = 1,43 \text{ s}$
2. $t_{\text{Ulmer Ms.}} = 5,7 \text{ s}$ $t_{\text{Eifel T.}} = 7,8 \text{ s}$ $s = 5891,9 \text{ m}$
3. $v = 71,3 \text{ km/h}$
4. $g = 9,72 \text{ m/s}^2$ (kleiner wegen der Luftreibung)

Auf eine Skizzierung eines mit diesen Aufgaben gestalteten aufgabengeleiteten Unterrichts, ähnlich zu dem auf Seite 13ff beschriebenen, soll verzichtet werden zugunsten einiger Erläuterungen über Erweiterungsmöglichkeiten dieses Aufgabensets und Möglichkeiten der Binnendifferenzierung:

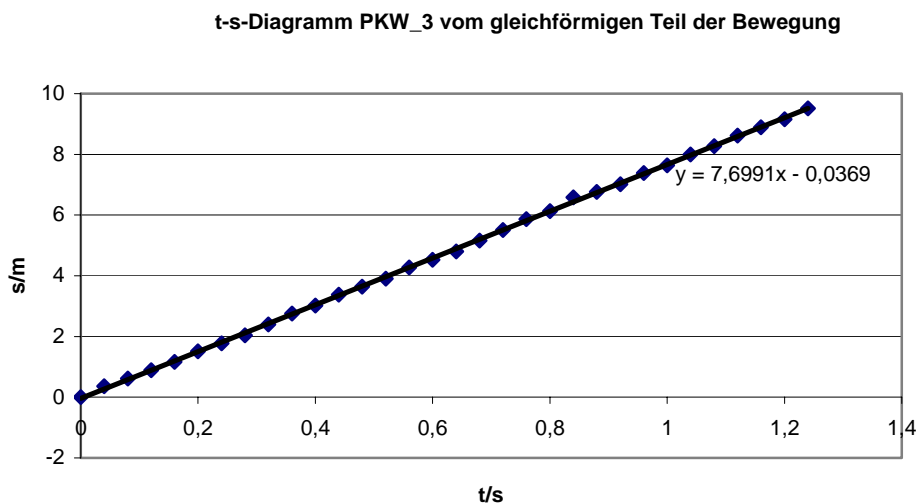
- Das Aufgabenset lässt sich noch erweitern durch Aufgaben, in denen der Parameter g variiert wird. Dies lässt zum Beispiel Vergleiche von Fallzeiten und Endgeschwindigkeiten auf verschiedenen Himmelskörpern zu.
- Eine weitere Vertiefung kann mit Aufgaben gestaltet werden, in denen sich die Anfangsbedingungen von dem bislang behandelten Spezialfall $v(t=0s)=0$ m/s und $s(t=0)=0$ m unterscheiden. Beispiel: Ein Körper, der mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit in Fallrichtung geworfen wird. Hier bietet sich erneut eine Videoanalyse mit anschließender Auswertung der Daten an
- Was passiert, wenn die Beschleunigung sich ändert, also nicht konstant bleibt? Aufgaben, videounterstützt oder mit entsprechenden Graphiken, können diese Fragestellung aufgreifen. Eine Möglichkeit, Inhalte dieses Gebietes zu erarbeiten, sind die sogenannten Beispielaufgaben, in denen der Schüler eine Aufgabe und deren – möglichst auf sein Vorwissen zugeschnittene – Ausarbeitung der Aufgabenlösung erhält (siehe auch Häußler & Lind, 2000).
- Elegant lösen lassen sich Aufgaben zum freien Fall auch oft über die Anwendung des Energieerhaltungssatzes. Dieser wurde in der vorliegenden Einheit zwar nicht thematisiert. Bereits in der Mittelstufe sind oft aber Bewegungsenergie und potenzielle Energie behandelt worden. Eine Einführung dieses Lösungsansatzes ist in dieser Reihe nur eine Option für Schüler, die die übrigen Aufgaben ohne große Probleme und schnell lösen konnten. Anbieten würde sich auch hier die Methode der Beispielaufgaben.

Der Bremsvorgang

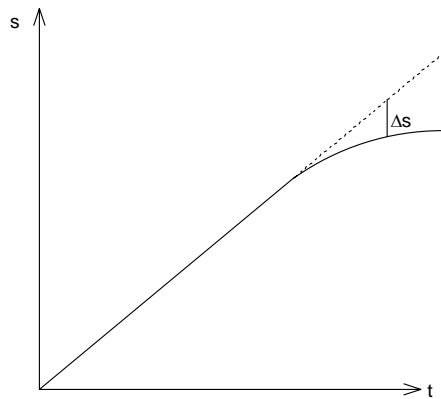
Zur Analyse des Bremsvorgangs stehen zwei Videos zur Verfügung. Die Schüler wählen eines der Videos PKW_3.avi oder Motor_3.avi aus und erstellen ein t-s-Diagramm (hier wird nur das Ergebnis von PKW_3.avi vorgestellt, das andere Video liefert ähnlich gute Ergebnisse).



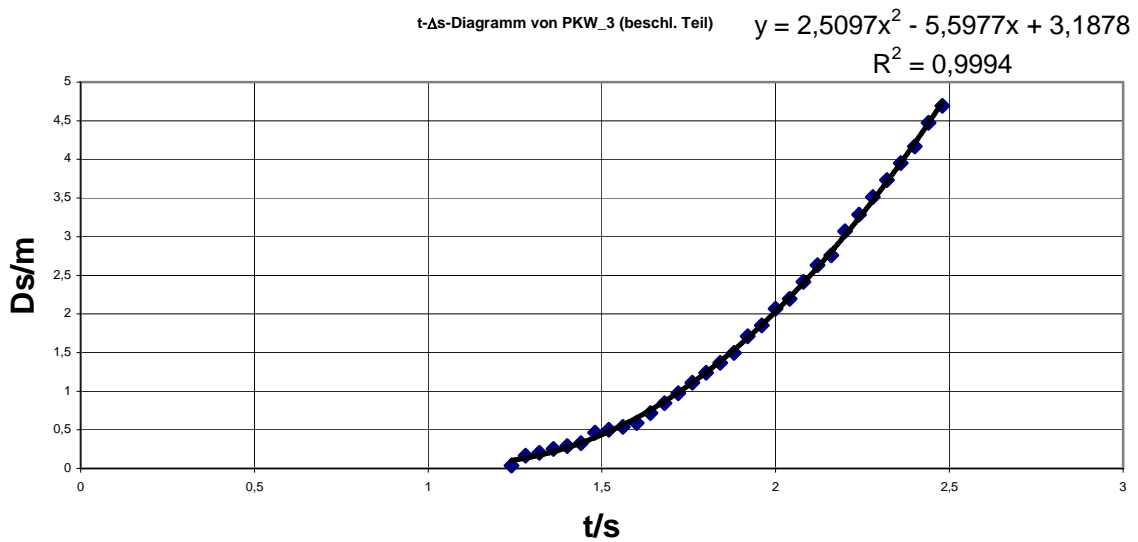
Im folgenden Unterrichtsgespräch wird über den Zusammenhang zwischen Weg s und Zeit t diskutiert. Im ersten Teil der Bewegung handelt es sich um eine gleichförmige Bewegung mit einer konstanten Geschwindigkeit, im zweiten Teil wird die Geschwindigkeit immer kleiner, bis sie am Ende null ist.



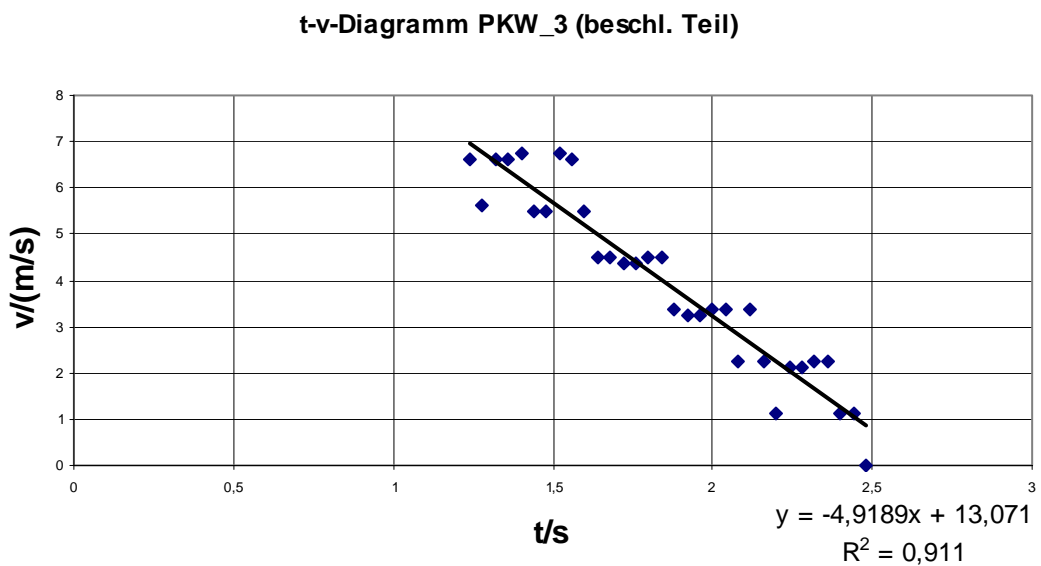
Man erarbeitet die Vermutung, dass $\Delta s = v_0 \cdot t - s \sim t^2$ (vgl. Abbildung).



Diese Vermutung wird mit Hilfe von MS Excel bestätigt.



Die Bestimmung der (negativen) Beschleunigung erfolgt über das t-v-Diagramm (Intervallgeschwindigkeiten):



Es ergeben sich somit die Bewegungsgesetze des Bremsvorgangs:

Für den Bremsvorgang gelten folgende Bewegungsgesetze:

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$v = v_0 - a \cdot t$$

Übungsphase:

Übungsaufgaben zum Bremsvorgang

1. Ein Auto fährt mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h. Plötzlich taucht in ca. 100 m Entfernung ein Reh auf. Der Fahrer hat eine Reaktionszeit von 1 s und macht anschließend eine Vollbremsung, wobei sein PKW eine Bremsbeschleunigung von 6 m/s² hat. Schafft der Fahrer es, sein Auto noch passend vor dem Reh abzubremsen?
2. Ein Auto wird aus dem Stand in 10,2 s auf eine Geschwindigkeit von 100 km/h konstant beschleunigt und dann nach einem Bremsweg von 96 m wieder zum Stehen gebracht.
 - a) Wie groß sind die Beschleunigungen?
 - b) Wie groß sind der Weg beim Anfahren und die Zeit beim Bremsen?
3. Die folgende Fahrschulregel gibt den Bremsweg in Metern an: „Den Bremsweg in m erhält man, indem man die Geschwindigkeit in km/h durch 10 teilt und das Ergebnis quadriert.“
Für welche Bremsbeschleunigung gilt diese Regel?

aus: Metzler – Physik (1998) S. 20 Nr. 2

aus: Metzler – Physik (1998) S. 20 Nr. 4

Lösungen:

1. $s = 92,08$ m, d.h. dass der Autofahrer rechtzeitig zum Stehen kommt.
2. a) Beschl. $a = 2,7$ m/s² Bremsv. $a = 4,02$ m/s² b) Beschl. $s = 141,67$ m Bremszeit $t = 6,9$ s
3. $a = 3,86$ m/s²

Mit diesen Aufgaben lassen sich die Bewegungsgesetze für den Spezialfall der konstanten, negativen Beschleunigung vertiefen. Zum Teil wird auf vorangegangene Inhalte zurückgegriffen, diese also wiederholt (Aufgabe 2). Die Kontexte haben – wie es für diese Altersklasse naheliegend ist – einen Bezug zur Verkehrsphysik. Das Aufgabenset eignet sich erneut für einen “Häppchenunterricht” nach Leisen (siehe auch S.13 ff).

Es hat sich bei der Durchführung der Reihe gezeigt, dass die Schüler immer wieder Probleme mit den Größen **Weg während des Bremsens** $s(t) = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ und **Bremsweg** $s_b = \frac{v_0^2}{2 \cdot a}$ haben. Mit der folgenden Aufgabe kann man ein wenig Klarheit verschaffen:

Ein Autofahrer befährt mit 50 km/h eine verkehrsberuhigte Zone. Plötzlich fällt ein Computer 15 m vor ihm auf die Straße. Er bremst nach einer Reaktionszeit von 0,5 s mit $8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Mit welcher Geschwindigkeit trifft er auf den Computer?

Zur Lösung dieser Aufgabe muss man eigentlich eine quadratische Gleichung lösen, um den Zeitpunkt des Aufpralls zu ermitteln. Man kann aber auch die Idee eines pfiffigen Schülers aufgreifen, der im Unterricht fragte: „Ist nicht ein Bremsvorgang das gleiche wie ein beschleunigter Vorgang, wenn man ihn „rückwärts“ betrachtet?“

Ein aufgabengeleiteter Unterricht könnte entsprechend des ersten Unterrichtsbuches von Leisen (siehe S. 14f) geschehen, d.h. nach einer (kurzen) Vorstellung der Aufgabe durch den Lehrer und Diskussion erster Lösungsideen wird in einem längeren Teil mit ggf. Unterstützung durch den Lehrer die Aufgabe eigenständig bearbeitet und in einem abschließenden Teil die Ergebnisse zusammengefasst. Die Untersuchung dieser Fragestellung kann mit VIMPS hervorragend erledigt werden, da man ein Video auch in umgekehrter Richtung analysieren kann. Der Nullpunkt wird einfach dorthin gelegt, wo das Fahrzeug zum Stehen kommt, dann wird rückwärts abgetastet. Dabei erfahren die Schüler, dass negative Ortskoordinaten nichts Schlimmes sind, sondern lediglich bedeuten, dass sich ein Körper entgegen der „normalen“ Richtung bewegt. Zusätzlich werden natürlich negative Zeitdifferenzen angezeigt, was den Umstand, dass „rückwärts“ abgetastet wird, verdeutlicht.

Die negativen Zeit- und Ortskoordinaten kann man mit EXCEL bequem in positive umwandeln und erfährt beim Erstellen des Diagrams, dass der Bremsvorgang wirklich genauso wie eine positiv beschleunigte Bewegung abläuft. Hier kann man thematisieren, dass diese „zeitliche Symmetrie“ nur dann perfekt ist, wenn man den Bremsvorgang bis zum Stillstand (Bremsweg!) betrachtet, genau so wie der Beschleunigungsvorgang vom Stillstand bis zur Endgeschwindigkeit beobachtet werden muss.

Ergebnis: Der Bremsweg aus einer Geschwindigkeit v mit der Verzögerung a ist ebenso groß wie der Beschleunigungsweg von Null bis zur selben Geschwindigkeit v mit der Beschleunigung a .

So kann man die Geschwindigkeit beim Aufprall (s.o.) einfach dadurch ermitteln, dass man den Bremsweg berechnet, die „überschüssige“ Strecke Δs als „Beschleunigungsstrecke“ auffasst und die Geschwindigkeit über $v = \sqrt{2 \cdot a \cdot \Delta s}$ berechnet.

(Ergebnis hier: $v = 28,8$ km/h!)

Spätestens an dieser Stelle sollte auch Verkehrserziehung erfolgen (warum gibt es Tempo-30 Zonen, warum darf man in einer verkehrsberuhigten Zone nur Schritttempo fahren?).

4. Didaktischer Kommentar und Resümee

Die vorgestellte Unterrichteinheit ist modular aufgebaut. Die Abfolge der Module – sieht man von sachlogischen Gesichtspunkten ab – ist nicht vorgeschrieben. Dadurch sollen Alternativen in der Durchführung aufgezeigt werden. Auch den in den einzelnen Modulen beschriebenen Unterricht verstehen wir nicht als ein unveränderliches Konzept, sondern vielmehr als Hilfe, Anregung und Orientierung. Das Konzept ist aus vielen Diskussionen in der piko-OWL-Gruppe und einer mehrfachen Erprobung mit jeweils verschiedenen Schwerpunkten hervorgegangen. Es ist nicht möglich, diesen Diskussions- und Entwicklungsprozess im Einzelnen darzustellen. „Außenstehende“, die die Unterrichteinheit durchführen wollen, müssen diese Prozesse rekonstruieren, d. h. nachentdecken und sich so die Unterrichteinheit zu eigen machen. Wir hoffen, dass die Darstellung dazu genügend Anhaltspunkte bietet.

Wir haben bei der Darstellung bewusst auf eine genaue Beschreibung einzelner Stunden oder gar einzelner Phasen von Stunden verzichtet. Die Darstellung verstehen wir als ein Drehbuch für den Unterricht. Die Inszenierung, d. h. die Umsetzung in einzelne Stunden ist Sache der Lehrerin oder des Lehrers, die bzw. der den Unterricht durchführt. Auch in der piko-OWL-Gruppe gab es verschiedene Inszenierungen dieser Unterrichteinheit.

Die Unterrichteinheit bettet physikalische Inhalte, in unserem Fall die Kinematik in einen fachüberschreitenden Kontext ein. Dadurch finden nicht nur kinematische Konzepte, Denk- und Arbeitsweisen, sondern auch Inhalte aus dem Sportunterricht, z. B. bei der Analyse der Bewegung eines Läufers Berücksichtigung.

Unterrichtsmethodisch gesehen haben wir versucht im Sinne der piko-Leitlinie I mit der Unterrichteinheit Elemente einer kognitiv wie affektiv anregenden Lernumgebung darzustellen. Wir verstehen die Einheit als eine Weiterentwicklung des vielfach kritisierten, lehrerzentrierten fragend-entwickelnden Unterrichts. So gibt es Module, bei denen das Lernen aufgrund der eigenen Erfahrung der Schülerinnen und Schüler, die Erarbeitung von physikalischen Konzepten oder das Problemlösen im Mittelpunkt stehen, und solche, die als Projekt durchgeführt werden können. Dabei kann insbesondere der Projektbericht als Vorbereitung auf eine Facharbeit, die in den nordrhein-westfälischen Richtlinien für die Klasse 12 vorgesehen ist, dienen.

Die Unterrichtseinheit beinhaltet vielfältige Möglichkeiten des lernförderlichen Einsatzes neuer Medien. Im Mittelpunkt steht die Videoanalyse als Verfahren zur Messwerterfassung und die Tabellenkalkulation als Auswerteverfahren. Der entscheidende Vorteil von Videoanalyseprogrammen als Messverfahren in der Kinematik liegt allerdings im konkreten Bezug zur Lebens- und Erfahrungswelt der Schüler. Zur Einführung der kinematischen Begriffe und Gesetze werden Messdaten an komplexen, realen Vorgängen erhoben. Dieser Realitätsbezug wirkt sich aus Sicht der Schüler positiv auf ihr Interesse an Physik aus und ermöglicht auf diese Weise ein Lernen in einem sinnstiftenden Kontext.

Durch die Verwendung von Tabellenkalkulationsprogrammen zur Datenverarbeitung kann die Einführung der Begriffe und Gesetze darüber hinaus zur Begründung auf eine breitere empirische Basis gestellt werden, als dies beim herkömmlichen, nicht computer-unterstützten Vorgehen der Fall ist.

In der ersten Version der Unterrichtsreihe nahm diese Einführung der Konzepte einen breiten Raum ein. Der nicht immer überzeugende Lernzuwachs und der Wunsch der Schüler nach Übung der eingeführten Konzepte führten zu einer Verlagerung des Schwerpunkts. Die Konzepteinführung wurde deutlich reduziert, um ausgedehnte Übungsphasen zum Problemlösen zu ermöglichen. In diesen Phasen stehen das selbstständige Anwenden des Wissens und damit das selbst gesteuerte Lernen im Mittelpunkt. Wir verstehen dies als einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im Physikunterricht. Dazu tragen sowohl die Aufgaben mit differenzierten kognitiven und fachlichen Anforderungen als auch die Projektphase bei.

Neben den positiven Erfahrungen sollen problematische Aspekte nicht verschwiegen werden. So führen die teilweise sehr unterschiedlichen Arbeitstempi der Schüler am PC dazu, dass der Lehrer in höherem Maße binnendifferenzieren muss. Zudem muss man immer wieder besonders darauf achten, dass der Physikunterricht in dieser Form nicht einfach zum „Klick-Unterricht“ verkommt und VIMPS nur ein Messwerkzeug darstellt. Darüber hinaus sind die mit MS EXCEL erstellten Diagramme und Formeln immer wieder physikalisch zu interpretieren.

An dieser Stelle sollte noch gesagt werden, dass die Entscheidung für VIMPS keine Entscheidung gegen ein anderes Programm darstellt, sondern aus Kostengründen und wegen der einfachen Bedienbarkeit des Programms (Reduktion auf das Notwendigste) erfolgte.

Zudem hat sich herausgestellt, dass es ohne Probleme auf einem Netzwerkservers abgelegt und von jedem Rechner des Netzwerkes aus gestartet werden kann.

Wir sind nach einer vierjährigen Entwicklungsphase dieser Unterrichtsreihe mit einer jährlichen Erprobung in mehreren Kursen zu der begründeten Meinung gekommen, dass die Vorteile, die in diesem Zugang zur Kinematik liegen, die problematischen Aspekte bei weitem überwiegen. Nicht zuletzt haben wir eine gesteigerte Motivation auf Seiten der Schüler und bei uns Lehrern beobachtet. Hinzu kommen die positive Resonanz bei der Vorstellung unserer Unterrichtseinheit im Rahmen eines Workshops auf dem piko-Bundestreffen im April 2005 und die ermutigenden Kommentare, die uns dazu bewegt haben, diese Einheit zu veröffentlichen.

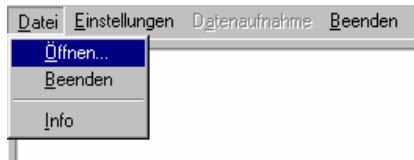
Im Anhang finden Sie noch einige Informationsblätter und Messdaten.

A N H A N G



Hinweise zur Benutzung des Programms

- 1) Nachdem Sie das Programm ViMPS geöffnet haben, wählen Sie die Option **Video abspielen**.
- 2) Über



gelangen Sie zu einem Dialogfenster, in dem Sie die Datei, die Sie auswerten wollen, anwählen können.

- 3) Unterhalb des Videos, das nun erscheint, findet sich eine Leiste,



die Ihnen die Steuerung des Videos ermöglicht. Unterhalb dieser Leiste erhalten Sie Informationen zum Video:



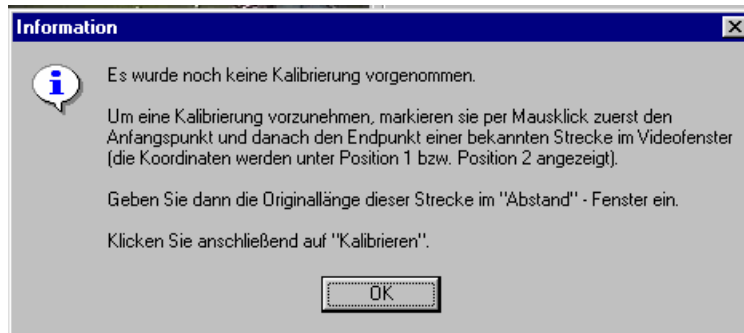
- Gesamtzeit:** Länge des Videos insgesamt
- Zeit:** Zeitspanne vom Anfang des Videos bis zu dem Bild (=“frame“), das gerade angezeigt wird.
- Frames:** Diese Zahl gibt Ihnen an, aus wie vielen einzelnen Bildern das vorliegende Video besteht.
- Frame Nr.:** Die Nummer des oben gerade angezeigte Bildes.

- 4) Wählen Sie „Einstellungen“ (oben links: ) um zu folgendem Dialogfenster zu gelangen:

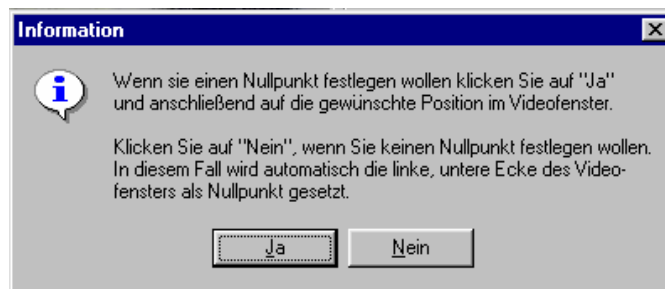


Unter „Zeitschritt“ geben Sie an, welchen Abstand zwei aufeinander folgende Bilder haben. Liegt Ihnen zum Beispiel ein Video mit 25 Bildern in einer Sekunde vor, so beträgt der (normale) Abstand zweier Bilder 0,04 sec = 40 msec. Zusätzlich können Sie hier den zeitlichen Abstand zweier Bilder angeben, wenn Sie die Zeitlupen-Funktion nutzen wollen.

- 5) Nun können Sie mit der Datenaufnahme starten, indem Sie diese oben anwählen: Datenaufnahme
Es erscheint die folgende Dialogbox, an deren Hinweise Sie sich halten sollten.



Nach erfolgreicher Kalibrierung öffnet sich automatisch die folgende Dialog-Box:



- 6) Sie können nun mit der Datenaufnahme beginnen. Nachdem Sie einen Punkt im Video angeklickt haben, können Sie mit dem Button „Bild vor“ zu einem der nächsten Bilder steuern und auch hier einen Punkt anklicken. Jeder „Klick“ im Bereich des Videos erzeugt einen Eintrag in der angezeigten Tabelle:

Nr.	X [m]	Y [m]	dt [s]
1	0,986	-1,096	
2	-0,438	-0,877	0,04
3	-0,822	-0,877	0,04
4	-2,849	-0,932	0,04
5	-3,945	-0,932	0,04
6	-4,713	-0,658	0,04
7	-6,083	-0,658	0,04

Neben der x- und y-Koordinate wird der zeitliche Abstand (dt [sec]) angezeigt, der zwischen den beiden Bildern besteht, in denen jeweils per Klick ein Messwert ermittelt wurde. Mit der rechten Maustaste können beliebige Werte ausgewählt und wieder gelöscht werden.

Tipp: Es hat sich als sehr hilfreich erwiesen, nur einmal per Mausclick den Schalter Bild vor anzuwählen, darauf folgend ist dieser Schalter aktiviert (Bild vor) und kann nun per Leertaste oder Return-Taste betätigt werden. Dies hat den Vorteil, dass der Mauszeiger ständig im Video-Bild verbleiben kann!

- 7) Links neben der Tabelle befinden sich die folgenden Buttons:



- Messwerte neu:** Alle aufgenommenen Messwerte werden gelöscht.
Kalibrierung neu: Die eingestellte Kalibrierung wird verworfen und kann erneut vorgenommen werden.
Speichern: Alle erhobenen Messwerte werden als „mes-Datei“ gespeichert und können in anderen Programmen weiter verarbeitet werden.

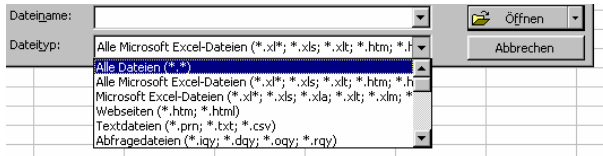
Hinweise zur Benutzung des Programms

A) Importieren von Daten, die mit „VIMPS“ erzeugt wurden:

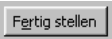
- 1) Nachdem Sie das Programm Excel gestartet haben, gelangen Sie über einer Dialogbox.



Hier müssen Sie nun als Dateityp „Alle Dateien“ aktivieren:



Auf diese Weise können Sie die durch Messungen in VIMPS erzeugte .mes-Datei auffinden und öffnen.

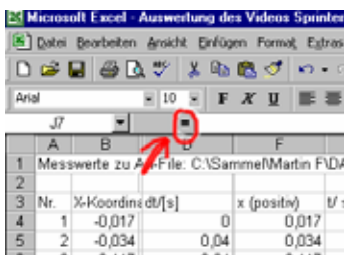
- 2) In der folgenden Dialogbox des Textkonvertierungs-Assistenten betätigen Sie den Taster  , der sich rechts unten befindet.
- 3) In den einzelnen Spalten werden die mit VIMPS ermittelten Messwerte angezeigt, die Sie nun auf unterschiedliche Weise verarbeiten und als Diagramme anzeigen lassen können.

B) Berechnungen mit Excel:

Die angezeigten Daten können mittels einer von Ihnen vorgegebenen Rechenvorschrift umgerechnet werden. Das ist beispielsweise dann sinnvoll, um aus dem zeitlichen Abstand zweier Bilder (dt [sec]) die seit dem Start der Messung vergangene Zeit (t [sec]) zu berechnen. Wählen Sie hierzu ein beliebiges freies Feld an:

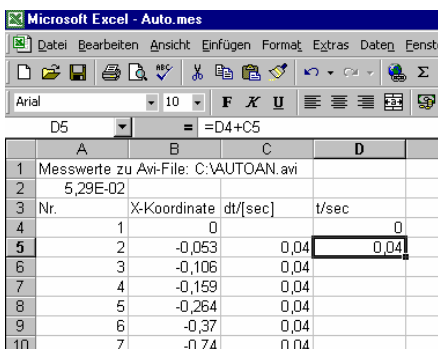


Nun betätigen Sie das Symbol für die Eingabe einer Formel:



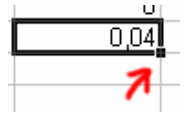
Sie können nun eine Rechenvorschrift für das angewählte Feld eingeben; dabei ist es möglich, bestimmte Felder als Variablen einzubeziehen.

Beispiel: Sie möchten die Zeit seit Beginn einer Messung (t=0) in einer einzelnen Spalte darstellen.



Wie oben beschrieben, wählen Sie ein Feld an und betätigen das „=-“ Zeichen. Nun können Sie für dieses Feld die Rechenvorschrift „D4+C5“ definieren, d.h. zum Feld D4 (das ist die 0) wird der Inhalt der Zelle C5 (das sind 0,04, d.h. die zeitliche Differenz zwischen Bild 1 und Bild 2) addiert. Das Betätigen der Eingabetaste liefert für dieses Feld das Ergebnis 0,04.

Nun gehen Sie mit dem Mauszeiger genau auf die rechte untere Ecke des Kästchens, drücken die linke Maustaste und halten Sie sie gedrückt. Bewegen Sie nun den Mauszeiger nach unten.




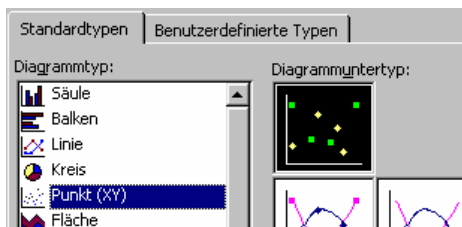
dt/[sec]	t/sec
	0
0,04	0,04
0,04	0,08
0,04	0,12
0,04	0,16
0,04	0,2
0,04	0,24
0,04	0,28
0,04	0,32

Sie sehen, dass auf die vorher noch leeren Felder Ihrer neuen Spalte die Rechenvorschrift des ersten Feldes angewendet wurde: Es wird jeweils immer die vorhergehende Zeile der Spalte D genommen und dazu wird der entsprechende Eintrag aus Spalte C addiert.

C) Erzeugung von Diagrammen

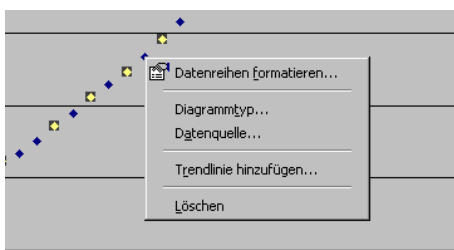
Um die graphische Darstellung Ihrer Messwerte zu erreichen, markieren Sie zunächst die Spalten, die Sie graphisch darstellen möchten. Hierbei halten Sie die linke Maustaste gedrückt und ziehen über die entsprechenden Felder. Indem Sie zusätzlich die „Strg“-Taste (unten links auf der Tastatur) gedrückt halten, können Sie mehrere Spalten markieren. Auf der x-Achse wird die Spalte aufgetragen, die sich links befindet, die rechte Spalte wird auf der y-Achse des zu erstellenden Diagramms dargestellt. Eventuell müssen Sie also eine ganze Spalte an eine andere Stelle bringen, um die Achsen zu tauschen! Hierzu markieren Sie eine Spalte (linke Maustaste gedrückt halten und über den auszuwählenden Bereich ziehen), fassen dann mit dem Mauszeiger den Rahmen und ziehen ihn (wiederum die Maustaste gedrückt lassen) an die gewünschte Stelle.

Drücken Sie nun die Diagramm-Assistenten Taste () . Es öffnet sich der nachfolgend dargestellte Dialog, bei dem Sie die Darstellungsart „Punkt (xy)“ wählen:



Wenn Sie keine weiteren Darstellungsoptionen wählen wollen (Diagrammtitel etc.), können Sie jetzt schon über „Fertig stellen“ das Diagramm innerhalb Ihres Datenblattes anzeigen lassen.

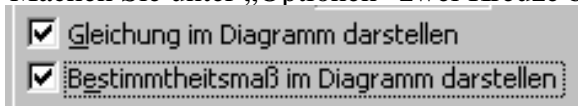
Wenn Sie mit der rechten Maustaste einen beliebigen Punkt aus dem Diagramm anklicken, so öffnet sich die nachfolgend dargestellte Dialogbox:



Wählen Sie „Trendlinie hinzufügen“, um eine Ausgleichskurve vorgegebenen Formats in die Punktmenge einfügen zu können.

Unter „Typ“ können Sie angeben, ob Sie eine *Ausgleichsgerade* (linearer Zusammenhang) einzeichnen wollen oder ob vielleicht eine polynomische Näherung angebrachter ist (bei Verteilungen der Form $y=ax^2$).

Machen Sie unter „Optionen“ zwei Kreuze bei

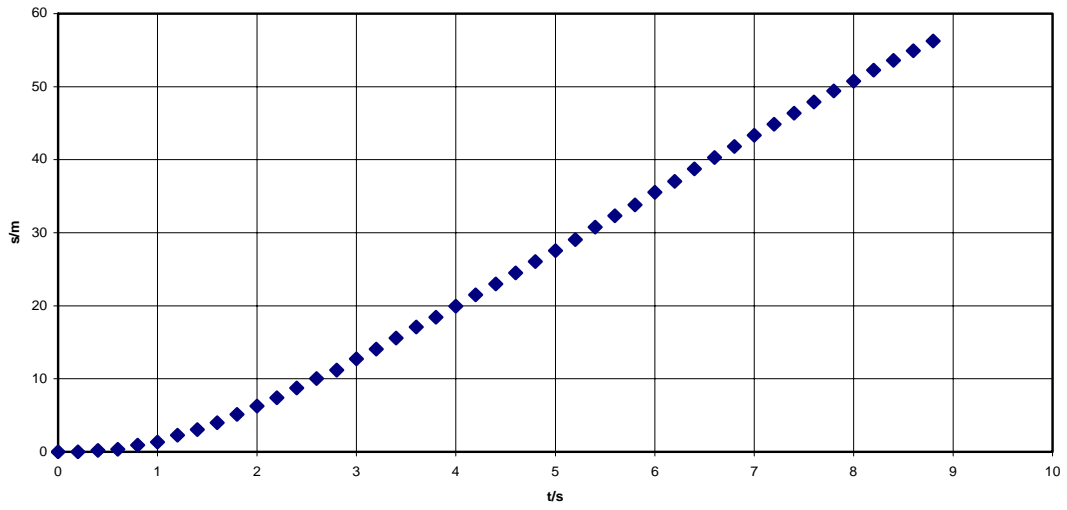


so gibt Excel neben der Formel der eingefügten Kurve einen Anhaltspunkt für die Güte der Anpassung aus.

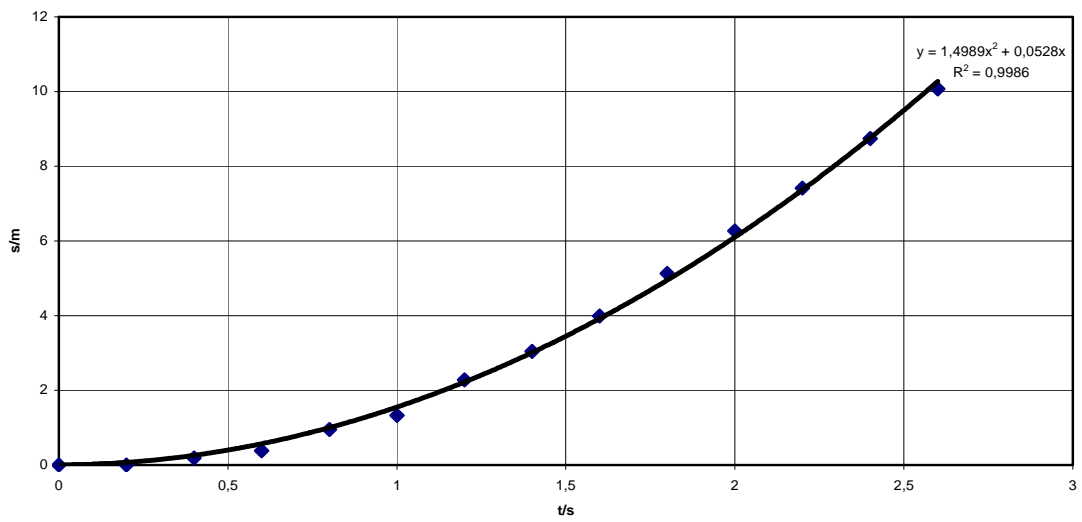
Messergebnisse des Videos Läufer_2.avi

t/s	s/m	v/m/s	$\Delta t/s$
0	0	0	
0,2	0	0,475	0,2
0,4	0,19	0,95	0,2
0,6	0,38	1,9	0,2
0,8	0,95	2,3775	0,2
1	1,331	3,3275	0,2
1,2	2,281	4,275	0,2
1,4	3,041	4,2775	0,2
1,6	3,992	5,2275	0,2
1,8	5,132	5,7	0,2
2	6,272	5,7025	0,2
2,2	7,413	6,1775	0,2
2,4	8,743	6,6425	0,2
2,6	10,07	6,1675	0,2
2,8	11,21	6,65	0,2
3	12,73	7,15	0,2
3,2	14,07	7,15	0,2
3,4	15,59	7,6	0,2
3,6	17,11	7,125	0,2
3,8	18,44	7,125	0,2
4	19,96	7,6	0,2
4,2	21,48	7,6	0,2
4,4	23	7,6	0,2
4,6	24,52	7,6	0,2
4,8	26,04	7,6	0,2
5	27,56	7,6	0,2
5,2	29,08	8,075	0,2
5,4	30,79	8,075	0,2
5,6	32,31	7,6	0,2
5,8	33,83	8,075	0,2
6	35,54	8,075	0,2
6,2	37,06	8,075	0,2
6,4	38,77	8,1	0,2
6,6	40,3	7,625	0,2
6,8	41,82	7,6	0,2
7	43,34	7,6	0,2
7,2	44,86	7,6	0,2
7,4	46,38	7,6	0,2
7,6	47,9	7,6	0,2
7,8	49,42	7,125	0,2
8	50,75	7,125	0,2
8,2	52,27	7,125	0,2
8,4	53,6	6,65	0,2
8,6	54,93	6,65	0,2
8,8	56,26	6,3872093	0,2

t-s-Diagramm

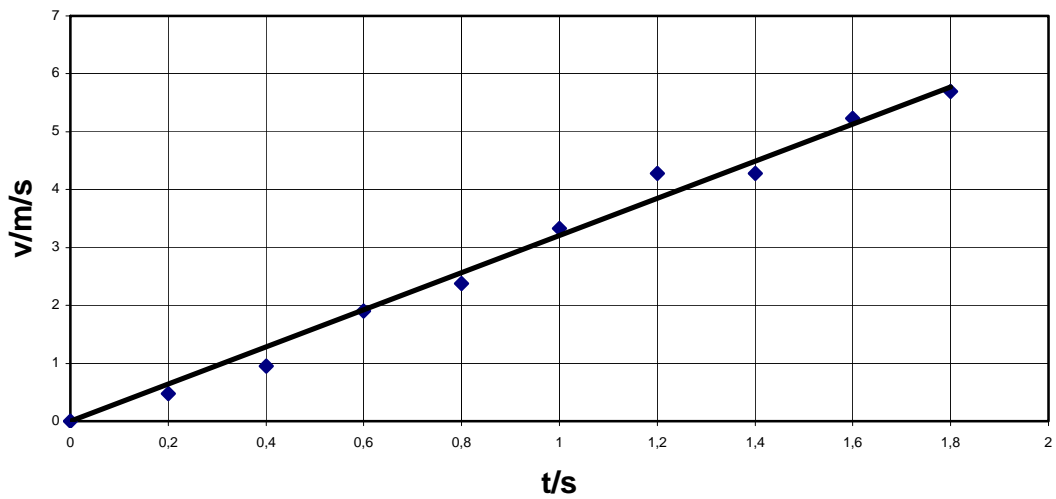


t-s-Diagramm (besch. Teil)



t-v-Diagramm

$$y = 3,2094x$$
$$R^2 = 0,9882$$



Messprotokoll – Raketenstart

Theoretische Vorbemerkungen:

Bei der hier untersuchten Bewegung handelt es sich um den Start einer Saturn-Rakete. Dabei sollte es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handeln, bei der die Startbeschleunigung a zu bestimmen ist.

Bei einer beschleunigten Bewegung ändert sich die Geschwindigkeit v eines bewegten Körpers. Ist die Geschwindigkeitsänderung in gleichen Zeitintervallen gleich groß, so spricht man von einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung ändern sich der Betrag und die Richtung der Beschleunigung nicht. Dabei gelten folgende Gesetze:

Zeit-Weg-Gesetz: $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$

Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz: $v = a \cdot t$

Zeit-Beschleunigungs-Gesetz: $a = \text{konstant}$

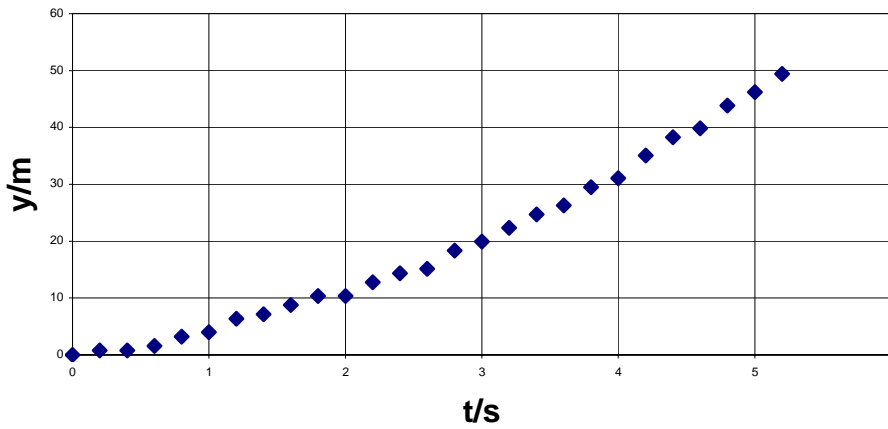
Messdaten:

Die Messdaten wurden mit Hilfe des Videoanalyseprogramms VIMPS aufgenommen und mit MS-Excel ausgewertet:

t/s	y/m	\sqrt{y}/\sqrt{m}
0	0	0
0,2	0,798	0,89330846
0,4	0,798	0,89330846
0,6	1,595	1,26293309
0,8	3,189	1,78577714
1	3,986	1,99649693
1,2	6,377	2,52527226
1,4	7,172	2,678059
1,6	8,772	2,96175624
1,8	10,362	3,21900606
2	10,362	3,21900606
2,2	12,752	3,57099426
2,4	14,352	3,78840336
2,6	15,142	3,89127229
2,8	18,332	4,28158849
3	19,932	4,46452685
3,2	22,322	4,72461639
3,4	24,712	4,97111657
3,6	26,302	5,12854755
3,8	29,492	5,43065374
4	31,092	5,57602009
4,2	35,072	5,92216177
4,4	38,262	6,1856285
4,6	39,852	6,31284405
4,8	43,842	6,62132917
5	46,232	6,79941174
5,2	49,422	7,03007824

Diagramme:
t-y-Diagramm:

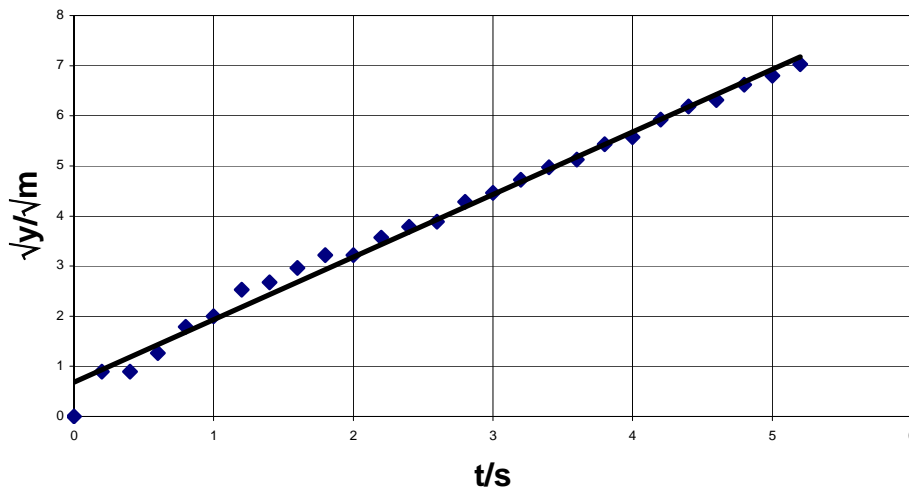
t-y-Diagramm - Raketenstart



Die Messpunkte im t-y-Diagramm sehen aus, als lägen sie auf einer Parabel und lassen einen quadratischen Zusammenhang zwischen t und y vermuten. Zur Überprüfung dient ein $t-\sqrt{y}$ -Diagramm:

t- \sqrt{y} -Diagramm

$$y = 1,2493x + 0,6826$$
$$R^2 = 0,9898$$



Dieses Diagramm bestätigt den Zusammenhang $y \sim t^2$. Dies bedeutet, dass es sich bei der vorliegenden Bewegung um eine **gleichmäßig beschleunigte Bewegung** handelt.

Bestimmung der Beschleunigung:

Aus der Steigung m der Ausgleichsgeraden im $t-\sqrt{y}$ -Diagramm lässt sich die Beschleunigung a wie folgt bestimmen:

$$a = 2 \cdot m^2 = 2 \cdot \left(1,25 \frac{\sqrt{m}}{s} \right)^2 = 3,1 \frac{m}{s^2}$$

Fehlerbetrachtung:

.....

Informationen: Linearisierung

Wenn man zu Messwerten einen bekannten gesetzmäßigen Zusammenhang vermutet und diese Vermutung bestätigen möchte, kann man dies auf graphischem Weg versuchen: Man trägt Rechenausdrücke der Messwerte in einem Diagramm so gegeneinander auf, dass eine Gerade entstehen muss, wenn das Gesetz richtig ist.

Beispiel: Es wird vermutet, dass eine bestimmte Bewegung gleichmäßig beschleunigt ist.

$$s(t) = \frac{1}{2} at^2$$

Dieses Zeit-Weg-Gesetz müsste gelten.

$$\underbrace{\sqrt{s(t)}} = \underbrace{\sqrt{\frac{1}{2} a}} \cdot t$$

Wenn man $\sqrt{s(t)}$ gegen t aufträgt und daraus eine Ursprungsgerade erhält, ist die Vermutung bestätigt.

$$y = m \cdot x$$

Die Steigung dieser Geraden ist $m = \sqrt{\frac{1}{2} a}$. Liest man den Wert der Steigung ab, lässt sich daraus außerdem die Beschleunigung ermitteln.

Was passiert, wenn man den Beginn der Bewegung nicht genau „getroffen“ hat? Dann muss man zur gemessenen Zeit t entweder eine gewisse Zeit t_0 addieren oder subtrahieren.

$$s(t) = \frac{1}{2} a \cdot (t \pm t_0)^2$$

Dieser Umstand wird durch den Term $\pm t_0$ berücksichtigt.

$$\sqrt{s(t)} = \sqrt{\frac{1}{2} a} \cdot (t - t_0)$$

Trägt man jetzt $\sqrt{s(t)}$ gegen t auf, ergibt sich eine Gerade, welche die t -Achse im Zeitpunkt t_0 schneidet. Die Steigung der Geraden ist wiederum $\sqrt{\frac{1}{2} a}$.

Vorteil: Man erhält „nebenbei“ die Zeitverschiebung t_0 !

Analyse einer Bewegung

Situation: Nach der Messwertaufnahme (z.B. Videoanalyse) liegen Messwertkoordinaten (t|s) vor und werden in einem t-s-Diagramm dargestellt. Es soll analysiert werden, ob eine gleichförmige oder eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung vorliegt.

Fall a) Alle Punkte liegen auf einer Geraden

Es handelt sich um eine gleichförmige Bewegung. Die Steigung der Geraden ist gleich der konstanten Geschwindigkeit v .

Fall b) Die Punkte liegen auf einer parabelähnlichen Kurve

Zur Überprüfung, ob eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung vorliegt, und zur Bestimmung der Beschleunigung können wahlweise verschiedene Verfahren verwendet werden:

t-v-Diagramm	Quotienten-Methode	Linearisieren	Anpassung mit Excel
Man berechnet Durchschnittsgeschwindigkeiten für verschiedene Zeitintervalle und ordnet sie jeweils der Intervall-Mitte zu. Ergibt sich eine Gerade, so ist die Bewegung gleichmäßig beschleunigt und die Steigung der Geraden gleich der Beschleunigung.	Man berechnet für jedes Messwertpaar den Quotienten $\frac{s}{t^2}$. Falls dieser für alle Koordinaten gleich groß ist, so ist die Bewegung gleichmäßig beschleunigt und der Quotient ist gleich $\frac{1}{2} a$.	Man berechnet für jedes Messwertpaar \sqrt{s} und trägt diesen Wert in einem Diagramm gegen t auf. Ergibt sich eine Gerade, so ist die Bewegung gleichmäßig beschleunigt. Die Steigung der Geraden ist $m = \sqrt{\frac{1}{2} a} \Leftrightarrow a = 2 \cdot m^2$.	Man lässt Excel ein t-s-Diagramm zeichnen (Diagrammtyp: Punkt XY), fügt eine Trendlinie Ansatz „Polynomisch Reihenfolge ² 2“ hinzu und lässt sich die Gleichung anzeigen. Verläuft die Parabel gut durch die Punkte, so ist die Bewegung gleichmäßig beschleunigt und man kann aus der Funktionsgleichung die Beschleunigung ablesen.

² Das Wort „Reihenfolge“ scheint eine Fehl-Übersetzung aus dem Englischen zu sein; es muss „Ordnung“ bzw. „Grad“ des Polynoms heißen!

Literaturtipps zum Weiterlesen:

1. das Programm *Physik im Kontext*: www.physik-im-kontext.de
2. „Aufgabenkultur“ – *Was ist das?* von P. Häußler und G. Lind, Praxis der Naturwissenschaften, 4/49, Jg. 2000.
3. *Wider das Frage- und Antwortspiel, neue Inhalte aufgabengeleitet entwickeln* von J. Leisen, Friedrich Jahresheft 2003

