

# De soortelijke warmtecapaciteit van water.

## Inhoud :

- 1) Inleiding.
- 2) Lijst met materiaal.
- 3) Opstellen van het experiment.
- 4) Werkwijze.
- 5) Experimentele resultaten.
- 6) Theoretische uitleg.
- 7) Conclusies.
- 8) Referenties.

## 1) Inleiding.

Het doel van het experiment dat hier wordt beschreven, is het meten van de specifieke warmtecapaciteit van water. Om dit te doen, gebruiken we een calorimeter gemaakt met materiaal dat beschikbaar is voor elke goede klusjesman. We zullen zien dat de behaalde resultaten, ondanks onze beperkte middelen, volledig bevredigend zijn.

## 2) Lijst met materiaal.

- Een precisieweegschaal (0,01 g) met een bereik van ongeveer 200 g.
- Een elektronische multimeter.
- Weerstandsdraad (65  $\Omega$ /m).
- Een temperatuursensor (LMT86 van Texas Instruments)
- Een quartz horloge tot op de seconde nauwkeurig.
- Een piepschuimcontainer met deksel met een inhoud van ongeveer 200 cm<sup>3</sup> (zelf gemaakt van oude verpakking)
- Een elektrische voeding die een stroom van 2 A kan leveren bij een spanning van 12 V.
- Een batterij van 4,5 V of een spanningsbron die is gestabiliseerd tussen 3 en 5 V.
- Aansluitdraden, soldeersel,....

### 3) Opstellen van het experiment.

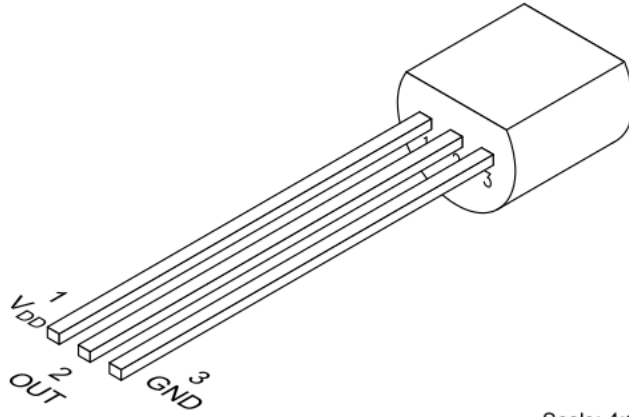
Je moet eerst een weerstand maken met de weerstandsdraad. Deze weerstand moet een waarde hebben van ongeveer  $10 \Omega$  : vb. 15 cm draad van  $65 \Omega/m$ . De uiteinden van de weerstandsdraad zijn ontdaan van email en aan de uiteinden van de elektrische draad gesoldeerd.



De temperatuursonde moet dan worden aangesloten volgens het volgende schema:

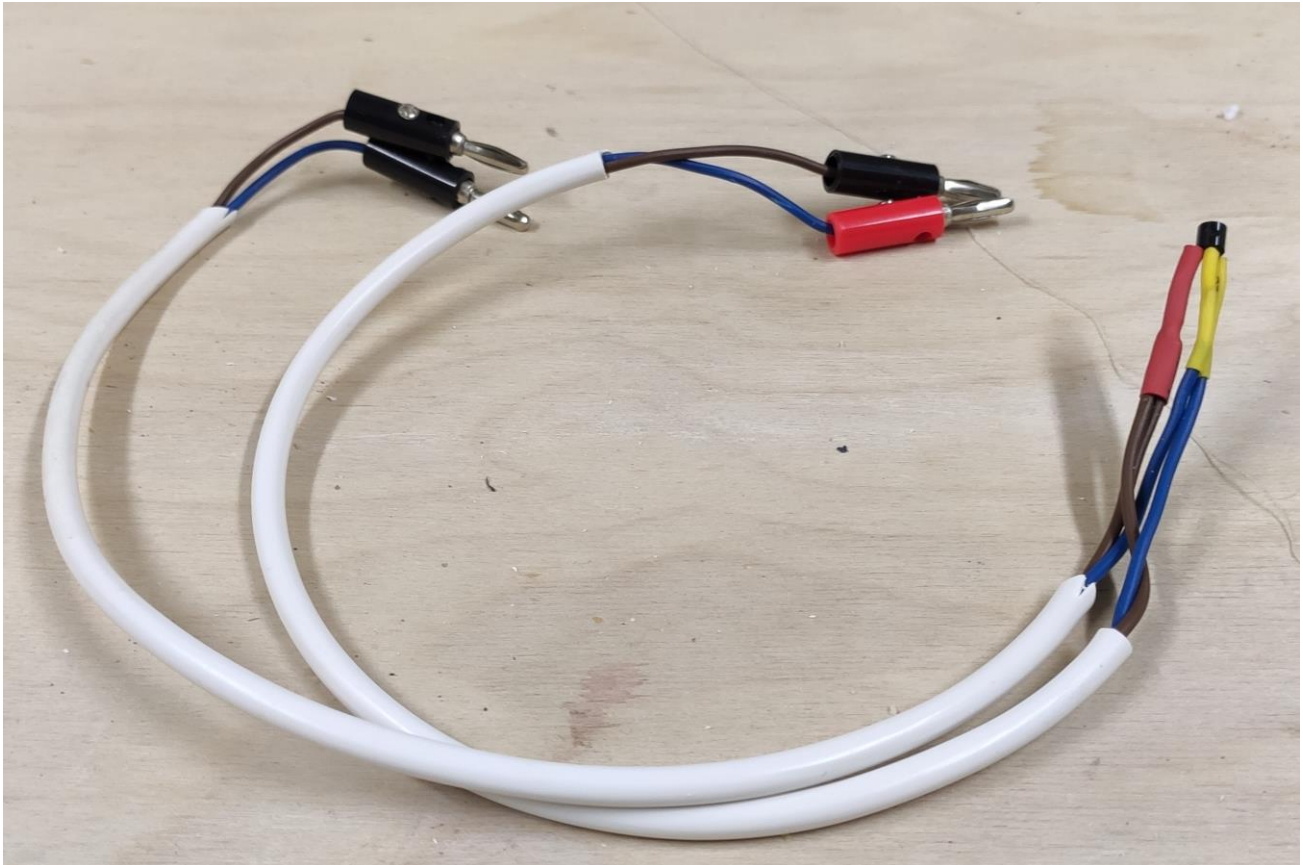
Twee draden bedoeld voor de voeding tussen 3 en 5 V gesoldeerd op de twee benen: GND (negatieve pool) en Vdd (positieve pool). Twee andere draden die bedoeld zijn voor de meting, worden op de GND- en OUT-aansluitingen gesoldeerd. (ref 1)

LP Package  
3-Pin TO-92  
(Top View)



Scale: 4:1

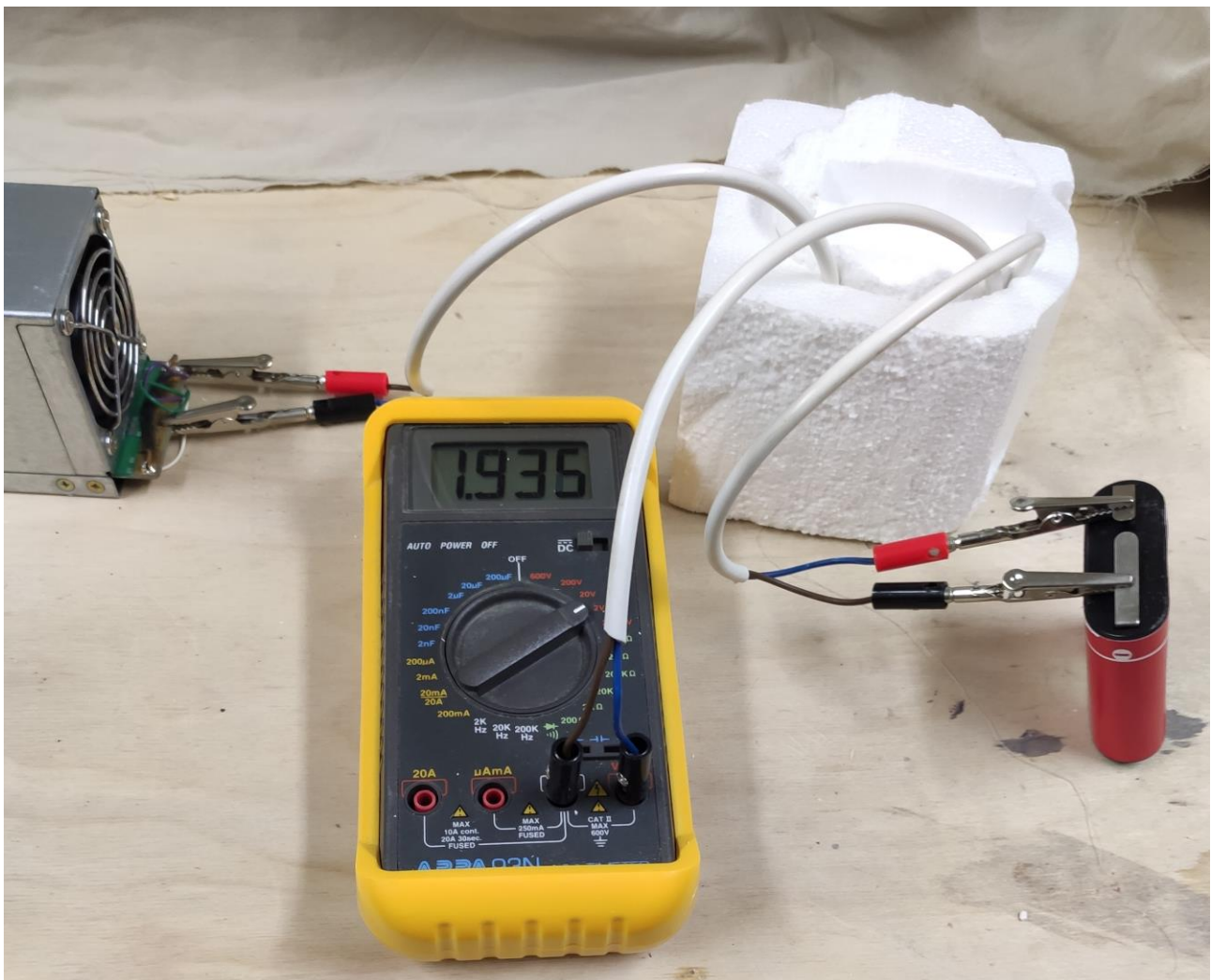




Meet vervolgens nauwkeurig de massa van ongeveer 100 g water en giet het in de piepschuimcontainer. We kunnen ook direct de massa van het water en de container meten en de tarra ervan aftrekken.

Sluit de voedingsklemmen van de temperatuursonde aan op de klemmen van de 4,5 V-batterij en de meetklemmen op de multimeter (bereik 0 tot 2 V). Maak geen fouten met de klemmen van de temperatuursensor. De kleinste fout kan deze nl. stukmaken. Zowel de weerstand als de temperatuursensor worden ondergedompeld in het water. De weerstandsklemmen worden aangesloten op de 12 V-spanningsbron. Zorg ervoor dat de weerstand niet onder stroom wordt gezet als hij nog niet ondergedompeld is, anders loop je het risico dat de draad smelt.

De opstelling is klaar.



## 4) Werkwijze.

### a) Meting van de elektrische eigenschappen van de weerstand.

Dompel de weerstand onder in water en meet de stroomsterkte door de weerstand met de multimeter (nadat de 12 V-voeding is aangesloten). Verander vervolgens de opstelling om de spanning over de weerstand te meten. Noteer deze twee waarden. Hun product is het verwarmingsvermogen dat de weerstand afgeeft aan het water.

### b) Metingen van de warmtecapaciteit van het systeem.

Sluit het systeem aan en meet ongeveer elke dertig seconden de spanning aan de meetklemmen van de temperatuursonde. Schud de piepschuimcontainer lichtjes om de temperatuur overal gelijk te maken. Noteer de exacte tijd (tot op de seconde) van elke meting. Het is niet belangrijk dat het horloge op de exacte tijd staat, alleen de tijdsverschillen zijn belangrijk; absolute tijd is niet belangrijk.

De temperatuur van het water wordt afgeleid uit de formule die de spanning aan de klemmen van de sonde koppelt aan de temperatuur van deze laatste. Deze formule wordt gegeven door de fabrikant van de sonde (ref 1). Voor de LMT86:

Although the LMT86 is very linear, its response does have a slight umbrella parabolic shape. This shape is very accurately reflected in [Table 3](#). The Transfer Table can be calculated by using the parabolic equation ([Equation 1](#)).

$$V_{TEMP} (mV) = 1777.3mV - \left[ 10.888 \frac{mV}{^{\circ}C} (T - 30^{\circ}C) \right] - \left[ 0.00347 \frac{mV}{^{\circ}C^2} (T - 30^{\circ}C)^2 \right] \quad (1)$$

The parabolic equation is an approximation of the transfer table and the accuracy of the equation degrades slightly at the temperature range extremes. [Equation 1](#) can be solved for T resulting in:

$$T = \frac{10.888 - \sqrt{(-10.888)^2 + 4 \times 0.00347 \times (1777.3 - V_{TEMP} (mV))}}{2 \times (-0.00347)} + 30 \quad (2)$$

Experimenteer meerdere keren met verschillende watermassa's.

## 5) Experimentele resultaten.

### a) Kenmerken van de weerstand.

Gemeten stroom: 1,40 A.

Gemeten spanning: 12,02 V.

Weerstandsvermogen: 1,40 A . 12,02 V = 16,828 W

Merk terloops op dat de weerstand gelijk is aan: 12,02 V / 1,40 A = 8,59 Ω

## b) Tabellen met meetresultaten.

De tabellen bevatten, naast de tijd en de gemeten spanning, de watertemperatuur afgeleid van de spanning aan de klemmen van de sonde, en de tijd die is verstreken sinds het begin van de metingen afgeleid uit de tijd.

### i) 123 g water

Tijd	Spanning V	Temperatuur °C	$\Delta t$ s	$\Delta T$ K
22:11:35	1,942	14,80	0	0,00
22:12:30	1,922	16,65	55	1,85
22:13:30	1,901	18,60	115	3,80
22:14:30	1,881	20,45	175	5,65
22:15:30	1,861	22,29	235	7,49
22:16:30	1,841	24,14	295	9,34
22:17:30	1,821	25,98	355	11,18
22:18:30	1,801	27,82	415	13,02
22:19:30	1,782	29,57	475	14,77
22:21:00	1,752	32,32	565	17,52
22:22:00	1,734	33,97	625	19,17
22:23:00	1,716	35,62	685	20,82

### ii) 54,82 g water

Tijd	Spanning V	Temperatuur °C	$\Delta t$ s	$\Delta T$ K
14:53:30	1,878	20,72	0	0,00
14:54:00	1,858	22,57	30	1,85
14:55:00	1,812	26,81	90	6,09
14:56:00	1,768	30,85	150	10,13
14:56:30	1,743	33,15	180	12,42
14:57:00	1,721	35,16	210	14,44
14:57:30	1,702	36,90	240	16,18
14:58:00	1,680	38,91	270	18,19

**iii) 84,95 g water**

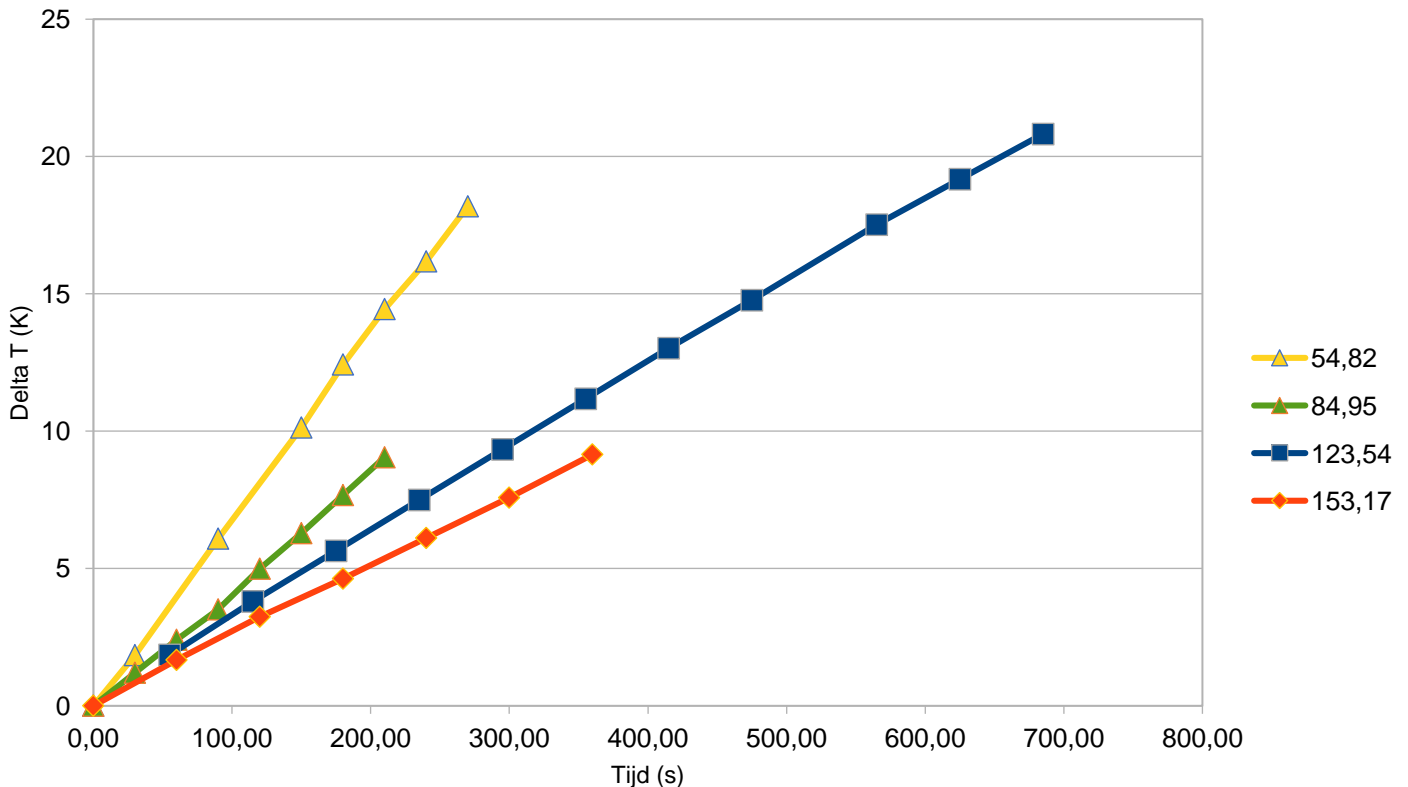
Tijd	Spanning V	Temperatuur ° C	$\Delta t$ s	$\Delta T$ K
15:14:30	1,918	17,02	0	0,00
15:15:00	1,905	18,23	30	1,20
15:15:30	1,892	19,43	60	2,41
15:16:00	1,880	20,54	90	3,52
15:16:30	1,864	22,02	120	4,99
15:17:00	1,850	23,31	150	6,28
15:17:30	1,835	24,69	180	7,67
15:18:00	1,820	26,07	210	9,05

**iv) 153,17 g water**

Tijd	Spanning V	Temperatuur ° C	$\Delta t$ s	$\Delta T$ K
15:02:30	1,932	15,73	0	0,00
15:03:30	1,914	17,39	60	1,67
15:04:30	1,897	18,97	120	3,24
15:05:30	1,882	20,35	180	4,63
15:06:30	1,866	21,83	240	6,11
15:07:30	1,850	23,31	300	7,58
15:08:30	1,833	24,88	360	9,15



### c) Grafiek.



### 6) Theoretische uitleg

Nu kunnen we de hoeveelheid warmte meten die op het systeem overgebracht wordt om dit met 1K in temperatuur te doen stijgen. Om dit te doen, moeten we de hoeveelheid warmte kennen die per seconde op het systeem wordt overgebracht. Dit is precies het vermogen van de weerstand. Als onze weerstand dus een vermogen van P Watt heeft, zal er elke seconde P Joule aan warmte aan het systeem afgegeven worden.

Het eerste principe van de thermodynamica legt uit dat de hoeveelheid warmte die aan het systeem wordt overgedragen, de inwendige energie ervan met dezelfde hoeveelheid zal verhogen. Natuurlijk alleen als de hoeveelheid warmte die uit de piepschuimcontainer komt als verwaarloosbaar kan worden beschouwd en er geen mechanische arbeid geleverd wordt op de buitenwereld.

De toename van de inwendige energie van het systeem zal zich manifesteren door een toename van de temperatuur volgens de wet:

$$\Delta U = C_p \cdot \Delta T$$

(bij constante druk en volume, wat in onze proef praktisch het geval is)

waarin  $C_p$  de warmtecapaciteit van het systeem is,  $\Delta T$  de temperatuurstijging ervan en  $\Delta U$  de toename van de inwendige energie van het systeem, die bij afwezigheid van mechanische arbeid

alleen wordt verklaard door de bijdrage van warmte die wordt geleverd door de elektrische weerstand, ofwel:

$$\Delta U = \Delta Q = P \cdot \Delta t$$

met P het vermogen van de weerstand, en  $\Delta t$  de tijd die is verstreken sinds het begin van het experiment.

We hebben dus:  $\Delta U = \Delta Q = P \cdot \Delta t = C_p \cdot \Delta T$  en dus:  $\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{P}{C_p}$

Uit de berekening van de helling van de grafieken in de vorige sectie en de waarde van het vermogen van de weerstand, kunnen we de warmtecapaciteit van het systeem voor verschillende watermassa's vinden.

Door deze warmtecapaciteit te delen door de massa van het water, vinden we een eerste benadering van de soortelijke warmtecapaciteit van water, omdat de warmtecapaciteit van het meettoestel relatief laag is in vergelijking met die van water.

Op deze manier vinden we met de gegevens uit het vorige punt waarden tussen 4300 en 4500 J / kg.K.

Het is echter mogelijk om nog verder te gaan. Door de warmtecapaciteit van het systeem uit te zetten als functie van de hoeveelheid water die het bevat, is het mogelijk om de specifieke warmtecapaciteit van het water alleen te kennen, waarbij de warmtecapaciteit van de calorimeter buiten beschouwing wordt gelaten.

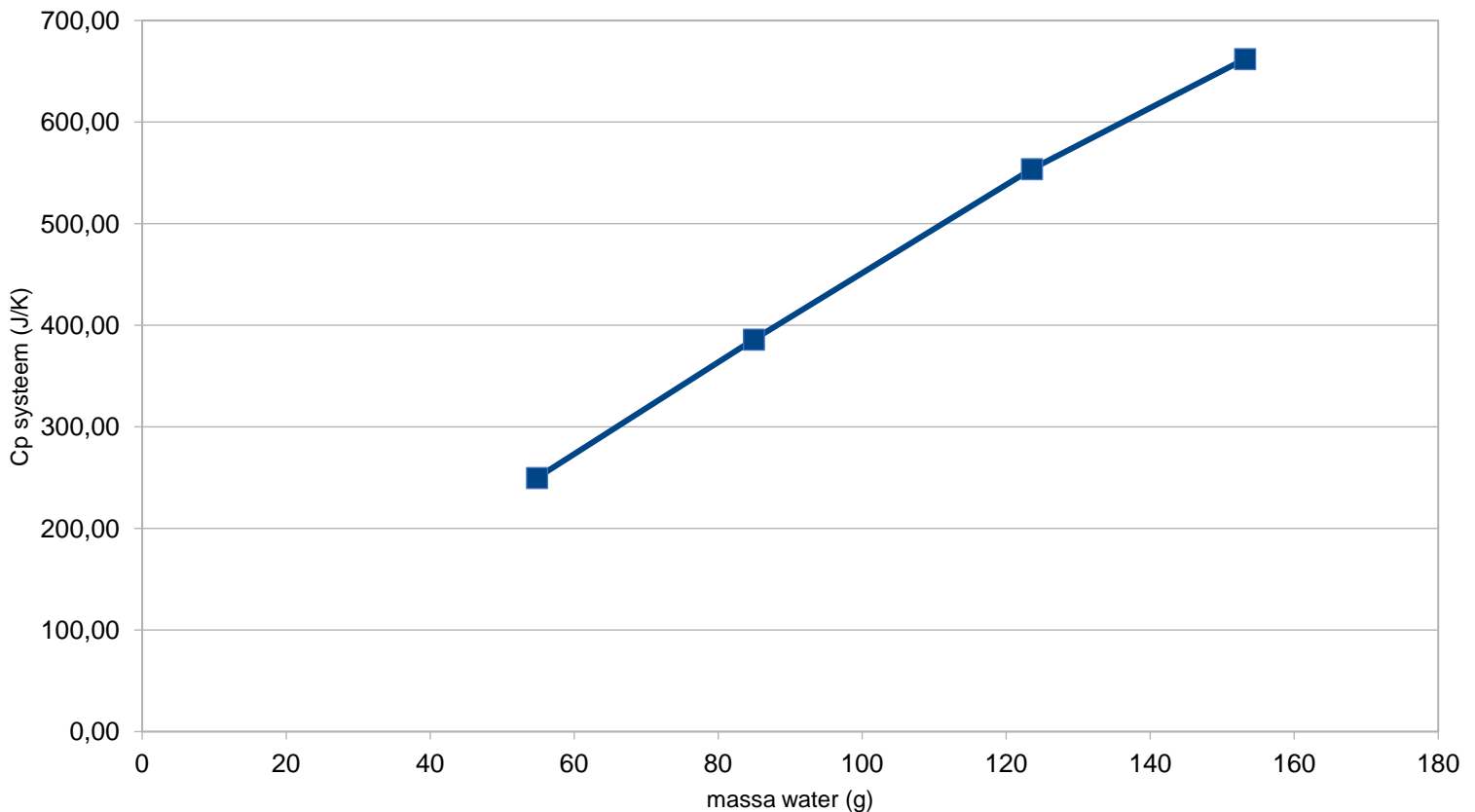
De warmtecapaciteit van het systeem zal lineair toenemen met de watermassa. De helling van deze laatste rechte is niets anders dan de soortelijke warmtecapaciteit van water.

## 7) Conclusies.

Tijdens de verschillende experimenten die we eerder hebben uitgevoerd, vinden we de volgende warmtecapaciteiten van het hele systeem:

Watermassa (g)	$C_p$ systeem (J / K)
54,82	249,82
84,95	386,06
123,54	553,65
153,17	662,15

Laten we de grafiek tekenen die de warmtecapaciteit van het systeem weergeeft als functie van de hoeveelheid water die het bevat.



Door de helling van deze rechte te berekenen, verkrijgen we de specifieke warmtecapaciteit van water. Hier kunnen we meten:  $C_p \text{ water} = 4192,4 \text{ J / (kg.K)}$ . De algemeen aanvaarde waarde is  $4182 \text{ J / (kg.K)}$  bij 300 K (ref. 2). Dit resultaat komt daarom tot op 0,3% overeen met de literatuur. Wat onverwacht is, een foutberekening op onze metingen zou ongetwijfeld een veel grotere onnauwkeurigheid aan het licht hebben gebracht.

## 8) Referenties.

- 1) Texas-Instruments Datasheet : LMT86 SNIS169E – MARCH 2013 – REVISED OCTOBER 2017
- 2) Chase, M.W., Jr., NIST-JANAF Thermochemical Tables, Fourth Edition, J. Phys. Chem. Ref. Data, Monograph 9, 1998, 1-1951.