

Physik im Freizeitpark – Möglichkeiten und Vergleich von Videoanalyse, Beschleunigungsmessung und GPS

Manuel Schüttler, Thomas Wilhelm

Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Am Hubland, 97074 Würzburg
mschuettler@physik.uni-wuerzburg.de, Thomas.Wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Die Begeisterung von Schülerinnen und Schülern für den Physikunterricht lässt im Laufe der Schuljahre nach. Dagegen erfreuen sich Vergnügungsparks immer größerer Beliebtheit. Dies soll dazu genutzt werden, einen modernen Zugang zum Mechanik-Unterricht herzustellen. Hierzu wurden bei einigen Fahr-Attraktionen Messungen mit Beschleunigungs- und GPS-Sensoren sowie Videoanalysen durchgeführt. Die benutzten Geräte und Programme werden vorgestellt und die durchgeführten Messungen miteinander verglichen. Ziel ist es, Hilfen geben zu können, sich aus der Fülle von Möglichkeiten die besten Ansätze auszusuchen, und vor eventuellen Fehlern zu bewahren.

1. Motivation

Die Begeisterung von Schülern für den Physikunterricht lässt im Laufe der Schuljahre bekannterweise nach. Dagegen erfreuen sich Vergnügungsparks immer größerer Beliebtheit und können im Mechanik-Unterricht genutzt werden. Als Bindeglied zwischen Physikunterricht und Vergnügungspark dienen hier einige der Fahr-Attraktionen des Europa-Parks in Rust, welche den Schüler verdeutlichen sollen, dass sie auch in ihrer Freizeit mit physikalischen Problemen und Phänomenen konfrontiert werden können. Es wurden Messungen mit Beschleunigungs- und GPS-Sensoren sowie Videoanalysen durchgeführt. Dabei sollte festgestellt werden, welche Messmöglichkeit sich besser für den Freizeitpark eignet und welche Vor- und Nachteile sie haben [1].

Eine sicherlich aufwendige Möglichkeit sind Exkursionen zu kooperierenden Vergnügungsparks oder Schaustellern auf Volksfesten. Hier können die Schüler selbst Messungen durchführen und Videos drehen, um diese später im Unterricht zu analysieren und auszuwerten. Jedoch kann es passieren, dass die Schüler dabei ihre Aufmerksamkeit auf die falschen Dinge fokussieren. Selbst wenn eine Exkursion nicht möglich ist, kann mit bereits aufgenommenen Messungen (siehe Abschnitt 3) Physik an interessanten Beispielen betrachtet werden. Neben der qualitativen Behandlung der Größen und ihrer Richtungen kann die Analyse von Diagrammen geübt werden, aber auch der Umgang mit Medien und die Nutzung des Computers sind relevante Ziele.

2. Messmöglichkeiten

Für die Messwerterfassung im Freizeitpark ist es hilfreich, wenn man möglichst kleine Erfassungsgere-

räte hat und man die Daten vor Ort ohne Computer aufzeichnen kann, die dann später im Physikraum analysiert werden. Zur Messwerterfassung sind prinzipiell die Videoanalyse, die GPS-Messung und Beschleunigungssensoren denkbar.

Bei der Videoanalyse und der GPS-Messung wird der Ort des betrachteten Körpers erfasst und daraus durch Differenzenquotienten die Geschwindigkeit und die Beschleunigung berechnet. Damit erhält man die Beschleunigung bzw. die resultierende Gesamtkraft, wie sie ein objektiver Beobachter im ruhenden Bezugssystem sieht, was didaktisch sinnvoll ist.

Die GPS-Messung hat allerdings nicht nur den Nachteil großer Ortsungenauigkeit, sondern vor allem den Nachteil, dass die meisten Sensoren nur in für dieses Thema zu großen Zeitabständen den Ort erfassen. Damit eignet es sich nur bedingt und nur für Bewegungen mit großen Ortsänderungen wie in großen Achterbahnen.

Die Videoanalyse ist durch preisgünstige Hochgeschwindigkeitskameras [2] dagegen auch für schnelle und sehr schnelle Bewegungen geeignet. Sie hat jedoch den Nachteil, dass die Bewegung zweidimensional in einer Ebene senkrecht zum Beobachter stattfinden muss. Der Vorteil liegt dagegen darin, dass es die Möglichkeit gibt, die Messwerte nicht nur mit Diagrammen, sondern auch mit anderen Darstellungen wie ins Video eingeblendete Beschleunigungsvektoren oder Energiesäulen darzustellen. Wenn man aber aus größeren Entfernungen filmt, braucht man statt Hochgeschwindigkeitsvideos eher Videos mit kleinen Frameraten bzw. darf nur jedes n-te Bild des Videos zur Analyse nutzen, damit die Ortsänderungen groß genug sind und man noch gute Beschleunigungswerte erhält.

Bei einem mitgeführten 3-D-Beschleunigungssensor werden nicht die drei Beschleunigungskomponenten in die drei ruhenden Raumrichtungen gemessen, sondern drei Beschleunigungskomponenten aus Sicht des Beobachters (senkrecht, seitlich, vorne), d.h. das Koordinatensystem dreht sich mit dem Beobachter, was die Interpretation stark erschweren kann. Einfacher ist es, wenn der Beobachter nicht gedreht wird wie bei einem fliegenden Teppich (siehe Abschnitt 3.1), denn dann werden doch die Beschleunigungskomponenten in die drei ruhenden Raumrichtungen gemessen. Bei einer zweidimensionalen Kreisfahrt ist es außerdem möglich und sinnvoll, den Sensor so zu halten, dass eine Komponente die Tangentialbeschleunigung und eine Komponente die Radialbeschleunigung ist [3].

Ein mitgeführter Beschleunigungssensor registriert stets die Auslenkung einer seismischen Masse, was als Beschleunigung bzw. Kraft interpretiert wird. Das führt zu zwei Problemen, denen man sich bewusst sein muss:

- Bei einer (horizontalen) Kreisbewegung wird die seismische Masse nach außen ausgelenkt, d.h. es wird die Scheinkraft gemessen, die der mitbewegte Beobachter zu spüren glaubt, bzw. die Zentrifugalbeschleunigung, die der mitbewegte Beobachter aus seiner subjektiven Sicht misst. Interessiert man sich dagegen eher für die für diese Bewegung nötige Zentripetalkraft und die objektive Beschleunigung, muss man nur das Vorzeichen ändern bzw. das Koordinatensystem umdrehen.
- Wenn der Sensor ruht, wird die seismische Masse durch die Gravitationskraft nach unten ausgelenkt und die „Erdbeschleunigung“ registriert, obwohl der Sensor wegen der zusätzlich wirkenden, gleich großen Zwangskraft nicht beschleunigt wird. Nimmt die Zwangskraft in dieser Richtung zu oder ab, führt dies zu einer Zu- oder Abnahme der gemessenen „Beschleunigung“. Bei der beschleunigten Bewegung des freien Falls wird so Null gemessen. Bei Bewegungen, bei denen die Hochachse des Sensor während der Bewegung nicht verkippt wird, wie bei einem fliegenden Teppich (siehe Abschnitt 3.10) oder einem ebenen Karussell, kann und sollte man deshalb vor Beginn der Bewegung in der Ruhe den Tara-Knopf drücken und somit alle Beschleunigungskomponenten auf Null setzen; nur dann wird die tatsächliche Beschleunigung gemessen. Bei Bewegungen, bei denen sich der Sensor im Raum dreht, wird dagegen die Erdbeschleunigung immer wieder in anderen Richtungen gemessen, eine Nullsetzung ist hier nicht möglich.

3. Beispiele für Videoanalysen

Im bayerischen Lehrplan wird für den Profilibereich in der zehnten Jahrgangsstufe explizit der Umgang mit Videoanalyseprogrammen erwähnt [4]. Bei

geeigneten Attraktionen bietet eine Videoanalyse sicherlich die umfangreichsten Möglichkeiten, die Bewegung zu untersuchen (u. a. über die Darstellung von Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren). Ein zusätzlicher Vorteil von Videoanalysen ist die Betrachtung der Bewegung aus Sicht eines außenstehenden Beobachters.

3.1 London Bus

Bei der Videoanalyse mit der Videoanalysesoftware „measure dynamics“ [5] wurde als Objekt der hinteren Reifen des Busses gewählt, der im Video immer gut sichtbar ist. Der Ursprung des Koordinatensystems wurde dabei sinnvollerweise in den Mittelpunkt der Kreisbewegung gelegt, die dieser Reifen vollführt. Bei der Analyse wurde eine Schrittweite von 5 gewählt, d.h. nur jeder fünfte Frame wird genutzt (gefilmt mit 30 fps).

In Abb. 1 sind die entstandenen Vektoren für Geschwindigkeit und Beschleunigung zu verschiedenen Zeitpunkten der Kreisbewegung bei konstanter Winkelgeschwindigkeit zu sehen ($\Delta t = 1,67$ s, jeder 50.-te Frame). Der Geschwindigkeitsvektor zeigt immer tangential, der Beschleunigungsvektor immer radial nach innen.

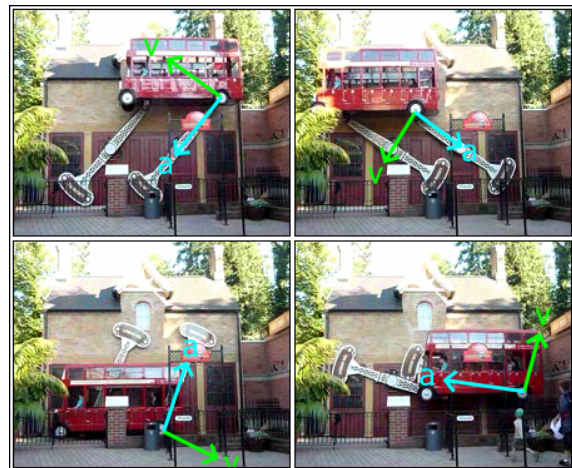


Abb. 1: Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren beim London Bus bei gleichmäßiger Kreisbewegung

Eine weitere Veranschaulichung der Vektoren ist in Abb. 2 zu sehen. Es wurde eine Folge von Bildern ($\Delta t = 2/3$ s, jeder 20.-te Frame) gewählt, die den Abbremsvorgang des London Bus zeigen. Im ersten Bild sind die Vektoren noch etwa gleich lang wie diejenigen aus Abb. 1. In den folgenden Bildern kann man nicht nur erkennen, dass die Vektoren kürzer werden, sondern auch, dass die Beschleunigungsvektoren nicht mehr zum Mittelpunkt des Kreises zeigt: Der Winkel zwischen den beiden Vektoren wird größer.

Der Bus wird auf der Kreisbahn immer langsamer, der Geschwindigkeitsvektor wird also immer kürzer. Ab einem gewissen Zeitpunkt werden selbst bei einer großen Schrittweite die Abstände aufeinander folgender Messpunkte so klein, dass die Ungenauigkeiten beim Markieren wieder mehr Einfluss auf die

Vektoren nehmen. Die Fehler der Ortsmarkierung werden durch Differenzenbildung bei Geschwindigkeit und Beschleunigung größer (siehe hierzu Abb. 3 bis Abb. 5).

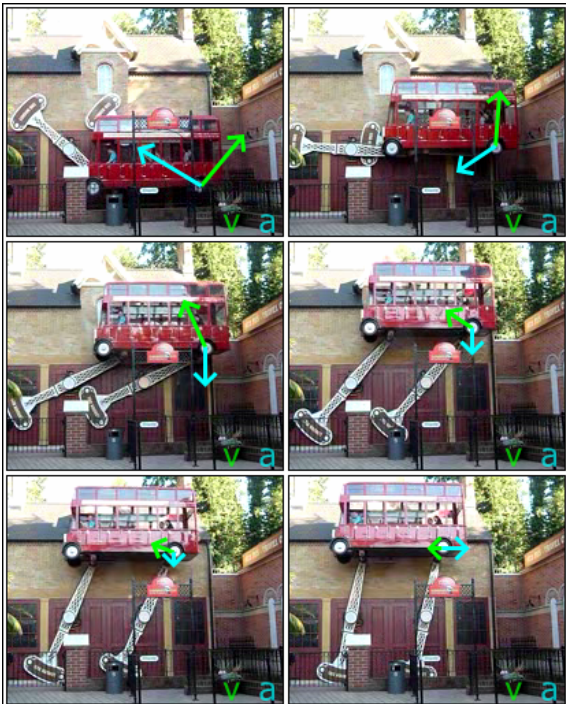


Abb. 2: Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren beim London Bus beim Abbremsvorgang

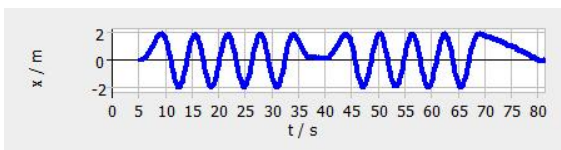


Abb. 3: Auslenkung $x(t)$ beim London Bus

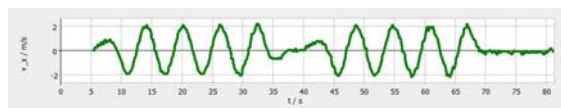


Abb. 4: Geschwindigkeitskomponente $v_x(t)$ beim London Bus

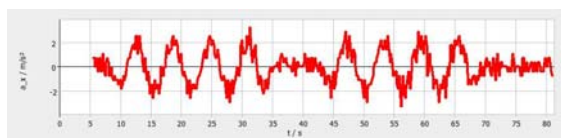


Abb. 5: Beschleunigungskomponente $a_x(t)$ beim London Bus

Anhand der Schaubilder der einzelnen Komponenten kann man erkennen, dass die Kreisbewegung sowohl vorwärts als auch rückwärts vollführt wird. Trägt man den zeitlichen Verlauf des Geschwindigkeitsbetrags auf (siehe Abb. 6), so bestätigt sich die obige Behauptung: Der London Bus fährt tatsächlich die meiste Zeit mit konstanter Winkelgeschwindigkeit.

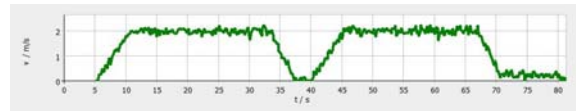


Abb. 6: Tempo $v(t)$ beim London Bus

3.2 Vindjammer

Bei diesem Fahrgeschäft handelt es sich um eine Schiffschaukel. Der Antrieb geschieht mit einem Reifen unterhalb des Schiffsrumpfes. Die Bewegung der Schiffschaukel kann als Pendelbewegung oder Teil einer Kreisbewegung mit nicht konstantem Geschwindigkeitsbetrag angesehen werden. In Abb. 7 ist die Geschwindigkeit und Beschleunigung für eine halbe Periode eingezeichnet.

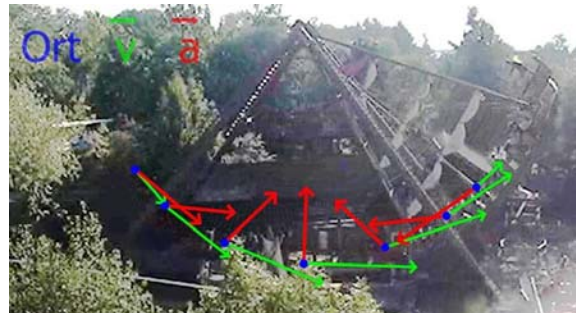


Abb. 7: Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren bei der Vindjammer (halbe Periode)

In Abb. 8 ist der zeitliche Verlauf der vertikalen Koordinate des Objektes dargestellt. Man kann erkennen, dass die Auslenkung nicht symmetrisch ist. Mögliche Gründe hierfür sind eine ungleiche Gewichtsverteilung (d.h. der betrachtete Punkt war nicht der Schwerpunkt) oder ein asymmetrischer Antrieb durch den Reifen unterhalb des Schiffes. Da die Skalierung im Video nur geschätzt wurde, ist die Größe der y -Werte nicht aussagekräftig.



Abb. 8: Höhe $y(t)$ beim Vindjammer

Aus Höhe und Geschwindigkeit können potentielle und kinetische Energien berechnet werden (in Abb. 9 über die Zeit aufgetragen). Wegen der Unsicherheit der Absolutwerte der Energiewerte wurde auf die Achsen verzichtet. In dieser Abbildung kann man trotzdem den Wechsel der Energieformen erkennen: In den Umkehrpunkten verschwindet die Geschwindigkeit und damit auch die kinetische Energie. Dafür erreicht die potentielle Energie an diesen Stellen aufgrund der Maxima der y -Werte auch ihre Maxima. Die alternierende Höhe dieser Maxima resultiert aus der Asymmetrie der Pendelbewegung. Durchläuft die Schaukel den Scheitelpunkt der Bewegung, so sind Geschwindigkeitsbetrag und kinetische Energie maximal. Der Scheitelpunkt ist am tiefsten Ort der Bewegung, weshalb die

potentielle Energie an diesen Punkten auch minimal ist.

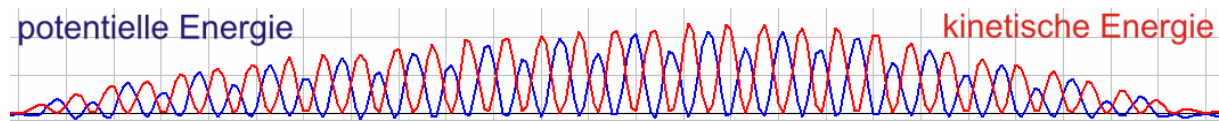


Abb. 9: Mechanische Energie beim Vindjammer

Die gesamte mechanische Energie steigt in der ersten Hälfte der Messung an, da der Schiffschaukel über den Reifen Energie zugeführt wird. Das Abbremsen in der zweiten Hälfte der Fahrt führt zu einer Verringerung der mechanischen Energie.

3.3 Blue Fire

Die Achterbahn Blue Fire ist ein so genannter Launched Coaster. „Als Launched Coaster (dt. Katapult-Achterbahn oder Abschuss-Achterbahn) bezeichnet man eine Achterbahn, bei der der Zug nicht einen Hügel (Lifthill) hinaufbefördert wird, um dann durch Lageenergie zu beschleunigen, sondern auf einer ebenen geraden Strecke katapultartig beschleunigt wird.“ [6] Diese Beschleunigungsstrecke wurde aus größerer Entfernung und etwa orthogonal zur Bewegung aufgenommen.



Abb. 10: Beschleunigungsstrecke der Blue Fire (markiert ist das Zugende soweit sichtbar)

Hierbei trat das Problem auf, dass nur eine eingeschränkte Sicht auf das Objekt möglich war. In einigen Frames des Videoclips ist das Objekt nicht im Sichtfeld, was unproblematisch ist, solange die Zeiträume klein genug bleiben. In Abb. 10 erkennt man das Fehlen der Messpunkte, wenn das verfolgte Zugende hinter einem Felsen verschwindet. In Abb. 11 sieht man, dass sowohl bei den Ortskoordinaten der Zugspitze (blau) als auch bei den Ortskoordinaten des Zugendes (rot) einzelne Messwerte fehlen. Entsprechendes gilt für die daraus berechnete Geschwindigkeit der Zugspitze (grün) und des Zugendes (orange). Aus dem Diagramm der Abb. 11 lassen sich trotzdem interessante Schlüsse ziehen:

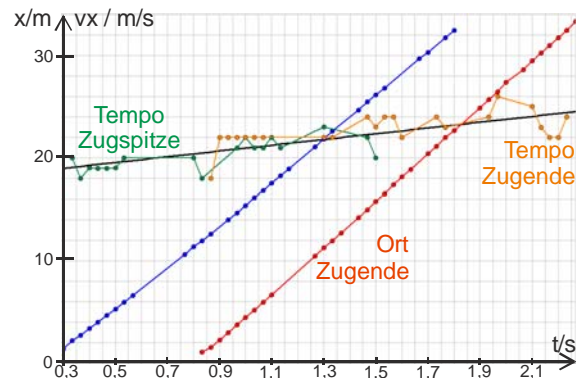


Abb. 11: Ort und Tempo bei der Beschleunigungsstrecke der Blue Fire

- $x_{\text{vorne}}(t) - x_{\text{hinten}}(t)$ bleibt für alle Zeitpunkte t konstant. Das bedeutet, der Abstand zwischen der ersten und letzten Reihe bleibt erwartungsgemäß immer gleich.
- Da der Abstand der beiden Objekte (Anfang und Ende des Zuges) konstant bleibt, muss die Geschwindigkeit beider zu jedem Zeitpunkt gleich sein. Dies kann aus dem mittleren Teil des Schaubildes abgelesen werden (kleinere Abweichungen aufgrund von Ungenauigkeiten beim Markieren der Objekte).
- Da die Geschwindigkeit beider Objekte zu einem festen Zeitpunkt gleich ist, können die beiden Kurven für v_x zusammen betrachtet werden: Man erkennt ein Ansteigen des Tempos des Zuges von etwa $19 \text{ m/s} \approx 68 \text{ km/h}$ auf $24 \text{ m/s} \approx 86 \text{ km/h}$ in einem Zeitraum von rund 1,8 Sekunden (schwarz = Regressionsgerade). Dies ergibt eine Durchschnittsbeschleunigung von rund 3 m/s^2 .

Bei diesem Beispiel ist es also von Vorteil, dass man mehrere Punkte verfolgen kann.

Bei der Videoanalyse des Loopings wurden zunächst die Geschwindigkeit und die Beschleunigung der Zugspitze zur verschiedenen Zeiten betrachtet (siehe Abb. 12). Bei der Interpretation ist zu beachten, dass Reibung auftritt.

Dann wurden mehrere Punkte des Zuges betrachtet und die Komponenten und Beträge deren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bestimmt. Theoretisch muss das Tempo der Punkte, die auf gleicher Höhe im Wagen liegen (gleicher Radius beim Looping) zu jedem Zeitpunkt gleich sein (siehe Abb. 13, grün = Zuganfang, rot = Zugende). Unterschiedliche Ergebnisse zeigen die Messungenauigkeit.

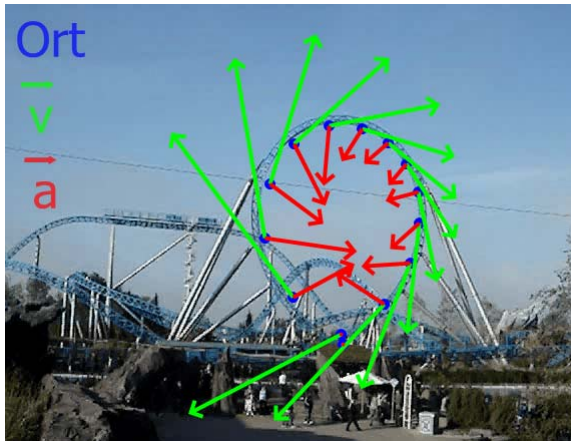


Abb. 12: Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren Looping der Blue Fire

Am Video kann man sehen, wann sich welcher Wagen des Zuges am höchsten Punkt des Loopings befindet. Diese Zeitpunkte wurden auch in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** eingetragen. Das Minimum des Geschwindigkeitsbetrags wird erwartungsgemäß erreicht, wenn der Schwerpunkt des Zuges den Scheitelpunkt des Loopings passiert. Zu diesem Zeitpunkt ist die Angst vor dem „Herunterfallen“ auch am größten, da die vom Passagier verspürte Zentrifugalbeschleunigung ein Minimum erreicht.

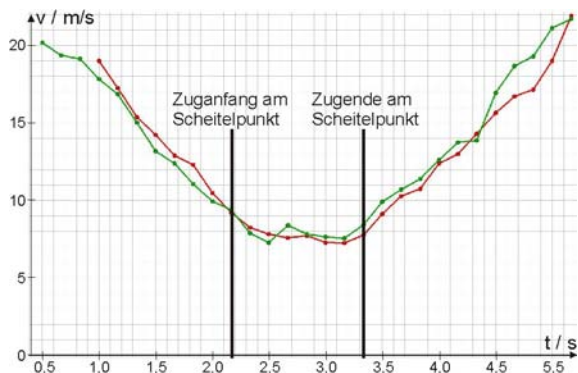


Abb. 13: Tempo $v(t)$ im Looping der Blue Fire (grün = Zuganfang, rot = Zugende)

3.4 Silver Star

Bei der Achterbahn Silver Star wurde eine Hügel-fahrt analysiert. In Abb. 14 wurden die Geschwindigkeit und die Beschleunigung der Zugspitze zu verschiedenen Zeiten eingezeichnet.



Abb. 14: Hügel-fahrt beim Silver Star

Außerdem wurde das Tempo berechnet. Es ist erwartungsgemäß beim Überfahren eines Hügels minimal (siehe Abb. 15). Beim Durchfahren des Tales konnten aufgrund der eingeschränkten Sicht keine Messpunkte markiert werden, weshalb das Maximum des Geschwindigkeitsbetrages in nicht gezeichnet wurde.

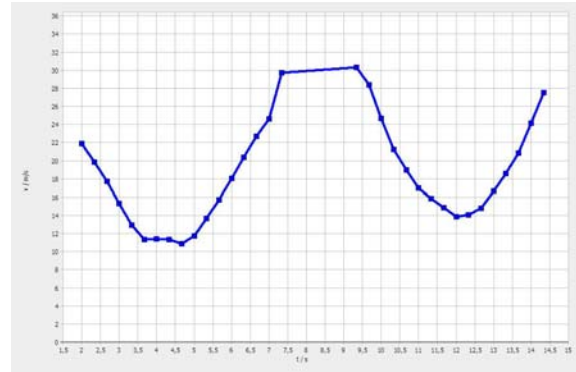


Abb. 15: $v(t)$ bei einer Hügel-fahrt

4. Beispiele zur Beschleunigungsmessung

Schwierigkeiten bereitete bei den Messungen mit den Beschleunigungssensoren hauptsächlich die unterschiedliche Betrachtung der Bewegung im beschleunigten bzw. unbeschleunigten Bezugssystem. Damit verbunden ist die Interpretation der Messwerte: Misst der Sensor reale Beschleunigung oder Scheinbeschleunigung? Welche Lage hat der Sensor zu diesem oder jenem Zeitpunkt? In welche Richtung zeigen die Achsen? Dies alles muss bei der Behandlung von Beschleunigungsmessungen im Unterricht beachtet werden. Die Messungen mit den Beschleunigungssensoren sind also eher als Erweiterung zu den Videoanalysen (siehe Abschnitt 3) anzuraten, da mit ihnen die Sichtweise des Passagiers und damit die Trägheitskraft, welche dieser zu verspüren glaubt, diskutiert werden kann.

4.1 Vindjammer

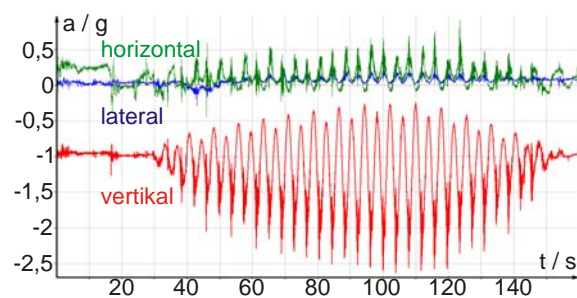


Abb. 16: Beschleunigung in einer Schiffschaukel

Bei der Schiffschaukel Vindjammer genügt es, die zum Fahrgast vertikale Beschleunigungskomponente zu analysieren (rote Kurve in Abb. 16). Da der Sensor vor der Fahrt nicht auf Null gestellt wurde, wird zu Beginn die Erdbeschleunigung registriert. Während der Fahrt wird in zum Fahrgast vertikaler Richtung neben einem Anteil der Erdbeschleunigung zusätzlich die Zentrifugalbeschleunigung gemessen. Diese ist im unteren Scheitelpunkt der Pendelbewe-

gung (Nulldurchgang) gerade am größten und erreicht einen Maximalbetrag von etwa 1,5 g. Das bedeutet, der Passagier fühlt sich mehr als doppelt so schwer wie normal. Man kann erkennen, wie zu diesen Zeitpunkten das Antriebsrad den Rumpf des Schiffes berührt (Rauschen der Messwerte). Eine weitere Besonderheit der Kurve ist der Verlauf der lokalen Maxima. Hier befindet sich die Schaukel gerade in den Umkehrpunkten. Eine unsymmetrische Auslenkung ist der Grund für die unterschiedliche Höhe der Peaks. Aus diesen Werten lässt sich für die maximale Auslenkung der Schiffschaukel ein Winkel von etwa 70° bestimmen, was auch die Messung in der Videoanalysesoftware ergab:

$$\frac{a_{\text{Umkehrpunkt}}}{a_{\text{Ruhe}}} \approx \frac{-0,3g}{-1,0g} = 0,3 \approx \cos 72^\circ$$

4.2 Silver Star

Bei Achterbahnen, bei denen der Sensor sich kippt und dreht, kann nur die Kraft bzw. Beschleunigung aus Sicht des Fahrgastes gemessen werden (siehe Abschnitt 2). Bei der Achterbahn Silver Star fiel die Auswertung der Messungen gegenüber anderen Achterbahnen wesentlich leichter: die Bahn ist nur selten verkippt und es gibt nur wenige Kurven. Die laterale Beschleunigungskomponente verschwindet also meistens. Deshalb lässt sich mit Hilfe des Beschleunigungsbetrages (siehe Abb. 17) die Behauptung überprüfen, dass der Fahrgast über 20 Sekunden eine Beschleunigung von nur 0,2 g erfährt [7]. Diese Zeit sehr kleiner Beschleunigung nennt man auch *Airtime*. Sie bezeichnet Zeiträume, in denen der Passagier einer Achterbahn sich schwerelos fühlt oder nur von den Sicherheitsbügeln im Zug gehalten wird. Dies wird im Silver Star mit parabelförmigen Hügeln erreicht. Die Wagen der Achterbahn müssen beim Überfahren eines solchen Hügels ein bestimmtes Tempo haben, damit der Eindruck der Schwerelosigkeit einsetzt.

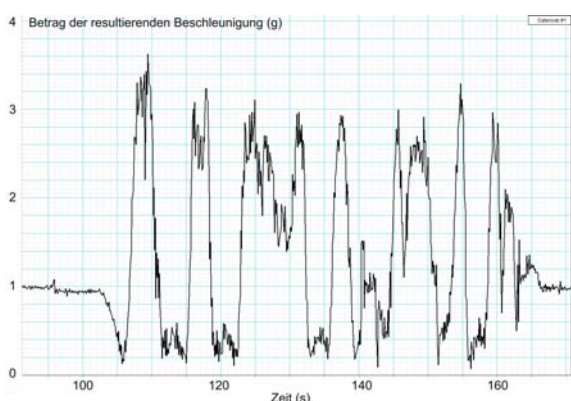


Abb. 17: Betrag der resultierenden Beschleunigung im Silver Star

Betrachtet man den Beschleunigungsbetrag, so gibt es Zeiträume, in denen der Betrag der Beschleunigung gering ist. Dies ist nicht nur beim Passieren eines Hügels der Fall, sondern auch beim First Drop (erste Talfahrt). Addiert man nun die Zeiten, in de-

nen die resultierende Beschleunigung weniger als 0,4 g beträgt, so erhält man rund 20 Sekunden. Die Grenze von 0,4 g liegt höher als 0,2 g und wurde gewählt, da ein Rauschen der Werte in allen Komponenten den Beschleunigungsbetrag bei kleinen Werten stark beeinflusst. Im Rahmen dieser Einflüsse und unter Berücksichtigung der Messfehler kann die obige Behauptung als bestätigt angesehen werden.

Eine Behauptung des Achterbahnbetreibers ist das Erreichen einer Beschleunigung von maximal 4 g. In Abb. 17 erkennt man maximale Beschleunigungsbeträge zu den Zeitpunkten, in denen der Zug gerade die Täler der Bahn passiert. Hier addieren sich Erdbeschleunigung und Zentrifugalbeschleunigung zu maximalen Werten. Im Tal nach dem First Drop ist die Geschwindigkeit des Zuges und damit die Zentrifugalbeschleunigung maximal. Man kann einen Wert von etwa 3,6 g ablesen. Per Runden des Wertes wird die Behauptung bestätigt.

5. GPS-Messungen

GPS-Messung im Freizeitpark [8] sind nur bedingt möglich. Bei Attraktionen mit kleinen Ortänderungen bzw. mit (Teil-)Überdachung sind die Messungen nicht sinnvoll bzw. nicht möglich. In Abb. 18 sieht man das Ergebnis der GPS-Messung im Silver Star. Die Bahnkurve aus der Vogelperspektive ist fehlerbehaftet. Als Vergleich zu den aufgenommenen Werten wurde die Bahn in Abb. 19 mit Google Earth aufgenommen und die Strecke markiert. Eine genauere Betrachtung erscheint deshalb als wenig sinnvoll.

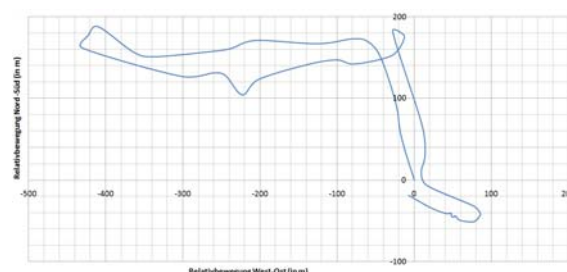


Abb. 18: GPS-Messung im Silver Star



Abb. 19: Silver Star mit Google Earth

6. Fazit

Man sieht, dass selbst einfach wirkende Bewegungen einen komplizierten physikalischen Hintergrund haben können. Die Mechanik vieler Attraktionen im

Freizeitpark zu verstehen, erfordert viel Zeitaufwand, welcher in der Schule oft nicht verfügbar ist. Häufig muss auf eine detaillierte Analyse der Bewegungen verzichtet werden. Dies kann jedoch auch als Anreiz dienen: Die Schüler sollen bemerken, dass aus den Diagrammen viel mehr Informationen gewonnen werden können, als auf den ersten Blick vermutet. So können Messungen im Freizeitpark als Anstoß verwendet werden, damit sich Schüler wieder gerne mit Physik beschäftigen.

Man findet aber auch Beispiele für einfache Bewegungen (geradlinige Beschleunigung, Kreisbewegung, Pendel). Insbesondere mit der Videoanalyse sind auch qualitative Betrachtungen möglich: Wie liegen Geschwindigkeit und Beschleunigung zueinander und was bedeutet das (gleiche Richtung, entgegengesetzt, senkrecht)?

Die vorgestellten Messungen bieten sich für verschiedene Themengebiete des Physikunterrichts an. So ist die Attraktion London Bus bei Behandlung der Kreisbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit zu empfehlen. Als Beispiel einer Kreisbewegung mit nicht konstanter Winkelgeschwindigkeit ist die Schiffschaukel Vindjammer sehr ergiebig. Zusätzlich kann die Schiffschaukel als Anwendungsbeispiel der Pendelbewegung in den Unterricht eingebaut werden. Achterbahnen sind vor allem für Energiebetrachtungen geeignet. Hierbei ist man jedoch auch auf Informationen angewiesen, die nicht aus den Messungen herausgelesen werden können.

Insgesamt zeigte sich die GPS-Messungen im Freizeitpark am schwierigsten. Die grundlegende Physik

lässt sich am besten per Videoanalyse erklären, die Beschleunigungsmessungen sollten in den meisten Fällen nur als Vertiefung verwendet werden.

7. Literatur

- [1] Schüttler, Manuel (2011): Physik im Freizeitpark. Möglichkeiten und Vergleich von Beschleunigungs- und GPS-Messung sowie Videoanalyse, Staatsexamensarbeit, Universität Würzburg, <http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/freizeitpark.htm>
- [2] Michel, Maximilian; Wilhelm, Thomas (2010): Dynamik mit Hochgeschwindigkeitsvideos, Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 59, Nr. 7, 2010, S. 23 – 30
- [3] Scheler, Stefan; Wilhelm, Thomas: Neue Möglichkeiten durch Funksensoren, Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 58, Nr. 7, 2009, S. 28 - 35
- [4] <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26439> (Stand 11/2010)
- [5] <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm/mD.htm>
- [6] <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/831866> (Stand 12/2010)
- [7] <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/1289921> (Stand 12/2010)
- [8] Backhaus, Udo; Braun, Thomas: GPS-Messungen im Freizeitpark, Nordmeier, V.; Grötzebauch, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Bochum 2009, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin, 2009