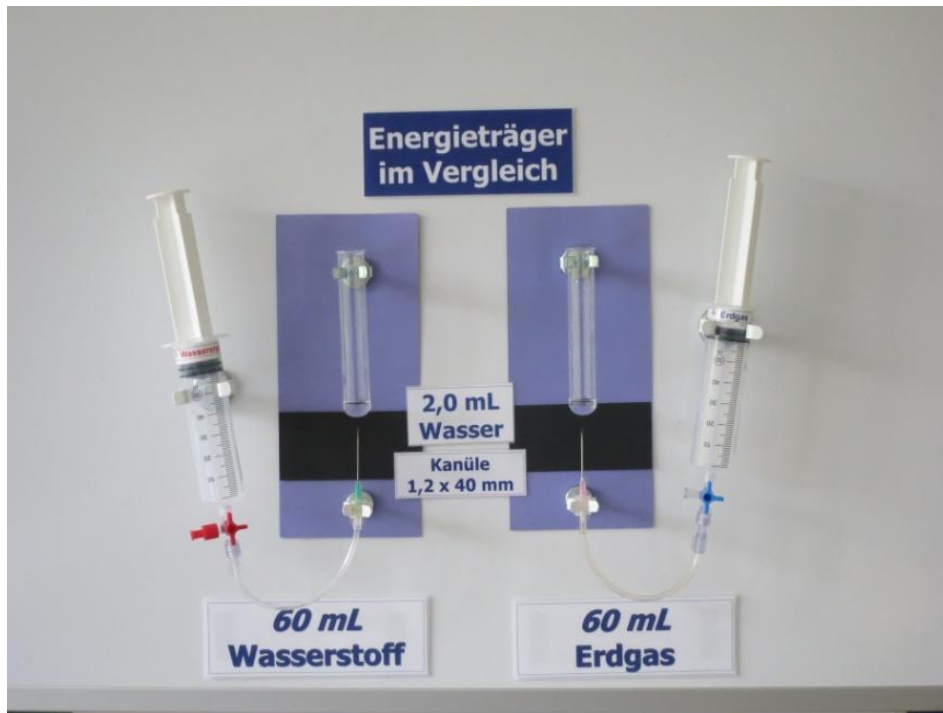


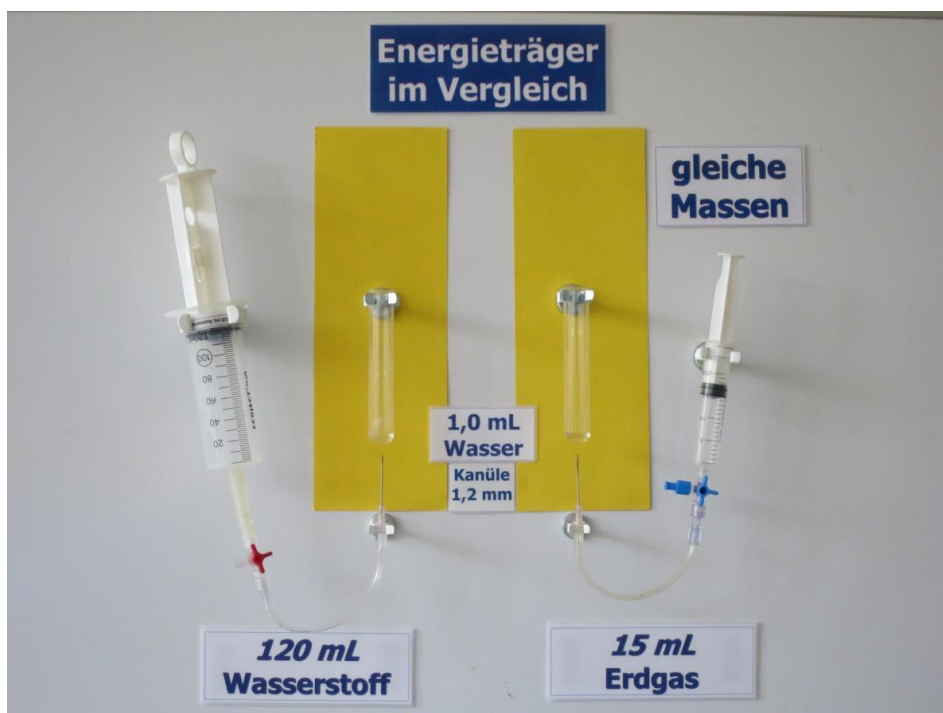
online-Ergänzung zum Energieträger-Artikel (CHEMKON 2018, Nr. 25, Nr. 8, S. 317 - 323)

I) "Bilderbuch" (Fotos und Diagramme) zu den Experimenten - Energieträger Teil I

Versuch 1 - gleiche Volumina, das Wasser siedet nur bei der Erdgas-Verbrennung



Versuch 2 - gleiche Massen (10 mg), das Wasser siedet nur bei der Wasserstoff-Verbrennung



Versuch 3 - gleiche Volumina

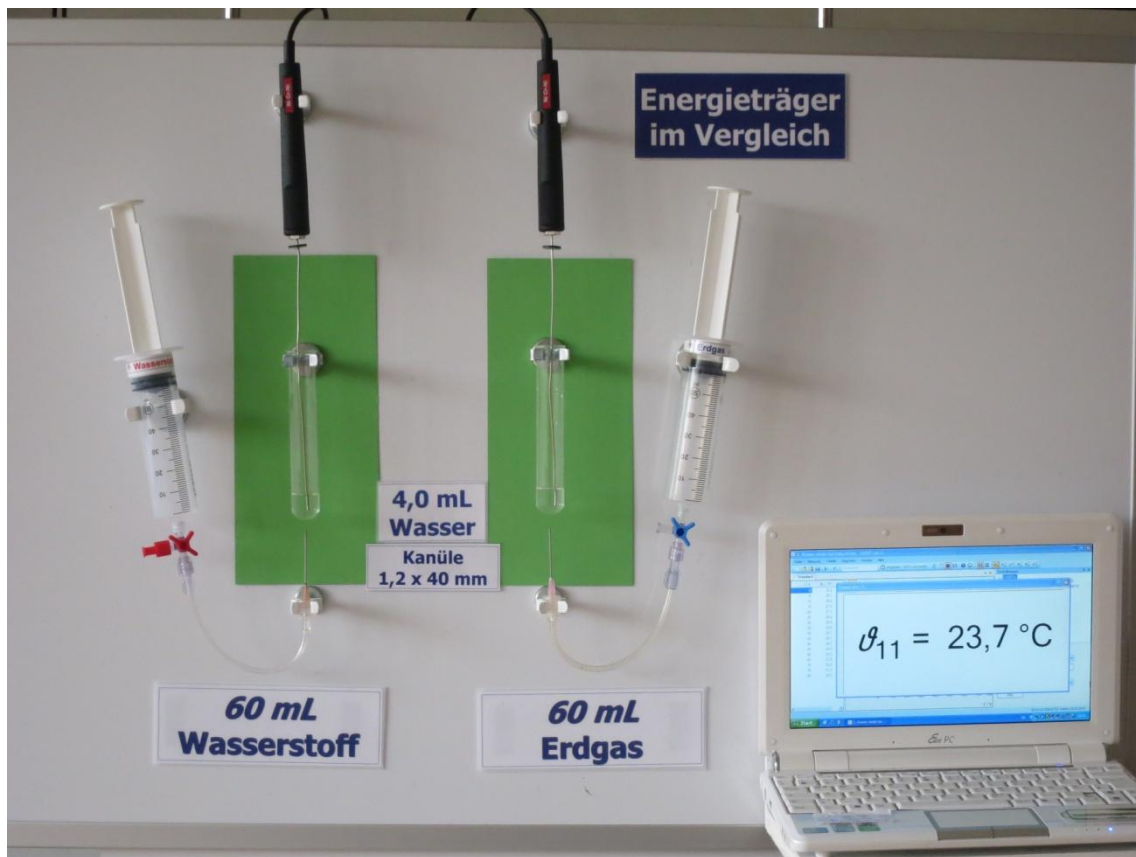
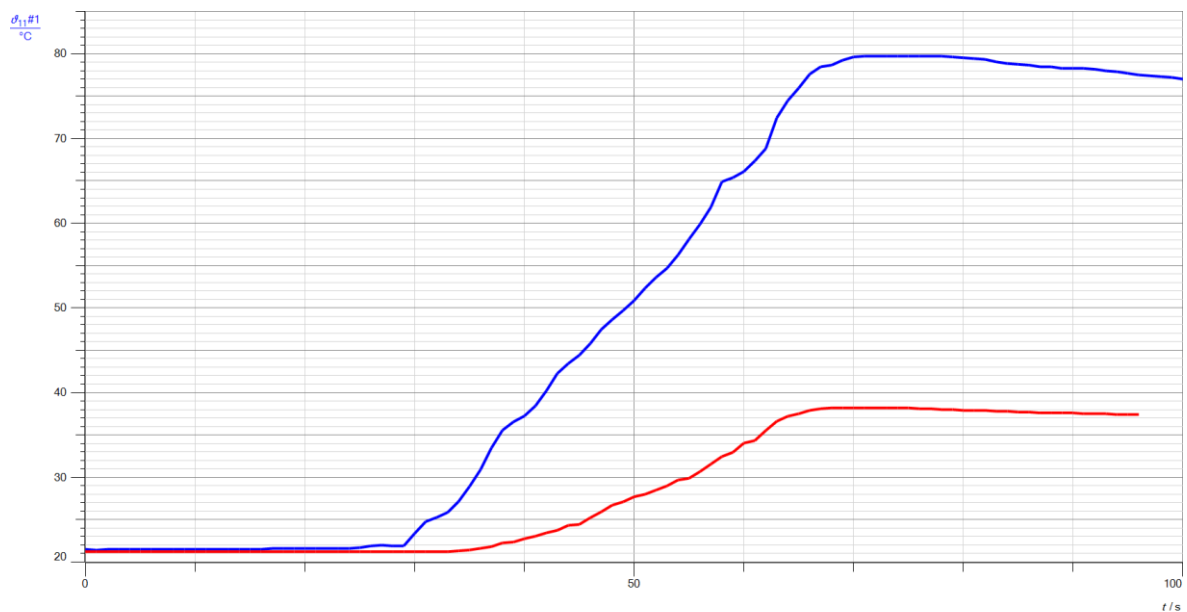


Diagramme zu Versuch 3

rot: Wasserstoff ($\Delta T = 17,8\text{ K}$; $\Delta_c H = -176\text{ kJ/mol}$) - blau: Erdgas ($\Delta T = 62,5\text{ K}$; $\Delta_c H = -618\text{ kJ/mol}$)
theoretische Heizwerte: Wasserstoff - 242 kJ/mol , Erdgas (Methan) - 804 kJ/mol



Versuch 4 - gleiche Massen (10 mg)

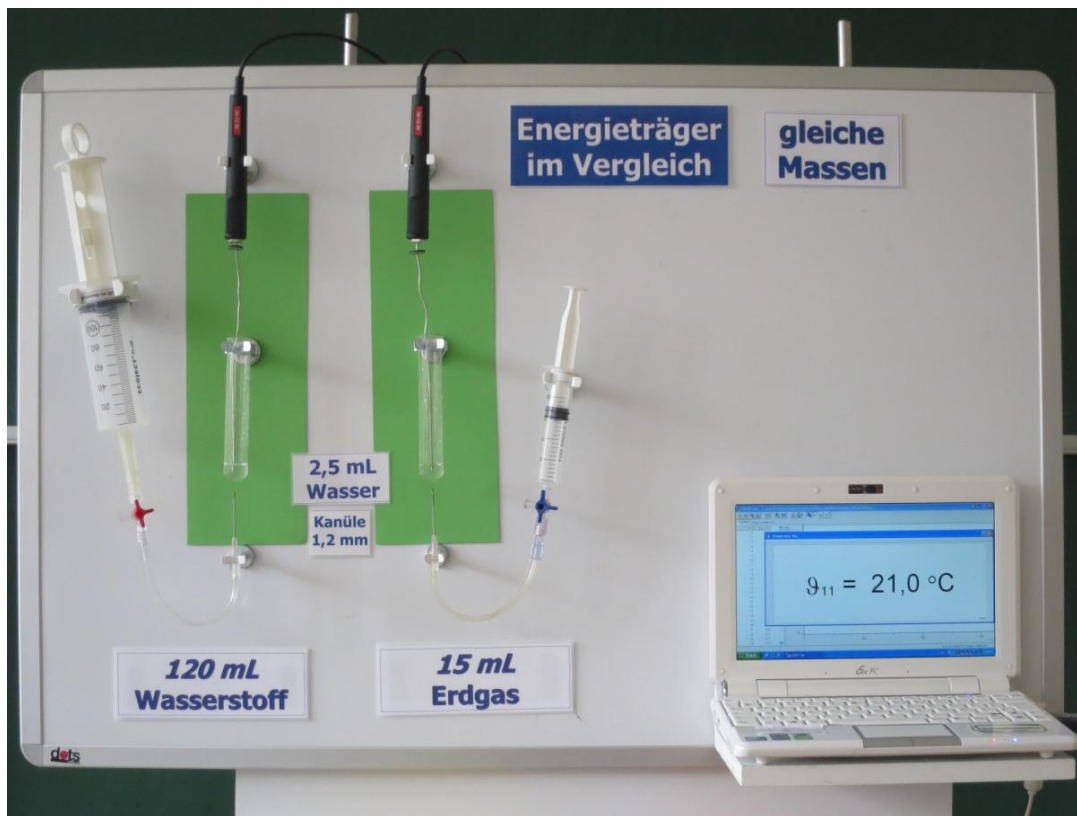
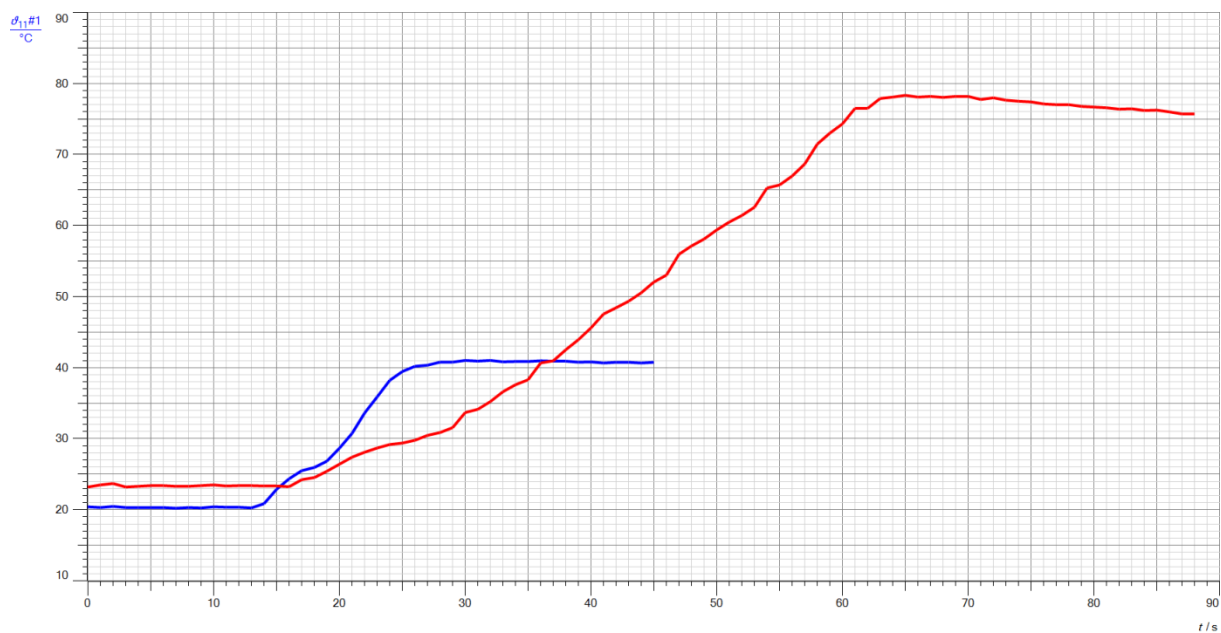


Diagramme zu Versuch 4

rot: Wasserstoff ($\Delta T = 58,0\text{ K}$; $\Delta_c H = -74\text{ kJ/g}$) - blau: Erdgas ($\Delta T = 21,0\text{ K}$; $\Delta_c H = -27\text{ kJ/g}$)

theoretische Heizwerte: Wasserstoff - 121 kJ/g, Erdgas (Methan) - 50,3 kJ/g



Versuch 5 - gleiche Verbrennungsenthalpien

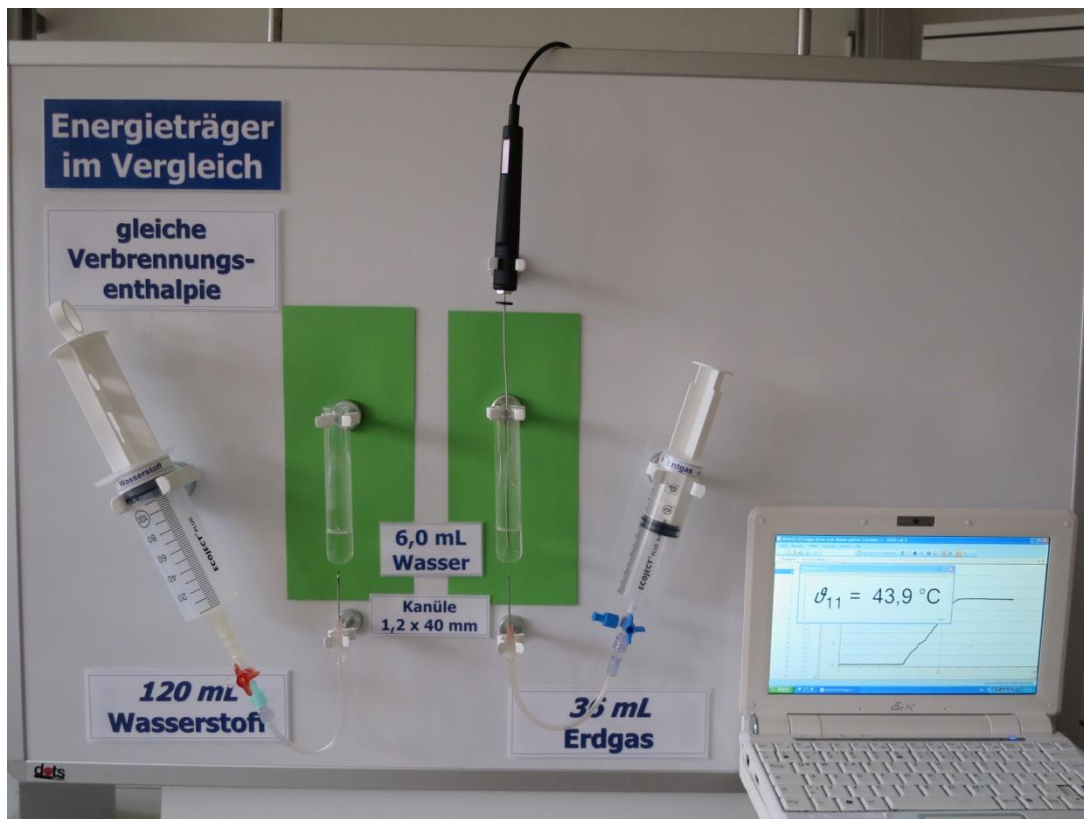
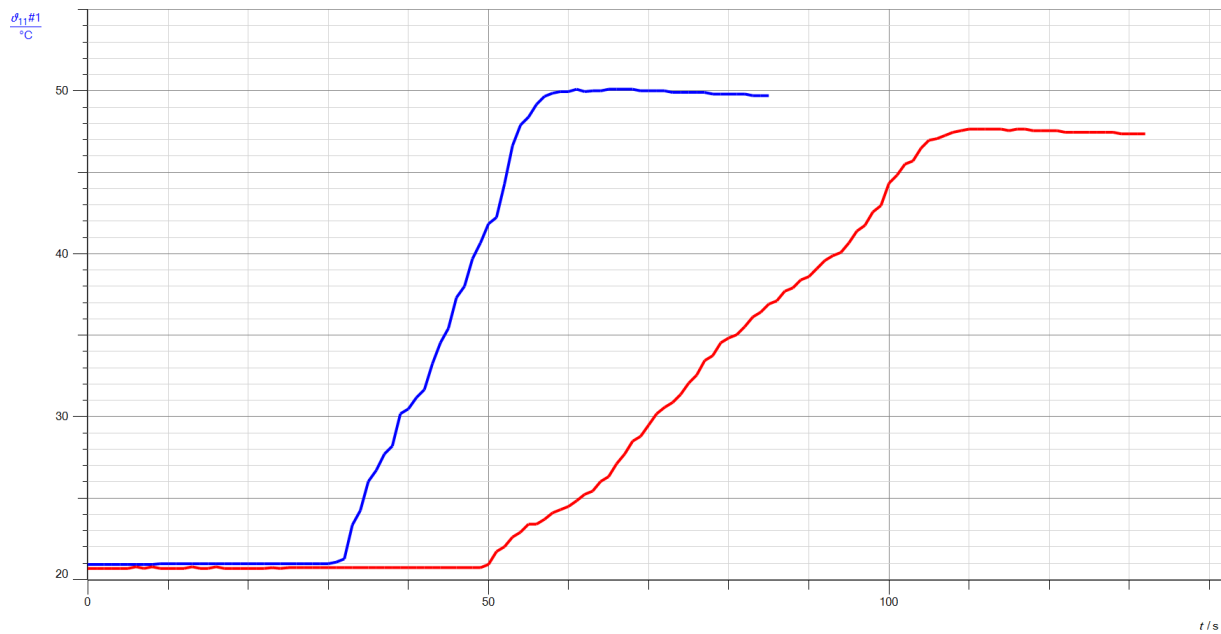


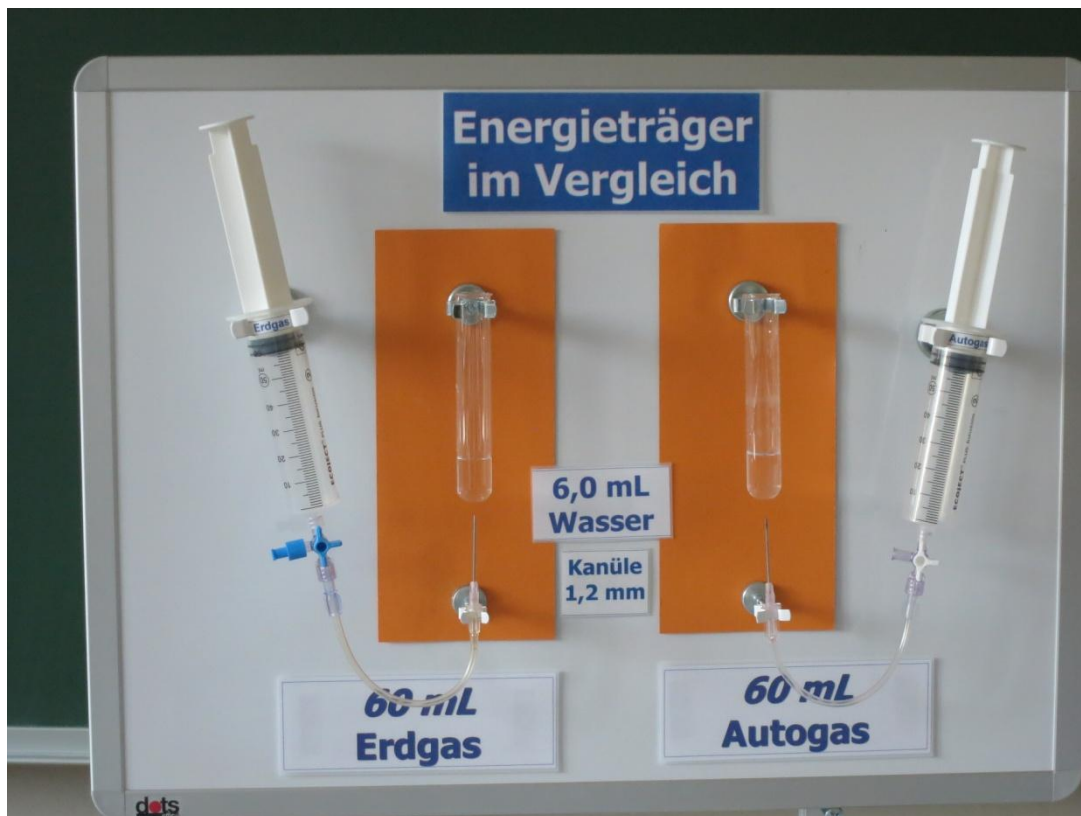
Diagramme zu Versuch 5

rot: Wasserstoff ($\Delta T = \text{ca. } 29 \text{ K}$; $\Delta_c H = -0,9 \text{ kJ}$), blau: Erdgas ($\Delta T = \text{ca. } 29 \text{ K}$; $\Delta_c H = -0,9 \text{ kJ}$)

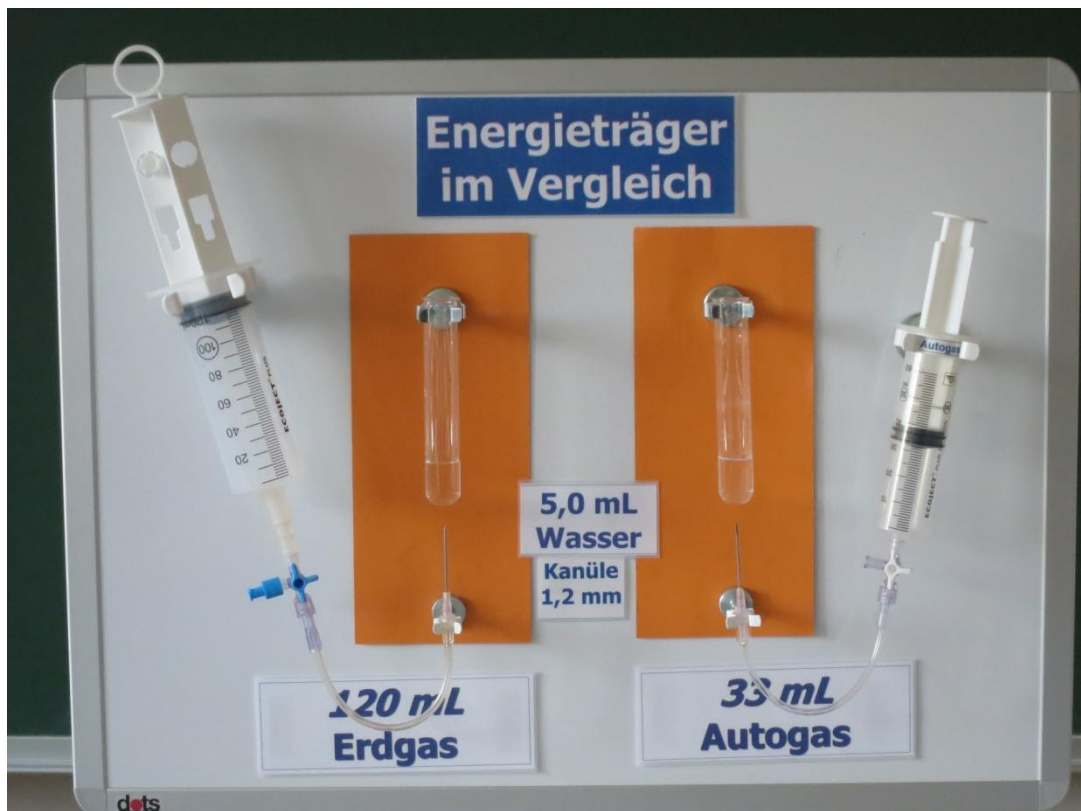
theoretischer Wert: $-1,2 \text{ kJ}$



Versuch 6 - gleiche Volumina: Das Wasser siedet nur bei Autogas



Versuch 7 - gleiche Massen (80 mg): Das Wasser siedet nur bei Erdgas



Versuch 8 - gleiche Volumina

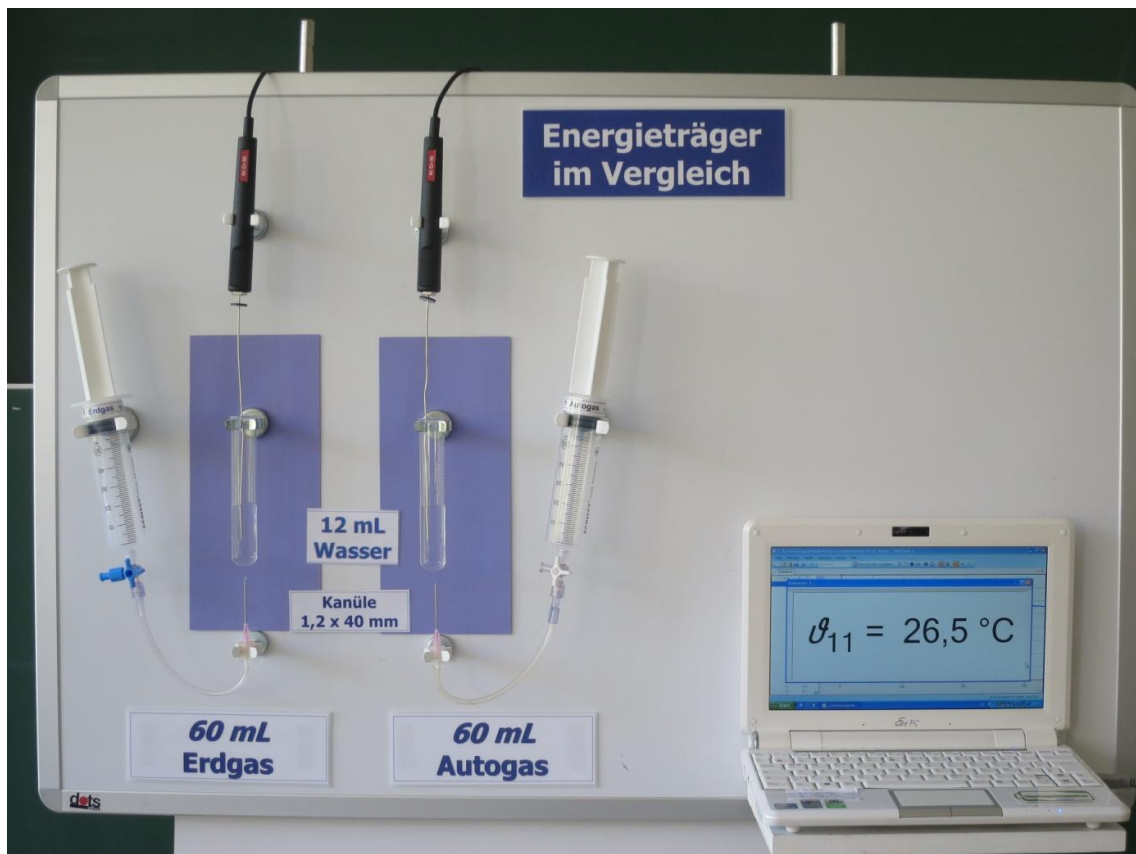
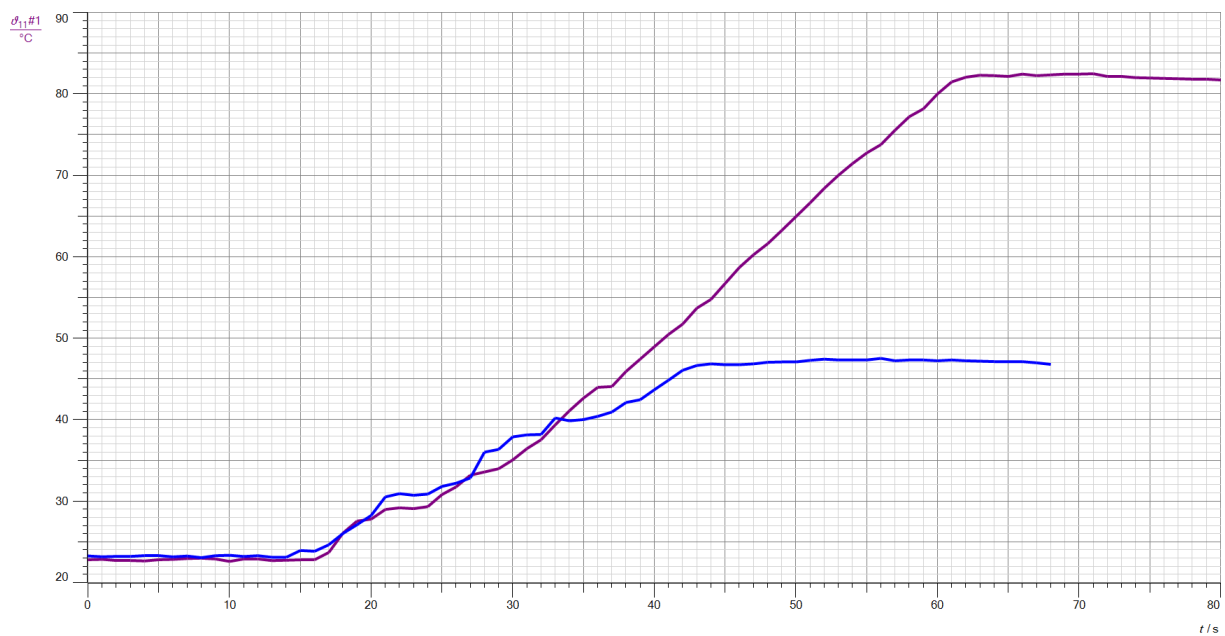


Diagramme zu Versuch 8

blau: Erdgas ($\Delta T = 24,0 \text{ K}$; $\Delta_c H = -559 \text{ kJ/mol}$) - violett: Autogas ($\Delta T = 60,0 \text{ K}$; $\Delta_c H = -1.398 \text{ kJ/mol}$)

theoretische Heizwerte: Erdgas (Methan) - 804 kJ/mol , Autogas (i-Butan) - 2.660 kJ/mol



Versuch 9 - gleiche Massen (80 mg)

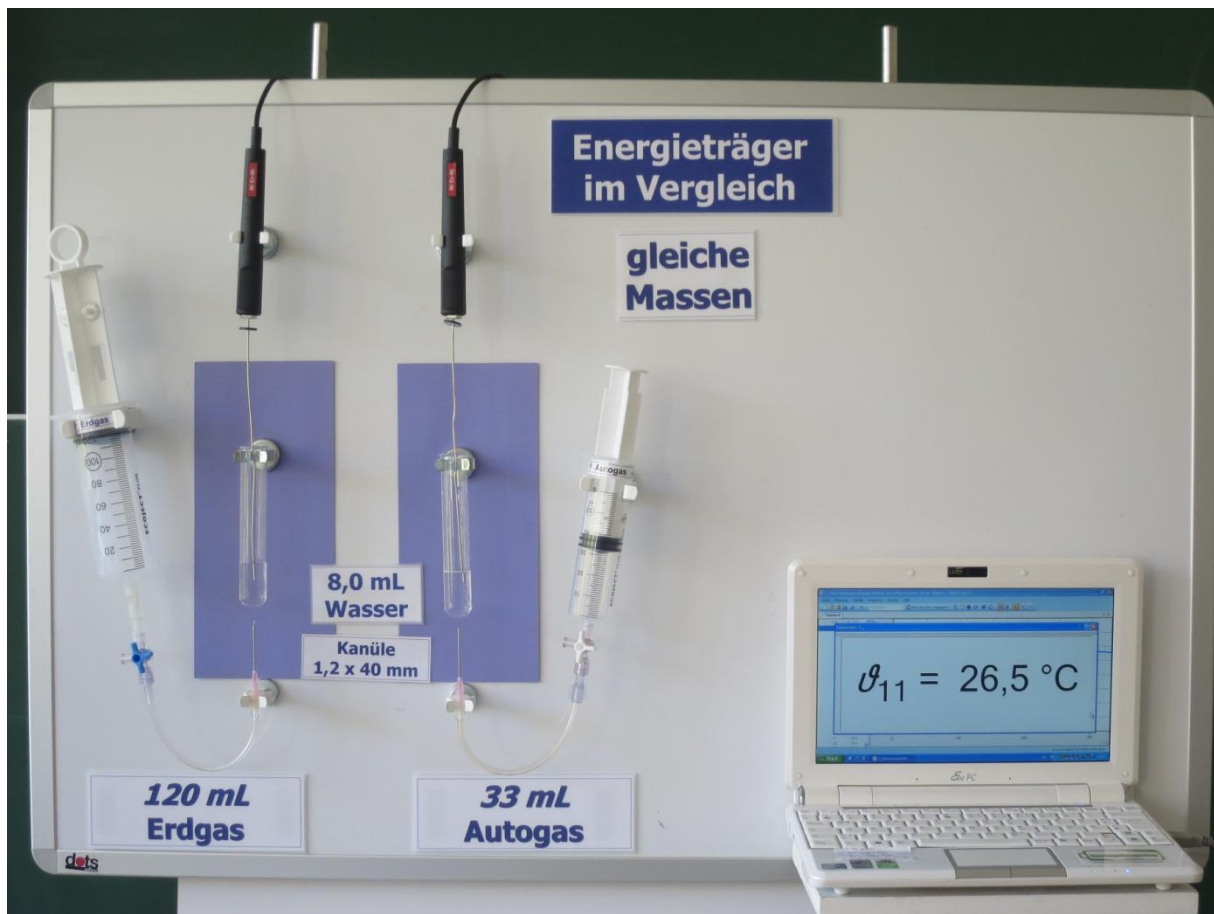
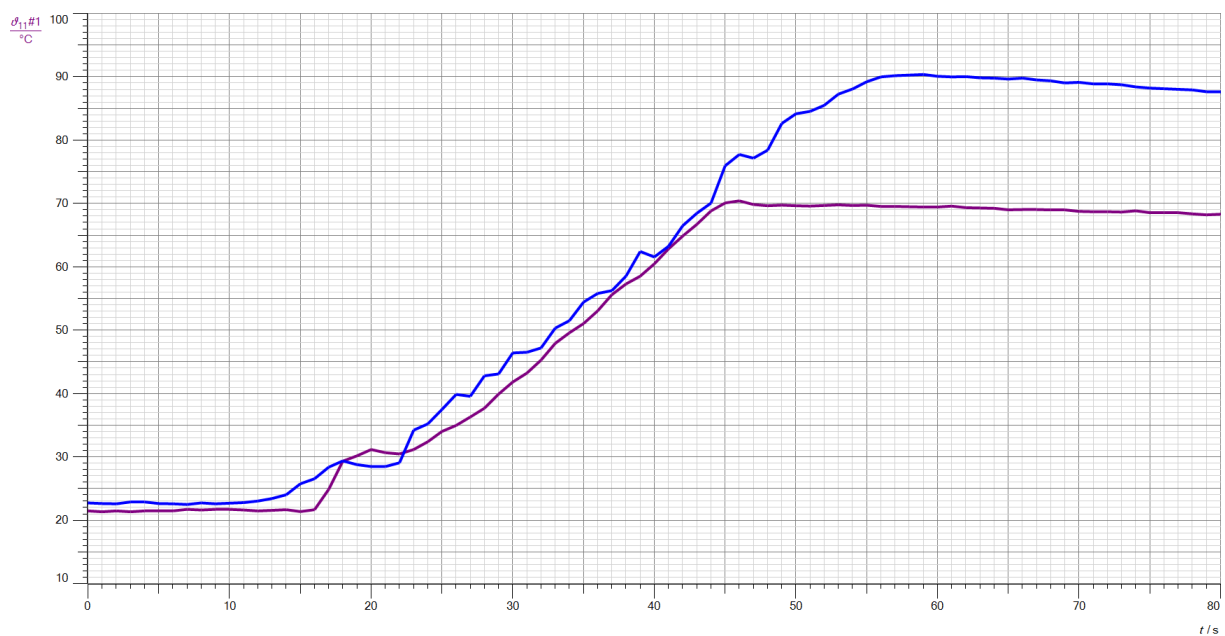


Diagramme zu Versuch 9

blau: Erdgas ($\Delta T = 71,0 \text{ K}$; $\Delta_c H = -37 \text{ kJ/g}$) - violett: Autogas ($\Delta T = 49,0 \text{ K}$; $\Delta_c H = -26 \text{ kJ/g}$)

theoretische Heizwerte: Erdgas (Methan) - $50,3 \text{ kJ/g}$, Autogas (i-Butan) - $46,0 \text{ kJ/g}$



Versuch 10 - gleiche Verbrennungsenthalpien

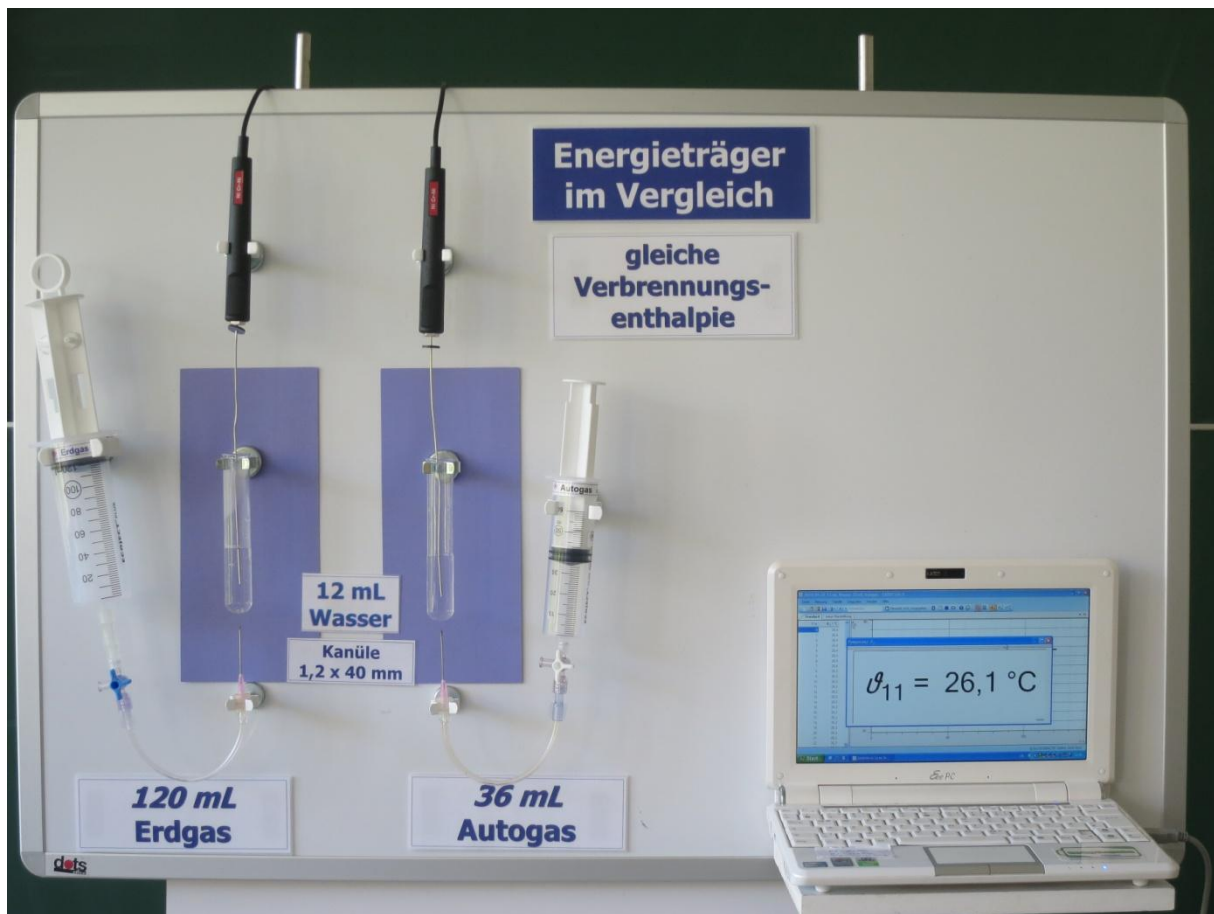
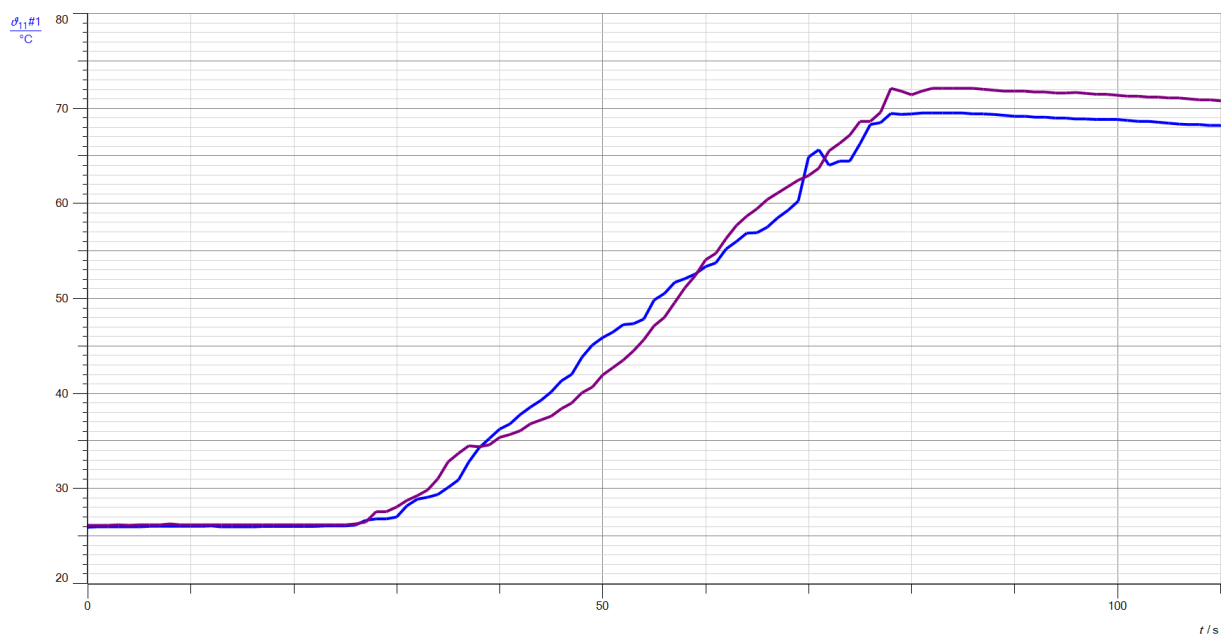


Diagramme zu Versuch 10

blau: Erdgas ($\Delta T = 45,0\text{ K}$; $\Delta_c H = -2,6\text{ kJ}$) - violett: Autogas ($\Delta T = 47,4\text{ K}$; $\Delta_c H = -2,8\text{ kJ}$)

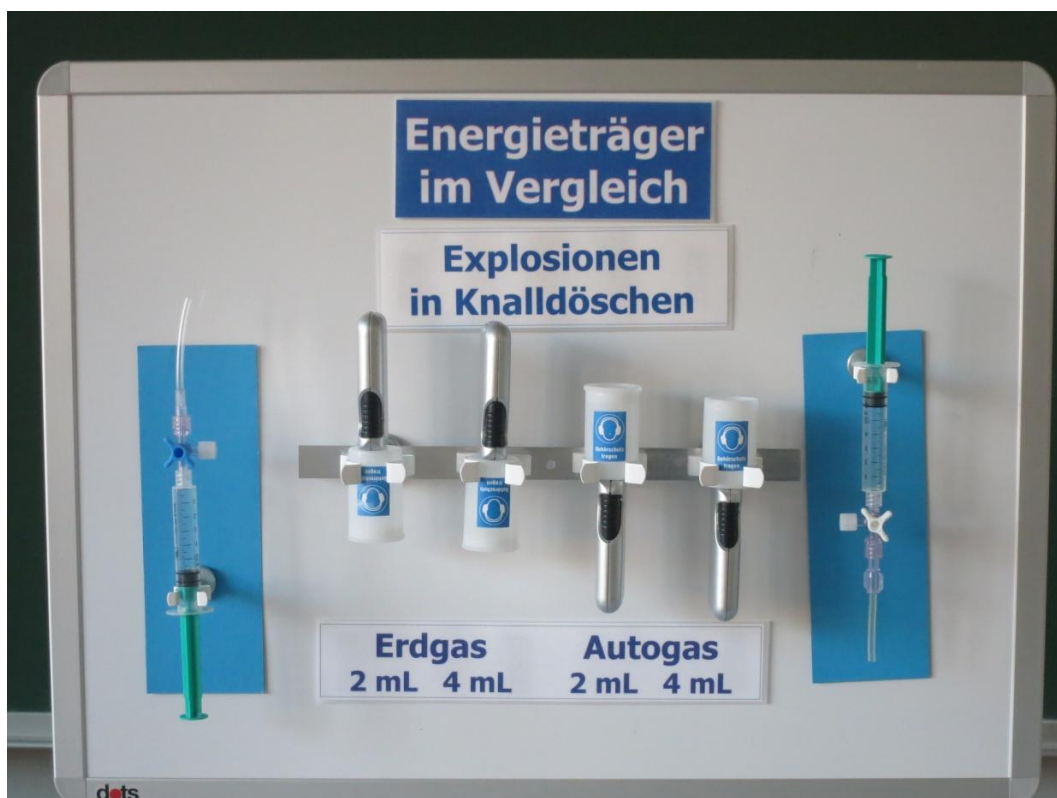
theoretischer Wert - $3,6\text{ kJ}$



Versuch 11 Knalldöschchen: Explosionsgrenzen von Wasserstoff und Erdgas - gleiche Volumina
Wasserstoff: 4 mL, 16 mL; Erdgas: 4 mL, 16 mL (rot: Gemisch explosiv, schwarz: zu mager oder zu fett)



Versuch 12 Knalldöschchen: Explosionsgrenzen von Erdgas und Autogas - gleiche Volumina
Erdgas: 2 mL, 4 mL; Autogas: 2 mL, 4 mL (rot: Gemisch explosiv, schwarz: zu mager oder zu fett)



Versuch 13 Knalldöschchen: Explosionsgrenzen von Wasserstoff und Erdgas - gleiche Massen
Wasserstoff: 1mg, 12 ml; Erdgas: 1 mg, 1,5 mL (rot: Gemisch explosiv, schwarz: Gemisch zu mager)



Versuch 14 Knalldöschchen: Explosionsgrenzen von Erdgas und Autogas - gleiche Massen
Erdgas: 2 mg, 3,0 mL, Autogas: 2 mg, 0,8 mL (rot: Gemisch explosiv, schwarz: Gemisch zu mager)



Versuch Nr. 15 Vergleich dreier Energieträger: Gleiche Volumina und Stoffmengen

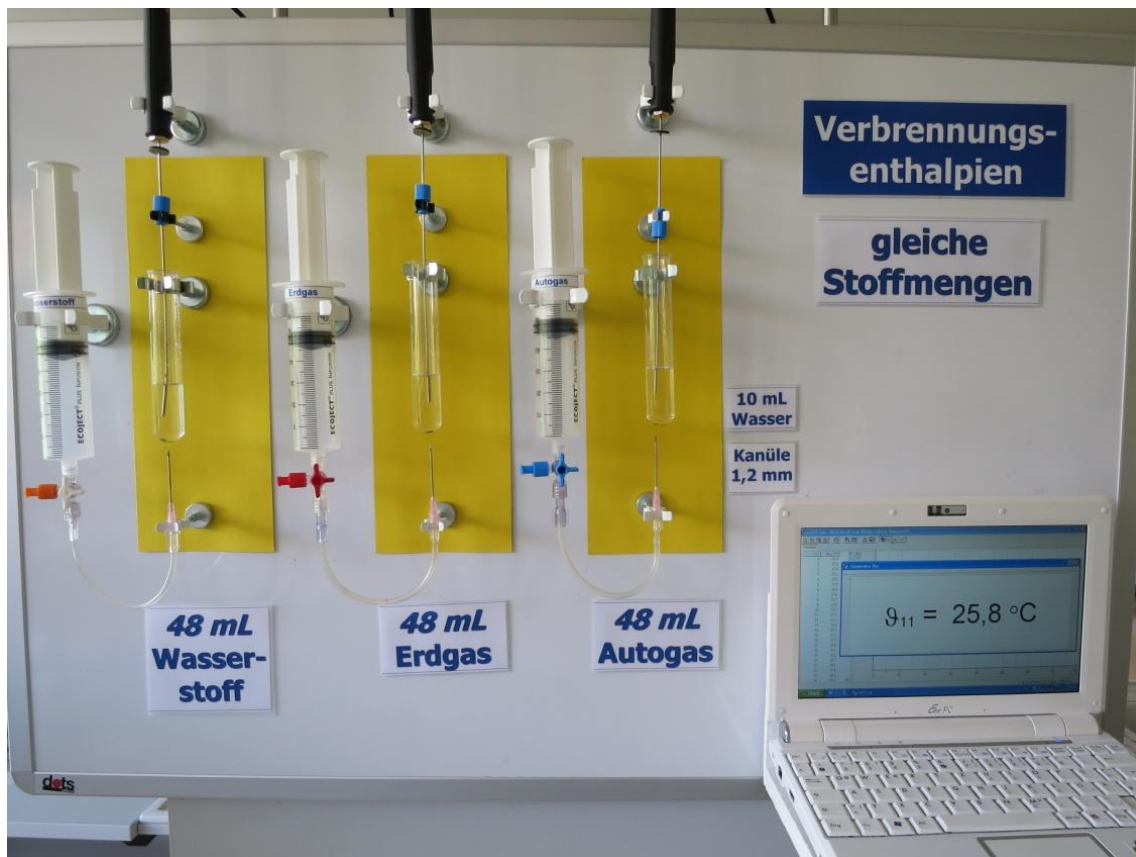
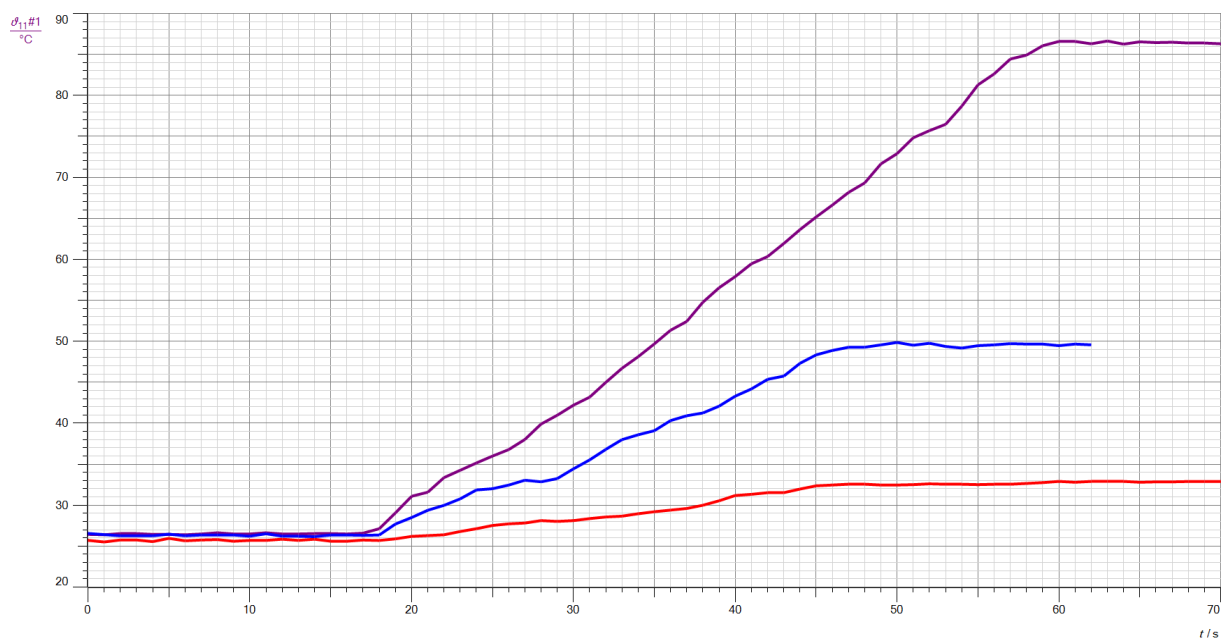


Diagramme zu Versuch 15

rot: Wasserstoff ($\Delta T = 6,2 \text{ K}$; $\Delta_c H = -155 \text{ kJ/mol}$),

blau: Erdgas ($\Delta T = 23,7 \text{ K}$; $\Delta_c H = -591 \text{ kJ/mol}$); violett: Autogas ($\Delta T = 60,2 \text{ K}$; $\Delta_c H = -1.501 \text{ kJ/mol}$)

theoretische Heizwerte: Wasserstoff - 242 kJ/mol, Erdgas - 804 kJ/mol, Autogas - 2.660 kJ/mol



Versuch Nr. 16 Vergleich dreier Energieträger: Gleiche Massen (30 mg)

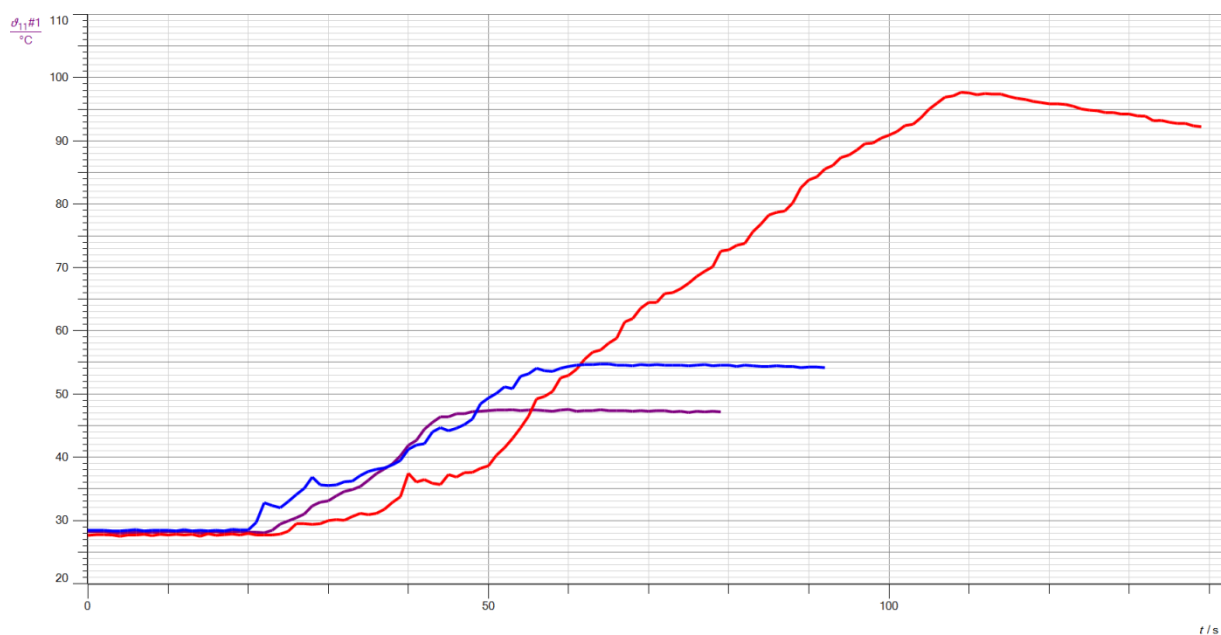


Diagramme zu Versuch 16

rot: Wasserstoff ($\Delta T = 76\text{ K}$; $\Delta_c H = -95\text{ kJ/g}$),

blau: Erdgas ($\Delta T = 31\text{ K}$; $\Delta_c H = -38,5\text{ kJ/g}$); violett: Autogas ($\Delta T = 26\text{ K}$; $\Delta_c H = -31,6\text{ kJ/g}$)

theoretische Heizwerte: Wasserstoff - 121 kJ/g, Erdgas - 50,3 kJ/g, Autogas - 46,0 kJ/g



Versuch Nr. 17 Vergleich dreier Energieträger: Gleiche Verbrennungsenthalpien

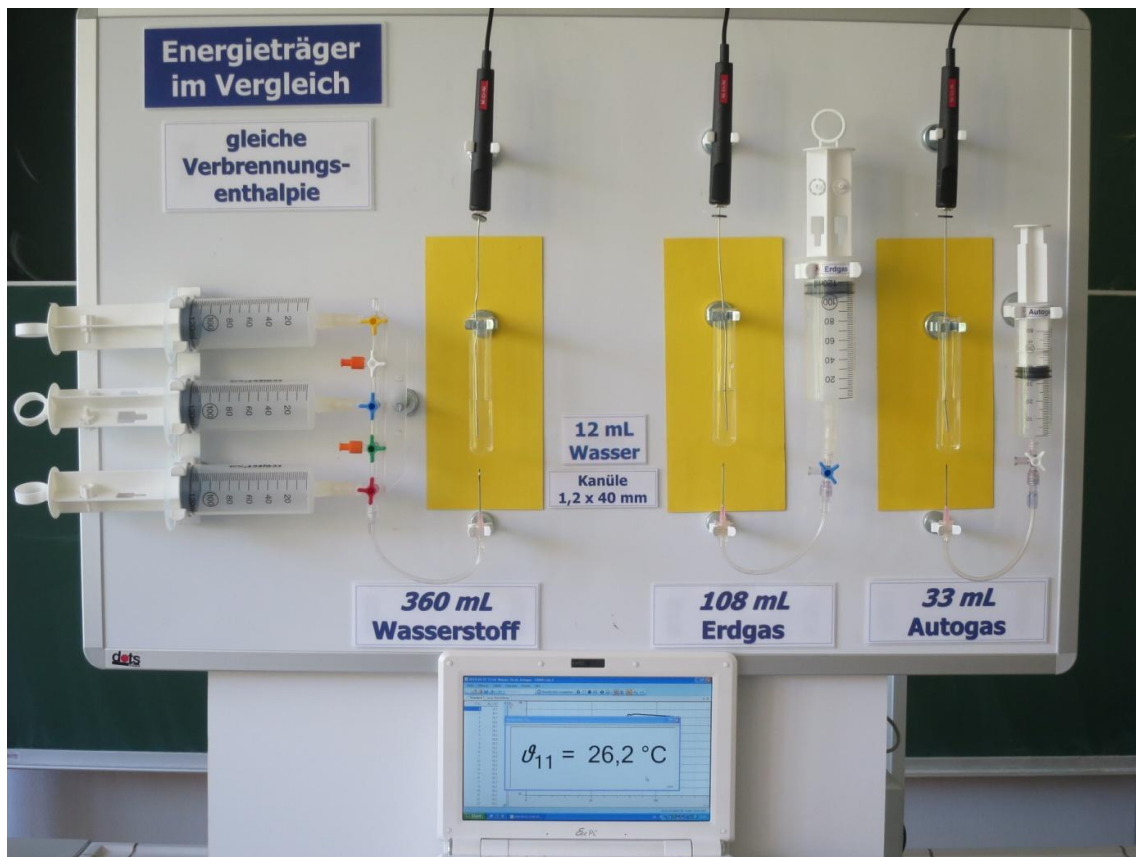
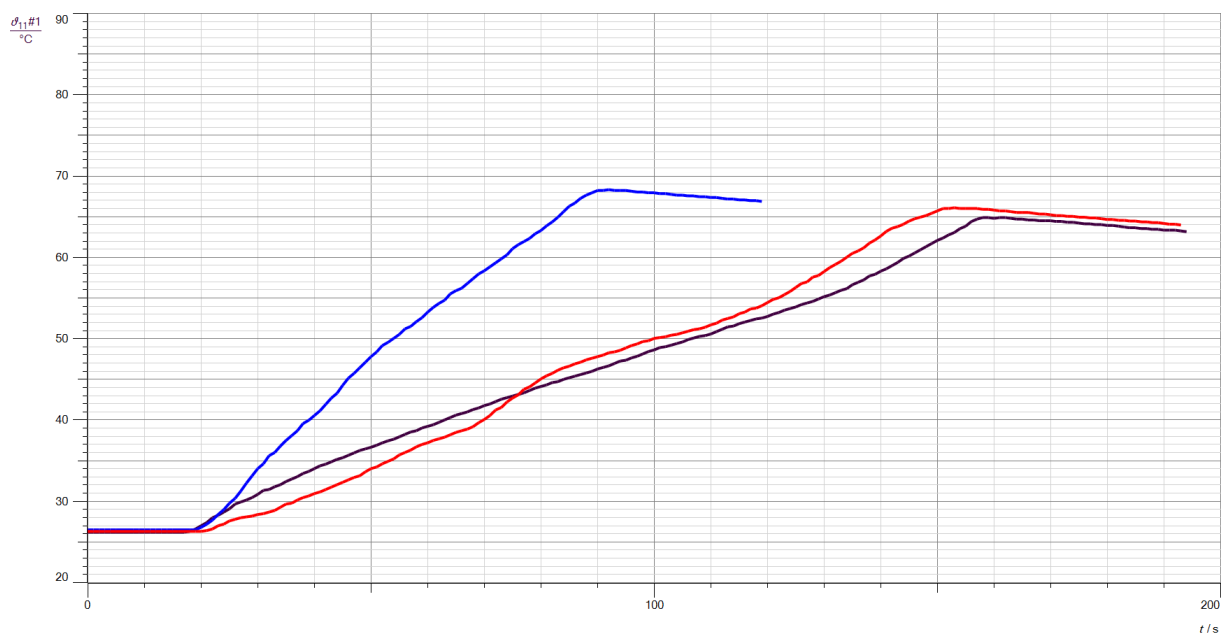


Diagramme zu Versuch 17

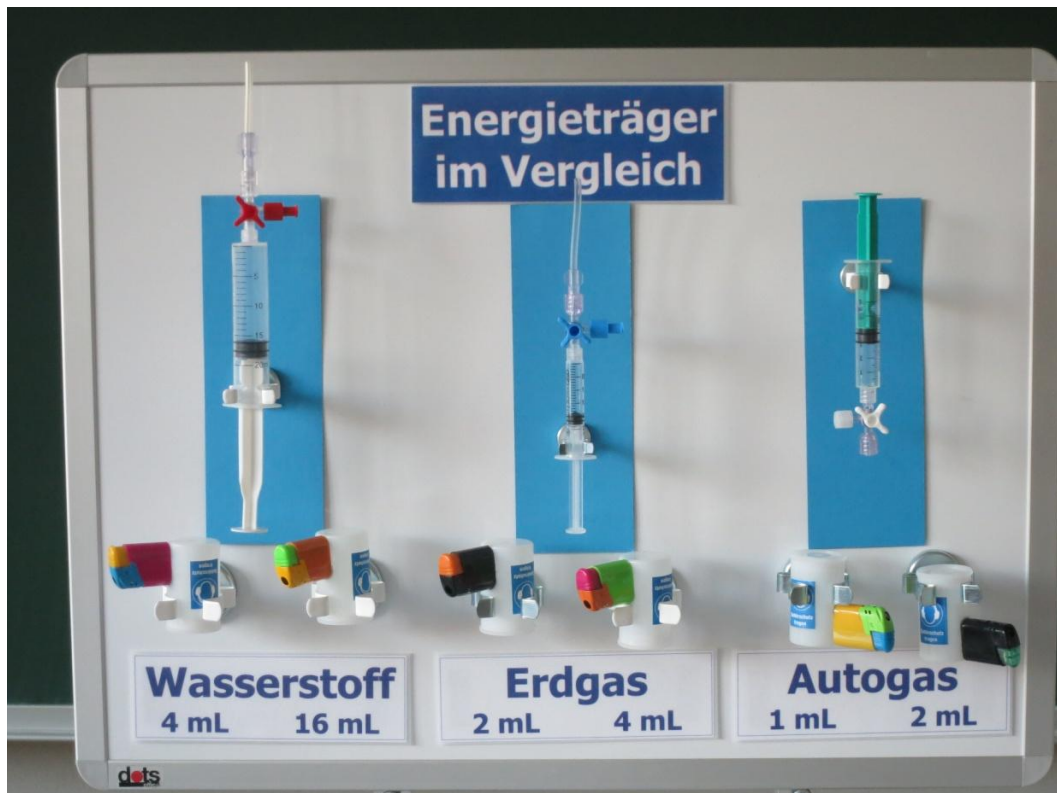
rot: Wasserstoff ($\Delta T = 42,5\text{ K}$; $\Delta_c H = -2,5\text{ kJ}$) - blau: Erdgas ($\Delta T = 44,5\text{ K}$; $\Delta_c H = -2,6\text{ kJ}$),

schwarz: Autogas ($\Delta T = 42,5\text{ K}$; $\Delta_c H = -2,5\text{ kJ}$)

theoretischer Wert: $-4,4\text{ kJ}$



Versuch 18: Drei Energieträger im Vergleich: Knalldöschen - vergleichbare Volumina
Wasserstoff: 4 mL, 16 mL; Erdgas: 2 mL, 4 mL; Autogas: 1 mL, 2 mL (rot: explosives Gemisch)



Versuch 19: Drei Energieträger im Vergleich: Knalldöschen - gleiche Massen
Wasserstoff: 1,3 mg, 16 mL; Erdgas: 1,3 mg, 2 mL; Autogas 1,3 mg, 0,55 mL (rot: explosives Gemisch)



Übersicht zu den Versuchen - Beispiele für Messergebnisse, Literaturwerte

verwendete Reagenzgläser: 120 x 12 mm (bzw. 160 x 16 mm)

Versuch Nr.	Gasportion und -sorte*	Wasserportion	ΔT	$\Delta_c H$ Energiedichte	Literatur-Werte ΔT ; $\Delta_c H$ (Heizwert)
1 $V_1 = V_2$	60 mL H ₂ 60 mL CH ₄	2,0 mL		<i>siedet nicht</i> <i>siedet</i>	
2 10 mg $m_1 = m_2$	120 mL H ₂ 15 mL CH ₄	1,0 mL		<i>siedet</i> <i>siedet nicht</i>	
3 $V_1 = V_2$	60 mL H ₂ 60 mL CH ₄	4,0 mL	17,8 K 62,5 K	- 176 kJ/mol - 618 kJ/mol	24,5 K; -242 kJ/mol 81,3 K; - 804 kJ/mol
4 10 mg $m_1 = m_2$	120 mL H ₂ 15 mL CH ₄	2,5 mL	58,0 K 21,0 K	- 74 kJ/g - 27 kJ/g	65,6 K; - 121 kJ/g 27,3 K; - 50,3 kJ/g
5 $\Delta_c H_1 = \Delta_c H_2$	120 mL H ₂ 36 mL CH ₄	6,0 mL	29 K	0,9 kJ	37 K; - 1,2 kJ
6 $V_1 = V_2$	60 mL CH ₄ 60 mL C ₄ H ₁₀	6,0 mL		<i>siedet nicht</i> <i>siedet</i>	
7 80 mg $m_1 = m_2$	120 mL CH ₄ 33 mL C ₄ H ₁₀	5,0 mL		<i>siedet</i> <i>siedet nicht</i>	
8 $V_1 = V_2$	60 mL CH ₄ 60 mL C ₄ H ₁₀	12,0 mL	24,0 K 60,0 K	- 559 kJ/mol - 1.398 kJ/mol	34,5 K; - 804 kJ/mol 114 K; - 2.660 kJ/mol
9 80 mg $m_1 = m_2$	120 mL CH ₄ 33 mL C ₄ H ₁₀	8,0 mL	71,0 K 49,0 K	- 37 kJ/g - 26 kJ/g	96,9 K; - 50,3 kJ/g 88,1 K; - 46 kJ/g
10 $\Delta_c H_1 = \Delta_c H_2$	120 mL CH ₄ 36 mL C ₄ H ₁₀	12,0 mL	45,0 K 47,4 K	- 2,6 kJ - 2,8 kJ	$\Delta T = 69$ K; $\Delta_c H = - 4,0$ kJ
15 $V_1 = V_2 = V_3$	48 mL H ₂ 48 mL CH ₄ 48 mL C ₄ H ₁₀	10,0 mL	6,2 K 23,7 K 60,2 K	- 155 kJ/mol - 591 kJ/mol - 1.501 kJ/mol	9,7 K; - 482 kJ/mol 32,2 K; - 1.608 kJ/mol 107 K; - 5.320 kJ/mol
16 30 mg $m_1 = m_2 = m_3$	360 mL H ₂ 45 mL CH ₄ 12 mL C ₄ H ₁₀	7,0 mL	76 K 31 K 26 K	- 65 kJ/g - 23 kJ/g - 16 kJ/g	97,3 K; - 121 kJ/g 40,5 K; - 50,3 kJ/g 37,0 K; - 46,0 kJ/g
17 30 mg, 72 mg, 80 mg $\Delta_c H_1 = \Delta_c H_2 = \Delta_c H_3$	360 mL H ₂ 108 mL CH ₄ 33 mL C ₄ H ₁₀	12,0 mL	42,5 K 44,5 K 42,5 K	- 2,5 kJ - 2,6 kJ - 2,5 kJ	$\Delta T = 62$ (63) K, $\Delta_c H = - 3,6$ (3,7) kJ

*CH₄: Methan bzw. Edgas, C₄H₁₀: i-Butan bzw. Autogas

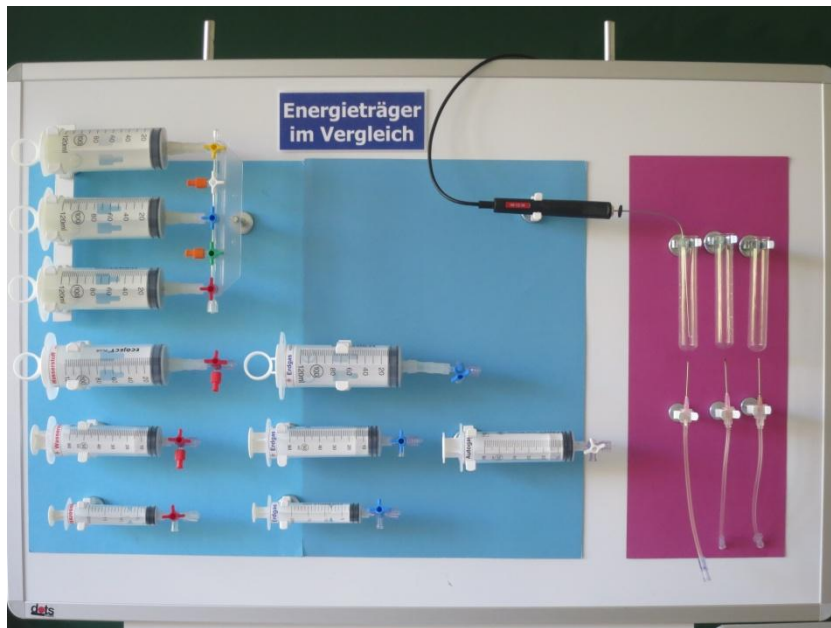
Knalldöschen-Einsatz beim Thema Energieträger

(gleiche Volumina, gleiche Massen) **rot (fett)**: explosives Gemisch; schwarz: keine Reaktion

Versuch Nr.	m	Wasserstoff	Erdgas	Autogas
11		4 mL, 16 mL	4,0 mL , 16 mL	
12			2,0 mL, 4,0 mL	2,0 mL , 4,0 mL
13	$m = 1,00$ mg	12 mL	1,5 mL	
oder	$m = 1,33$ mg	16 mL	2,0 mL	
14*	$m = 2,0$ mg		3,0 mL	0,8 mL
18		4 mL, 16 mL	2 mL, 4 mL	1 mL, 2 mL
19	$m = 1,33$ mg	16 mL	2,0 mL	0,55 mL

* beachte: Der Unterschied bei Massengleichheit ist zwischen Erdgas und Autogas ziemlich gering

Benötigte Gerätschaften für die Experimente zu den Energieträgern - Teil I



2 (1) Stück 20 mL-Spritzen, 3 Stück 60 mL-Spritzen, 2 (1) Stück 120 mL-Spritzen,
3 Stück 120 mL-Spritzen an 5-fach Hahnenbank;
3 (1) Stück Kanülen (1,2 x 40 mm) mit Heidelberger Verlängerung 15 cm,
3 (1) Stück Reagenzgläser 12 x 120 (16 x 160) mm,
1 Thermofühler; Messwert-Erfassung



3 (1) Stück Knalldöschen; kleine Spritzen dazu: 20 mL, 6 mL, 2,5 mL, 1 mL