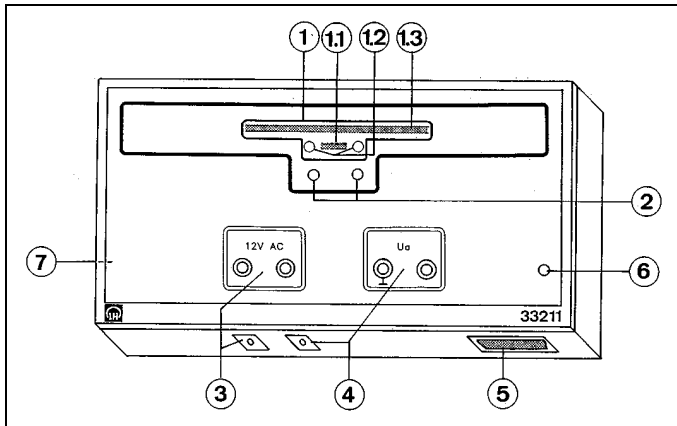


12/95-Hke-



Der IR-Position Detektor (IRPD) ist ein Meßgerät zur Gravitationsdrehwaage (332 101 oder 332 10). Er erfaßt ihre Schwingungen beim Übergang aus einer in die andere Ruhelage und setzt sie in amplitudenproportionale Spannungen um. Diese werden entweder mit einem yt-Schreiber aufgezeichnet oder mit Computerunterstützung auf einem Monitor oder Drucker ausgegeben.

#### Meßprinzip:

Vier IR-Dioden (1.1) emittieren Infrarotlicht, das durch den Konkavspiegel (Radius: 0,70 m) der Gravitationsdrehwaage auf eine dicht neben den Sendedioden liegende Fototransistorzeile (1.3) abgebildet wird. Ein Mikrokontroller schaltet die IR-Dioden nacheinander ein und bestimmt den jeweils beleuchteten Fototransistor. Ein Auswerteprogramm berechnet daraus den Schwerpunkt der Beleuchtung. Da der Abstand zwischen den IR-Dioden kleiner als zwischen den Fototransistoren ist (wie beim Nonius eines Meßschiebers), erhält man bei einem Abstand der Fototransistoren von 2,54 mm dennoch eine Auflösung von 0,64 mm. Die gesamte Meßstrecke beträgt ca. 80 mm. Sie ist ca. 3 Mal so groß wie der Abstand zwischen den Bildern der beiden Ruhelagen der Gravitationsdrehwaage. Der IRPD besitzt zwei superhelle, glasklare LED als Einstellhilfe, sowie eine rote und eine grüne LED als Justierhilfe.

## 1 Sicherheitshinweise

- Gerät nur mit 12V ~ als Versorgungsspannung betreiben.
- Die empfindliche Elektronik des Gerätes kann durch Entladung statischer Elektrizität (ESD\*) beeinträchtigt werden.  
Maßnahmen:
  - Experimentierumgebung so wählen, daß keine elektrostatische Aufladung von Experimentator und Geräten auftreten kann, oder
  - z.B. über einen geerdeten Metallstab (Anschlußstab Kat. Nr. 532 16) für Entladung sorgen.

\*) ESD = electrostatic discharge

## Gebrauchsanweisung Instruction Sheet

332 11

### IR Position Detector IR Position Detector (IRPD)

Fig. 1

The IR position detector (IRPD) is a measurement instrument for use in conjunction with the gravitation torsion balance (332 101 or 332 10); it registers the oscillations which occur when the balance changes from one rest position to the next and converts them to voltages proportional to the amplitude. These voltages are either recorded with a YT recorder or evaluated, displayed and printed out using a computer.

#### Measuring principle:

Four IR diodes (1.1) emit infrared light which is then projected onto a row of phototransistors (1.3) located directly beside the emitter diodes by means of the concave mirror (radius: 0.70 m) of the gravitation torsion balance. A microcontroller switches on the IR diodes successively and determines which phototransistor is illuminated. An evaluation program then calculates the focal point of the light. Since the distance between the IR diodes is smaller than that between the phototransistors (as is the case with the vernier of a caliper gauge), a resolution of as much as 0.64 mm is obtained even though the phototransistors are 2.54 mm apart. The measured section has a total length of approx. 80 mm, which is roughly three times the distance between the images obtained from the two rest positions of the gravitation torsion balance. The IRPD has two super-bright, glass-clear LEDs for setting purposes as well as one red and one green LED for adjustment.

## 1 Safety notes

- Only use a supply voltage of 12 V AC.
- The sensitive electronics of this apparatus can be impaired or damaged by electrostatic discharge (ESD).  
Measures:
  - choose the experiment area so that no electrostatic charges can build up on either the experimenter or the devices, or
  - ensure that such charges are discharged safely, e.g via a grounded metal rod (connection rod, Cat. No. 532 16).

## 2 Beschreibung, technische Daten (s. Fig.1)

- ① Meßfenster mit Infrarot-LED (1.1) als Sender, Einstell-LED (1.2) sowie 32 Fototransistoren (1.3) als Empfänger
- ② rote und grüne, vom Mikrokontroller gesteuerte Justierhilfe-LED
- ③ Anschluß für Spannungsversorgung 12V~ entweder über 4 mm-Buchsen für einen 12-V-Transformator (z.B. 562 73) oder über Buchse für Hohlstecker des Steckernetzgerätes 12 V~ (562 791)
- ④ Analogausgang zum Anschluß von z.B. einem ty-Schreiber 4-mm-Buchsen oder einen Klinkenstecker 3,5 mm
- ⑤ Serieller Anschluß RS232/SubD25 zur direkten Verbindung mit einem Computer über FUNCABLE (530 008)
- ⑥ Reset-Taster
- ⑦ 20-poliger Pfostenstecker für herstellereigene Testzwecke

Auf der Rückseite des Gerätes Muffe zur Halterung in Stativmaterial.

### Technische Daten

Spannungsversorgung: 12 V~  
Leistungsaufnahme: ca. 3 W  
Ausgangsspannung: 0 V..2,3 V Abweichung:  $\pm 1.5\%$   
Ausgangsstrom: max. 5 mA, kurzschlußfest  
Sender: 4 Infrarot-LED  
Empfänger: 32 Fototransistoren  
Wegauflösung: 0.64 mm/18,5 mV  $\pm 2\%$

Im Lieferumfang 1 Diskette (3,5") für DOS-Rechner mit ausführlichen Informationen und Programmierhilfen für den Betrieb des Gerätes bei direktem Computeranschluß über den RS232-Ausgang (siehe auch letzten Absatz von Abschnitt 3.1)

## 3 Bedienung

### 3.1 Aufbau und Justierung

Gravitationsdrehwaage und IRPD werden im Abstand von 0,70 m, am zweckmäßigsten mit zwei Reitern auf einer stabilen optischen Bank von 1 m Länge (z.B. Optische Bank mit Normalprofil, 460 32, mit 2 Reitern, 460 351) auf einem erschütterungsfreien Untergrund aufgestellt. Selbstverständlich ist auch eine Montage an einer Wandhalterung möglich. Der IRPD wird mit seiner Halterung auf der Rückseite an einer kurzen Stativstange befestigt, die entweder in einem Reiter auf der optischen Bank oder einer Muffe auf der Wandhalterung steckt.

#### - **Einstellung des Abstandes zwischen Drehwaage und IRPD**

Der Abstand zwischen dem Spiegel der Gravitationsdrehwaage und den Fototransistoren des IRPD soll 0,70 m betragen. Dazu wählt man zwischen der vorderen Glasscheibe der Gravitationsdrehwaage und der vorderen Frontplatte des IRPD einen Abstand von 0,67 m. Die Gravitationsdrehwaage wird entarretiert und so ausgerichtet, so daß das Meßsystem sich frei bewegen kann.

#### - **Abbildung der LED auf die Fototransistorzeile**

Der IRPD ist unmittelbar nach dem Spannungsanschluß (12 V~), z.B. aus Transformator 6 V, 12 V, 562 73, oder Steckernetzgerät 12 V~ (562 791) betriebsbereit.

Das Meßfenster ① des IRPD wird nach Augenmaß auf gleiche Höhe wie der Spiegel der Gravitationsdrehwaage gebracht; der IRPD wird an 12 V~ angeschlossen. Die beiden roten Einstell-LED (1.2) leuchten so hell, daß ihr Spiegelbild in der Ebene des Gerätes sichtbar ist, entweder auf dem Gerät selbst oder auf einem daneben gehaltenem weißen Blatt Papier. Befindet sich das Abbild links oder rechts neben dem Meßfenster, wird die Gravitationsdrehwaage in langsame Schwingungen versetzt, damit die Frontplatte vom Spiegelbild der hellen LED überstrichen wird. Befindet sich das Abbild ober- oder unterhalb des Meßfensters, wird es durch Aufwärts- oder Abwärtsbewegen des IRPD in die Mitte des Fensters projiziert. Es ist darauf zu achten, daß die Transistorzeile in der vom Spiegel

## 2 Description, technical data (cf. Fig.1)

- ① Window with infrared LED (1.1) as transmitter, adjustment LED (1.2) and 32 phototransistors (1.3) as receiver
- ② Red and green adjustment LEDs, controlled by microcontroller
- ③ Connection to voltage supply 12 V AC ; either via 4-mm sockets for a 12 V transformer (e.g. 562 73) or via hollow plugs for the plug-in power supply 12 V AC (562 791)
- ④ Analog output e.g. for connection of a YT-recorder, either via 4-mm sockets or a jack plug 3.5 mm
- ⑤ Serial connection RS232/sub-D 25 for connection to a computer via FUNCABLE (530 008)
- ⑥ Reset button
- ⑦ 20-pin connector for manufacturer's testing purposes

Clamp for mounting in stand material on rear of apparatus.

### Technical data

Voltage supply: 12 V AC  
Power consumption: approx. 3 W  
Output voltage: 0-2.3 V deviation:  $\pm 1.5\%$   
Output current: max. 5 mA, short circuit-proof  
Transmitters: 4 infrared LEDs  
Receivers: 32 phototransistors  
Displacement resolution: 0.64 mm/18.5 mV  $\pm 2\%$

Included in scope of supply: 1 disk (3.5") for MS-DOS computers with detailed information and programming aids for operating the apparatus with direct computer connection via the RS232 output (see also the last paragraph of section 3.1)

## 3 Operation

### 3.1 Assembly and adjustment

The gravitation torsion balance and IRPD are positioned 0.70 m apart, ideally using two riders on a stable optical bench with a length of 1 meter (e.g. optical bench with standard cross-section, 460 32, with two riders, 460 351) on a vibration-free surface. Alternatively, assembly on a wall mounting is also possible. The clamp on the rear panel of the IRPD is mounted on a short stand rod which is inserted into a rider on the optical bench or into a bosshead on the wall mounting.

#### - **Setting the distance between the torsion balance and the IRPD**

The distance between the mirror of the gravitation torsion balance and the phototransistors of the IRPD should be 70 cm. To achieve this, set the distance between the front window of the gravitation torsion balance and the front panel of the IRPD to 67 cm. Release the gravitation torsion balance and align it so that the measurement system can move freely.

#### - **Projection of LEDs onto the row of phototransistors**

The IRPD is ready for operation as soon as you connect the voltage (12 V AC), e.g. from transformer 6 V, 12 V (562 73) or plug-in power supply 12 V AC (562 791).

Adjust the window ① of the IRPD to roughly the same level as the mirror of the gravitation torsion balance. Connect the IRPD to the 12 V AC source. The two red adjustment LEDs (1.2) now light up so brightly that their mirror image can be seen in the plane of the device, either on the device itself or on a sheet of white paper which is held beside it. If the image is to the left or right of the window, oscillate the gravitation torsion balance slowly so that the mirror image of the bright LEDs passes across the front panel. If the image is above or below the window, project it onto the center by raising or lowering the IRPD. Ensure that the row of transistors is situated in the plane which is covered by the mirror so that all of the phototransistors are used for measuring. The green and red LEDs ② are for the fine height

überstrichenen Ebene liegt. Nur dann können alle Fototransistoren wirksam werden. Zur Feinjustierung der Höhe dienen die grüne und rote LED ②, die in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke der Fototransistoren ein- und ausgeschaltet werden. Es bedeutet:

Flackern der roten LED: Beleuchtung/Justierung ausreichend

Flackern der grünen LED: Beleuchtung/Justierung gut

unter der Voraussetzung, daß die Transistorzeile in der vom Spiegel überstrichenen Ebene liegt.

### - Einstellen der Gravitationsdrehwaage

- Die Gravitationsdrehwaage muß so justiert werden, daß der Spiegel ohne Kraffteinwirkung durch die großen Bleikugeln in Ruhelage den IRPD etwa in der Mitte des Meßfensters beleuchtet. Diese Einstellung braucht nur einmal durchgeführt zu werden, da nach einer Arretierung der Gravitationsdrehwaage die Ruhestellung erhalten bleibt. Die Periode einer Schwingung der Gravitationsdrehwaage beträgt ca. 10 min.

### - Registrierung

Entweder

- YT-Schreiber (z.B. 575 702) an Analogausgang ④

Meßbereiche: 3 V  
1 ... 5 mm/min.

oder

- Computer-Anschluß an RS 232-Ausgang ⑤

Im Mikrokontroller des IRPD sind Programmteile gespeichert, über die mit einem Computer unmittelbar kommuniziert werden kann. Dem Gerät liegt eine Diskette für MS-DOS-Rechner bei (3 1/2"). Sie enthält eine Demo-Version der "Universellen Meßwerterfassung" für Messungen mit dem IR-Position Detector (mit Meßbeispiel und Versuchsbeschreibung). Installationshinweise im README-File; Windows erforderlich). Außerdem enthält die Diskette für Programmierer ausführliche Hinweise, ein kurzes Testprogramm (als Textfile) sowie Programmierertools für Turbo Pascal. Eine ausführliche Beschreibung der im IRPD implementierten Routinen und der dazugehörigen Befehls-Codes; ermöglicht es Kundigen, auch andere Computer (z.B. Apple-Macintosh) zu programmieren. Alle Textfiles sind unformatierter ASCII-Files.

## 3.2 Meßverfahren mit Meßbeispielen

Es gibt zwei Verfahren zur Auswertung der Meßergebnisse mit der Gravitationsdrehwaage, die Endausschlag- und die Beschleunigungsmethode.

Die Meßwertaufnahme und -auswertung erfolgte unter Verwendung der in der mitgelieferten Demo-Version der "Universellen Meßwerterfassung" enthaltenen Software "IR-Position Detector".

adjustment, and are switched on and off depending on the luminous intensity of the phototransistors:

Red LED flickers: illumination/adjustment sufficient

Green LED flickers: illumination/adjustment good

assuming that the transistor row is in the plane illuminated by the mirror.

### - Adjusting the gravitation torsion balance

The gravitation torsion balance must be adjusted such that the mirror, when stationary, illuminates approximately the center of the window on the IRPD in the absence of any forces exerted by the large lead balls. This adjustment must only be performed once because the rest position is retained after the gravitation torsion balance has been locked. The period of one oscillation of the gravitation torsion balance is about 10 min.

### - Recording

Either

- YT recorder/computer with interface to analog output ④

Measuring ranges: 3 V  
1-5 mm/min

or

- Computer connection to RS 232 output ⑤

Program modules which enable direct communication with a computer are stored in the microcontroller of the IRPD. The apparatus is supplied with a floppy disk (3 1/2") for MS-DOS computers, which contains a demo version of the software "Universal Data Acquisition" preconfigured for measurements using the IR position detector, including a measuring example and experiment description (see installation notes in the README file; MS-Windows required). This disk also contains detailed information for programmers, a brief test program (as a text file) and programming tools for Turbo Pascal. It also includes a detailed description of the routines implemented in the IRPD and the corresponding command codes so that persons with some knowledge of programming can also program other computers (e.g. Apple Macintosh). All text files are in the form of unformatted ASCII files.

## 3.2 Measurement methods and sample measurements

There are two different methods of evaluating the measurement results with the gravitation torsion balance; the full-deflection method and the acceleration method.

Measured values are recorded and evaluated using the preconfigured "IR position detector" routine contained in the demo version of the software package "Universal Data Acquisition" included with the apparatus.

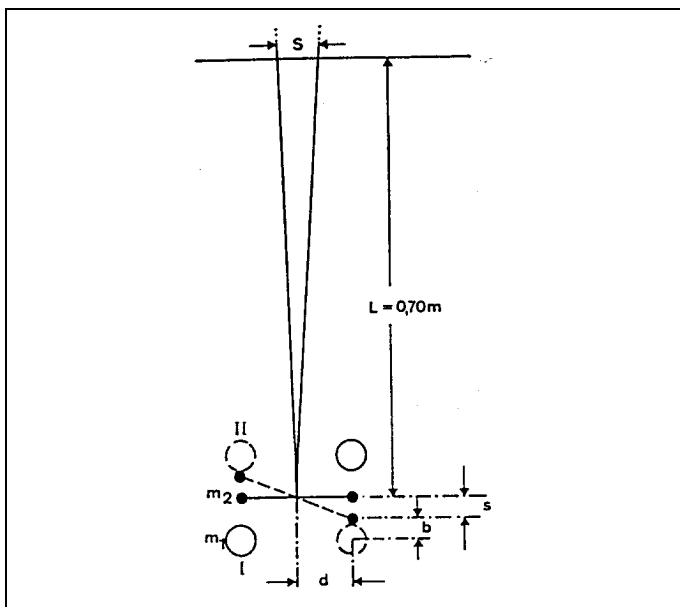


Fig. 2

**- Endausschlagmethode**

Bei der Endausschlagmethode werden die beiden stabilen Endlagen der beiden kleinen aufgehängten Bleikugeln ausgewertet, wenn die großen Bleikugeln einmal in der Position I und dann in der Position II stehen.  
Für die Berechnung der Gravitationskonstante  $f$  gilt (Herleitung siehe oben genannte Literatur):

$$f = \frac{\pi^2 \cdot b^2 \cdot d \cdot S}{m_1 \cdot T^2 \cdot L} \quad \text{Gleichung (1)}$$

Dabei bedeuten (s.a. Fig.2):

- $b$  = Abstand der Massenmittelpunkte = 0,047 m
- $d$  = Abstand des Mittelpunktes der großen Bleikugel von der Achse = 0,05 m
- $m_1$  = Masse eine großen Kugel = 1.5 kg
- $T$  = Periodendauer einer Schwingung der Gravitationsdrehwaage
- $L$  = Abstand zwischen Spiegel (Gravitationsdrehwaage) und IRPD = 0,70 m
- $S$  = Abstand der beiden Spiegelbilder für Endlage in Position I und II; mit dem IRPD gemessen.

**- Meßbeispiel**

Fig. 3 zeigt eine Aufzeichnung gedämpfter Schwingungen der Gravitationsdrehwaage, und die beiden dazugehörigen stabilen Endlagen. Die Auswertung ergibt:

- Schwingungsdauer  $T = 624$  s
- Differenz zwischen den beiden Endlagen:  
 $S = 23,7$  mm

Setzt man diese Werte in Gleichung (1) ein so erhält man:

$$f = \frac{\pi^2 \cdot 0,047^2 \text{ m}^2 \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 0,0237 \text{ m}}{1,5 \text{ kg} \cdot 624^2 \text{ s}^2 \cdot 0,7 \text{ m}} = 6,41 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

$$= 6,41 \cdot 10^{-11} \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

**- Full-deflection method**

In the full-deflection method, the two stable final positions of the two suspended small lead balls are evaluated when the large lead balls are in position I and again in position II.  
To calculate the gravitational constant  $f$  (see above-mentioned literature for derivation):

$$f = \frac{\pi^2 \cdot b^2 \cdot d \cdot S}{m_1 \cdot T^2 \cdot L} \quad \text{Equation (1)}$$

whereby (cf. Fig.2):

- $b$  = Distance between centers of mass = 0.047 m
- $d$  = Distance from midpoints of lead balls from axis = 0.05 m
- $m_1$  = Mass of one large ball = 1.5 kg
- $T$  = Period of one oscillation of the gravitational torsion balance
- $L$  = Distance between mirror of gravitation torsion balance and IRPD = 0.70 m
- $S$  = Distance between the two mirror images for final position in positions I and II; measured with the IRPD.

**- Sample measurement**

Fig. 3 shows an illustration of damped oscillations of the gravitation torsion balance and the two corresponding final positions. The calculation shows:

- Period of oscillation  $T = 615$  s
- The voltage difference between the two final positions:  
 $S = 23.7$  mm

Substituting these values into Equation (1) we obtain:

$$f = \frac{\pi^2 \cdot 0,047^2 \text{ m}^2 \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 0,0237 \text{ m}}{1,5 \text{ kg} \cdot 624^2 \text{ s}^2 \cdot 0,7 \text{ m}} = 6,41 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

$$= 6,41 \cdot 10^{-11} \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

### - Beschleunigungsmethode

Bei der Beschleunigungsmethode geht man von einer der beiden Ruhelagen I oder II (Fig.2) aus. Es wird die Beschleunigung  $a_0$ , die die kleinen Kugeln unmittelbar nach dem Umlegen der großen Kugeln erfahren, ausgewertet. Es wird empfohlen, den Weg  $s$  innerhalb der ersten Minute auszuwerten.

Für diesen ersten Teil der Bewegung gilt:

$$m_2 \cdot a_0 = 2 f \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{b^2}.$$

$$\text{Daraus erhält man } f = \frac{a_0 b^2}{2 m_1}.$$

Die Beschleunigung  $a_0$ , die die Massen  $m_2$  erfahren, ergibt sich aus der Beschleunigung  $a'_0$  des Lichtreflexes wie folgt:

$$a_0 = \frac{d}{2L} \cdot a'_0$$

Wegen  $S = 1/2 a'_0 t^2$  liefert der Koeffizientenvergleich mit der Gleichung der allgemeinen Parabel

$$X = A t^2 + B t + C$$

$$a'_0 = 2 A$$

Aus der Parabelgleichung (siehe Fig. 4) ergibt sich

$$A = 3,6 \frac{\text{mm}}{\text{min}^2} = 1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a'_0 = 2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$f = \frac{a_0 b^2}{2 m_1} = a'_0 \cdot \frac{d b^2}{4 m L}$$

$$= 5,3 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

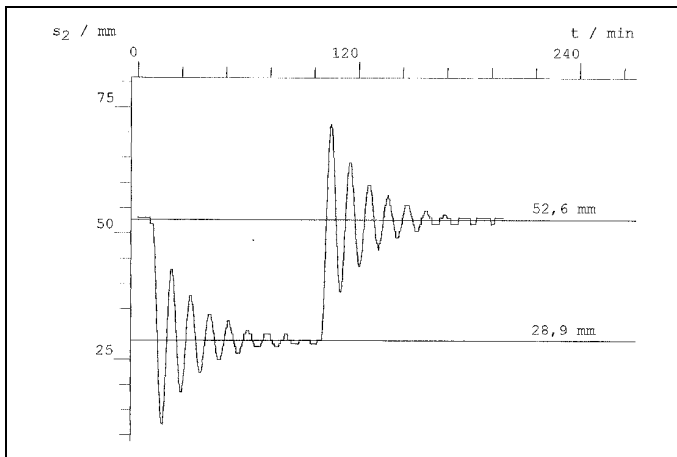


Fig. 3

### - Acceleration method

In the acceleration method, only one of the two rest positions I and II (Fig.2) is used. The acceleration  $a_0$ , to which the small balls are subjected immediately after the large balls change direction, is evaluated. It is recommended to evaluate the distance  $s$  within the first minute.

For the first phase of the motion:

$$m_2 \cdot a_0 = 2 f \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{b^2},$$

$$\text{from which we obtain } f = \frac{a_0 b^2}{2 m_1}.$$

The acceleration  $a_0$  applied to the masses  $m_2$  can be determined from the acceleration  $a'_0$  of the light reflection as follows:

$$a_0 = \frac{d}{2L} \cdot a'_0$$

As  $S = 1/2 a'_0 t^2$ , the comparison of the coefficient with the general equation of the parabola gives us

$$X = A t^2 + B t + C$$

$$a'_0 = 2 A$$

From the matching of the parabolas (see Fig. 4), we obtain

$$A = 3.6 \frac{\text{mm}}{\text{min}^2} = 1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a'_0 = 2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$f = \frac{a_0 b^2}{2 m_1} = a'_0 \cdot \frac{d b^2}{4 m L}$$

$$= 5.3 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} = 5.3 \cdot 10^{-11} \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

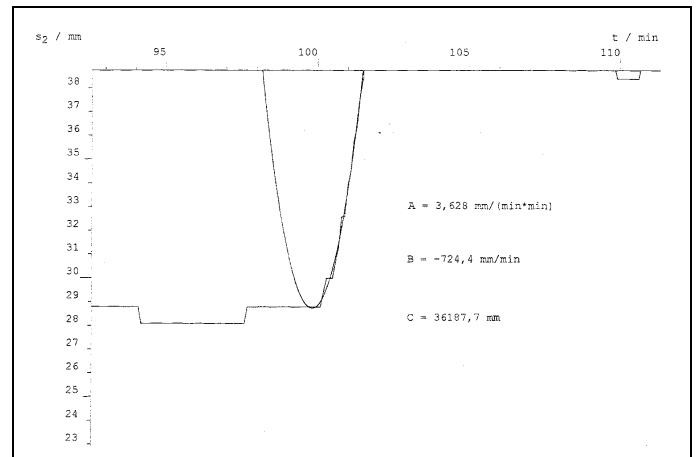
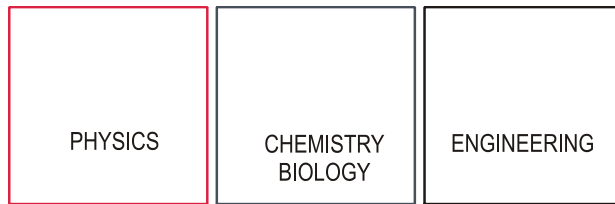


Fig. 4



**Nachtrag:**

Der im Text beschriebene Analogausgang über einen 3,5 mm Klinkenstecker steht seit Anfang 2017 nicht mehr zur Verfügung. Die Spannung kann weiterhin über die 4 mm Buchsen abgegriffen werden.

**Supplement:**

The analog output described in the text via a 3.5 mm jack plug is no longer available since the beginning of 2017. The voltage can still be tapped by the 4 mm sockets.

**Supplément:**

La sortie analogique décrite dans le texte via une prise 3,5 mm n'est plus disponible depuis 2017. La tension peut encore être exploitée par les prises 4mm.

**Suplemento:**

La salida analógica descrita en el texto a través de un enchufe de 3,5 mm ya no está disponible desde 2017. La tensión todavía puede ser aprovechada por los conectores de 4 mm.