Experimente im Physikunterricht zur Energie

MNU-Tagung Bremerhaven 2013

Hans-Otto Carmesin
Athenaeum Stade, Studienseminar Stade, Universität Bremen
www.hans-otto.carmesin.org, Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

Ziele

- Hohe Lernwirksamkeit [H09,M98,H98] Effektstärke d > 0,4
- SchülerInnen nehmen wahr [C01] , erkunden & experimentieren
  - Auf Basis bisheriger Kompetenzen, d = 1,48
  - Mit sinnvollen [K93] Kontexten, d = 1,37
  - Erkennen bekannter Strukturen, d = 1,32
    - Lebenswelt
    - Physikalische Prinzipien
  - Grafisch darstellend, d = 1,24
  - Herausfordernde Aktivität, d = 1,23
  - Aufstellen und Testen von Hypothesen, d = 1,14

- Leitidee Energie
  - UE für 14 Wochen mit je 90 min Unterricht in Klasse 7/8
  - SchülerInnen entdecken energetische Prinzipien und relevante Konzepte → Leitidee fruchtbar
- SchülerInnen erleben sich als
  - Wirksam Experimentierende
  - Die Lebenswelt, Natur, Körperfunktionen und Technik **Verstehende**
  - Physikalisch effizient **Handelnde**

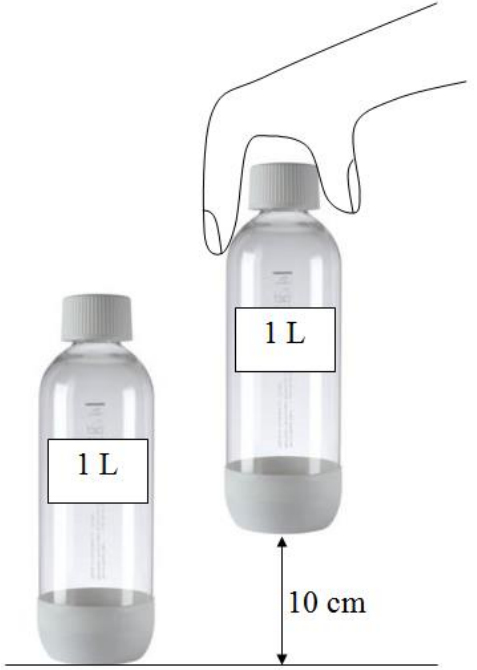
[H09] Hattie, John: Visible Learning, Routledge, London, 2009.
[M98] Marzano, Rober J.: A Theory-Based Meta-Analysis of Research on Instruction. Mid-continent Educational Laboratory, Aurora, Colorado, 1998. URL: www.mcrel.org. Download 2011.
[H98] Häußler, Peter; Bünder, Wolfgang; Duit, Reinders; Gräber, Wolfgang und Mayer, Jürgen: Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Kiel, IPN, 1998.
[C01] Carmesin, Hans-Otto: Einführung des Energiebegriffs mit Hilfe menschlicher Sinnesorgane. In: DPG, Tagungs-CD Fachdidaktik Physik, 2001.
[K93] Klafki, Wolfgang: Grundlinien einer gegenwarts- und zukunftsbezogenen Konzeption. Pädagogische Welt, S. 28-33, 1993.

Wir brauchen Energie

- SchülerInnen erkunden, wozu wir die Energie einer Batterie brauchen:
  - Smartphone kann Erleuchten, & Ertönen
  - Elektromagnet kann Bewegen & Heben
  - USB-Platte an Notebookakku kann Erwärmen, Schmelzen & Verdampfen
  - Blutdruckmessgerät kann Verdichten, Biegen & Spannen
- Fazit: Wir brauchen Energie zum Erleuchten, Ertönen, Bewegen, Heben, Erwärmen, Schmelzen, Verdampfen, Verdichten, Biegen & Spannen
- Umkehrung: SchülerInnen erwärmen auch mit
  - Gasfeuerzeug (Gas), Stearin, Spiritus (Alkohol), Öllampe (Öl), Kohle (Grill)
- Fazit: Energie ist gespeichert in
  - Batterien, Akkus, Gas, Öl, Stearin, Benzin, Diesel, Kohle, Alkohol und somit Getreide sowie Nahrungsmittel
- Ergebnis: Wir brauchen Energie zum Leben und zum Betrieb technischer Geräte.

Wir speichern Energie

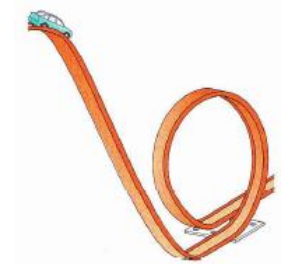
- Heben
  - Wenn wir 1 Liter Wasser 10 cm heben, dann führen wir die Energie 1 Joule zu.
  - Schüler schöpfen Wasser
  - E ~ H und E ~ M
- Kochen
  - Schüler kochen Wasser
  - Energiemessgerät
  - 4 kJ je kg und Grad
  - Solarkocher 700 J/s
- Energieübertragung dabei mit
  - Seil
  - Kabel
  - Licht



Wir wandeln Energie um

chemische Energie → Öllampe → thermische Energie

innere Energie → Er-starrung → thermische Energie [K13]



Höhen-energie → Abfahrt → Bewegungs-energie → Looping Auffahrt → Höhen-energie

Lichtenergie → Solarzelle → Elektrische Energie

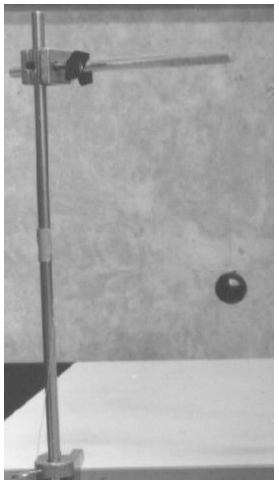
Bewegungs-energie → Windrad → Elektrische Energie

- SchülerInnen
  - Experimentieren
  - Klassifizieren
  - Ordnen
  - Stellen dar
  - Deuten
  - Bewerten

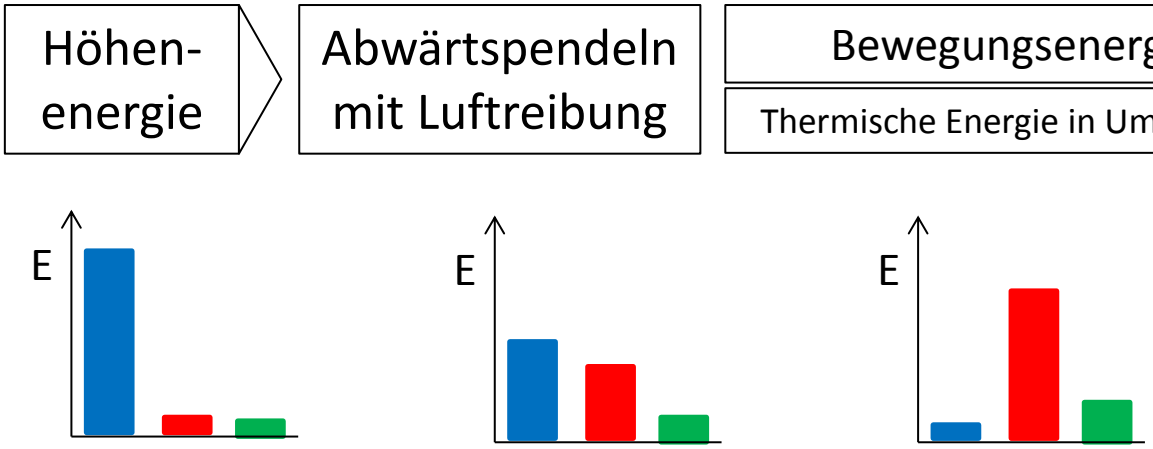
	Nahrung	Energie
Vorher: Sammeln	Pilze, Beeren	Kohle, Erdöl
Nachher: dauerhafte Gewinnung	Vieh, Getreide, Pflanzenöl	Windenergie, Solarenergie
Wechsel	Neolithische Revolution, 9000 v. Chr.	Energetische Erneuerung, aktuell

[K13] Kreier, Matthias: Analyse der Latentwärmespeicherung mit Phasenübergangsmaterialien im Kontext der Energiewende – ein Unterrichtsversuch im Physikunterricht in einer 9. Klasse des Gymnasiums. Hausarbeit, Studienseminar Stade, 2013.

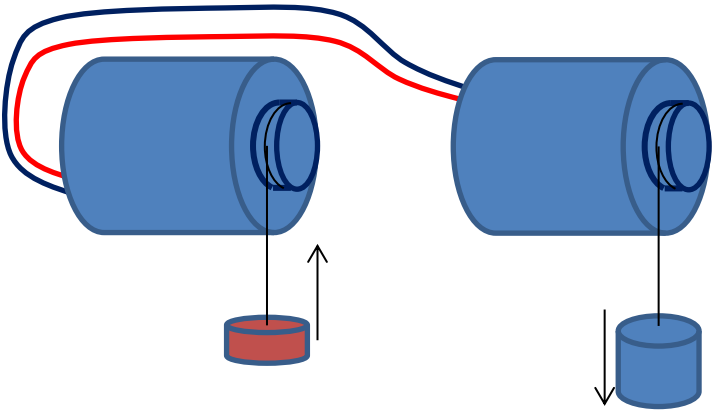
Wir entdecken Prinzip: Erhaltung



- SchülerInnen vermuten: Energie bleibt erhalten
  - Pendel, Newton-Pendel
  - $E_{H1} \rightarrow E_{kin} \rightarrow E_{H2}$
  - H1 = H2
  - $E_{H1} = E_{H2}$
  - Im Prinzip ja
- SchülerInnen vermuten: Energie bleibt nur teils erhalten
  - Höhe nimmt langsam ab → Pendel verliert Energie
  - Deutung: Wenig Energie wandert durch Luftreibung in Umgebung
- SchülerInnen stellen dar
  - Energieflussdiagramm
  - Energiekontenmodell

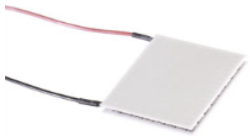


Sind energetische Vorgänge umkehrbar?



E_H → Dyna-mot → E_{el} → Dyna-mot → E_H / $E_{thermisch}$ Umgebung

$E_{thermisch}$ Tasse → Tasse → $E_{thermisch}$ Umgebung

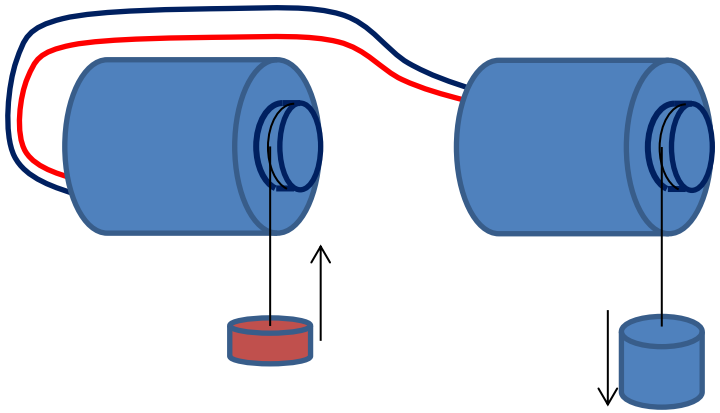


$E_{elektrisch}$ / $E_{thermisch}$ Umgebung → Peltier-Element → $E_{thermisch}$ Tasse → Peltier-Element → $E_{elektrisch}$ / $E_{thermisch}$ Umgebung

- SchülerInnen vermuten Umkehrbarkeit
  - Umkehrung unvollständig: Dynamot, Peltier-Element
  - Umkehrung von alleine unmöglich: Tasse verliert $E_{thermisch}$ an Umgebung
- **Prinzip**: Energie wird stets entwertet durch
  - Geringe Umkehrbarkeit des energetischen Prozesses
  - Verteilen in Umgebung

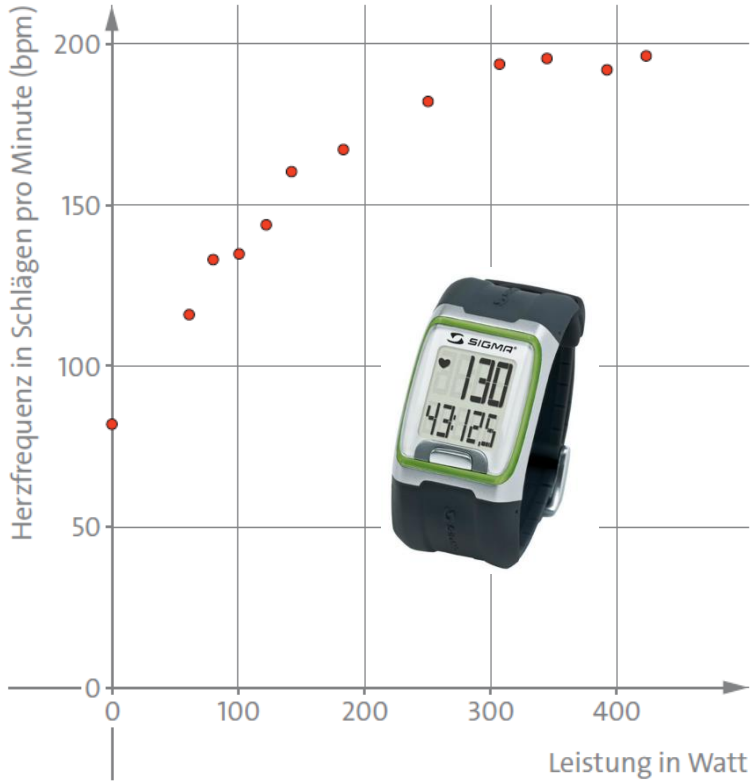
- Anwendungen
  - Wärmepumpe
  - Kühlschrank
  - Isolierung
  - Energieeffizienz

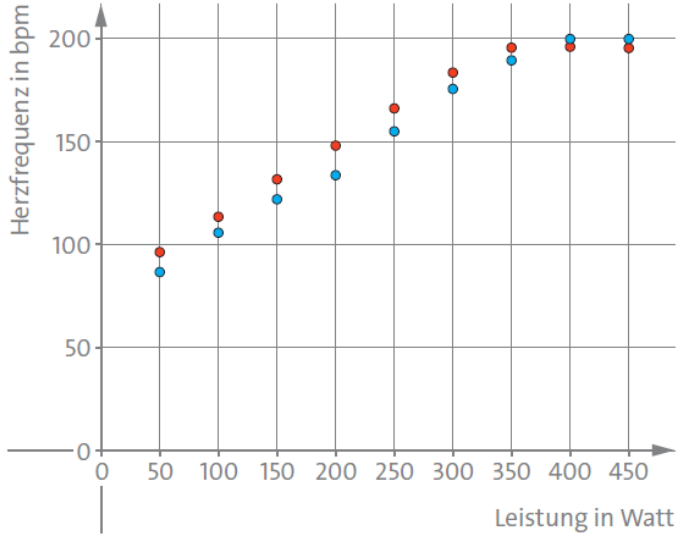
Wir erkunden Energieeffizienz



- SchülerInnen erkunden Dynamot:
  - M = 1 kg und H = 0,1 m → E = 1 J
  - **M_1 = 500 g und H = 0,1 m → E = 0,5 J**
  - **M_1 = 500 g und H = 1 m → E = 5 J**
  - **M_2 = 100 g und H = 1 m → E = 1 J**
  - Wirkungsgrad η = 1J/5J = 20 %
- Wirkungsgrad $\eta = E_{genutzt} / E_{zugeführt}$
- SchülerInnen erkunden Mikrowelle
  - 1 kg um 80 Grad erwärmt → E = 334 kJ
  - 100 g um 80 Grad erwärmt → E = 33,4 kJ
  - Elektrisch zugeführt: E = 140 kJ
  - Wirkungsgrad η = 33,4 kJ/140 kJ = 24 %
- SchülerInnen erkunden Wasserkocher
  - 1 kg um 80 Grad erwärmt → E = 334 kJ
  - Elektrisch zugeführt: E = 370 kJ
  - Wirkungsgrad η = 334 kJ/370 kJ = 90 %

Wir wandeln Energie bei Bewegung um





- SchülerInnen messen Leistung beim Treppensteigwettkampf:
  - H = 15 m, M = 65 kg, t = 26 s
  - M_1 = 1 kg & H = 0,1 m → E = 1 J
  - M_1 = 1 kg & H = 15 m → E = 150 J
  - M = 65 kg & H = 15 m → E = 9750 J
- Leistung P = E/t = 9750 J/26 s = 375 J/s = 375 W
- Grundbedarf: 5000 kJ/d = 5000 kJ/(24·3600s) = 60 W
- SchülerInnen erkunden Herzfrequenz f beim Treppensteigen [H12]
- Ruhepuls 82 bpm
- Bis 160 W: Linear bis 160 W: 0,5 bpm/W
  - Leistungsmessung: P = (f-82 bpm) ·2W/bpm
  - Verbrennung mit Sauerstoff: aerob
- Ab 300 W: Konstant mit f = 195 bpm
  - Dennoch Leistungssteigerung bis 420 W
  - Verbrennung ohne Sauerstoff: anaerob
- Bei 420 W
  - Muskeln nutzen 40 % → $P_{\text{Muskeln zugeführt}}$ = 420 W/0,4 = 1050 W → Schwitzen
  - Körper nutzt 25 % → $P_{\text{körper zugeführt}}$ = 420 W/0,25 = 1680 W
  - Würfelzucker 50 kJ → t = E/P = 12,5 kJ/420 W = 30 s
- Radrennfahrer Zurl f(P) vor und nach 0,5 a Training

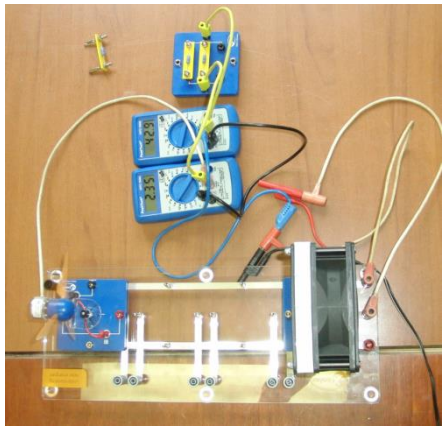
[H12] Hildebrandt, Heine: Entdeckung der Energieentwertung am Beispiel des menschlichen Muskels – ein Unterrichtsversuch im Physikunterricht in einer 7. Klasse des Gymnasiums. Hausarbeit, Studienseminar Stade, 2012.

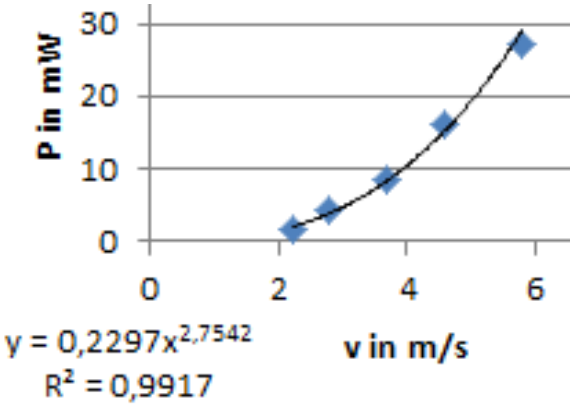
Wir erkunden energetische Erneuerung

- SchülerInnen messen Sonnenenergie mit Smartphone
  - via Androsensor: 65000 Lux mit 1 Lux = 0,014 W/m²
  - Pro m²: P_{zu} = 0,9 kW
- Bauer Schulze: 50 ha → wie viele kWh/a?
  - η = 40 %; 1000 Sonnenstunden/a [C09,C12]
  - Pro m²: P = 0,9 kW · 0,4 = 0,36 kW
  - 50 ha: P = 500 000 · 0,36 kW = 180 000 kW
  - Pro a: E = 180 000 kW · 1000 h = 180 Mio. kWh
- Verdient er genug?
  - Kaufpreis: 260 €/m² bis 520 €/m²
  - 700m·700m·260€/m² = 127,4 Mio. € → Brauche Kredit. ☹
  - Kreditkosten im Jahr:
  - 5% Rückzahlung: 6,4 Mio. € & 3% Zinsen: 3,8 Mio. €
  - Zusammen: 10,2 Mio. €
  - Jahreseinnahme: Strombörse: 0,06 €/kWh
  - 180 Mio. kWh·0,06€/kWh = 10,8 Mio. €
  - Jahresüberschuss: 10,8 Mio. € - 10,2 Mio. € = 0,6 Mio. € ☺
- Genug für Deutschland?
  - $P_{elektrisch}$ = 600 000 Mio kWh/a & 357 000 km²
  - 600 000/180 = 3400 Höfe → 1700 km² →0,48 % der Fläche in D

[C09] Carmesin, Hans-Otto: Projekttag Energie in Klasse 7: Von Fotovoltaik bis Biodiesel. In: Nordmeier, Volker; Grötzebauch, H. (Hrsg.): Tagungs-CD Fachdidaktik Physik, 2009. ISBN: 978-3-86541-371-0.
[C12] Carmesin, Hans-Otto; Martens, Klaus; Rösler, Karl: Fotovoltaik im Unterricht: Dreifacher Wirkungsgrad – eine Revolution in der Energietechnik? MNU 65/6, 2012, S. 340-348.

Wir erkunden energetische Erneuerung

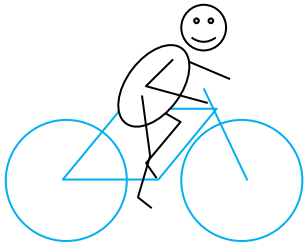




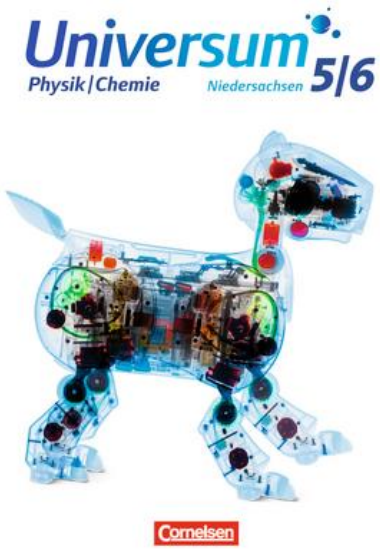
- SchülerInnen messen Windenenergie:
  - Radius 6,2 cm → $P \sim v^3$
  - Gut für windreiche Standorte ☺
- Bauer Schulze: 50 ha → wie viele kWh/a?
  - Windrad: 7500 kW; 2000 Windstunden/a
  - Pro a: E = 7500 kW · 2000 h = 15 Mio. kWh
- Verdient er genug?
  - Kaufpreis: 10 Mio. € → Brauche Kredit. ☹
  - Kreditkosten im Jahr:
  - 5% Rückzahlung: 500 000 € & 3% Zinsen: 300 000 €
  - Zusammen: 800 000 €
  - Jahreseinnahme: Strombörse: 0,06 €/kWh
  - 15 Mio. kWh·0,06€/kWh = 900 000 €
  - Jahresüberschuss: 100 000 € ☺
- Genug für Deutschland?
  - $P_{elektrisch}$ = 600 000 Mio kWh/a & 357 000 km²
  - 600 000/15 = 40 000 Höfe → 20 000 km²
  - 5,6 % der Fläche in D
  - Standfläche je 1000 m² → 0,01 % der Fläche in D

Zusammenfassung

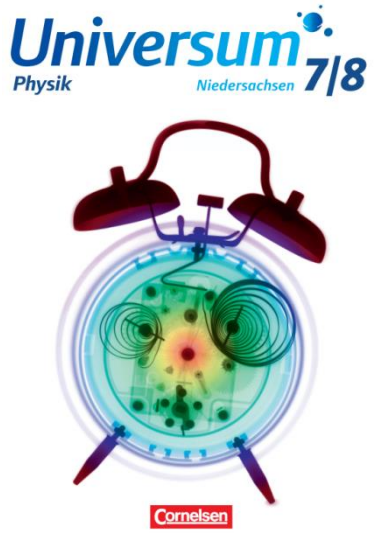
- Erfahrung aus dem Unterricht
- Schüler …
  - Entwickeln experimentelle Kompetenz
  - Entdecken Prinzipien
  - Messen relevante Wirkungsgrade
  - Messen Körperleistung & Puls
  - Verstehen Zusammenhänge
  - Berechnen energetische Erneuerung
  - Bewerten energetische Alternativen
- Leitidee Energie wird lernwirksam
- Viele Schüler sind motiviert
  - Z. B. für Schülerprojekte, Jugend forscht …
- Passende Experimente machen den Unterricht
  - Lebendig, gehaltvoll & lernwirksam



Universum, Cornelsen 2012/2013



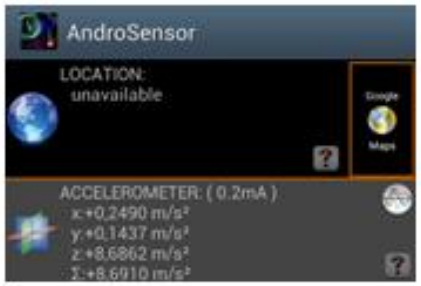
- 3 Seiten: Verständliche Themendarstellung
  - Sanfte Einstiege anhand Lebenswelt
  - Einleuchtende Bilder und Texte regen zu Entdeckungen an
  - Erklärungen
  - Merksätze
  - Aufgaben: Progressiv
- + 1 Seite: Aktivierendes Material
  - Heimversuche
  - Lernmaterial mit Aufgaben: Vielseitig, binnendifferenzierend
- Methodenseiten:
  - befähigen Schülerinnen & Schüler zu eigenständigem Handeln
  - Binnendifferenzierung
- Blickpunkte: Highlights, Vernetzung, Binnendifferenzierung, Zukunftsbedeutung
- Löser mit didaktischen Hinweisen
- Durch Binnendifferenzierung auch für Oberschulen zugelassen
- Band 7/8 Vorabdruck

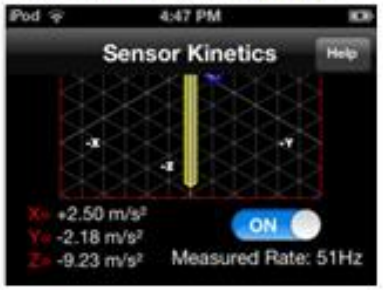


Anhang: Physikalische Messungen mit dem Smartphone

Infoblatt, Klasse 10, Dr. Carmesin, 2013

Wie messe ich die Beschleunigung mit dem Smartphone?





Zuerst lade ich eine passende App herunter:

- „AndroSensor“ für Android zeigt den Betrag a sowie die drei Komponenten a_x, a_y und a_z in m/s^2 als Zahlen an.
- „Physic Toolbox Accelerometer“ für Android zeigt den Betrag a sowie die drei Komponenten a_x, a_y und a_z in g als Graph an.
- „Sensor Kinetics“ für iOS zeigt die drei Komponenten ax, ay und az in m/s^2 als Zahlen an.

So mache ich einen Screenshot beim Galaxy S4:

- Ich drücke Ein- und Hometaste gleichzeitig.
- Ich rufe die Galerie auf.

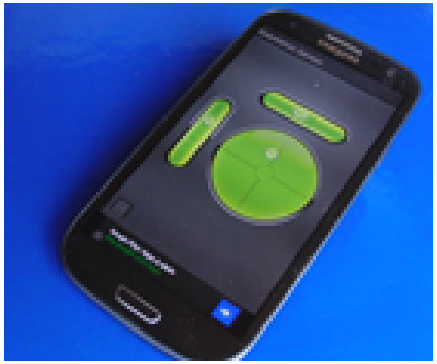
So zeichne ich mit Physics Toolbox Daten auf:

- Ich wähle „Record“
- Ich wähle „Stop“
- Ich wähle Email und versende oder speichere die Daten

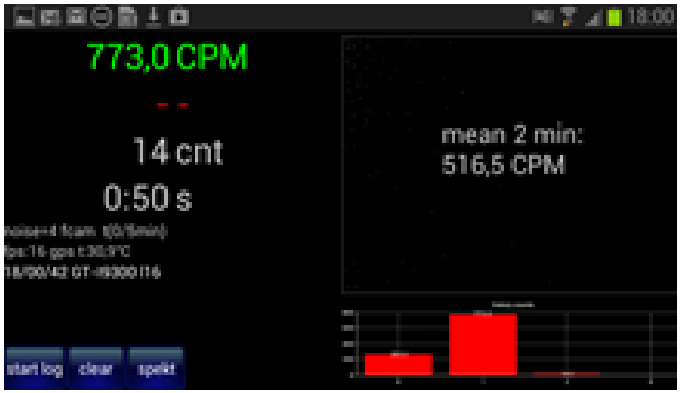
Anhang: Physikalische Messungen mit dem Smartphone

Applets für physikalische Messungen

Andro sensor
Beschleunigung
Winkelgeschwindigkeit
Licht
Magnetfeld/magnetische Flussdichte
Orientierung
Luftdruck
Schall
Entfernung



Android Sensor Box
Beschleunigung
Winkelgeschwindigkeit
Licht
Magnetfeld/magnetische Flussdichte
Wasserwaage/Orientierung
Luftdruck
Schall
Entfernung

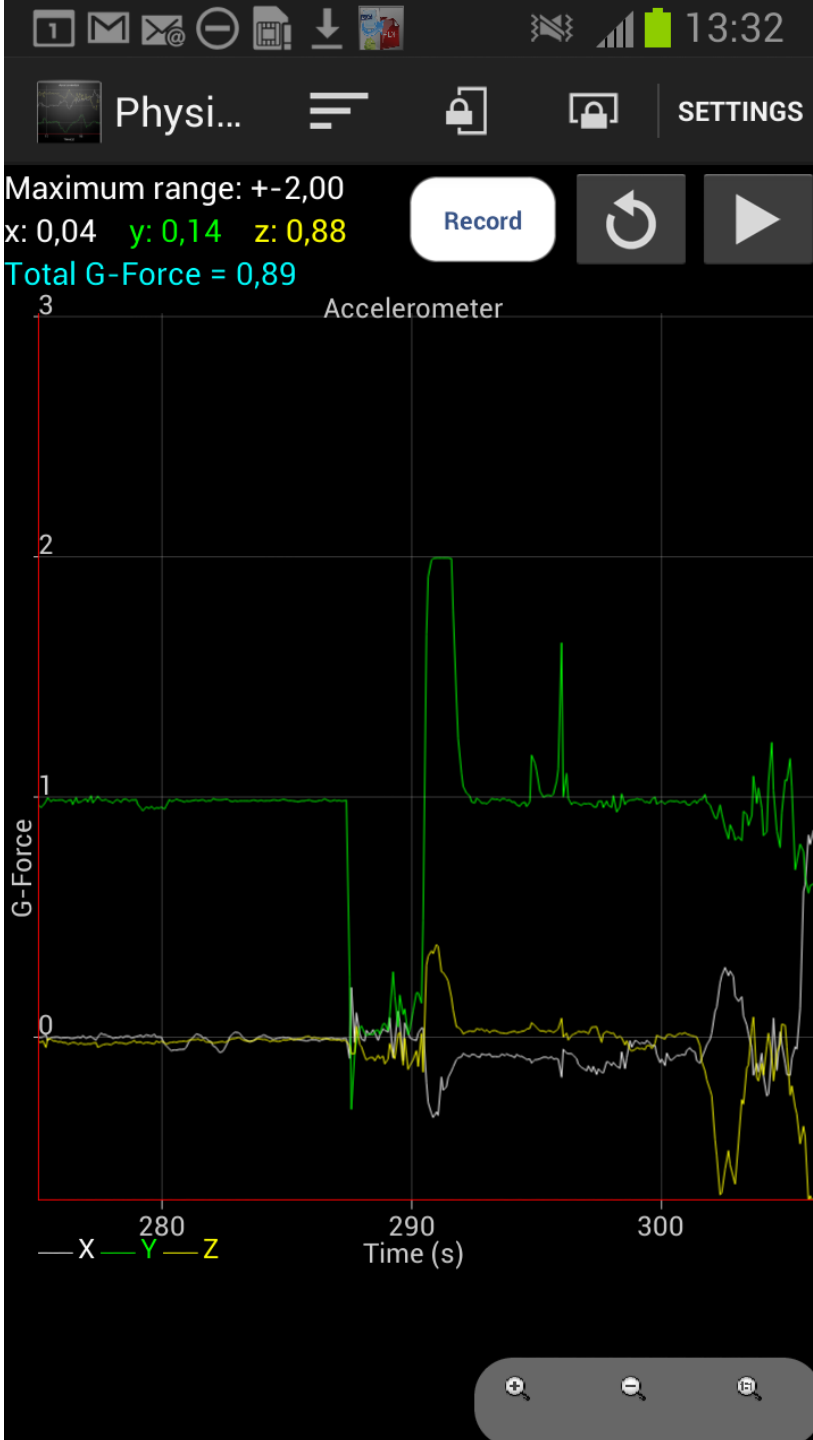


Radioaktivitätszähler

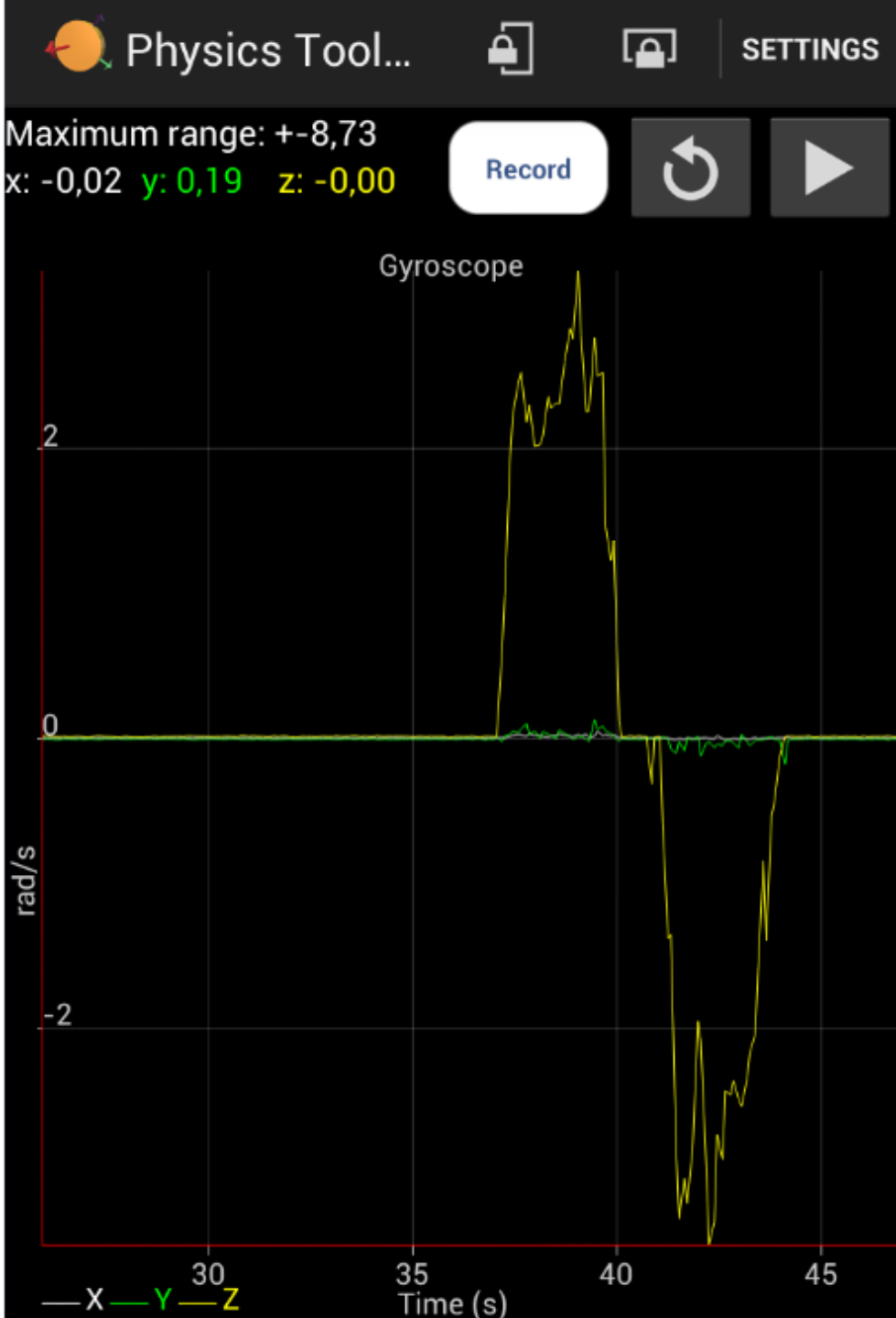
Anhang: Physikalische Messungen mit dem Smartphone

Physics Tollbox Accelerometer

Graph zur Beschleunigung



Anhang: Physikalische Messungen mit dem Smartphone

Physics Tollbox Gyroscope

Graph zur Winkelgeschwindigkeit