

# Zehn Jahre Computereinsatz im Grundpraktikum der Universität Bremen

Ilja Rückmann

Universität Bremen

Bad Honnef 2010



# Die experimentelle Grundausbildung findet in den Praktika statt

- physikalische Konzepte und Gesetze durch **eigenes Experimentieren** erlernen
- Vorkenntnisse **anwenden** und erweitern
- über physikalische Probleme **diskutieren**
- Laborbedingungen schaffen, um einen Zusammenhang zu untersuchen
- **experimentelles Geschick** und handwerkliche Fähigkeiten erwerben
- Messen, Auswerten und **Messergebnisse einschätzen**
- **Messtechniken**, Auswahl geeigneter Messmittel
- **strukturierte Darstellung** von Ergebnissen in Berichten, Vorträgen, Postern

# Gliederung

- 1 Physikalische Praktika in Bremen
- 2 Computereinsatz im Grundpraktikum
- 3 Gesamtprogramm und Beispiele des PC-Einsatzes
  - Mechanik
  - Optik und Thermodynamik
  - Elektrodynamik
  - Atomphysik
- 4 Erfahrungen und Konsequenzen

# Gliederung

- 1 Physikalische Praktika in Bremen
- 2 Computereinsatz im Grundpraktikum
- 3 Gesamtprogramm und Beispiele des PC-Einsatzes
  - Mechanik
  - Optik und Thermodynamik
  - Elektrodynamik
  - Atomphysik
- 4 Erfahrungen und Konsequenzen

# Physikalische Praktika in Bremen – ein Überblick

- Grundpraktika für 7 Studiengänge (ca. 500 Studenten/Semester)
- Fortgeschrittenenpraktikum (10 von 22 Versuchen)
- Projektpraktikum (Lehramt-NF)
- Schulgerätepraktikum (Lehramt HF und NF)
- Demonstrationsexperimente für Experimentalphysikvorlesungen
- Schülerlabor und Schülerprojekt-AG



# Das Bremer Konzept: „Offenes“ Praktikum

- Keine fest installierten Versuche
- inhaltliche Abstimmung mit Vorlesung/Übung
  - Versuche können modifiziert werden
  - Mehrfacheinsatz von Geräten
  - Neu- und Weiterentwicklung von Versuchen leicht möglich
  - Auswahl verschiedener Messmöglichkeiten
  - Nutzung der Geräte für: Projektpraktika, Schülerlabor, Schulgerätepraktikum, Hörsaalexperimente, Sonderveranstaltungen ...
  - jeweils 5 identische Versuchsaufbauten und 6 Themen parallel
  - Standzeiten der Versuche: 1, 3 oder 4 Wochen
  - breites Angebot: Über 70 Themen

# Praktikumsbegleitende Vorlesung: Präsentationstechniken 1 (2 SWS V+Ü, 3 CP)

## Präsentation von Messergebnissen und grafischen Darstellungen

- 1 Messen physikalischer Größen (Basiseinheiten und deren Genauigkeit, Messtechniken, Messunsicherheiten)
- 2 Fehlerarten, Fehlerfortpflanzung, systematische Restfehler ...
- 3 Grafische Darstellungen und Verfahren
- 4 Auswertesoftware: DIADEM, ORIGIN ...
- 5 Abfassen von Versuchsberichten (Abstract, Zusammenfassung ...)
- 6 Struktur und Gestaltung wissenschaftlicher Vorträge
- 7 Mikrotypografie, Urheberrecht, Leistungsrecht, Zitieren

## Studiengänge und Anzahl der Versuche

| Studiengang                              | SWS        | Sem. | Zahl der Versuche |
|--|------------|------|-------------------|
| VF/HF-Physik (60/20 $\rightarrow$ 40/10) | 3 SWS GP   | 4    | 42 Versuche       |
| Physik-NF (40 $\rightarrow$ 25)          | 1,5 SWS GP | 4    | 21 Versuche       |
| Biologie (120) VF/HF                     | 1,5 SWS GP | 2    | 12 Versuche       |
| GeoWiss. (120)/VF-Chemiker (50)          | 1 SWS GP   | 2    | 8 Versuche        |
| Elektrotechnik (80)                      | 2 SWS GP   | 2    | 18 Versuche       |
| Produktionstechnik (100)                 | 1 SWS GP   | 1    | 4 Versuche        |

ExPhysik: Einsemestrige Module V + Ü + P  $\rightarrow$  8 CP

# Schülerlabor am physikalischen Praktikum



- Schulklassen experimentieren
- Projekte mit Netzwerkpartnern
- Betreuung von Schülern mit Projektideen
- Sonderveranstaltungen  
(Kinderuni,  
Schülersommerakademie,  
Lehrerweiterbildung ...)

Netzwerkpartner (BMBF-Projekt):



# Gliederung

- 1 Physikalische Praktika in Bremen
- 2 **Computereinsatz im Grundpraktikum**
- 3 Gesamtprogramm und Beispiele des PC-Einsatzes
  - Mechanik
  - Optik und Thermodynamik
  - Elektrodynamik
  - Atomphysik
- 4 Erfahrungen und Konsequenzen

# Computereinsatz im Grundpraktikum

- Der Computer als weitere Messmethode
- Sinnvoller Einsatz des Computers dort, wo
  - besser, effektiver und genauer gemessen werden kann
  - mehr Zeit für „Physik“ bleibt oder mehr vermittelt werden kann
- Lerninhalte:
  - Sensoren, A-D Wandlung, Messsoftware
  - Kalibrierung, Formeleingabe (PC kennt keine Maßeinheiten!)
  - Messbereiche, Triggerung, Festlegen von Messintervallen
  - Fehlerabschätzungen
  - Digitale Verarbeitung und Auswertung von Messergebnissen

# Einsatz des Computers:

- Messwerterfassung
- Verarbeitung und Auswertung der Messdaten
- Modellierung während des Versuchs
  - z. B. RC-Glied: Abschätzung geeigneter R- und C-Werte
- Steuerung von Experimenten
  - Schwingkreis: Durchfahren des Frequenzbereichs
  - Photoeffekt: Spannungsrampe (Gegenspannungsmethode)
- Bildschirmlerneinheiten für Vorbereitung/Nachbereitung
  - z. B. Oszilloskop

# PC / Interface - Station



15 PC mit CASSY-Interface zur Messwerterfassung, 5 Power-CASSY, CASSY-Software, ORIGIN, DIADEM, Open-Office, W-LAN

- über W-LAN am zentralen Laserdrucker
- per E-Mail nach Hause

# Gliederung

- 1 Physikalische Praktika in Bremen
- 2 Computereinsatz im Grundpraktikum
- 3 Gesamtprogramm und Beispiele des PC-Einsatzes
  - Mechanik
  - Optik und Thermodynamik
  - Elektrodynamik
  - Atomphysik
- 4 Erfahrungen und Konsequenzen

# Mechanik

Physiker 1. Semester:

Vorversuch Messtechnik (Multimeter & Oszilloskop) plus 10 Versuche  
Mechanik

M1 Fadenpendel

M2 **Computer-Messwerterfassung am  
Beispiel des Pendels**

M3 Das zweite Newtonsches Gesetz

M4 Stoßgesetze in einer Dimension

M5 Impulserhaltung in zwei Dimensionen

M6 Drehbewegung (**Videoanalyse im  
Teilversuch Corioliskraft**)

M7 Trägheitsmomente

M8 Maxwell'sches Rad

M9/10 **Pohl'sches Rad**

M11 Kreisel

M12 Erhaltung des Drehimpulses

M13 Schwingende Saite (**PC oder  
Oszilloskop für Frequenzanalyse**)

M14 Reibung am Poller

M15 Elastizitätsmodul (**Teilversuch  
dynamische E-Bestimmung**)

(M16 **Musik und Töne**)

(M17 **gekoppelte Pendel**)



# PC-Messwerterfassung am Pendel (M2)

## M1 Fadenpendel:

- Stoppuhr
- Fehlerrechnung und -statistik
- Linearisierung, Geradenausgleich, g-Bestimmung

## M2:

- das Aussehen der harmonischen Schwingung
- Messung physikalischer Größen mittels Computer
- fast spielerisch den Umgang mit der CASSY- Software für weitere Versuche erlernen



# PC-Messwerterfassung am Pendel / Lerninhalte

- Sensor, Interface, AD-Wandlung  $\longrightarrow$  Messintervall, Messzeit
- Messen  $U(t)$   $\longrightarrow$  Messbereich, Aussehen der harmonische Schwingung
- Kalibrieren des Messgeräts  $U(t)$   $\longrightarrow$   $s(t)$
- Messen der indirekten Messgröße  $v(t)$   $\longrightarrow$  Computer als Uhr, Formeleingabe, Messintervall, Messbereich
  - Phasenverschiebung zwischen  $s(t)$  und  $v(t)$
- Phasenraumdarstellung  $p = f(s)$  bzw. hier  $v = f(s)$
- zeitlicher Verlauf von  $E_{kin}$  und  $E_{pot}$

## Schallgeschwindigkeit und Elastizität in Festkörpern (M15)

### 1 Dynamische Bestimmung des E-Moduls (von Eisen, Messing, Alu, Hart-PVC)

- Messung der Schallgeschwindigkeiten in Stäben mittels Impulsecho (Oszilloskop oder PC/Interface, Piezoelement)

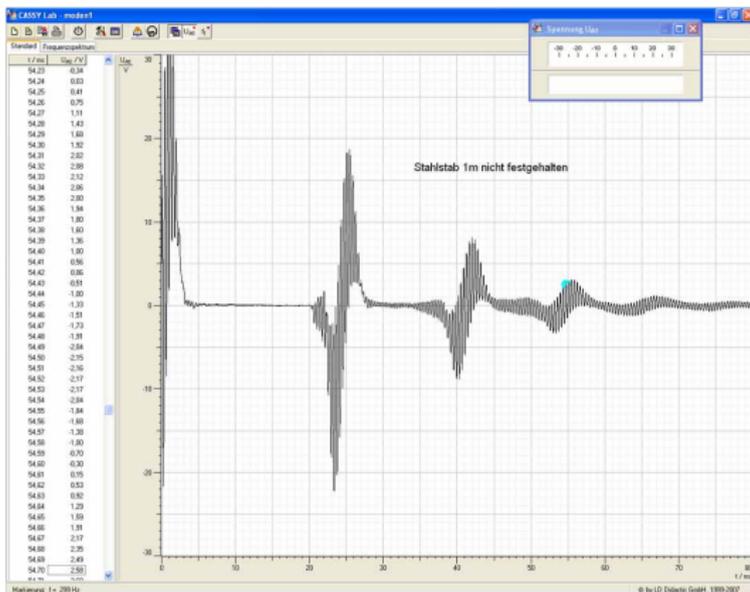
$$v_{Ph} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

### 2 Statische Bestimmung des E-Moduls

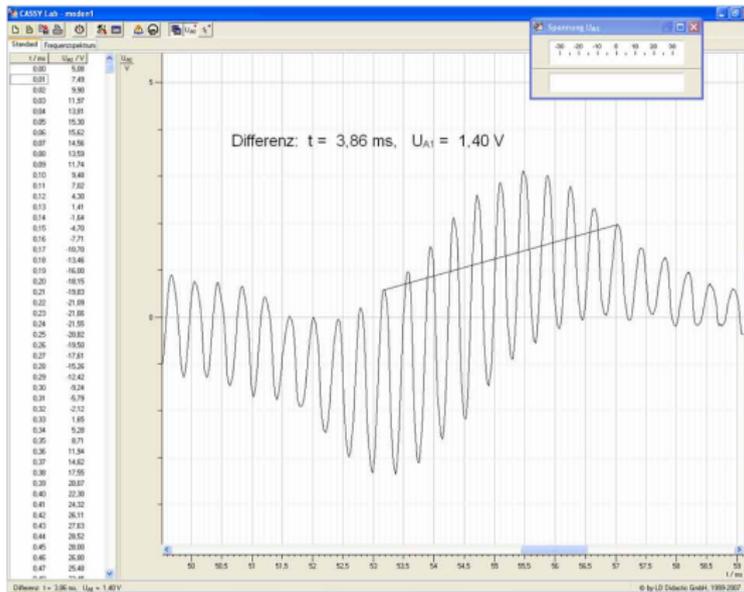
- Messung des Biegepeils  $s$  in Abhängigkeit von Kraft  $F$  und Länge  $l$

$$s = \frac{1}{3} \frac{F}{EI} l^3$$

## Echos und Modenkopplung

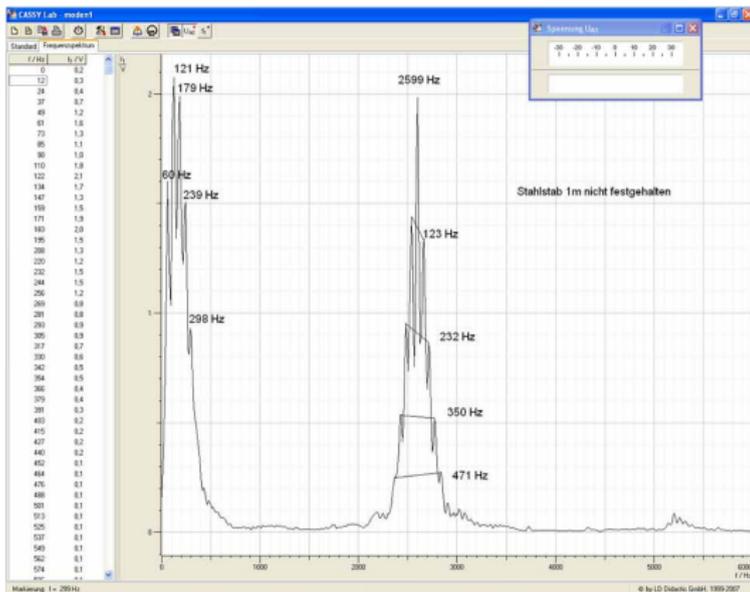


## Echos zur Ermittlung der Schallgeschwindigkeit



$$20 \text{ m in } 3,86 \text{ ms} \hat{=} 5194 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

# Frequenzanalyse



Grundfrequenz und Harmonische

$$\text{Echofrequenz } 1/2599 \text{ Hz} = 0,385 \text{ ms} \hat{=} 5190 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

# Versuch Drehbewegung und Corioliskraft (M6)

## Teil 1: Drehbewegung



- Laserzeiger über federnd gelagertem Spiegel auf Drehachse
- Trägheitskraft in Abhängigkeit von  $m$ ,  $r$  und  $\omega$

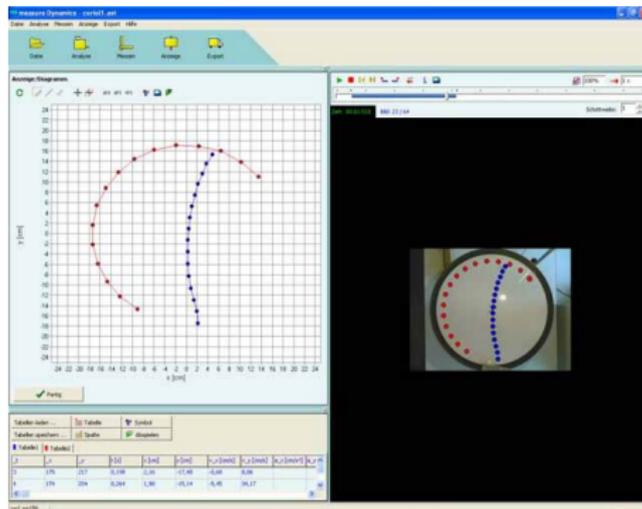
# Corioliskraft und Videoanalyse mit Webcam im Praktikum

- **blaue Kugel** rollt durch Mittelpunkt über Scheibe
- drehende Scheibe ist durch **roten Punkt** markiert



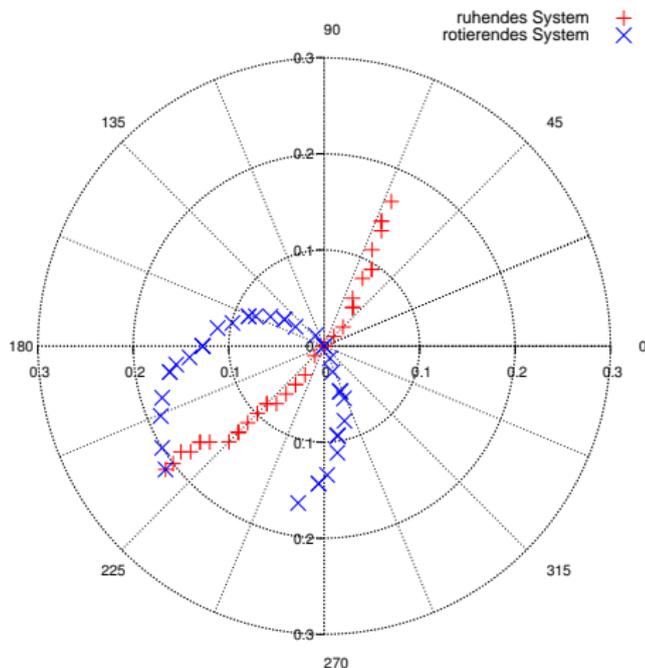
- Aufnahme und Analyse von zwei Bewegungen (roter und blauer Punkt)
- Auswertung mit Phywe-Software: Measure Dynamics

## Videoanalyse

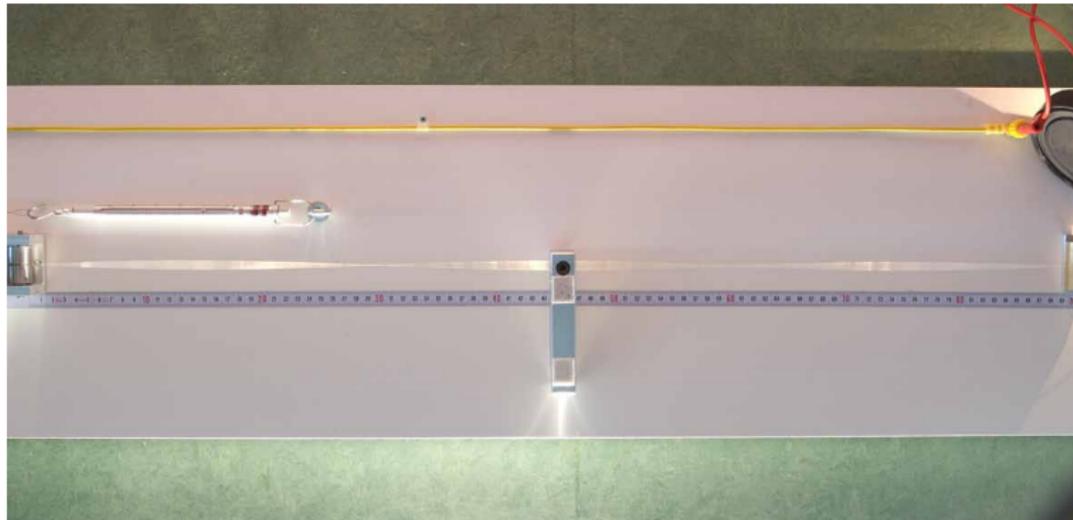


- Studenten legen Start- und Stopp-Punkt zur Auswertung fest
- definieren Koordinatensystem (vorzugsweise: Ursprung = Mittelpunkt der Scheibe = Drehpunkt)

## Bahnen im rotierenden und im ruhenden System



# Lorentzkraftgetriebene schwingende Saite (M13)



Kontinuierliche und berührungslose Anregung mittels Lorentzkraft

# Lorentzkraftgetriebene schwingende Saite (M13)



- erzwungenen Schwingungen und stehenden Wellen
- Frequenzanalyse bei starker Anregung mit PC oder Oszilloskop

# Optik und Thermodynamik

## Physiker 2. Semester: 12 Versuche

O1 Brennweite von Linsen und Augenmodell

O2 Dispersion von Prismen

O3 **Fraunhoferbeugung und Interferenz**  
(Detektor auf Schlitten: Aufnahme der Beugungsintensitäten)

O4 Wellenlängenmessung mit einem Gitter

O5 Newtonsche Ringe

O6 Polarisiertes Licht

O7 Fresnelsche Formeln

T1 Maxwellsche

Geschwindigkeitsverteilung

T2 Ideales Gasgesetz

T3 Gesetz von Clausius-Clapeyron

T4 **Kalorimetrische Messung**  
(Wärmeaustausch)

T5 Thermoelement und Newtonsches Abkühlungsgesetz

T6 **Taupunkt**

T7 Adiabatenexponent

T8 **Stirling-Motor (pV-Diagramm)**

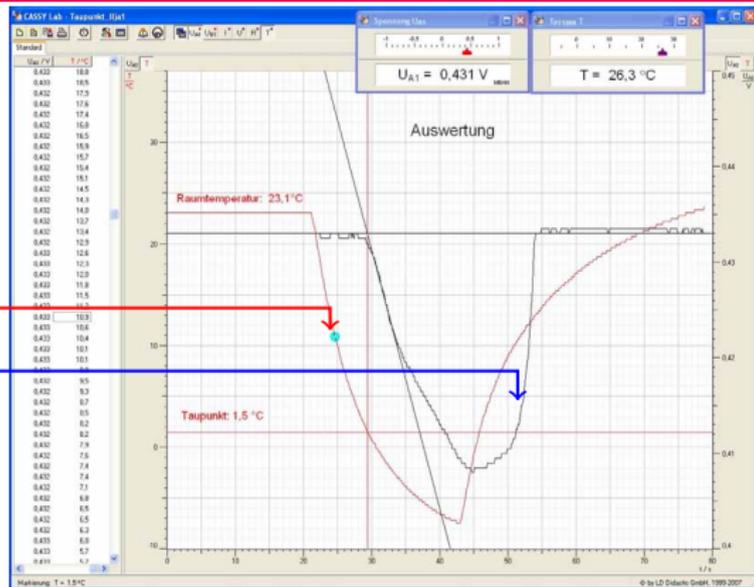
# Taupunkt (T6)



- Aufbau durch Studierende
  - Strahlengang
  - Anschluss Peltierelement
  - Anschluss/Eichung PT1000

# Messung und Auswertung

- Temperatur des Spiegels
- Detektorsignal



- Grafische Extrapolation zur genauen Taupunktbestimmung
- Vergleich des Wertes mit denen anderer Gruppen zur Größtfehlerabschätzung

# Elektrodynamik

Physiker: 3. Semester (12 Versuche) und 4. Semester (2 Versuche)

E0 Vorversuch Messtechnik: Multimeter und Oszilloskop (1. Sem.)

---

E1 Oszilloskop

E2 Millikanversuch

E3 Elektrolytischer Trog

E4 Coulombsches Gesetz

E6 **Kondensatorentladung** und Multivibrator

E7 Spannungsquelle und Spannungsteiler

E8 **Wirbelstrombremse**

E9 T-Abhängigkeit von Widerständen & Wheatstone-Brücke

E10 Lorentzkraft / Halleffekt

E12 Durchflutungsgesetz

E13 Induktionsgesetz

E14 **Bestimmung des magnetischen Moments**

E15 Wechselspannungsgenerator

E16 **Serienschwingkreis**

E17 RC-Glied

---

E18 Transistor

E19 **Signalausbreitung am Membranmodell**

E20 Operationsverstärker (**PC** o. Osz.)

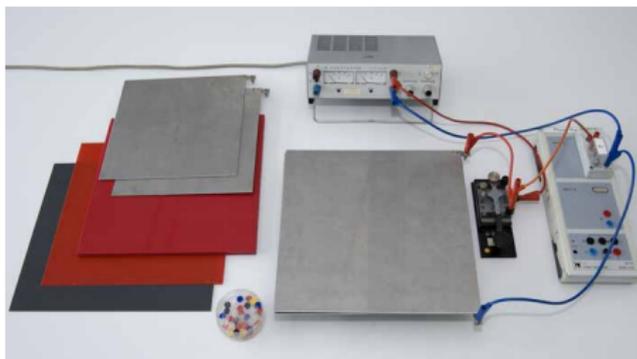
---

E21 Diodenkennlinien

E22 **Erdmagnetfeld**



# Kondensatorentladung (E6)

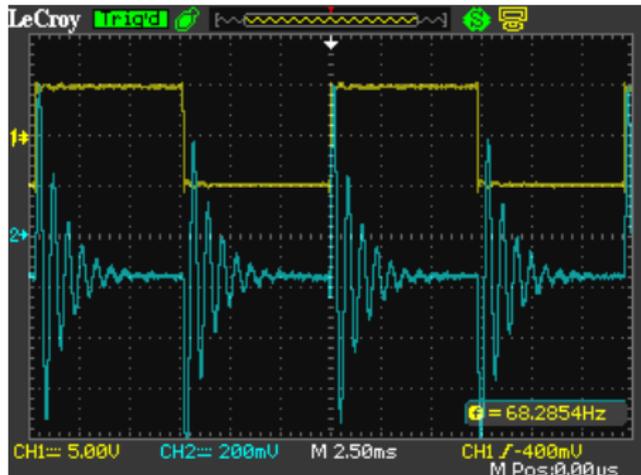


- Zeitlicher Verlauf der Entladung am klassischen Kondensator
- Variation von Plattengröße, Abstand, Dielektrikum
- Elektrometerbox und CASSY, **Niedervoltmessung (10 V)**, Ersatz des statischen Voltmeters

# Serienschwingkreis (E16)

## Versuchsteil 1: Freie gedämpfte Schwingung

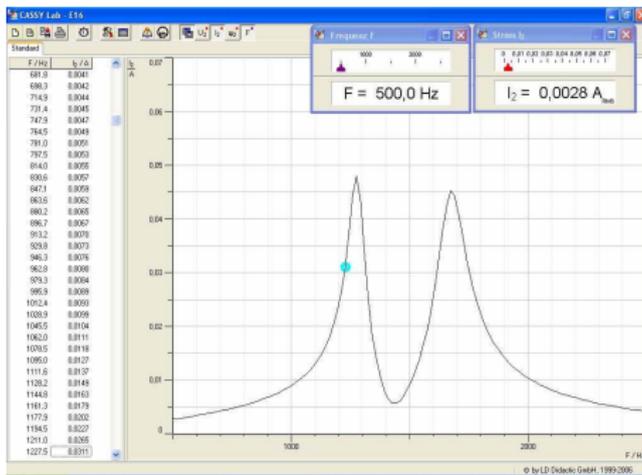
- (Eigenfrequenz, log. Dekrement, Schwingfall, Kriechfall, aperiodischer Grenzfall)
- Anstoß mit Rechteckpulsen: Messung mit Oszilloskop



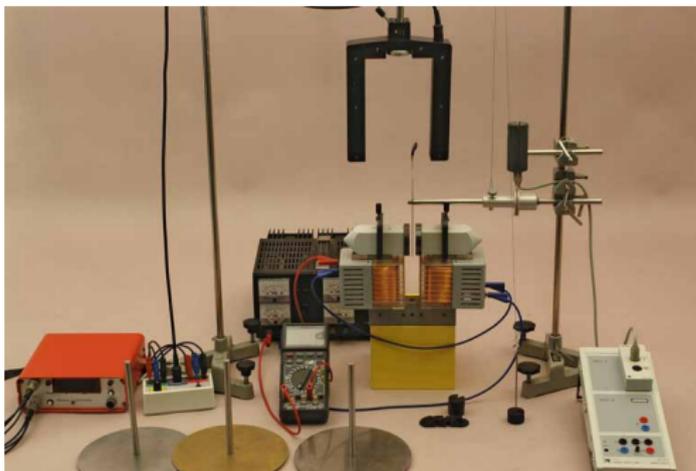
# Serienschwingkreis (E16)

## Versuchsteil 2: Erzwungene Schwingungen

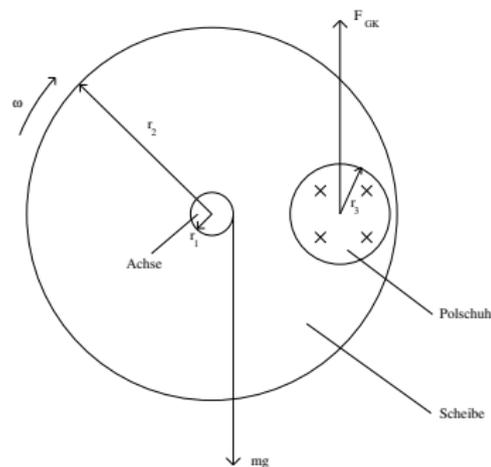
- Resonanzkurven bei verschiedenen Dämpfungen, Güte, Phasenverschiebung, Spannungsüberhöhungen, Ortskurven Impedanz und Admittanz
- gekoppelte Schwingkreise
- Messung mit CASSY, Wobbeln mit Power-CASSY



# Wirbelstrombremse (E8)

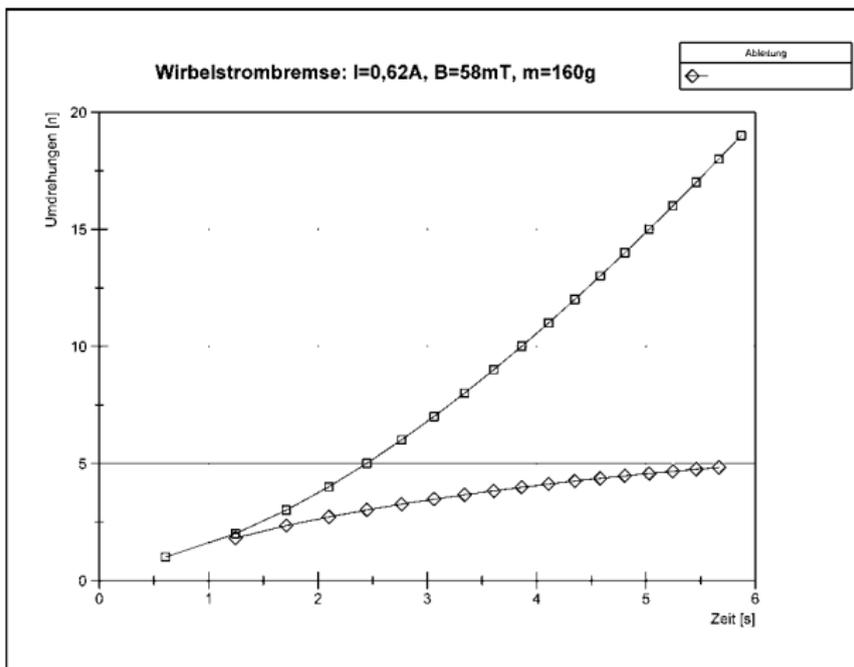


Gleichförmige Winkelgeschwindigkeit



$$f = G(r_1, r_2) \frac{m}{\kappa B^2 d}$$

# Wann tritt das Gleichgewicht ein?



# Atomphysik

Physiker: 4.Semester (8 Versuche)

A1 Franck-Hertz-Versuch

A2 Schwarze Strahlung

A3 Photoeffekt (Gegenspannungs- und Kondensatormethode,  
CASSY-Messung und Spannungsrampe über POWER-CASSY)

A4 Fadenstrahlrohr

A5 Elektronenbeugung

A6 Comptoneffekt

A7 Braggsche Reflexion

A9 Planck-Konstante aus LED

# Gliederung

- 1 Physikalische Praktika in Bremen
- 2 Computereinsatz im Grundpraktikum
- 3 Gesamtprogramm und Beispiele des PC-Einsatzes
  - Mechanik
  - Optik und Thermodynamik
  - Elektrodynamik
  - Atomphysik
- 4 Erfahrungen und Konsequenzen

# Der PC ist ein weiteres Messgerät ...

- PC ersetzt x-t- und x-y-Schreiber
- Sensor/Interface/Computer-System kann sehr viele Messgeräte ersetzen...
  - nicht immer notwendig und sinnvoll
  - spezielle für die Messaufgabe geeignete Geräte oft sinnvoller (Analogmultimeter, Oszilloskop ...)  
„Wir brauchen kein Oszilloskop, der Computer kann das auch ...“
- Moderne Oszilloskope sind auch Computer (Abtastrate, Empfindlichkeit ...)
- Computer skaliert Grafiken selbständig
  - „Wir können so schnell jetzt keine Zwischenauswertung auf Millimeterpapier durchführen ...“

# Nicht der PC, sondern der Experimentator bestimmt die Qualität der Messung

- Sensor/Interface/Computer-System dort, wo damit
  - effektiver und genauer beobachtet und gemessen werden kann
  - die Physik besser verstanden werden kann
  - Experimente sinnvoll gesteuert werden können
  - spezielle Messtechniken oder Arten von Sensoren vermittelt werden sollen
- Gefahren
  - der Computer beobachtet die Messung, nicht der Experimentator
  - es kann vielmehr pro Zeiteinheit gemessen werden
    - Überfrachtung mit weiteren Aufgabenstellungen
    - Überfrachtung mit weiteren Auswerteaufgaben
    - Ablenkung vom wesentlichen Zusammenhang
  - Glaube an Kurvenanpassungen und Fehlerangaben

# Beobachtbare Schwierigkeiten

- Experimentelle und handwerkliche Fähigkeiten kaum oder immer weniger entwickelt
  - Kontraproduktiv: Fest konfigurierte Versuche
- Studenten folgen übergenau der Aufgabenstellung (“Zehnerschritte”)
- Hilflosigkeit bei offenen Aufgabenstellungen
  - Überprüfen Sie mit der Luftkissenschiene oder der Atwoodschen Fallmaschine das 2. Newtonsche Gesetz
  - Führen Sie Messungen mit geeigneten Massekombinationen durch
  - Zeigen Sie den Zusammenhang in geeigneten grafischen Darstellungen

# Beobachtbare Schwierigkeiten

- Hilflosigkeit bei notwendigen Zwischenauswertungen (z.B. Anfertigen von Grafiken per Hand) um weitere Messungen sinnvoll durchzuführen (z.B. Resonanzkurve: Im Bereich von Änderungen ist enger zu messen)
- übertriebener Glaube an die Theorie (Maß für Güte des Experiments)
- Messprotokolle meist sehr unvollständig und unübersichtlich (Schmierzettel)

# Konsequenzen für die Versuchsgestaltung

- 1 Vorversuch: Elektrische Messtechnik (Multimeter und Oszilloskop)
  - kein Versuchsbericht
  - Anfertigung eines ausführlichen Messprotokolls
    - mit Zwischenauswertung (grafische Darstellung, Millimeterpapier)
    - Größtfehlerabschätzungen und -fortpflanzung
- 2 Fast fertig konfigurierte Versuche (Fadenpendel, Pohlsches Rad ... )
  - möglichst offene Aufgabenstellungen
  - mehr Zwischenauswertungen während des Versuchs als Voraussetzung für weitere sinnvolle Messungen

# Konsequenzen für die Versuchsgestaltung

## 3 Komplexere Versuche

- fast kompletter Aufbau der Apparatur durch Studierende
- dabei Einbeziehung weiterer Themengebiete
- Anwendung bereits vorhandener Kenntnisse
- evtl. verschiedene Messmöglichkeiten anbieten
- viel Aufbau und Optimierung, wenig Messungen

(Taupunktversuch, schwingende Saite, Coulombgesetz ...)

## 4 Einfache Versuche

- nur Aufgabenstellung und Geräteliste vorgegeben
- sind inklusive Versuchsbericht im Praktikum (3h) zu absolvieren
- geeignet als Nachhol- oder Prüfungsversuche

(Dichtebestimmung nach Archimedes, Erdmagnetfeldmessung mit langem rotierendem Kabel, Wellenlängenbestimmung von LED mittels CD-Spektrometer, klassische Magnetfeldmessung ...)

# Schlussbemerkung

In den BSc-Studiengängen wird das Bild von der experimentellen Physik sowie der Modernität der eigenen Universität und ihrer Rolle in der Wissenschaft in den physikalischen Praktika geprägt.

Moderne und unterschiedliche Messtechniken in die Praktika!

# Danksagung

An das Praktikumsteam:

Waltraud Hoffmann, Silke Glüge, Peter Kruse, Christoph Windzio

Und an die mechanische Werkstatt



Fotos, Grafiken und Präsentationslayout (L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X-Beamerklasse): Christoph Windzio

