

Instructions d'utilisation
Dispositif de mesure de l'équivalent de chaleur
Cylindre en cuivre

Martin Henschke, 2004-06-22

art. no.: 650268

art. no.: 650276

Copyright © 2004, 2005 Martin Henschke Gerätebau

Sous réserve de modifications techniques

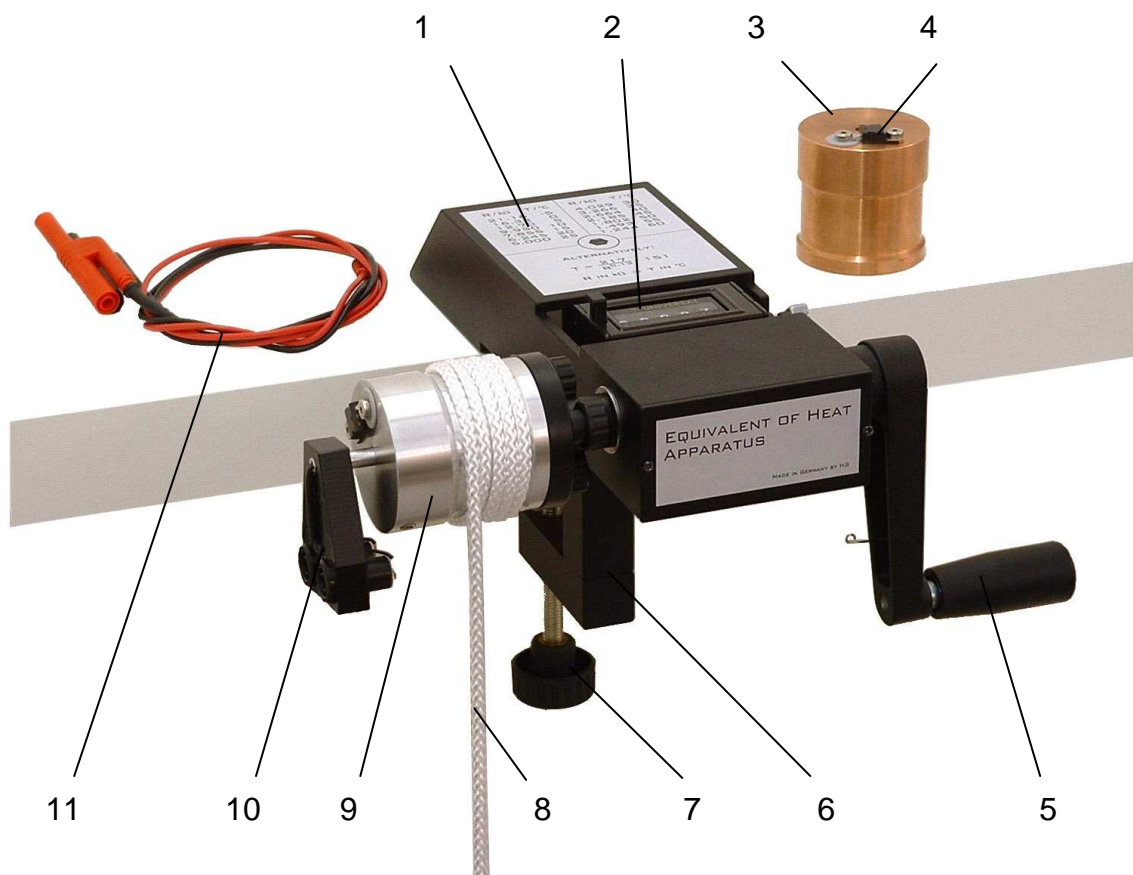


Fig.1: Composants

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 Support avec tableau pour la conversion $R \rightarrow T$ | 2 Compteur |
| 3 Cylindre en cuivre (650276) | 4 Élément chauffant électrique |
| 5 Manivelle | 6 Bride de fixation de table |
| 7 Vis moletée | 8 Cordon de frottement |
| 9 Cylindre en aluminium | 10 Palpeur de température |
| 11 Câble adaptateur | 12 Seau de 5 l (non visible) |

Le dispositif de mesure de l'équivalent de chaleur permet de convertir le travail mécanique (Nm) et l'énergie électrique (Ws) en chaleur (J). L'évaluation présente l'équivalence des trois formes d'énergie.

1. Consignes de sécurité

Risque de blessure ! En tombant, le poids (env. 5 kg) fixé au cordon (8) peut blesser des gens. Pour être fixé, il doit reposer sur le sol et ne pas être soulevé de plus de 10 cm pendant les expériences.

Risque de brûlure ! Le cylindre (3) ou (9) est réchauffé pendant les expériences. Veiller à ce que la température ne dépasse pas env. 40 °C. Le courant maximum admissible dans l'élément chauffant s'élève à 3 A et ne doit pas être dépassé.

Risque de choc électrique ! La tension de sortie maximale du bloc d'alimentation utilisé lors du réchauffement électrique ne doit pas dépasser 40 V.

2. Description, caractéristiques techniques

Ce dispositif de mesure permet d'indiquer l'équivalence du travail de frottement mécanique (Nm), de l'énergie électrique (Ws) et de la chaleur (J). Les valeurs déterminées en Nm et Ws coïncident à env. 2%. Cette équivalence étant sous-entendue, on peut déterminer la capacité thermique spécifique de l'aluminium et du cuivre.

Grâce à la construction robuste avec un compte-tours intégré et un arbre à double roulement à billes, les expériences peuvent être réalisées très simplement. Pour mesurer la température, on utilise une résistance à coefficient de température négatif (NTC), qui est rangée sûrement dans un boîtier en aluminium. Ce boîtier s'encoche dans le cylindre et ne peut donc pas en ressortir par inadvertance.

Caractéristiques techniques des cylindres de frottement (approx.) :

Diamètre $D = 48$ mm

Hauteur $H = 50$ mm

Cylindre en aluminium : masse $m_A = 250$ g,
capacité thermique spécifique $c_A = 0,86$ kJ/kg K,

Cylindre en cuivre : $m_K = 750$ g,
 $c_K = 0,41$ kJ/kg K

Connexion électrique : douilles de 2 mm de diamètre, pôle « + » isolé, pôle « - » à la masse, une inversion de polarité n'entraîne pas de destruction.

3. Manipulation et entretien

Le dispositif de mesure de l'équivalent de chaleur est vissé à une plaque de travail stable à l'aide de la bride de fixation. Puis, comme le montre la figure 1, le cordon est placé 4,5 à 5,5 fois autour du cylindre, le contrepois devant pendre à l'arrière et l'extrémité libre du cordon pendre à l'avant.

Comme poids, on peut utiliser le seau fourni, rempli d'eau ou de sable, etc. (masse totale d'env. 5 kg). L'extrémité libre du cordon est reliée au poids se trouvant au sol. Lorsque le cordon est tendu, veiller à ce que le contrepois ne soit pas distant de plus de 5 cm du sol, pour empêcher que le poids ne se soulève de plus de 10 cm pendant l'expérience.

Si à présent, la manivelle étant actionnée, le cordon va à droite et, le cas échéant, ne reste pas dans sa rainure, il faudra le placer autour du cylindre de telle manière que l'extrémité du cordon avec le poids se trouve à droite et l'extrémité avec le contrepois à gauche.

Humidifier le palpeur avec une goutte d'huile (important !) et l'enficher dans le cylindre sélectionné (cf. la figure 1), jusqu'à ce qu'il s'encoche et se laisse tourner facilement (s'il est trop ou pas assez enfoncé, il ne tourne pas correctement). Les deux connexions du palpeur sont reliées à un dispositif de mesure de résistance (multimètre) disposant d'un affichage à au moins trois chiffres dans une gamme entre 2 et 9 kΩ. La résistance mesurée peut être convertie en température soit à l'aide du tableau de la dernière page de ce manuel d'utilisation, soit avec l'équation suivante :

$$T = \frac{217}{R_{0,13}} - 151 \quad (1)$$

Dans ce cas, R doit être en kW pour obtenir T en °C. Cette équation coïncide à $\pm 0,05$ °C près aux indications du tableau du constructeur de la résistance NTC dans une gamme entre 10 et 40 °C.

Avant toute expérience, le cylindre doit refroidir à env. 5 - 10 °C à température ambiante. A cet effet, on peut le placer au réfrigérateur ou dans de l'eau froide, le trou du palpeur devant être orienté vers le haut et la profondeur de plongée représenter environ 2/3 seulement de la hauteur du cylindre (astuce : si le cylindre est mis dans l'eau dans un sachet plastique, il est inutile de le sécher après son refroidissement).

La température pendant une expérience doit augmenter, jusqu'à ce que la température du cylindre soit supérieure d'env. 5 - 10 °C à la température ambiante. Plus les différences de température (avec la température ambiante) coïncident lors du refroidissement et du réchauffement, plus l'échange net de chaleur avec l'environnement est faible.

Des câbles d'adaptation, qui présentent d'un côté des fiches de 2 mm de diamètre et de l'autre des fiches de laboratoire de 4 mm, servent au réchauffement électrique des cylindres. Pour l'alimentation électrique, utiliser un bloc d'alimentation à limitation de courant et de tension réglable, la tension maximale du bloc ne devant pas dépasser 40 V. Le pôle positif du bloc d'alimentation est relié à la douille isolée (pastille ronde en plastique gris sous la douille) et le pôle négatif à l'autre douille.

Les éléments chauffants sur les cylindres ne se comportent pas comme des résistances ohmiques ! A partir d'env. 10 V, le courant augmente rapidement, jusqu'à atteindre à env. 12 V l'intensité maximale admissible de 3 A. Pour régler un point de service, il est recommandé d'ajuster d'abord la limitation de courant à 2 - 3 A, puis d'accroître lentement la tension à env. 11 V, le courant devant monter à env. 1 A. A présent, affiner la limitation de courant, jusqu'à obtenir env. 0,8 A. Ces réglages ne seront plus modifiés par la suite ; pour couper le courant avant de procéder à l'expérience, il suffit de retirer les câbles. Par la limitation active du courant et la propriété non ohmique, la tension et le courant restent pratiquement constants pendant l'expérience, bien que la température varie.

Entretien : fondamentalement, le dispositif ne nécessite aucun entretien. Pour le nettoyer, on peut l'essuyer avec de l'eau et un produit de rinçage. Il est conseillé e ne pas utiliser de solvant. Eviter également de le plonger dans de l'eau.

Les cylindres doivent être en métal luisant. Si un revêtement devait s'être formé, on l'essuiera avec un produit de nettoyage pour métaux.

Le cas échéant, le cordon pourra être lavé. Comme remplacement peu coûteux pour le cordon, on peut utiliser une corde tressée en polyamide (disponible dans tout magasin de bricolage).

4. Réalisation et évaluation des expériences

4.1 Conversion du travail mécanique en chaleur

4.1.1 Réalisation de l'expérience

Tout d'abord, il s'agit de déterminer les différentes masses :

Poids principal (par ex. seau d'eau) $m_H = 5,22$ kg

contrepoids $m_G = 0,019$ kg

Cylindre en aluminium $m_A = 0,249$ kg

Autres grandeurs devant être mesurées au préalable :

Température ambiante $T_U = 23,2$ °C

Diamètre du cylindre sur la surface de frottement $D_R = 45,75$ mm

Une fois refroidi, le cylindre est vissé au support, le palpeur enfiché et le cordon placé autour du cylindre (cf. paragraphe 3). Après quelques minutes, qui doivent s'écouler pour obtenir une répartition homogène de la température, la résistance du palpeur s'élève à $R_1 = 8,00$ k Ω (conformément à $T_1 = 14,60$ °C d'après l'équation 1).

Après avoir contrôlé la position zéro du compteur, démarrer l'expérience en tournant la manivelle pour soulever ainsi le poids principal. A présent, le contrepoids redescend sur le sol, ce qui détend légèrement le cordon qui frotte moins contre le cylindre. A présent, le poids principal conserve sa hauteur et devra la garder pendant toute la durée de l'expérience.

Après $n = 460$ rotations, conclure l'expérience et lire la résistance : $R_2 = 3,99$ k Ω ($T_2 = 30,26$ °C). Comme la température augmente encore un peu directement après conclusion de l'expérience (homogénéisation de la répartition de la température), on note comme valeur de mesure la résistance maximale qui est atteinte quelques secondes après la fin de l'expérience. Ensuite, la résistance se remet à augmenter, car la température du cylindre retombe par l'échange de chaleur avec l'environnement.

4.1.2 Evaluation de l'expérience

Le travail W est défini comme le produit de la force F et du parcours s

$$W = F s . \quad (2)$$

Lors du frottement, la force

$$F = m_A g \quad (3)$$

(g représente l'accélération de la pesanteur) agit le long du parcours

$$s = n \pi D_R . \quad (4)$$

On utilise les équations 3 et 4 dans l'équation 2 pour obtenir :

$$W = m_A g n \pi D_R = 5,22 \times 9,81 \times 460 \times 3,1416 \times 0,04575 \text{ Nm} = 3386 \text{ Nm} . \quad (5)$$

La chaleur accumulée dans le cylindre ΔQ résulte de la différence de température ($T_2 - T_1$) et de la capacité thermique spécifique indiquée au paragraphe 2 :

$$\Delta Q = c_A m_A (T_2 - T_1) = 0,86 \times 0,249 \times (30,26 - 14,60) \text{ kJ} = 3353 \text{ J} \quad (6)$$

Dans cet exemple, l'écart entre le travail et la chaleur ne présente qu'environ 1%. En raison de tolérances inévitables dans la composition du matériau (l'aluminium pur est très mou et ne peut guère être traité mécaniquement, aussi utilise-t-on toujours des alliages), la capacité

thermique spécifique peut néanmoins varier sensiblement. Il est recommandé de la déterminer individuellement pour chaque cylindre. La méthode la plus simple est un réchauffement électrique, sous-entendu d'avoir une équivalence entre la chaleur et l'énergie électrique.

4.2 Conversion de l'énergie électrique en chaleur

4.2.1 Réalisation de l'expérience

Une fois refroidi, le cylindre est vissé au support (mêmes conditions qu'au cours de l'expérience sur le frottement) et le palpeur enfiché. Après quelques minutes, qui doivent s'écouler pour obtenir une répartition homogène de la température, la résistance du palpeur s'élève à $R_1 = 8,00 \text{ k}\Omega$ (conformément à $T_1 = 14,60 \text{ }^\circ\text{C}$ d'après l'équation 1).

A présent, le bloc d'alimentation pré-réglé (cf. paragraphe 3) est branché à l'élément chauffant et un chronomètre démarré. Noter la tension et le courant (affichage sur le bloc d'alimentation) : $U = 11,0 \text{ V}$, $I = 0,512 \text{ A}$

Après $t = 600 \text{ s}$, conclure l'expérience et lire la résistance : $R_2 = 3,98 \text{ k}\Omega$ ($T_2 = 30,32 \text{ }^\circ\text{C}$).

4.2.2 Evaluation de l'expérience

L'énergie électrique E est le produit de la puissance P et du temps t . La puissance est quant à elle le produit de la tension et du courant. On a alors l'équation suivante :

$$E = U I t = 11,0 \times 0,512 \times 600 = 3379 \text{ Ws} . \quad (7)$$

Au cours de cette expérience, la chaleur amenée s'élève à

$$\Delta Q = c_A m_A (T_2 - T_1) = 0,86 \times 0,249 \times (30,32 - 14,60) \text{ kJ} = 3366 \text{ J} \quad (8)$$

Encore une fois, E et ΔQ coïncident très bien.

Rapport entre la résistance et la température avec un palpeur de température

R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C	R / kΩ	T / °C
7,86	14,97	6,78	18,19	5,70	22,05	4,62	26,84	3,54	33,10
7,84	15,03	6,76	18,26	5,68	22,13	4,60	26,94	3,52	33,24
7,82	15,08	6,74	18,32	5,66	22,21	4,58	27,04	3,50	33,38
7,80	15,14	6,72	18,39	5,64	22,29	4,56	27,14	3,48	33,51
7,78	15,19	6,70	18,45	5,62	22,37	4,54	27,24	3,46	33,65
7,76	15,25	6,68	18,52	5,60	22,45	4,52	27,35	3,44	33,79
7,74	15,31	6,66	18,58	5,58	22,53	4,50	27,45	3,42	33,93
7,72	15,36	6,64	18,65	5,56	22,61	4,48	27,55	3,40	34,07
7,70	15,42	6,62	18,72	5,54	22,69	4,46	27,66	3,38	34,22
7,68	15,47	6,60	18,78	5,52	22,77	4,44	27,76	3,36	34,36
7,66	15,53	6,58	18,85	5,50	22,85	4,42	27,87	3,34	34,50
7,64	15,59	6,56	18,92	5,48	22,94	4,40	27,97	3,32	34,65
7,62	15,64	6,54	18,99	5,46	23,02	4,38	28,08	3,30	34,79
7,60	15,70	6,52	19,05	5,44	23,10	4,36	28,18	3,28	34,94
7,58	15,76	6,50	19,12	5,42	23,19	4,34	28,29	3,26	35,09
7,56	15,81	6,48	19,19	5,40	23,27	4,32	28,40	3,24	35,24
7,54	15,87	6,46	19,26	5,38	23,35	4,30	28,51	3,22	35,39
7,52	15,93	6,44	19,33	5,36	23,44	4,28	28,62	3,20	35,54
7,50	15,99	6,42	19,40	5,34	23,52	4,26	28,72	3,18	35,69
7,48	16,05	6,40	19,46	5,32	23,61	4,24	28,83	3,16	35,84
7,46	16,10	6,38	19,53	5,30	23,69	4,22	28,95	3,14	36,00
7,44	16,16	6,36	19,60	5,28	23,78	4,20	29,06	3,12	36,15
7,42	16,22	6,34	19,67	5,26	23,87	4,18	29,17	3,10	36,31
7,40	16,28	6,32	19,74	5,24	23,95	4,16	29,28	3,08	36,47
7,38	16,34	6,30	19,81	5,22	24,04	4,14	29,39	3,06	36,63
7,36	16,40	6,28	19,88	5,20	24,13	4,12	29,51	3,04	36,79
7,34	16,46	6,26	19,95	5,18	24,21	4,10	29,62	3,02	36,95
7,32	16,52	6,24	20,03	5,16	24,30	4,08	29,74	3,00	37,11
7,30	16,57	6,22	20,10	5,14	24,39	4,06	29,85	2,98	37,28
7,28	16,63	6,20	20,17	5,12	24,48	4,04	29,97	2,96	37,44
7,26	16,69	6,18	20,24	5,10	24,57	4,02	30,09	2,94	37,61
7,24	16,75	6,16	20,31	5,08	24,66	4,00	30,20	2,92	37,78
7,22	16,81	6,14	20,39	5,06	24,75	3,98	30,32	2,90	37,94
7,20	16,88	6,12	20,46	5,04	24,84	3,96	30,44	2,88	38,11
7,18	16,94	6,10	20,53	5,02	24,93	3,94	30,56	2,86	38,29
7,16	17,00	6,08	20,60	5,00	25,02	3,92	30,68	2,84	38,46
7,14	17,06	6,06	20,68	4,98	25,11	3,90	30,80	2,82	38,63
7,12	17,12	6,04	20,75	4,96	25,21	3,88	30,92	2,80	38,81
7,10	17,18	6,02	20,83	4,94	25,30	3,86	31,04	2,78	38,99
7,08	17,24	6,00	20,90	4,92	25,39	3,84	31,17	2,76	39,17
7,06	17,30	5,98	20,97	4,90	25,48	3,82	31,29	2,74	39,35
7,04	17,37	5,96	21,05	4,88	25,58	3,80	31,42	2,72	39,53
7,02	17,43	5,94	21,12	4,86	25,67	3,78	31,54	2,70	39,71
7,00	17,49	5,92	21,20	4,84	25,77	3,76	31,67	2,68	39,90
6,98	17,55	5,90	21,28	4,82	25,86	3,74	31,79	2,66	40,08
6,96	17,62	5,88	21,35	4,80	25,96	3,72	31,92	2,64	40,27
6,94	17,68	5,86	21,43	4,78	26,05	3,70	32,05	2,62	40,46
6,92	17,74	5,84	21,50	4,76	26,15	3,68	32,18	2,60	40,65
6,90	17,81	5,82	21,58	4,74	26,25	3,66	32,31	2,58	40,84
6,88	17,87	5,80	21,66	4,72	26,34	3,64	32,44	2,56	41,04
6,86	17,93	5,78	21,74	4,70	26,44	3,62	32,57	2,54	41,23
6,84	18,00	5,76	21,81	4,68	26,54	3,60	32,70	2,52	41,43
6,82	18,06	5,74	21,89	4,66	26,64	3,58	32,84	2,50	41,63
6,80	18,13	5,72	21,97	4,64	26,74	3,56	32,97	2,48	41,83