

Schule: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Code: \_ \_ \_ \_ \_

*(letzte zwei Buchstaben des Vornamens,  
erste zwei Buchstaben des Geburtsmonats,  
erste zwei Buchstaben der Wohnstraße)*



# Beschleunigungs- sensoren und „WiiMote Physics“

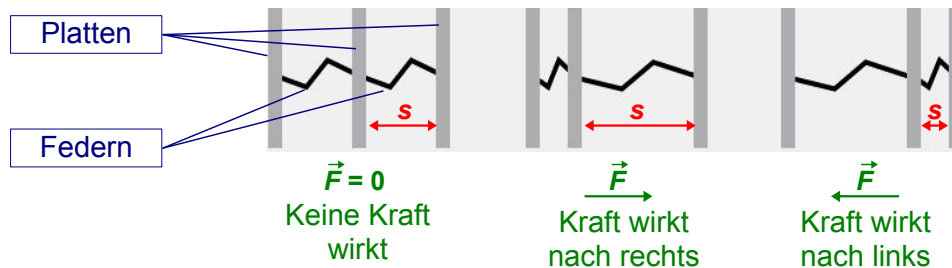


Die WiiMote lässt sich dank ihrer eingebauten Beschleunigungssensoren und der Bluetooth-Verbindung zum PC als drahtloses Messwerterfassungssystem für Bewegungsexperimente nutzen. Um die Messwerte richtig interpretieren zu können, ist ein Grundverständnis des Funktionsprinzips der Sensoren nötig, welches im Folgenden erläutert werden soll.



## Vorüberlegungen

Ein Beschleunigungssensor besteht aus drei Platten, wobei die mittlere Platte über Federn an den äußeren beiden befestigt ist und zwischen ihnen frei schwingen kann. Die äußeren Platten sind fest fixiert. Wirkt auf die mittlere Platte eine Kraft, so verschiebt sie sich, wodurch sich der Abstand zu den äußeren Platten verändert.



Wichtig ist bei der Betrachtung des Sensors, dass die mittlere Platte sich **nach links** verschiebt, wenn der Sensor **nach rechts** beschleunigt wird. Sie kennen dieses Phänomen aus dem Straßenverkehr: Obwohl ein Auto nach vorne anfährt, werden lose Gegenstände nach hinten geschleudert und Sie nach hinten gegen Ihren Sitz gedrückt. Der Sensor misst also nicht die objektiv von außen messbare Kraft, sondern die subjektive **innerhalb des bewegten Systems**, die Trägheitskraft.

- Tragen Sie in die Pfeile die **Formeln** ein, mit denen Sie
  - aus dem Abstand zweier Platten  $s$  die auf sie wirkende Kraft  $\vec{F}$  und
  - aus dieser Kraft  $\vec{F}$  die zugehörige Beschleunigung  $\vec{a}$  bestimmen können!

Plattenabstand  $s$  Kraft  $\vec{F}$  Beschleunigung  $\vec{a}$

Die Strecke, um die sich die mittlere Platte jeweils verschiebt, wird elektronisch gemessen.



**Achtung!** Genau genommen handelt es sich nicht um einen Beschleunigungs-, sondern um einen **Kraftsensor**.

Auch wenn die WiiMote **in Ruhe** ist, misst der Sensor eine Beschleunigung: Die Komponente der **Erdbeschleunigung** in Richtung der gewählten Achse.

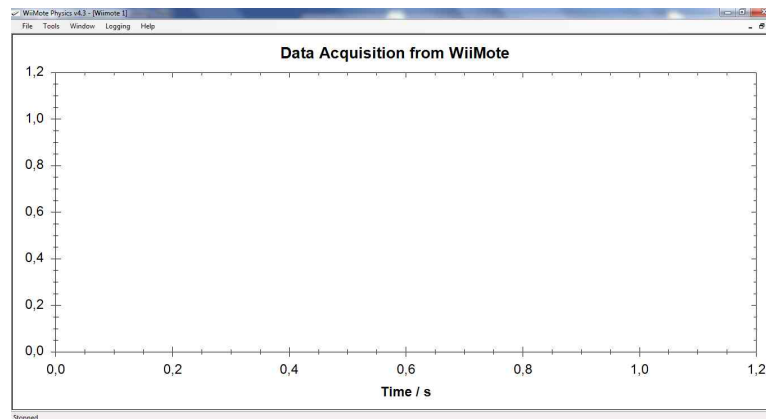
In den Geräten befinden sich drei Sensoren, die senkrecht zueinander angeordnet sind, um Bewegungen in alle Raumrichtungen aufzeichnen zu können. Sie können gemeinsam oder getrennt voneinander ausgelesen werden. Wir nutzen dazu die kostenlose Software „WiiMote Physics“.

- Nutzen Sie die **Anleitung** auf der nächsten Seite, um sich mit „WiiMote Physics“ vertraut zu machen. Führen Sie folgende Arbeitsschritte aus:

- Starten Sie eine Messung der **Gesamtbeschleunigung!**
- Betrachten Sie die Beschleunigung **im Ruhezustand** der WiiMote!
- Bewegen Sie das Gerät und beobachten Sie den Verlauf der Beschleunigung im Diagramm!



## Einführung in die Software „WiiMote Physics“

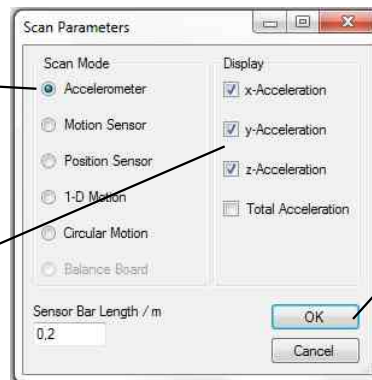


### Grundeinstellungen von WiiMote Physics:

Beim Export werden unabhängig von der Auswahl immer alle aufgenommenen Daten aller verbundenen WiiMotes ausgegeben.

Menü: „Tools“ → Menüpunkt  
„Collection Mode“ →  
„Accelerometer“ auswählen

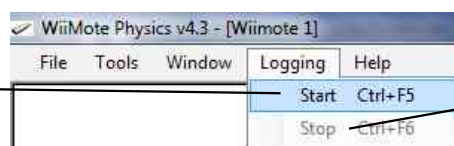
Größe wählen, die während  
Messung grafisch dargestellt  
wird (Beschleunigung in  
x-/y-/z-Richtung oder Gesamt-  
beschleunigung)



Nach Auswahl der  
Einstellungen bestätigen mit  
„OK“

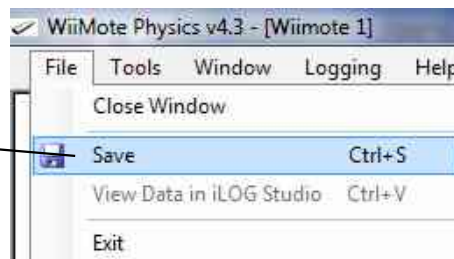
### Messwerte aufnehmen, speichern und in Excel importieren:

Messung starten  
**Alternative:** „A“-Button  
direkt auf der WiiMote



Messung stoppen  
**Alternative:** „2“-Button  
direkt auf der WiiMote

**Export:** Daten als csv-  
Datei speichern



Für jede angeschlossene WiiMote wird eine eigene csv-Datei erstellt. Zum Importieren in Excel wählen Sie die Datei, die Sie importieren möchten, im Explorer aus und klicken Sie sie doppelt an. Es öffnet sich ein Excel-Fenster mit Ihren Werten.

# Versuchsprotokoll

Schule: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Codes **aller** Gruppenmitglieder:

-----

*(letzte zwei Buchstaben des Vornamens,  
erste zwei Buchstaben des Geburtsmonats,  
erste zwei Buchstaben der Wohnstraße)*



## Experiment: Der freie Fall



Fallzeiten nur mit einer Stoppuhr genau zu messen, ist schwierig: Man muss Objekte aus sehr großer Höhe fallen lassen, damit die eigene Reaktionszeit nicht ähnlich groß ist wie die zu messende Fallzeit. Man behilft sich daher im Physikunterricht mit Lichtschranken oder anderen elektronischen Auslösern für die Zeitmessung. Leichter geht es mit der WiiMote: Diese können wir einfach fallen lassen und aus dem aufgezeichneten Beschleunigungsdiagramm die Fallzeit ablesen.





## Vorüberlegungen

Rufen Sie sich für die Interpretation der Beschleunigungsdaten in Erinnerung, wie die Beschleunigungsmessung bei der WiiMote funktioniert und dass es sich eigentlich nicht um einen Beschleunigungs-, sondern um einen Kraftsensor handelt.

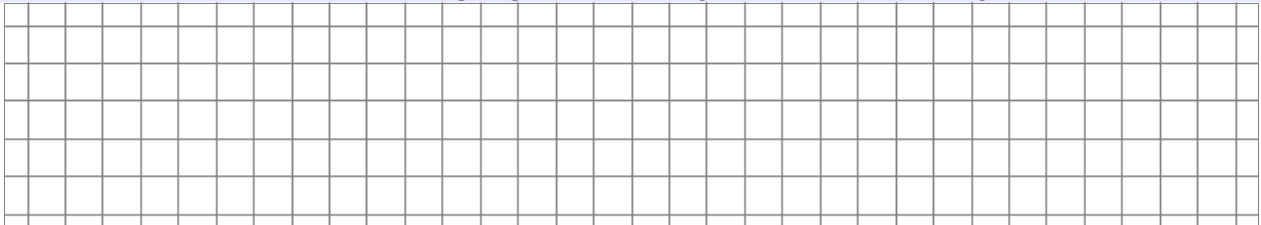
Da der Sensor bei der Messung mit der WiiMote nach unten fällt, ermittelt er die Beschleunigungswerte immer bezogen auf das bewegte System des Geräts. Der Sensor „fühlt“ dabei ähnliche Kräfte wie Sie, wenn Sie mit einem Aufzug nach unten fahren:

- Geben Sie an, ob Sie sich in der jeweiligen Phase der Aufzugsfahrt **normal, leichter oder schwerer** fühlen! (Der Aufzug bewegt sich mit der Beschleunigung  $\vec{a}$  nach unten. Die eingezeichneten Vektoren beziehen sich auf die subjektiv wahrgenommenen Beschleunigungen innerhalb des bewegten Systems des Aufzugs.)

Phase 1: einsteigen	Phase 2: Aufzug fährt an	Phase 3: Aufzug bremsst ab	Phase 4: aussteigen
Sie fühlen sich _____	Sie fühlen sich _____	Sie fühlen sich _____	Sie fühlen sich _____

Für einen Beobachter, der sich außerhalb des Aufzugs befindet, sind sie immer gleich schwer: Die Gewichtskraft, die auf Sie wirkt, ändert sich, vom ruhenden Bezugssystem aus betrachtet, während der Fahrt nicht.

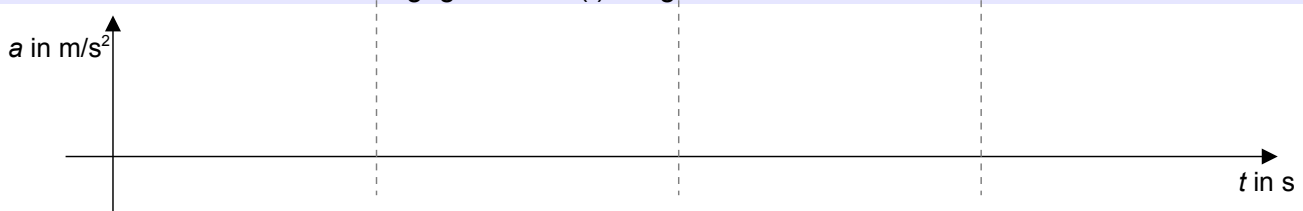
- Formulieren Sie eine **begründete Hypothese** zur folgenden Fragestellung:
  - Wie lässt sich die **Erdbeschleunigung** aus dem aufgezeichneten  $a(t)$ -Diagramm bestimmen?



- Zeichnen Sie die von der WiiMote registrierte **Beschleunigung als Vektorpfeil** in die Schemata zu den verschiedenen Phasen der Bewegung ein!

WiiMote hängt	WiiMote fällt	WiiMote trifft auf	WiiMote bleibt liegen

- Fertigen Sie eine **beschriftete Zeichnung** des erwarteten Verlaufs der **Beschleunigung** beim freien Fall der WiiMote mit Hilfe des gegebenen  $a(t)$ -Diagramms an!





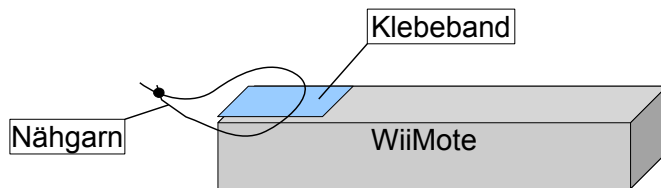
## Experiment:

### Materialien:

- WiiMote und Laptop mit „WiiMote Physics“ und Excel
- Aufhängung und weiche Unterlage
- Nähgarn
- Klebeband
- Metermaß
- Feuerzeug

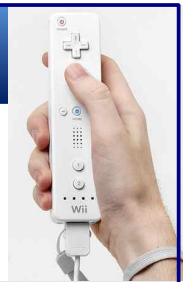
### Vorbereitung:

- „WiiMote Physics“-Einstellungen überprüfen
- vorbereitete Aufhängung an WiiMote ankleben:



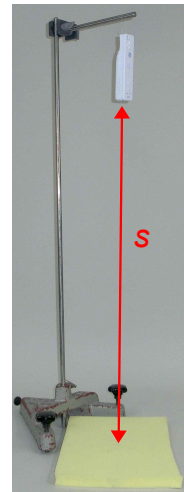
### WiiMote Physics-Einstellungen

- Scan Mode: Accelerometer
- Display: Total Acceleration



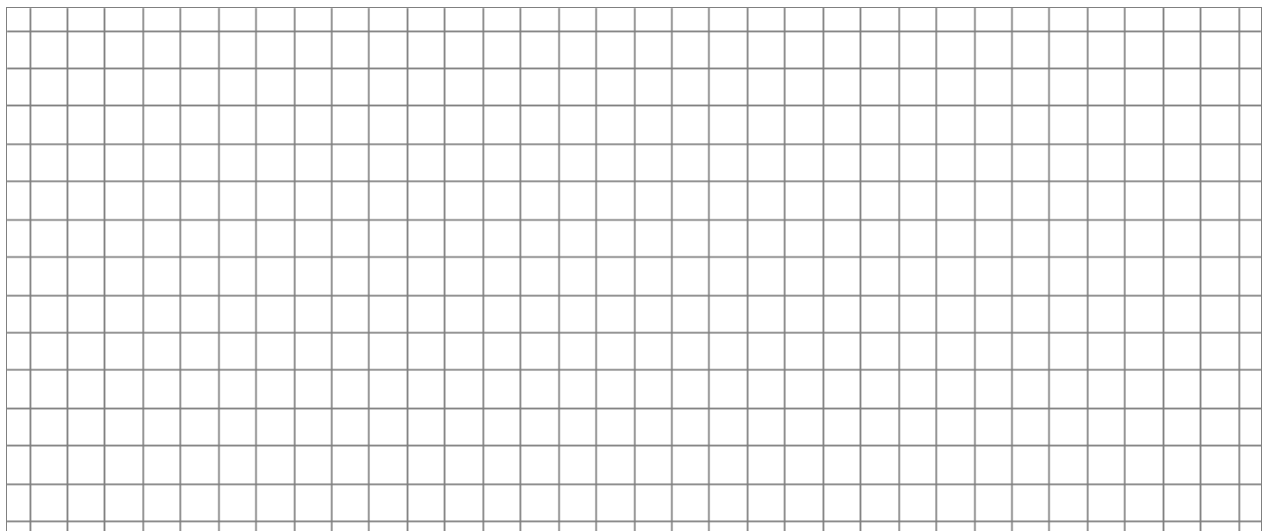
### Durchführung:

- WiiMote **aufhängen**
- Fallstrecke** messen:  $s = \underline{\hspace{2cm}}$   
(Oberkante der Unterlage bis Unterkante der WiiMote)
- Messung **starten**
- Aufhängung **durchbrennen**
- Messung **stoppen**



### Beobachtung:

- Vergleichen** Sie den erhaltenen **Kurvenverlauf** mit Ihren zuvor aufgestellten **Hypothesen** und beschreiben Sie Ähnlichkeiten und Unterschiede Ihres erwarteten und des gemessenen Diagramms! **Erläutern** Sie, wo sich die WiiMote jeweils in den **verschiedenen Abschnitten** der Kurve befindet!



- Daten als csv-Datei **exportieren** (abspeichern) und in Excel **öffnen** (doppelt auf Datei klicken)
- Fallzeit aus **Datentabelle** entnehmen
- Erdbeschleunigung  $g$  aus gemessenen Daten **berechnen**:
  - Fallstrecke  $s = \underline{\hspace{2cm}}$
  - Fallzeit  $t = \underline{\hspace{2cm}}$
  - Erdbeschleunigung  $g \approx \underline{\hspace{2cm}}$

[illegible]A large grid of 20 columns and 10 rows, intended for drawing.

# Versuchsprotokoll

Schule: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Codes **aller** Gruppenmitglieder:

-----

*(letzte zwei Buchstaben des Vornamens,  
erste zwei Buchstaben des Geburtsmonats,  
erste zwei Buchstaben der Wohnstraße)*



## Experiment: Impulserhaltung



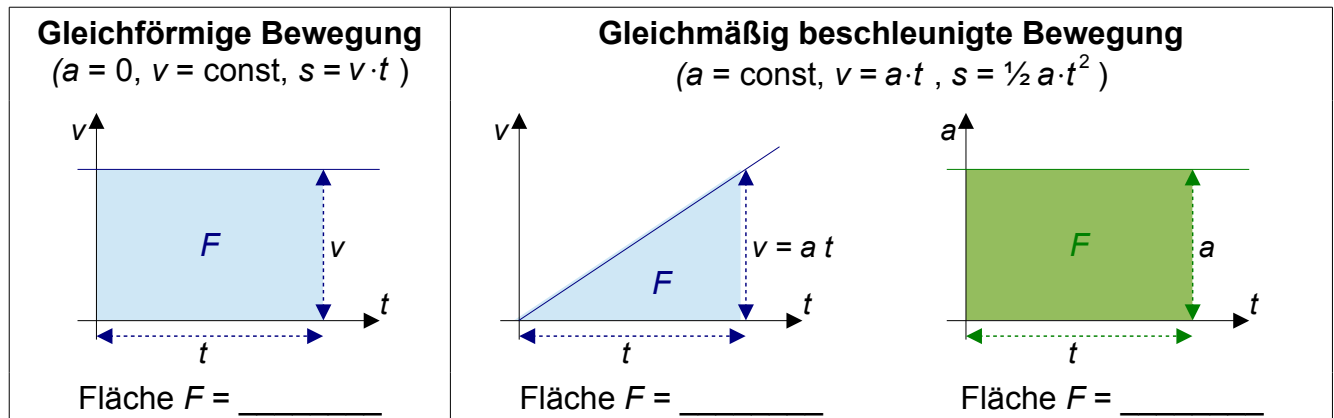
Die Impulserhaltung ist eines der fundamentalen Erhaltungsprinzipien der Physik. Sie begegnet uns zum Beispiel beim Billardspielen, ist aber auch für Blechschäden bei Auffahrunfällen verantwortlich. Im folgenden Versuch kann die Impulserhaltung über den Rückschluss von den gemessenen Beschleunigungen auf die zugehörigen Geschwindigkeiten mit einem einfachen experimentellen Aufbau nachgewiesen werden.



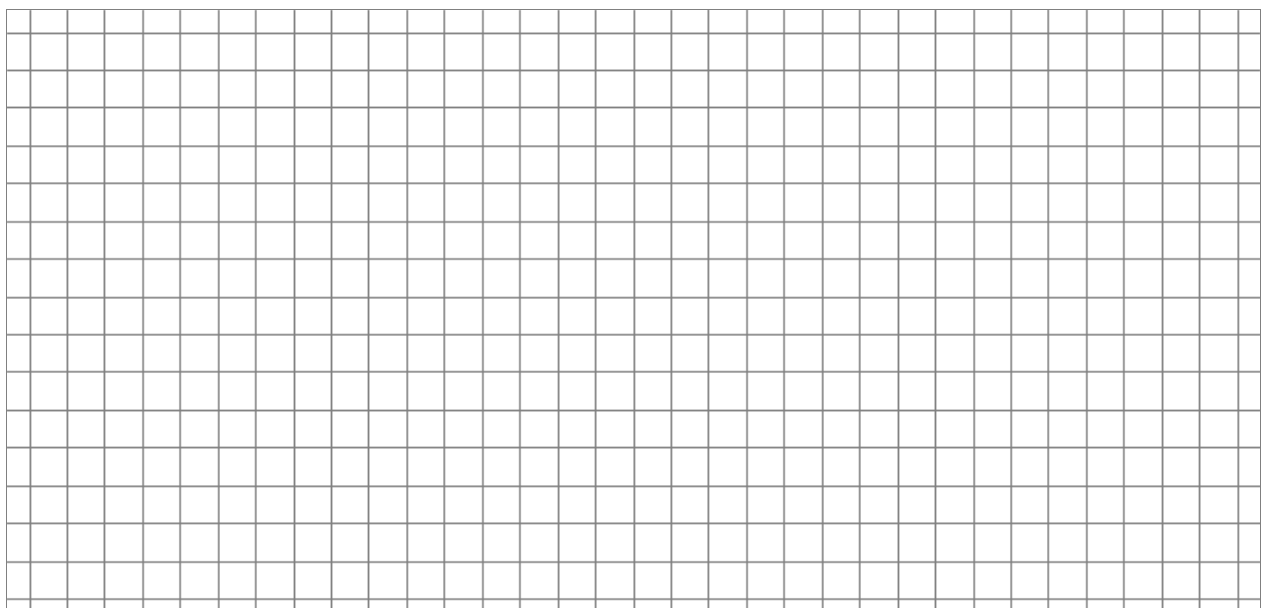
## Vorüberlegungen

Im folgenden Versuch soll anhand der Geschwindigkeiten zweier Wagen vor und nach einem inelastischen Stoß der Impulserhaltungssatz bestätigt werden. Der Sensor der WiiMote misst zwar nur Beschleunigungen, wir können die zugehörigen Geschwindigkeiten jedoch mit Hilfe von Excel leicht bestimmen:

- Geben Sie jeweils eine **Gleichung** an, mit der man die eingefärbte **Fläche** unter dem Graphen berechnen kann!



- Nennen Sie die **physikalischen Größen**, die den Flächen unter den Kurven entsprechen:
  - Fläche unter der **Geschwindigkeitskurve** entspricht \_\_\_\_\_
  - Fläche unter der **Beschleunigungskurve** entspricht \_\_\_\_\_
- Im Versuch werden wir einen Wagen leicht anstoßen, so dass er auf einen zweiten, ruhenden, auffährt. Formulieren Sie **begründete Hypothesen** zu folgenden Fragestellungen:
  - Wie verläuft die **Bewegung** der beiden Wagen beim inelastischen Stoß?
  - Wie verändern sich die **Geschwindigkeiten und Impulse** der Wagen beim inelastischen Stoß?
- Wie kann man aus der **Beschleunigung** eines Wagens dessen **Impuls** bestimmen?





## Experiment:

### Materialien:

- Zwei WiiMotes und Laptop mit „WiiMote Physics“ und Excel
- Zwei Rollwagen
- Knete und Reißzwecke
- Klebeband
- Waage
- Fahrbahn

### Vorbereitung:

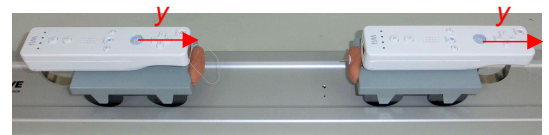
- „WiiMote Physics“-Einstellungen überprüfen
- **Befestigung** der WiiMotes auf den Wagen
- beide Wagen wiegen, **Massendifferenz** bei Bedarf mit Knetestücken ausgleichen

### Durchführung:

- Wagen so **ausrichten**, dass Knetestücke aufeinander zeigen
- Messung **starten**
- einen Wagen in Richtung der positiven y-Achse (siehe Bild) leicht **anstoßen**, so dass er auf den ruhenden Wagen auffährt
- nach Ende der Bewegung Messung **stoppen**

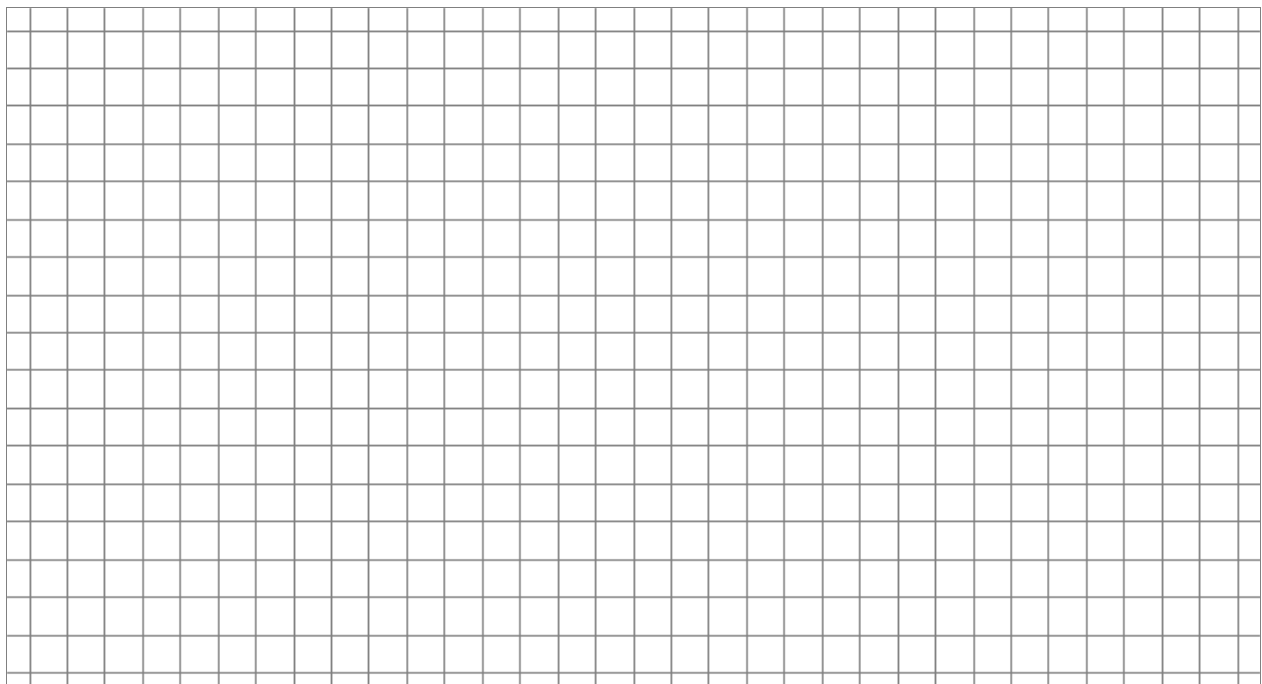
### WiiMote Physics-Einstellungen

- Scan Mode: Accelerometer
- Display: y-Acceleration



### Beobachtung:

- **Vergleichen** Sie den erhaltenen **Kurvenverlauf** mit Ihren zuvor aufgestellten **Hypothesen!**  
**Erläutern** Sie, wo sich die WiiMotes jeweils in den **verschiedenen Abschnitten** der Kurve befinden bzw. wohin sie sich bewegen!

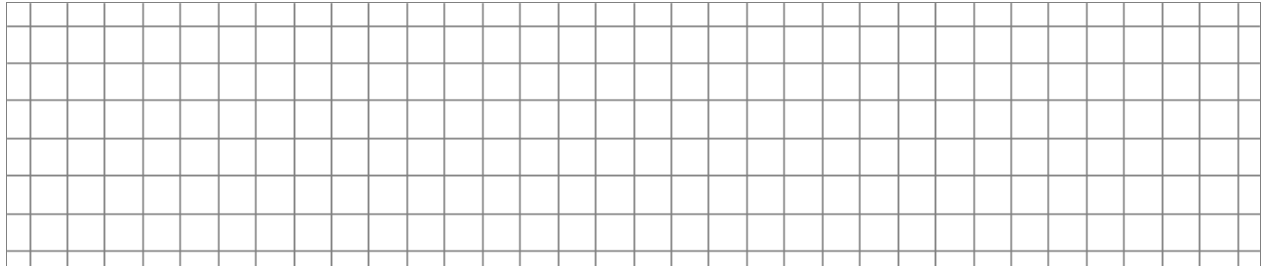




### Computergestützte Auswertung:

- Geben Sie an, welchen **Teil Ihrer Messdaten** man benötigt, um die Geschwindigkeiten der Wagen direkt vor und nach dem Stoß zu bestimmen. **Begründen** Sie Ihre Antwort!

(Tipp: Erinnern Sie sich daran, dass die Geschwindigkeit zu einer Zeit  $t$  der Fläche unter der Beschleunigungskurve bis zu diesem Zeitpunkt entspricht!)



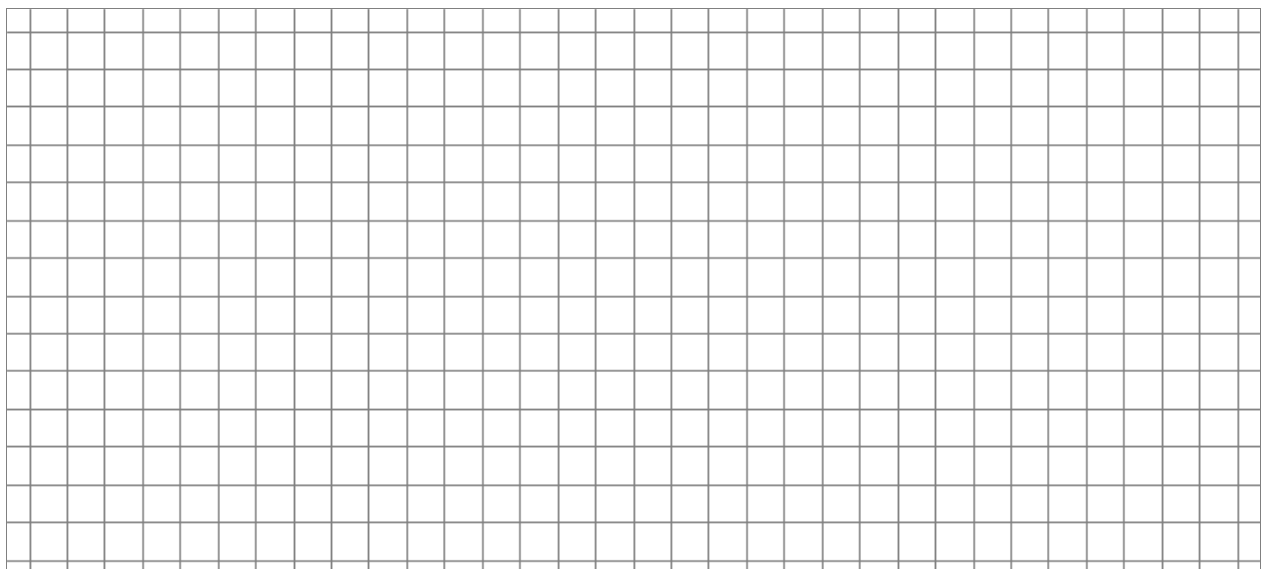
- Daten als csv-Datei **abspeichern** und in **Excel** öffnen (einfach auf Datei doppelklicken)
- aus Messdatentabelle zur Geschwindigkeitsbestimmung **benötigte Daten kopieren**
- vorbereitete **Auswertungstabelle** öffnen, kopierte Daten in entsprechenden markierten Bereich einfügen
- automatische Anzeige** in der Tabelle:
  - theoretisch berechnete Geschwindigkeiten



- Geben Sie die von der Tabelle bestimmten **Geschwindigkeiten** hier an!

	vor dem Stoß	nach dem Stoß
Wagen 1		
Wagen 2		

- Beurteilen** Sie, wie gut Ihre experimentellen Ergebnisse die Erhaltung des Impulses bestätigen. Nennen Sie **Fehlerquellen** bei Ihrer Messung und Möglichkeiten, wie man sie beheben könnte!



# Versuchsprotokoll

Schule: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Codes **aller** Gruppenmitglieder:

-----

*(letzte zwei Buchstaben des Vornamens,  
erste zwei Buchstaben des Geburtsmonats,  
erste zwei Buchstaben der Wohnstraße)*



## Experiment: Radialbeschleunigung

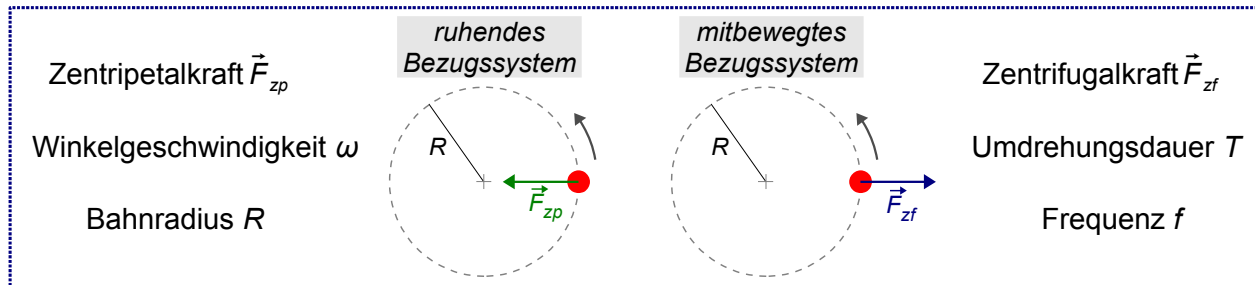


Jeder kennt das Phänomen: Sitzt man in einem Karussell, das sich dreht, so spürt man, dass man nach außen gedrückt wird. Mit der folgenden Messung lässt sich herausfinden, wie diese Radialbeschleunigung von der Rotationsgeschwindigkeit abhängt, mit der sich die WiiMote im Kreis bewegt.



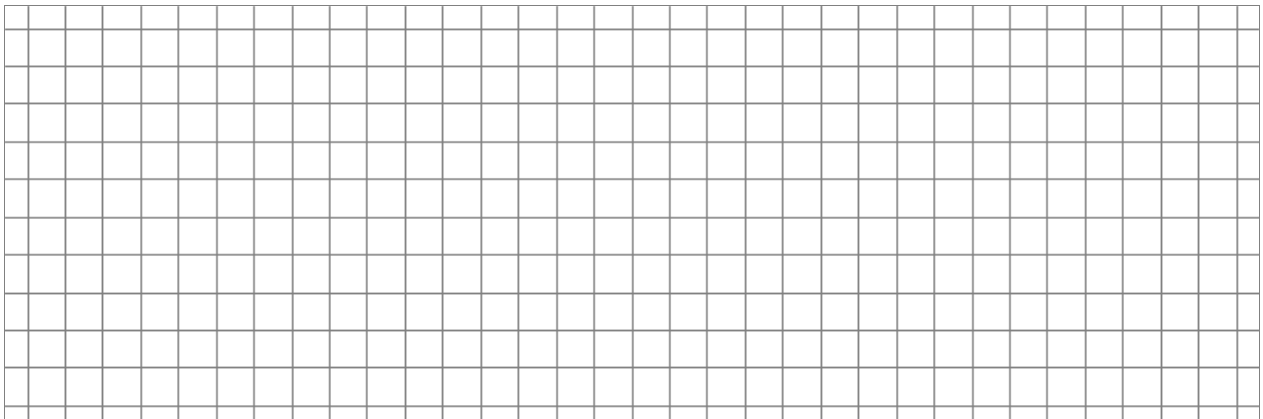
## Vorüberlegungen

Im Folgenden soll eine gleichförmige Kreisbewegung betrachtet werden. Rufen Sie sich mit Hilfe der Begriffe und den Zeichnungen in Erinnerung, mit welchen Größen man eine solche Bewegung beschreiben kann.



Da der Sensor sich bei der gesamten Messung in der WiiMote befindet, ermittelt er die Beschleunigungswerte immer bezogen auf das bewegte System des Geräts. Die angezeigte Radialbeschleunigung entspricht daher nicht der nach innen gerichteten Zentripetal-, sondern der nach außen gerichteten Zentrifugalbeschleunigung.

- Formulieren Sie je eine **begründete Hypothese** zu folgenden Fragestellungen:
  - Wie hängt die **Radialbeschleunigung  $a_r$**  von der **Kreisfrequenz  $\omega$**  ab?
  - Wie lässt sich der **Radius** der Rotation aus den Beschleunigungsdaten bestimmen?



- Fertigen Sie eine **beschriftete Zeichnung** des erwarteten Verlaufs der **Radialbeschleunigung** bei der Rotation der WiiMote mit Hilfe des gegebenen  $a(t)$ -Diagramms an!





## Experiment:

### Materialien:

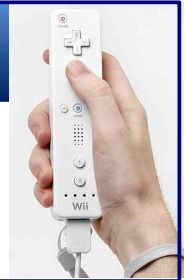
- WiiMote und Laptop mit „WiiMote Physics“ und Excel
- Elektromotor mit Drehscheibe
- Lineal
- Klebeband
- Stoppuhr

### Vorbereitung:

- „WiiMote Physics“-Einstellungen überprüfen
- **Befestigung** der WiiMote auf der Scheibe überprüfen (soll mit der Hand nicht ohne größeren Kraftaufwand verschiebbar sein), bei Bedarf verstärken
- bei Durchführung des Versuchs darf **Beschleunigung  $\pm 5g$**  nicht übersteigen (Überschreitung des Messbereichs)

#### WiiMote Physics-Einstellungen

- Scan Mode: Accelerometer
- Display: y-Acceleration



### Durchführung:

- Radius **bestimmen**:  $R = \underline{\hspace{2cm}}$   
(vom Beschleunigungssensor beim A-Button bis zum Mittelpunkt der Scheibe)
- Messung **starten**
- Rotationsfrequenz **einstellen**
- Dauer einer Umdrehung mit Stoppuhr **messen**  
(mehrere Umdrehungen messen und durch deren Anzahl dividieren)
- Rotation und Messung **stoppen**
- aus Diagramm Mittelwert der Radialbeschleunigung **abschätzen**

### Messwerte:

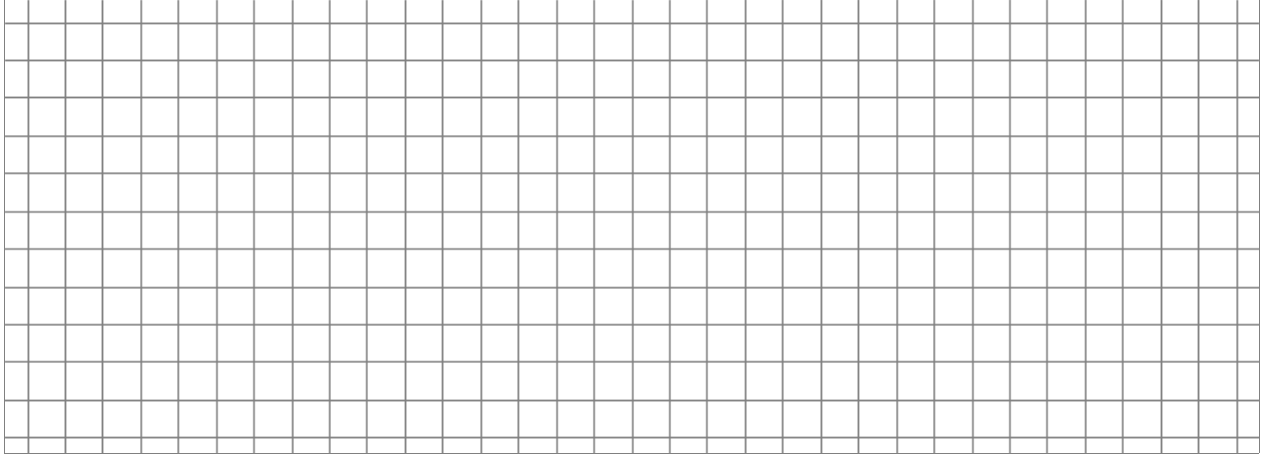
- Messung fünf Mal mit gleichem Radius, aber unterschiedlicher Rotationsfrequenz wiederholen, Messwerte in Tabelle eintragen

Radius in m	$a_y$ in g	Umdrehungsdauer in s



### Beobachtung:

- **Vergleichen** Sie den erhaltenen **Kurvenverlauf** mit Ihren zuvor aufgestellten **Hypothesen** und beschreiben Sie Ähnlichkeiten und Unterschiede Ihres erwarteten und des gemessenen Diagramms! **Erläutern** Sie, wo sich die WiiMote jeweils in den **verschiedenen Abschnitten** der Kurve befindet!

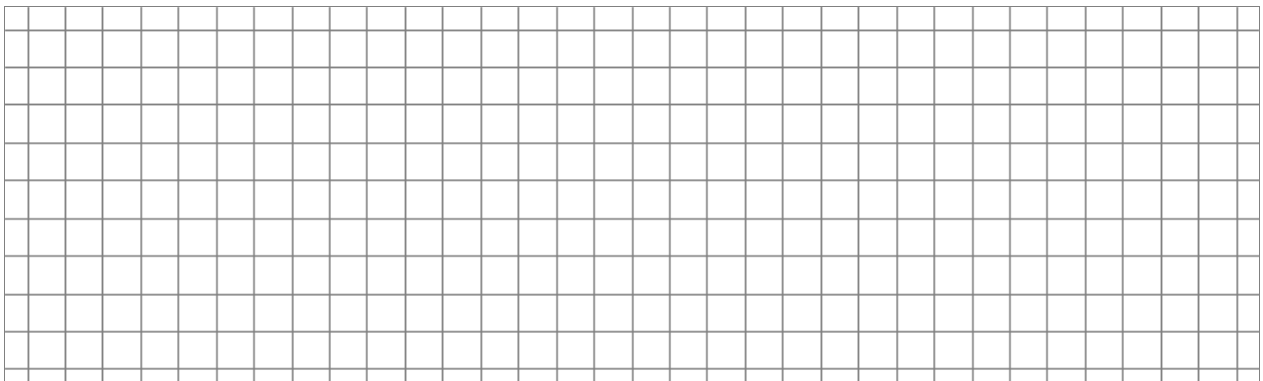


### Computergestützte Auswertung:

- vorgefertigte **Auswertungstabelle** öffnen
- Daten aus obiger Wertetabelle in blaue Zellen **eintragen**
- **automatische Anzeige** in der Tabelle:
  - theoretisch berechnete Periodendauer
  - $a(\omega)$ -Diagramm
  - $a(\omega^2)$ -Diagramm mit Ausgleichsgerade



- **Beurteilen** Sie, wie gut die berechneten Zeiten den Ergebnissen Ihrer Kontrollmessung mit der Stoppuhr entsprechen.



- Nennen Sie die physikalische Größe, die durch die **Steigung der Ausgleichsgeraden** angegeben wird. **Beurteilen** Sie, wie gut der von Ihnen gefundene Wert mit Ihrem Kontroll-Messwert der Größe übereinstimmt!

[illegible]

- Nennen Sie **Fehlerquellen** bei Ihrer Messung und Möglichkeiten, wie man sie beheben könnte!

A large grid of graph paper with 20 columns and 10 rows. The grid is composed of small squares, with a larger square in the top-left corner, likely for a title or drawing. The rest of the grid is a uniform 19x9 area of smaller squares.



# Versuchsprotokoll

Schule: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Codes **aller** Gruppenmitglieder:

-----

*(letzte zwei Buchstaben des Vornamens,  
erste zwei Buchstaben des Geburtsmonats,  
erste zwei Buchstaben der Wohnstraße)*



## Experiment: Fadenpendel



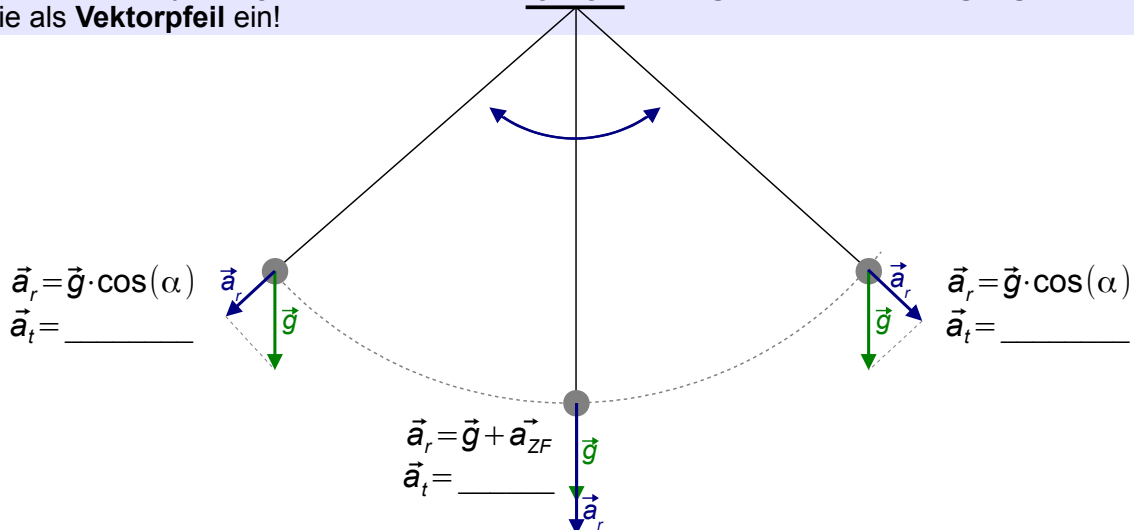
Nicht nur für Tarzan sind sie entscheidend: Pendelbewegungen begegnen uns häufig in unserem Alltag, sei es bei Kinderschaukeln, alten Standuhren oder Schaukelstühlen. Harmonische Schwingungen wie die eines Fadenpendels sind außerdem ein wichtiges Teilgebiet der Physik, da sie die Basis für das Verständnis vieler anderer Prozesse, z.B. in der Akustik oder in der Atomphysik, bilden. Im folgenden Versuch kann nicht nur die Schwingungsdauer eines Pendels, sondern auch der Beschleunigungsverlauf bei seiner Bewegung untersucht werden.



## Vorüberlegungen

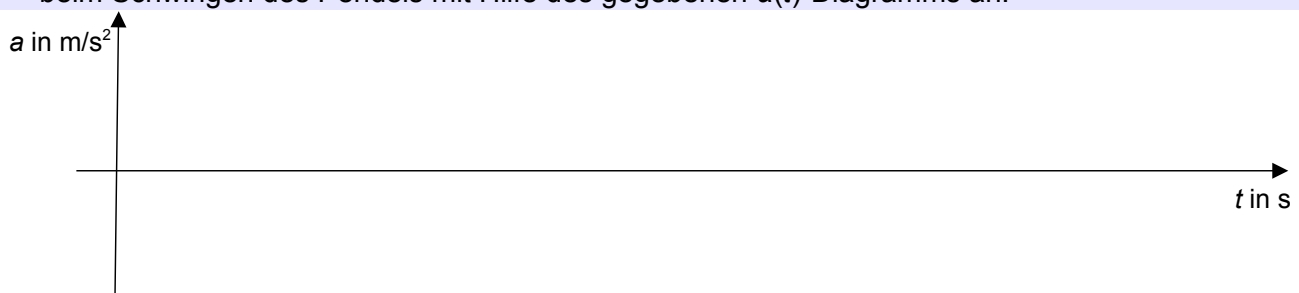
Da die Beschleunigung in Bewegungsrichtung des Pendels (die Tangentialbeschleunigung) sehr klein und daher schwierig zu messen ist, wollen wir im Folgenden die Radialbeschleunigung (in Richtung des Fadens) betrachten. Rufen Sie sich zunächst in Erinnerung, mit welchen Beschleunigungen die Bewegung eines Fadenpendels beschrieben werden kann. Die untenstehende Grafik zeigt dazu die Ruhelage und die Umkehrpunkte einer Pendelschwingung.

- Geben Sie für die jeweilige Phase der Schwingung die **Tangentialbeschleunigung** an und zeichnen Sie sie als **Vektorpfeil** ein!

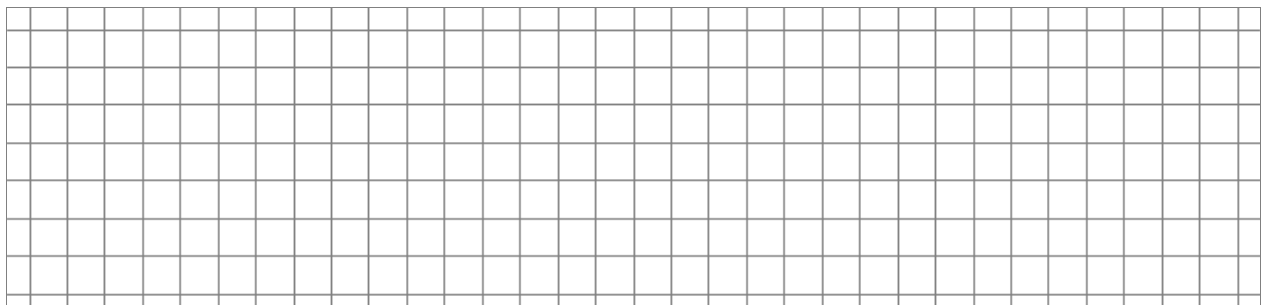


Bei den angegebenen Radialbeschleunigungen ist zu beachten, dass der Sensor mit der WiiMote schwingt und daher immer die Beschleunigungswerte bezogen auf das bewegte System des Geräts ermittelt. Die angezeigte Radialbeschleunigung entspricht daher nicht der nach innen gerichteten Zentripetal-, sondern der nach außen gerichteten Zentrifugalbeschleunigung.

- Fertigen Sie eine **beschriftete Zeichnung** des erwarteten **Verlaufs der Radialbeschleunigung** beim Schwingen des Pendels mit Hilfe des gegebenen  $a(t)$ -Diagramms an!



- Formulieren Sie je eine **begründete Hypothese** zu folgenden Fragestellungen:
  - Wie viele **Perioden** durchläuft die Kurve der Radialbeschleunigung während einer vollen Pendelschwingung?
  - Wie lässt sich die **Erdbeschleunigung** aus den Beschleunigungsdaten bestimmen?





## Experiment:

### Materialien:

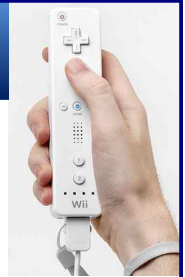
- WiiMote und Laptop mit „WiiMote Physics“ und Excel
- Pendelaufhängung
- Metermaß

### Vorbereitung:

- „WiiMote Physics“-Einstellungen überprüfen
- **Befestigung** der WiiMote überprüfen und bei Bedarf erneuern

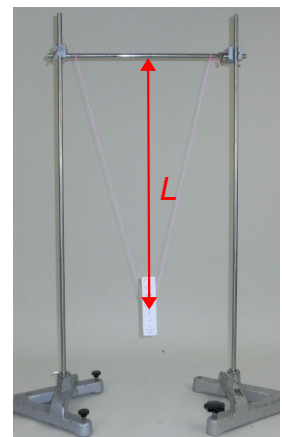
#### WiiMote Physics-Einstellungen

- Scan Mode: Accelerometer
- Display: y-Acceleration



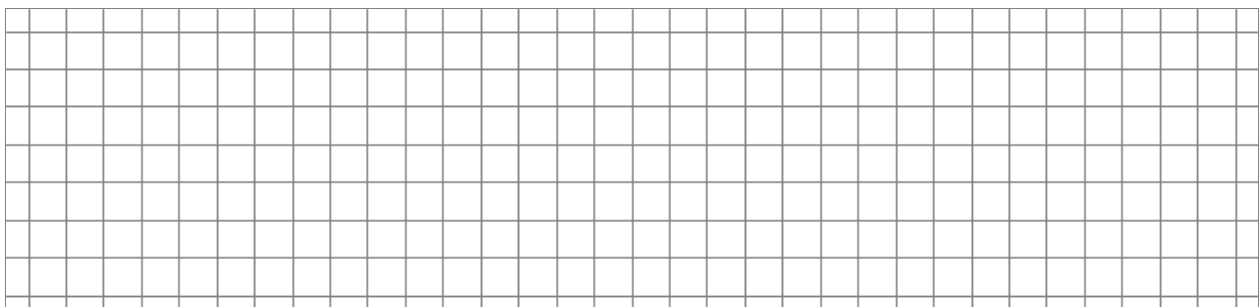
### Durchführung:

- **Pendellänge** messen:  $L = \underline{\hspace{2cm}}$   
(bis zum Schwerpunkt in der Mitte der WiiMote)
- Messung **starten**
- Pendel **auslenken und loslassen**
- etwa **20 Perioden** lang schwingen lassen
- Messung und Schwingung **stoppen**

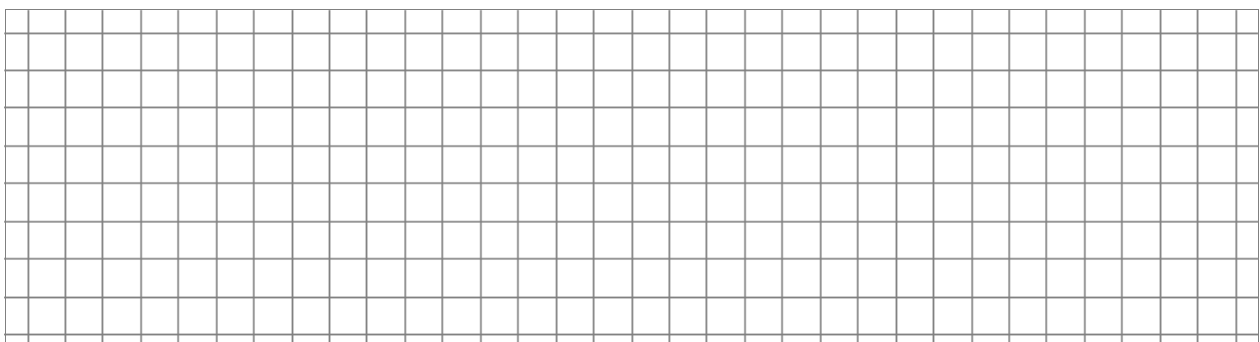


### Beobachtung:

- **Vergleichen** Sie den erhaltenen **Kurvenverlauf** mit Ihren zuvor aufgestellten **Hypothesen** und beschreiben Sie Ähnlichkeiten und Unterschiede Ihres erwarteten und des gemessenen Diagramms!




- **Erläutern** Sie, wo sich die WiiMote an **Hochpunkten, Tiefpunkten und Nulldurchgängen** der Beschleunigungskurve jeweils befindet!



**Auswertung:**

- Daten als csv-Datei **exportieren** (abspeichern) und in Excel **öffnen** (doppelt auf Datei klicken)
- Periodendauer der Schwingung (nicht der Radialbeschleunigung!) aus **Datentabelle** entnehmen
- Erdbeschleunigung  $g$  aus gemessenen Daten **berechnen**:
  - Pendellänge  $L = \underline{\hspace{2cm}}$
  - Periodendauer  $T = \underline{\hspace{2cm}}$
  - Erdbeschleunigung  $g \approx \underline{\hspace{2cm}}$

- **Beurteilen** Sie, wie gut der von Ihnen gefundene Wert für die **Erdbeschleunigung** mit dem **Literaturwert** übereinstimmt!



- **Nennen Sie Fehlerquellen** bei Ihrer Messung und Möglichkeiten, wie man sie beheben könnte!

A large grid of graph paper with 20 columns and 15 rows. The grid is composed of small squares, with a slightly larger margin at the top for writing.