

Drahtlose Beschleunigungsmessung mit der Nintendo Wii Remote

Christoph Krichenbauer*, Martin Hopf†

* Universität München, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Email: christoph@krichenbauer.de
† Universität Wien, Österr. Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik, Email: martin.hopf@univie.ac.at

Kurzfassung

Beschleunigungssensoren haben bereits seit einiger Zeit Einzug in die moderne Welt gefunden. Als Auslöser für Airbags und Notschalter für frei fallende Notebookfestplatten begegnen sie uns in der Alltagstechnik. Die Idee, Beschleunigungssensoren für den Mechanikunterricht einzusetzen, ist nicht neu. Für den Schuleinsatz optimierte Systeme stehen beispielsweise von Pasco und Phywe zur Verfügung und auch zur drahtlosen Übertragung gibt es bereits professionelle Systeme. Die hohen Anschaffungskosten hierfür wirken jedoch abschreckend. Die Nutzung der Phymote-Software mit der kostengünstig erhältlichen Nintendo Wii Remote erlaubt es, die wesentlichen Möglichkeiten der teuren, professionellen Systeme zu reproduzieren. Im Artikel werden die Technik sowie die dazu notwendige Software vorgestellt und an Beispielen erläutert.

1. Nintendo Wii

Ende 2006 stellte Nintendo erstmals die neue Spielekonsole "Wii" der Öffentlichkeit vor. Im Gegensatz zu den Produkten anderer Hersteller, die vorrangig in den Vergleichskriterien Rechen- und vor allem Grafikleistung konkurrierten, bestach die von Nintendo ins Rennen geschickte Hardware durch einen revolutionäres Spielkonzept: Der Spieler sollte die Spiele nicht, wie gewöhnlich, mit hauptsächlich über die Daumen bediente Controller steuern, sondern deutlich aktiver – durch Gesten, Zeigen und vor allem Bewegungen des Controllers selbst – auf den Spielverlauf Einfluss nehmen. Dabei wird – je nach Spiel – die Lage des Sensors, die Richtung bezüglich des Monitors oder die Bewegung des drahtlosen Sensors im freien Raum von der Software interpretiert und in Spieleingaben umgesetzt. Eine derartige Steuerung erlaubt so, je nach Spiel, eine stellenweise erstaunlich nahe der Realität stehende Eingabe – so lässt sich zum Beispiel virtuelles Tennis spielen, indem man den Controller, Wii Remote oder kurz Wiimote genannt, wie einen Tennisschläger hält und auch schlägt. Ähnlich realitätsnah lassen sich auch andere Sportspiele wie Golf oder Boxen steuern. Möglich wird das durch die zwei wesentlichen Sensoren der Wii Remote: Die an der Spitze verbaute Infrarotkamera liefert durch Auswertung der IR-LEDs der zum Umfang gehörenden Sensorbar die Position der Wiimote im Raum und deren Ausrichtung gegenüber des Monitors. Die Bewegungen im freien Raum werden hingegen durch Interpretation der Messungen eines Beschleunigungssensor ermittelt, welcher Beschleunigungsdaten für alle 3 Raumdimensionen liefert. Dabei kommt der Sensor ADXL330 der Firma Analog Devices zum Einsatz. Die Übertragung zur Spielekonsole selbst erfolgt drahtlos via Bluetooth.

Dieses neuartige Sensorkonzept, verbunden mit der Standard-konformen Kommunikation, wirkte von

Beginn an sehr einladend für Bastler, welche schnell Ideen entwickelten, die zum günstigen Preis auch einzeln erhältliche Fernbedienung zweckentfremdet zu nutzen. So entstanden beispielsweise Programme für Head-tracking und virtuelle Whiteboards. Ein bedeutender Teil dieser Software und Bibliotheken wurden von den Entwicklern unter einer freien Lizenz zur Weiterverwendung veröffentlicht.

Auf dieser Grundlage aufbauend entstand so die Software „Phymote“, welche sich ebenso im Physikunterricht wie auch im Alltag einsetzen lässt um mit dem Beschleunigungssensor der Wii Remote Messungen durchzuführen und auszuwerten. Die native drahtlose Übertragung des Sensors zeigt sich hierbei sehr vorteilhaft, da Verfälschungen oder Behinderungen durch die Kabelführung von vornherein ausgeschlossen werden.

2. Der Sensor

Der in der Wii Remote integrierte Mikrosystemsensor Analog Devices ADXL-330, ein quadratischer Chip von 4mm Seitenlänge, besitzt laut Herstellerangaben je Achse einen Messbereich von mindestens +3g bei einer Genauigkeit von typischerweise $\pm 0,02g$ (Abb.1).

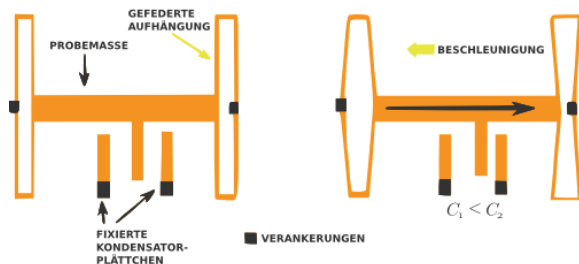


Abb. 1: ACC-Sensor

In dem Chip sind drei - je Dimension einer - in der Funktionsweise identische eindimensionale Sensoren verbaut: Eine federnd gelagerte Probemasse wird

durch extern auftretende Kräfte aus ihrer Ruhelage verschoben. Ein an der Probeladung angebrachtes Plättchen wird so innerhalb eines Kondensators bewegt. Zwischen dem fixierten Kondensator und der federnd gelagerten Masse kann nun durch eine Kapazitätsmessung die relative Auslenkung ermittelt werden, über welche sich die zugrundeliegende Beschleunigung berechnen lässt.

Aufgrund dieser Sensorarchitektur wird jedoch zusätzlich zu den Trägheitskräften, welche aus einer Beschleunigung resultieren, immer auch die Gravitation gemessen. Dies hat bei anderweitiger Verwendung der Sensoren bisweilen auch enorme Vorteile - man denke beispielsweise an die Verwendung als Lagesensoren - jedoch wirkt es sich bei den meisten Schulversuchen störend aus. Eine sinnvolle Interpretation der Messergebnisse setzt voraus, dass die Gravitation manuell kompensierbar, also die entsprechende Achse bekannt ist. Erreicht werden kann das in der Praxis nur, indem der Sensor bezüglich der Gravitationsachse nicht rotiert.

3. Die Software

Die Software „Phymote“ (Abb. 2) entstand im Rahmen einer Staatsexamensarbeit und wurde in der Programmiersprache Java umgesetzt. Sie befindet sich im Anhang oder ist, auch im Quelltext, im Internet erhältlich und darf, da unter einer freien Lizenz stehend, beliebig weitergegeben und vor allem auch verändert werden. Somit wird Interessierten die Möglichkeit gegeben fehlende Funktionen nachzurüsten oder die Software um einen Zugriff auf andere Sensoren zu erweitern.

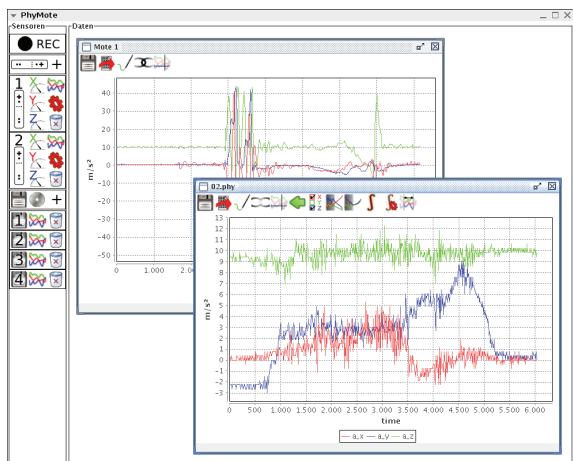


Abb. 2: Screenshot von PHYMOTE

Der Betrieb der Software setzt einen halbwegs aktuellen PC mit installiertem Sun Java Runtime Environment voraus, als Betriebssysteme kommen Windows XP, Vista, Mac OS X und Linux in Frage. Zur Kommunikation mit der Wii Remote ist außerdem ein mit dem Java-Bluetooth-Stack kompatibler Bluetooth-Adapter notwendig. Dies stellt besonders unter Windows ein Problem dar, bei dem bestimmte Kombinationen von Hardware, Treiber und verwendetem Java-Stack nicht erfolgreich mit der Wii Re-

ote verbunden werden können. Weitere Informationen hierzu befinden sich in der der Software beigelegten Anleitung.

Zum Funktionsumfang von Phymote gehört neben der Darstellung der Beschleunigungsdaten in Diagrammen auch die Möglichkeit über numerische Integration Geschwindigkeits- und Ortsdaten zu berechnen und darzustellen. Aufgenommene Daten lassen sich zur späteren Verwendung und Auswertung abspeichern oder zur Weiterbearbeitung in anderen Programmen exportieren. Vor Beginn der Messungen sollte über den Assistenten durch Messung der Gravitation der Sensor kalibriert werden.

4. Versuchsbeispiele

Die mit der Wii Remote durchgeführten im Anschluss gezeigten Versuche sollen exemplarisch die Möglichkeiten der Nutzung von Beschleunigungssensoren beschreiben - generell sollten sich sämtliche Versuche mit Einsatz eines Beschleunigungssensors auch für den Einsatz der Wii Remote eignen. Da die Wii Remote für den Einsatz als Handcontroller konzipiert ist, stellt sich die Anbringung an die zu messenden Objekte allerdings immer als etwas problematisch dar und erfordert ein gewisses Maß an Bastelarbeit, da keine Befestigungsösen oder -gewinde vorliegen. Umgekehrt erlaubt die Robustheit eines Spielzeugs und der niedrige Anschaffungspreis jedoch auch, etwas gröber mit der Sensorik umzugehen, als man das von anderen Messsystemen gewohnt ist. Der Einsatz beschränkt sich keinesfalls auf Unterrichtsexperimente. Eine Stärke dieses günstigen Systems sind Messungen von Alltagsbegebenheiten, daher sind hier auch einige Beispiele für Messungen außerhalb des Unterrichts aufgeführt.

4.1. Stöße

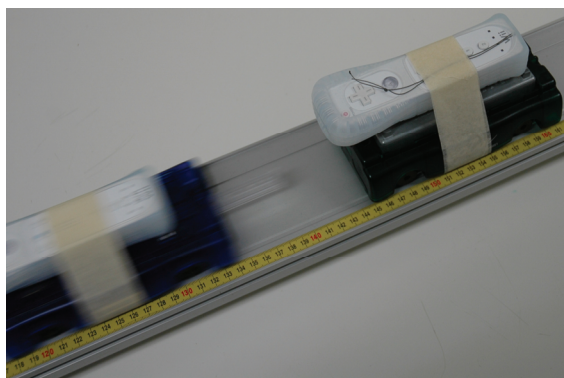


Abb.3: Wii Remote auf Wagen

Unter Zuhilfenahme zweier Wii Remotes lässt sich mit eindimensionalen Stoßversuchen anschaulich die Impulserhaltung demonstrieren. Hierzu sind zwei Fahrzeuge eines Schienensystems oder einer entsprechend starken Luftkissenbahn jeweils mit einer Wii Remote auszustatten (Abb.3). Aus den aufgenommenen Messdaten eines Stoßes lassen sich

durch einfache Integration die Geschwindigkeitsänderungen Δv bestimmen. Bei Wiederholung mit verschiedenen Massen und Ausgangsgeschwindigkeiten lässt sich nun zeigen, dass das Produkt $|\Delta v \cdot m|$ der Stoßpartner jeweils gleich ist und damit die Impulsänderungen beider Partner im Betrag identisch (Abb. 4).

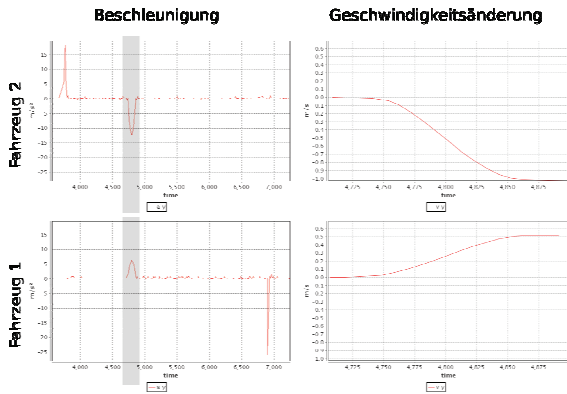


Abb.4: Auswertung des Stoßversuchs

4.2. Pendel

Ein Pendel mit einem Beschleunigungssensor auszustatten erlaubt eine schnelle und genaue Erfassung von Periodendauer und Amplitude der Schwingung. Während bei einem Federpendel die Aufhängung der Wii Remote relativ einfach ist, erfordert dies beim Fadenpendel doch einen etwas größeren Aufwand. Wesentlich ist - wie bei den meisten Messungen - eine Rotation bezüglich der Gravitationsachse zu verhindern (Abb. 5).



Abb. 5: Wiimote-Pendel

Die Analyse der aufgenommenen Beschleunigungskurve bezüglich Periodendauer und Amplitude gestaltet sich einfach. Erstere ist bereits aus dem Be-

schleunigungsdiagramm auslesbar. Zweitere ergibt sich aus der zweifachen Integration einiger weniger abgeschlossener Schwingungen. Abb. 6 zeigt das Geschwindigkeits- und Ortsdiagramm eines kurzen Ausschnitts der Schwingung eines Federpendels. Die Generierung einer kompletten Ortskurve einer längeren Messung hingegen scheitert leider in der Praxis an der Ungenauigkeit des Sensorsystems - die sich ergebende harmonische Schwingung ist von einem starken Fehler überlagert und gestattet keine anschauliche Auswertung.

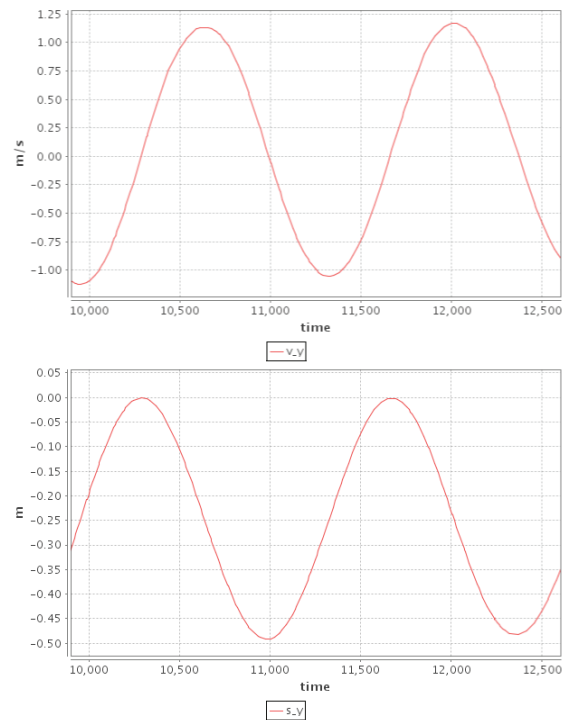


Abb. 6: t-s und t-v-Diagramme eines Federpendels.

4.3. Messung im rotierenden Bezugssystem

Die Bauweise des Sensors erlaubt nicht nur die Messung von Beschleunigungen, sondern aller Trägheitskräfte. Die Kombination mit der drahtlosen Übertragung macht damit die Wii Remote zu einem idealen Sensor zur qualitativen Messung der Zentrifugal- sowie der Corioliskraft. Zu diesem Zweck wird auf einer großen Rotationsplatte ein Schienensystem angebracht, auf dem der auf einem Wagen befestigte Sensor gradlinig zum Rotationszentrum hin gezogen werden kann. Über eine mitrotierende Umlenkrolle kann nun eine Schnur im Zentrum aus dem rotierenden System herausgeführt werden. Eine zweite Umlenkrolle erleichtert die Handhabung (Abb. 7).

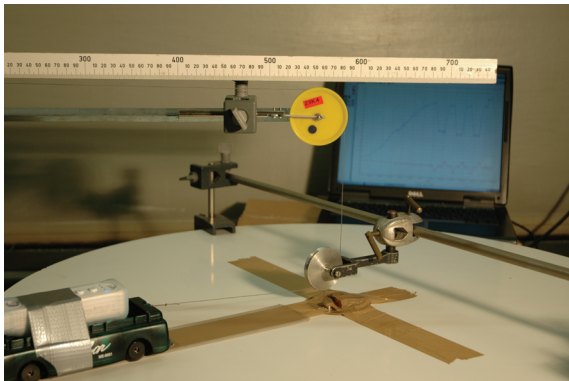


Abb. 7: Messung im rotierenden Bezugssystem

Nun lässt sich auf der angetriebenen, gleichmäßig rotierenden Platte für verschiedene Radien die Zentripetalbeschleunigung messen. Während der Bewegung selbst misst man außerdem, senkrecht zur Zentripetalbeschleunigung, die Coriolisbeschleunigung.

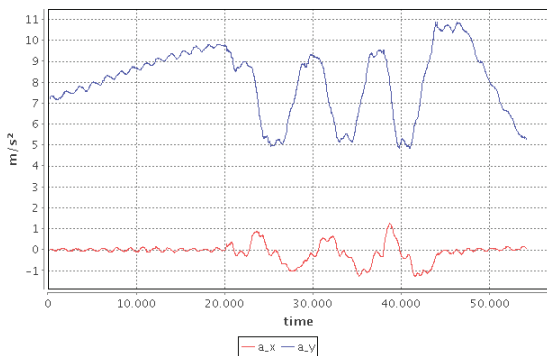


Abb. 8: Messergebnisse

Im Diagramm (Abb. 8) ist die Zentrifugalbeschleunigung blau und die Coriolisbeschleunigung rot dargestellt. Das Messsystem wurde zweimalig auf einen kleineren Radius gezogen und wieder in die Ausgangsposition zurück versetzt. Die überlagernde Schwingung ist durch eine leichte Unwucht der Platte zu erklären.

4.4. Straßenverkehr

Mit der Analyse von Fahreigenschaften typischer Fahrzeuge des Straßenverkehrs bietet das Messsystem die Möglichkeit, mit anschaulichen Beispielen den Kinematikunterricht zu bereichern.

Abb. 9 zeigt die Auswertung einer Beschleunigungsmessung, welche mit einem Motorrad durchgeführt wurde. Das Ziel der Auswertung ist hierbei

die Bestimmung des aus Fahrzeugtests bekannten Wertes „Beschleunigung 0 – 100 km/h“. Das Diagramm zeigt eine Dauer von 4,9s, wobei der typische Verlauf der Beschleunigung und die Schaltvorgänge gut zu erkennen sind.

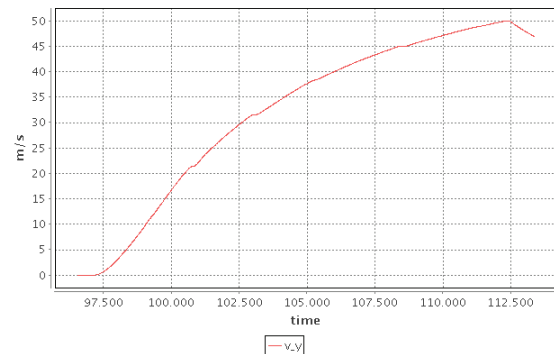


Abb. 9: Beschleunigung mit dem Motorrad

4.5. Fahrstuhl

Die Anbringung der WiiMote zur Messung einer Fahrstuhlfahrt stellt sich vergleichsweise einfach dar. Da die auftretenden Beschleunigungen sehr gering ausfallen, reicht ein einfaches Platzieren auf dem Boden aus. Der Erkenntnisgewinn einer derartig durchgeführten Messung ist dennoch beachtlich: Immerhin lässt sich so die Höhe eines Gebäudes bestimmen.

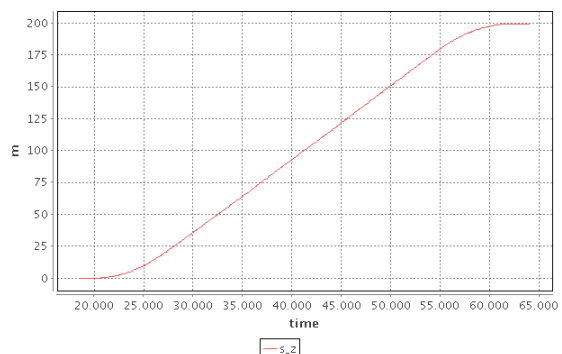


Abb. 10: Fahrt im Fahrstuhl

Abb. 10 zeigt zwei Diagramme der Messung einer Fahrt im Aufzug des Berliner Fernsehturms. Der Weg vom Erdniveau zur Panoramaetage wird demnach in knapp 40 Sekunden bei einer Geschwindigkeit von etwa 5,7m/s zurückgelegt. Die durch die Messung ermittelte Höhe von 200m wird dabei durch den Literaturwert von 198m bestätigt.