

GPS-Messungen im Freizeitpark

Udo Backhaus, Thomas Braun

Fakultät für Physik, Universität Duisburg-Essen, Universitätsstrasse 2, 45117 Essen

Es wurden schon mehrfach Vorschläge veröffentlicht, mit GPS-Geräten für den Freizeitbereich Bewegungen aus dem täglichen Leben aufzuzeichnen und auszuwerten, um dadurch zu einer größeren Lebensnähe des Mechanikunterrichts beizutragen ([1], [2], [3], [6]). An Bewegungen, die durch moderne Karussells erzeugt werden, lassen sich die Möglichkeiten und Grenzen des Messverfahrens untersuchen. Es wird über typische Ergebnisse berichtet, die zu eigenen Experimenten anregen sollen.

1 Motivation

Messungen mit GPS-Geräten ermöglichen die Untersuchung von Alltagsbewegungen mit einem Alltagsgerät. Solche Messungen können einen Beitrag zur Überwindung der Unbeliebtheit des Faches Physik, speziell des Mechanikunterrichts, leisten. An der Untersuchung unpräparierter Phänomene können darüber hinaus Aspekte naturwissenschaftlichen Arbeitens erfahrbar gemacht werden, z. B.: Gewinnung von Fragestellungen, Planung und Durchführung von Messungen, Erzeugung verschiedener Darstellungsformen, Diskussion von Reproduzierbarkeit und Messfehlern, Modellierung.

Die Funktionsweise des Global Positioning System (GPS) wird z. B. von Müller und Glomski [5] beschrieben. Zum Einsatz des Systems im Unterricht gibt es Arbeiten von Wilhelm und Mitarbeitern [3, 6]. An der Universität Duisburg-Essen werden seit Längerem Fahrrad-, Motorrad- und Autofahrten mit GPS aufgezeichnet und kinematisch und dynamisch untersucht [1, 2].

Ziel der hier beschriebenen Untersuchungen war es, anhand der Aufzeichnung spektakulärer Karussellbewegungen in einem Freizeitpark¹ die grafischen Darstellungsmöglichkeiten zu erweitern und die Grenzen des Messverfahrens auszutesten, die durch das räumliche und zeitliche Auflösungsvermögen bedingt sind.

¹<http://www.movieparkgermany.de/>

2 Mess- und Auswertungsverfahren



Abbildung 1: Typische GPS-Geräte für den Freizeitbereich



Abbildung 2: Typisches mit Excel erstelltes Diagramm

Während der zu untersuchenden Bewegung werden die einmal pro Sekunde Uhrzeit, geografische Länge und Breite und die Höhe mit einem Hand-

oder Armband-Gerät (siehe z. B. Abb. 1) aufgenommen und gespeichert. Die Positionsgenauigkeit liegt bei guten Empfangs- und Sichtbedingungen absolut im Bereich von $\pm 5m$. Die relativen Veränderungen werden aber oft genauer aufgezeichnet. Die Höhenmessung via GPS erweist sich als deutlich schlechter. Es empfiehlt sich deshalb, für kritische Messungen wie die hier beschriebenen Geräte zu verwenden, die über einen barometrischen Höhenmesser verfügen. Nach der Messung werden die Daten mit der mit dem Gerät gelieferten Software oder mit Freeware- oder Shareware-Programmen (z. B. GPS-Utility) auf einen PC übertragen. Um die Daten mit Excel auswerten und grafisch darstellen zu können (Abb. 2), müssen sie noch geringfügig aufbereitet werden.

Für die dreidimensionalen Darstellungen wurde ein kleines Computerprogramm² erstellt, das es ermöglicht, die Bahnkurve beliebig zu drehen und evtl., zur Erleichterung der räumlichen Vorstellung, Projektionen der Bahn auf die Koordinatenebenen mitzuzeichnen (Abb. 3).

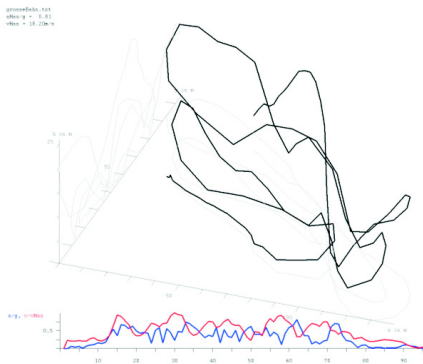


Abbildung 3: Dreidimensionale Darstellung der Bahnkurve beim „Bandit“

3 Vorübung: Die „Splat-O-Sphere“

Bei der „Splat-O-Sphere“ handelt es sich im Wesentlichen um ein abgewandeltes Kettenkarussell, das sich während der Fahrt nach oben und unten bewegt. Zusätzlich können die Insassen eine Art von Seitenruder bewegen, mit dem sie einen geringen Einfluss auf ihren Auftrieb, und damit auf den Radius ihrer Bahn, haben.

Bei Aufzeichnung und Auswertung dieser Bewegung handelt es sich insofern um eine Vorübung, als die Beschleunigung klein bleibt und sich die

²Das Programm kann bei den Autoren angefordert werden.

Bahnkurve nicht in unübersichtlicher Weise überschneidet. Die grafische Darstellung (Abb. 5) ist deshalb sehr übersichtlich, und die Parameter der Bahn (Höhendifferenz knapp 20 m, Bahnradius etwa 10 m) lassen sich leicht ablesen. In anderen Darstellungen könnte man Bahngeschwindigkeit, Umlaufzeit, ... ablesen und die Zusammenhänge bei gleichförmigen Kreisbewegungen näherungsweise bestätigen.



Abbildung 4: Die „Splat-O-Sphere“

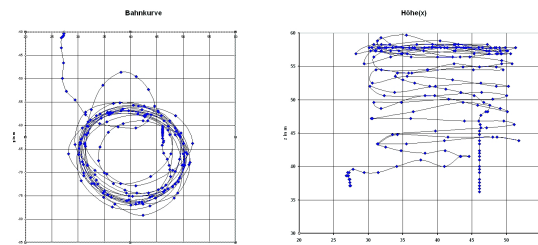


Abbildung 5: Mit Excel erstellte Projektionen der Bahnkurve bei der Splat-O-Sphere

4 Beispiele

4.1 Die kleine Achterbahn („Mission to Mars“)

„Mission to Mars“ ist eine kleine Achterbahn mit einem übersichtlichen Bahnverlauf, bei der Geschwindigkeiten bis $7.7 \frac{m}{s}$ und Beschleunigungen bis $0.5 \frac{m}{s^2}$ auftreten.



Abbildung 6: „Mission to Mars“

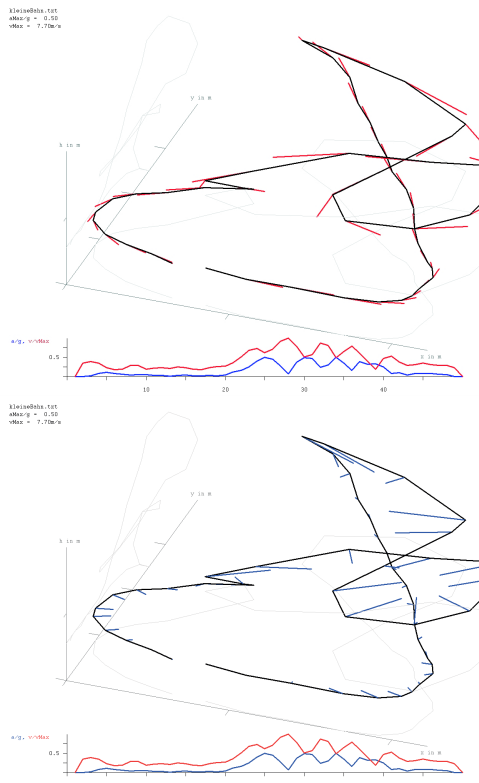


Abbildung 7: Bahnkurve von „Mission to Mars“ mit eingezeichneten Geschwindigkeitsvektoren (oben) bzw. Beschleunigungsvektoren (unten)

Wenn man die Bahn nicht kennt, kann man sich von der Bahnkurve erst nach einigen Drehungen der Bahnkurve eine räumliche Vorstellung machen. Die eingezeichneten Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren verdeutlichen aber die Zusammenhänge zwischen Bahnkurve, Bewegung, Geschwindigkeit und Beschleunigung.

4.2 Die große Achterbahn („Bandit“)



Abbildung 8: Blick in den Abgrund des „Bandit“

Der „Bandit“ ist eine große Holzachterbahn mit etwa 25m Höhendifferenz, bei der Geschwindigkeiten bis zu $18 \frac{m}{s}$ und Beschleunigungen bis zu $0.8g$ auftreten.

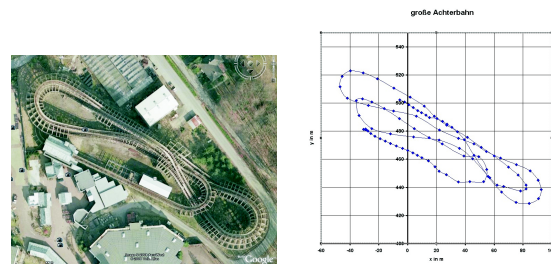


Abbildung 9: Bahn (Google) und Bahnkurve vertikal von oben

Der Vergleich zwischen Luftaufnahme und Bahnkurve in Abbildung 9 zeigt deutlich, dass bei der heftigen Bewegung auf dieser Bahn das Messverfahren deutlich an seine Grenzen stößt, obwohl versucht wurde, die Empfangsbedingungen für das Messgerät so gut wie möglich zu erhalten, deutlich an seine Grenzen: Die Kurven der Bahn, die in Wirklichkeit exakt untereinander liegen, liegen in der Vertikalprojektion der Bahnkurve deutlich nebeneinander. Trotzdem lassen sich die Zusammenhänge zwischen Bewegung (Abb. 10), Geschwindigkeit und Beschleunigung (Abb. 11) noch überzeugend demonstrieren, besonders wenn nicht nur ein statisches Bild gezeigt wird, sondern sich die gesamte Bewegung dynamisch („in Echtzeit“) auf dem Bildschirm entwickelt.

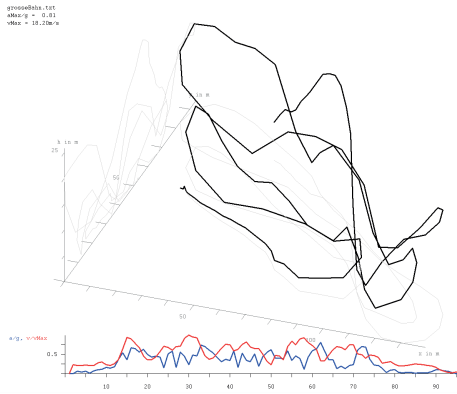


Abbildung 10: Dreidimensionale Darstellung der Achterbahnfahrt

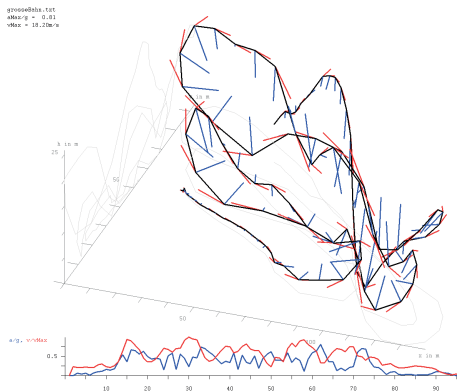


Abbildung 11: Derselbe Graph wie in Abb. 10, diesmal mit Geschwindigkeit und Beschleunigung

5 Überschreitung der Grenzen

Waren die bisher vorgestellten Bahnen noch in gewisser Weise übersichtlich, so überlagern sich bei den in diesem Abschnitt beschriebenen Geräten Translations-, Pendel- und Drehbewegungen in so komplexer Weise, dass Zeit- und Ortsauflösung des Messverfahrens kaum ausreichen, um die Bewegungen anschließend mit dem Computer anschaulich demonstrieren und analysieren zu können.

5.1 Der „Crazy Surfer“



Beim „Crazy Surfer“ überlagert sich eine Rotationsbewegung mit einer Wellenbewegung. Dabei treten Beschleunigungen von mehr als $0.9g$ auf. Es entsteht dabei eine so komplexe Bewegung, deren Darstellung durch eine ungenügende Anzahl von Messpunkten und durch Messfehler so unübersichtlich wird, dass sie am Bildschirm trotz Einblendung von Geschwindigkeitsvektoren (Abb. 12) kaum rekonstruierbar erscheint.



Abbildung 12: Beim „Crazy Surfer“ gemessene Bahnkurve mit Geschwindigkeitsvektoren

5.2 Der Schaukelkreis („Side Kick“)



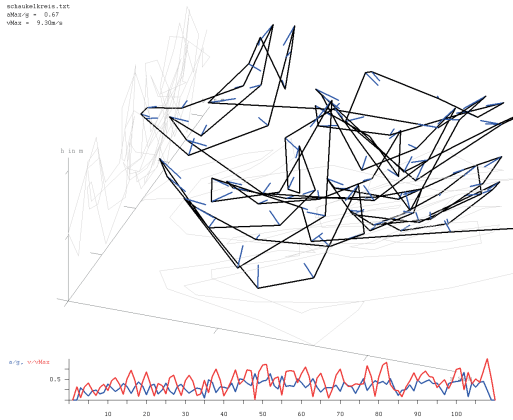


Abbildung 13: Bahnkurve beim „Side Kick“ mit Beschleunigungsvektoren

Beim „Side Kick“ überlagert sich eine Kreisbewegung einer Pendelbewegung. Die auftretenden Geschwindigkeiten ($v \leq 9.3 \frac{m}{s}$) und Beschleunigungen ($a \leq 0.67g$) sind zwar nicht so groß wie bei anderen Geräten. Weil sich aber die Bewegung auf recht kleinem Raum abspielt, gelingt es auch hier nicht überzeugend, sie im Nachhinein am Computer überzeugend zu demonstrieren und zu analysieren.

6 Fazit und Ausblick

Bei dieser Untersuchung ging es in erster Linie darum, die Grenzen der Bewegungsaufnahme und -analyse mit GPS-Geräten aus dem Freizeitbereich auszutesten. Es war bereits im Vorfeld zu erwarten, dass bei den Bewegungen in Karussells, mit denen in modernen Freizeitparks Menschen Adrenalinstöße versetzt werden sollen, Zeit- und Ortsauflösung des Messverfahrens eine nachträgliche Rekonstruktion der Bewegung und ihre kinematische und dynamische Analyse sehr erschweren würden. Insofern war es überraschend, dass ein Teil der untersuchten Bewegungen doch noch befriedigend analysiert werden konnten.

Die Aufbereitung der Messdaten – Auswahl der geeigneten Zeitabschnitte, geeignete Parameter für die grafische Darstellung, ... ist, nach geeigneter Aufbereitung für Excel oder ein anderes Programm, einfach. Den größten Teil der investierten Bearbeitungszeit haben wir in den Versuch gesteckt, mehrfache Fahrten geeignet „übereinander zu legen“ und durch Mittelwertbildung zu glatteren Kurven und kleineren Abweichungen zu gelangen. Diese Versuche waren nicht erfolgreich; die gemittelten Daten waren nicht besser als die einzelnen Messreihen.

Die aus den Messwerten berechneten Werte für die potentielle und die kinetische Energie und ihre Summe sind schwierig zu interpretieren (Abb. 14 und 15): Die Hoffnung, den Kurven eindeutig entnehmen zu können, ob die Bahnen angetrieben werden oder bei ihrer Bewegung allein die anfangs beim Hochziehen zugeführte Energie umsetzen, hat sich nicht erfüllt. Auch der Versuch, die Schwankung der Gesamtenergie darauf zurückzuführen, dass die Messwerte teils im letzten, teils im ersten Wagen des Zuges aufgenommen wurden, waren nicht erfolgreich: Es konnten keine interpretierbaren Unterschiede zwischen den entsprechenden Messreihen gefunden werden.

Die dreidimensionale Darstellung der Bewegung kann sicher noch verbessert werden. Zur Zeit besteht die beste Möglichkeit der Visualisierung darin, Bahnkurve und Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren successive ungefähr mit der Schnelligkeit der Originalbewegung entstehen zu lassen.

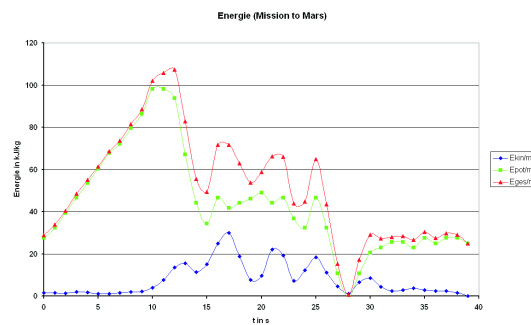


Abbildung 14: Energie bei der „Mission to Mars“

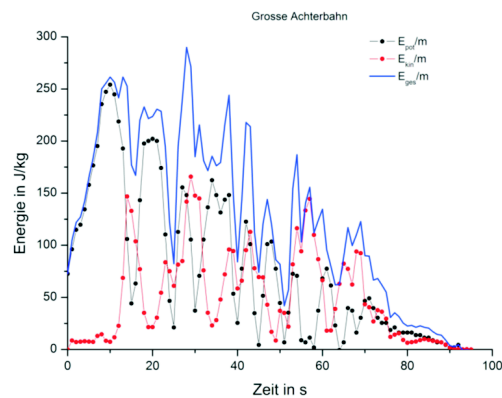


Abbildung 15: Energie beim „Bandit“

Für die hier vorgestellte Methode der Aufnahme von Alltagsbewegungen werden sicher schnell

weitere Möglichkeiten dadurch öffnen, dass moderne Handies mit GPS-Empfängern ausgestattet sind und die eigene Position ständig, z. B. an Google Earth übermittelt werden kann.

Literatur

- [1] Backhaus, U.: *Alltagsmechanik mit GPS*, Vorträge der DPG, Berlin 2005
- [2] Backhaus, U.; Ehlers, C.: *Analyse von Alltagsbewegungen mit GPS*, Vorträge der DPG, Kassel 2006
- [3] Braun, M.: *Das GPS-System – Funktionsweise und Einsatzmöglichkeiten im Physikunterricht*, Examensarbeit, Würzburg 2007
- [4] Braun, M.; Wilhelm, T.: *Das GPS-System im Unterricht*, Praxis/Physik 57/4, 20 (2008)
- [5] Müller, R.: *Physik schafft Orientierung. Das Global Positioning System (GPS)*, Naturwissenschaften im Unterricht/Physik 105/126, 88 (2008)
- [6] Wilhelm, T.: *Zweidimensionale Bewegungen – Vergleich von vier verschiedenen Möglichkeiten der Messwerterfassung und Evaluationsergebnisse eines Unterrichtseinsatzes*, Vorträge der DPG, Kassel 2006