

19.81

Stöchiometrie zum Anfassen

Reaktionsgleichungen und Energiebilanzen mit
Molekülmodellen begreifbar machen

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Schulbiologiezentrum Hannover/Energie-LAB der IGS Mühlenberg

Titel: Stöchiometrie zum Anfassen
Reaktionsgleichungen und Energiebilanzen mit Molekülmodellen
begreifbar machen

Titelbild: Ingo Mennerich

Arbeitshilfe 19.81

Verfasser: Ingo Mennerich

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Bibliothek und Schule
Schulbiologiezentrum
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover
Tel: 0511/168-47665
Fax: 0511/168-47352
E-Mail: schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de
Internet: www.schulbiologiezentrum.info

Vorwort

„Sage es mir, und ich werde es vergessen,
zeige es mir, und ich werde es vielleicht behalten;
lass es mich tun, und ich werde es können.“ J.W.v.Goethe

Reaktionsgleichungen sind vom Aufbau her eigentlich ganz logisch: "Input" gleich "Output".

Die Summe aller in eine chemische Reaktion eintretenden Atome ist gleich der Summe der aus ihr hervorgehenden. Nichts geht verloren, die Masse der Edukte (Ausgangsstoffe) ist gleich der Masse der Produkte.

Die an einer Reaktion beteiligten Elemente können wir leider nicht sehen und sind daher gezwungen, das Unsichtbare in Symbole und Formeln zu kleiden.

Mit Modellen, die man in die Hand nehmen kann das Abstrakte schon konkreter und begreifbar.

Wenn es einen "Massenerhalt" zwischen Edukten und Produkten gibt, müssten sich auch die Modelle so verhalten. Mit einer einfachen Tafelwaage lässt sich das gut zeigen. Das Gleichgewicht stellt sich aber nur ein, wenn die Reaktionsgleichung vollständig ist.

Hätte ich das damals in der 8.Klasse ausprobieren dürfen, wäre ich vielleicht begeisterter Chemiker geworden. "Reaktionsgleichungen" waren vor 40 Jahren nur "Kreidestaub"-Erfahrungen, meistens "Von oben herab" und, wenn man schon mal an der Tafel stehen musste, eher ein Miss- als ein Erfolgserlebnis...

Warum die Photosynthese- oder Atmungs-Gleichung nicht mal mit Duplo-Steinen darstellen?

Natürlich muss der Hinweis erfolgen, dass Atome weder rot, weiß oder schwarz und erst recht nicht eckig sind. Aber wenn doch das Grundprinzip erfahrbar wird!

Ist der "Massenerhalt" gewahrt, kann man überlegen, ob bei einer Reaktion Energie frei wird oder verbraucht wird. Jede Bindung zwischen den Atomen enthält einen bestimmten "Energiebetrag". Werden Bindungen gelöst, muss Energie "investiert" werden, so wie beim Lösen der Kunststoffbindungen zwischen den Atom-Kugeln.

Diese Energie kann die Sonne liefern, z.B. bei der Photosynthese.

Reagieren Moleküle miteinander werden ihre Elemente ordentlich durcheinandergeschüttelt.

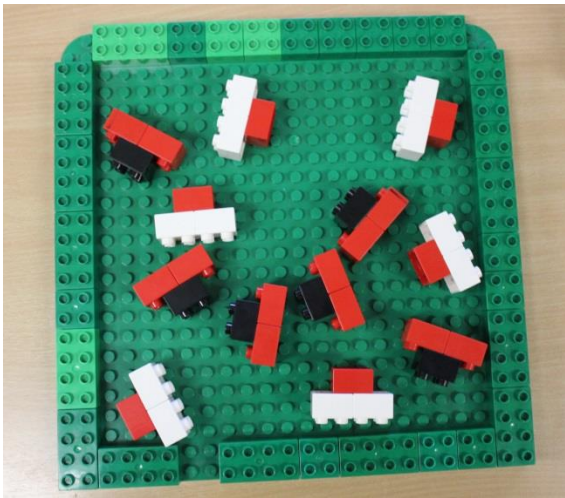
Wenn sie in neuer Form zusammenfinden, wird Energie frei.

Das lässt Autos fahren und Lebewesen leben.

Mit Hilfe der nunmehr auch ausleihbaren Molekülmodelle können diese energetischen Zusammenhänge durch einfaches Abzählen und Summieren der Bindungen bilanziert werden.

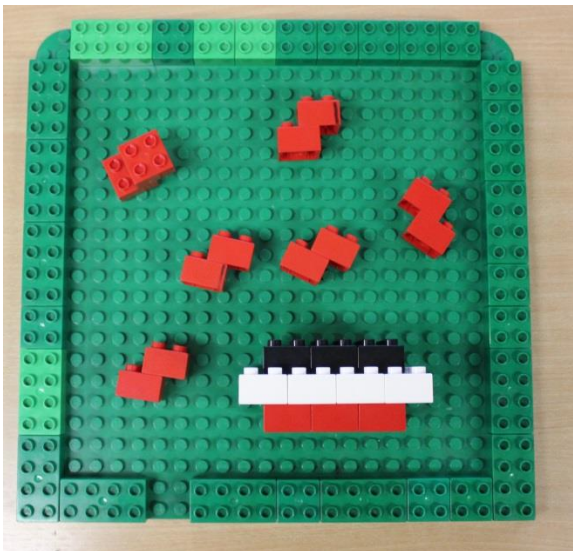
Die vorliegende Arbeitshilfe fußt auf Erfahrungen, die wir im Energie-LAB der IGS Mühlenberg und im Schulbiologiezentrum bei Themen wie "Nachwachsende Treibstoffe" und "Photosynthese" gemacht haben.

Photosynthese und Atmung in der Duplo-"Zelle"...



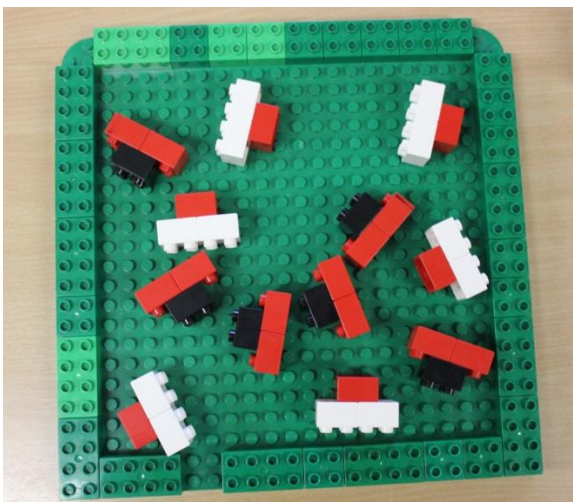
Was ist was in der grünen "Zelle"?

Warum sind es gerade so viele Steine?



Nicht mehr und nicht weniger Steine als vorher...

Aber in anderer Kombination!



Nicht mehr und nicht weniger Steine als vorher...

Aber wieder wie ursprünglich !

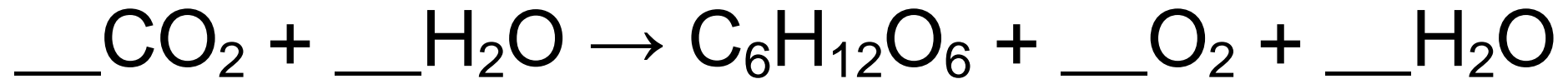
Stöchiometrie zum Anfassen

Photosynthese und Photosyntheseprodukte (Glucose / Ethanol)

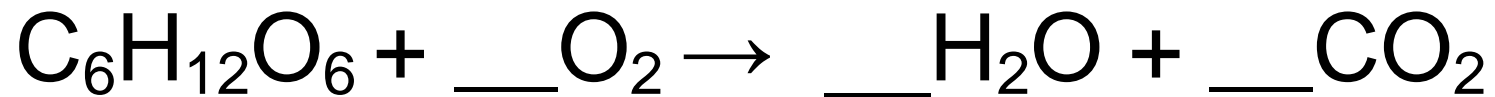
- Reaktionspartner
- Edukte / Produkte
- Summenformel
- Stöchiometrie
- Bindungsenergie
- Energiebilanz



Photosynthese (Bruttogleichung)



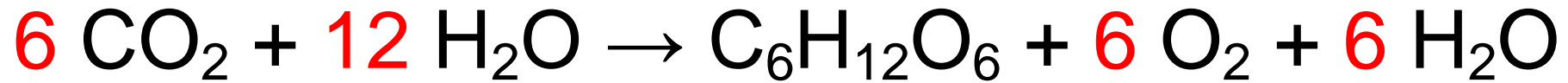
Atmung (Dissimilation) / Verbrennung



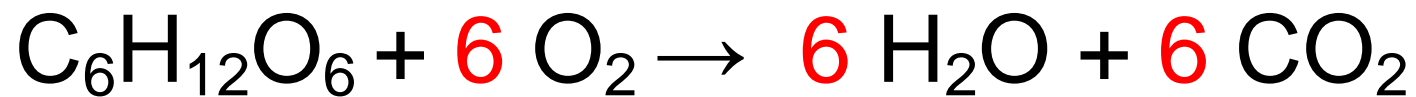
Alkoholische Gärung



Photosynthese (Brutto-Gleichung) → LÖSUNG



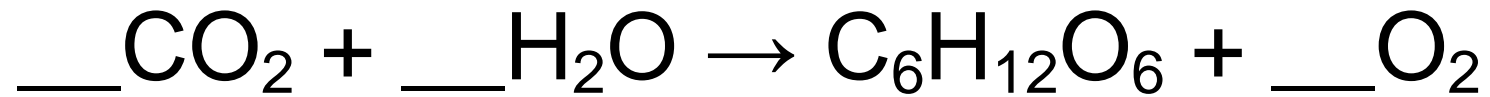
Atmung (Dissimilation) / Verbrennung



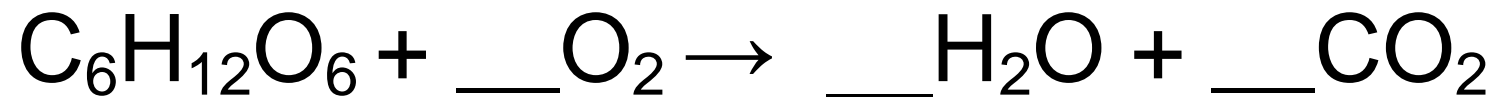
Alkoholische Gärung



Photosynthese (Netto-Gleichung)



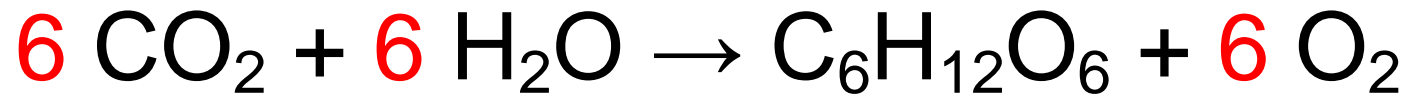
Atmung (Dissimilation) / Verbrennung



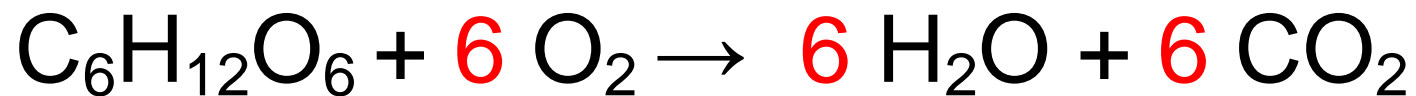
Alkoholische Gärung



Photosynthese (Netto-Gleichung) → LÖSUNG



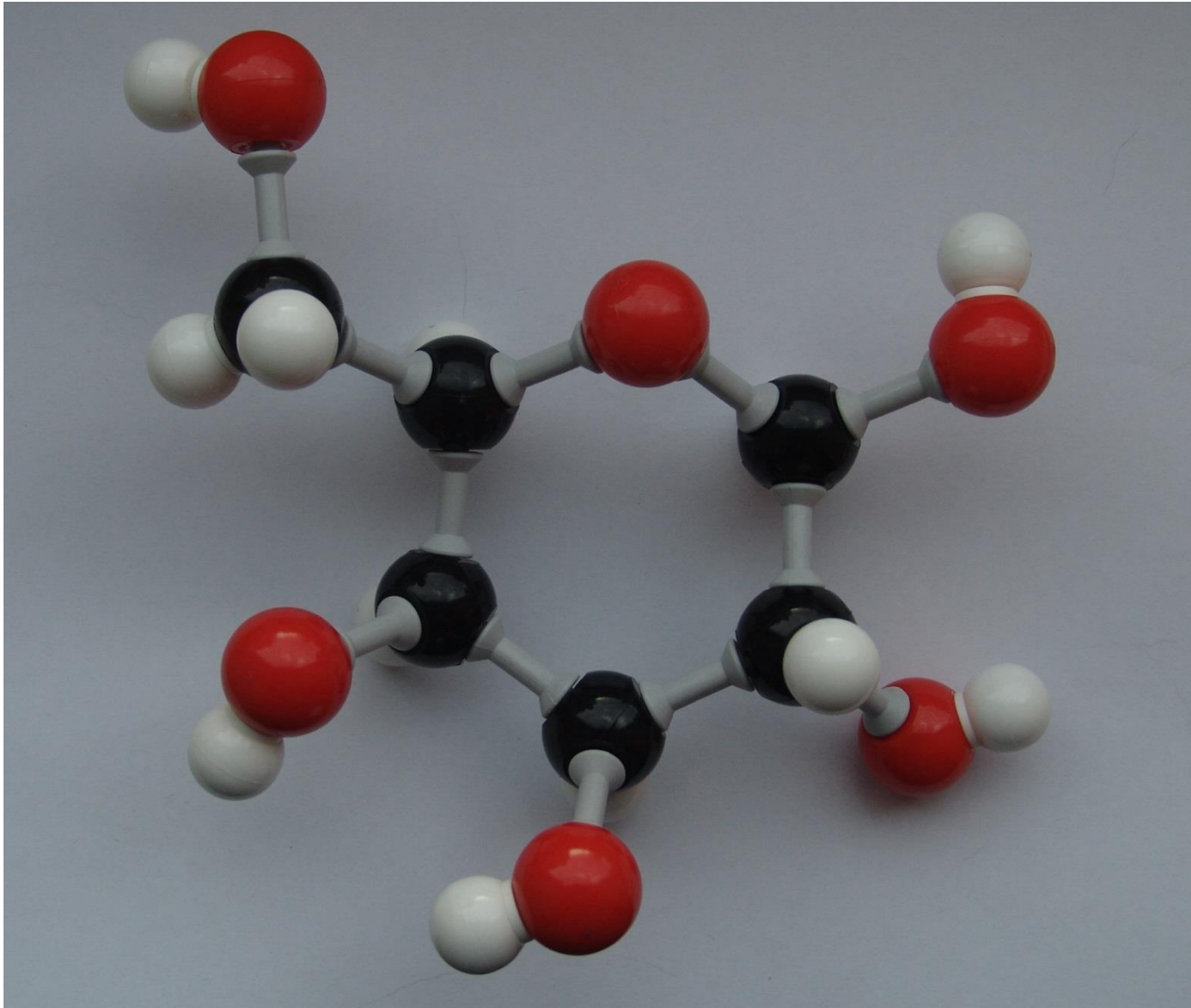
Atmung (Dissimilation) / Verbrennung



Alkoholische Gärung

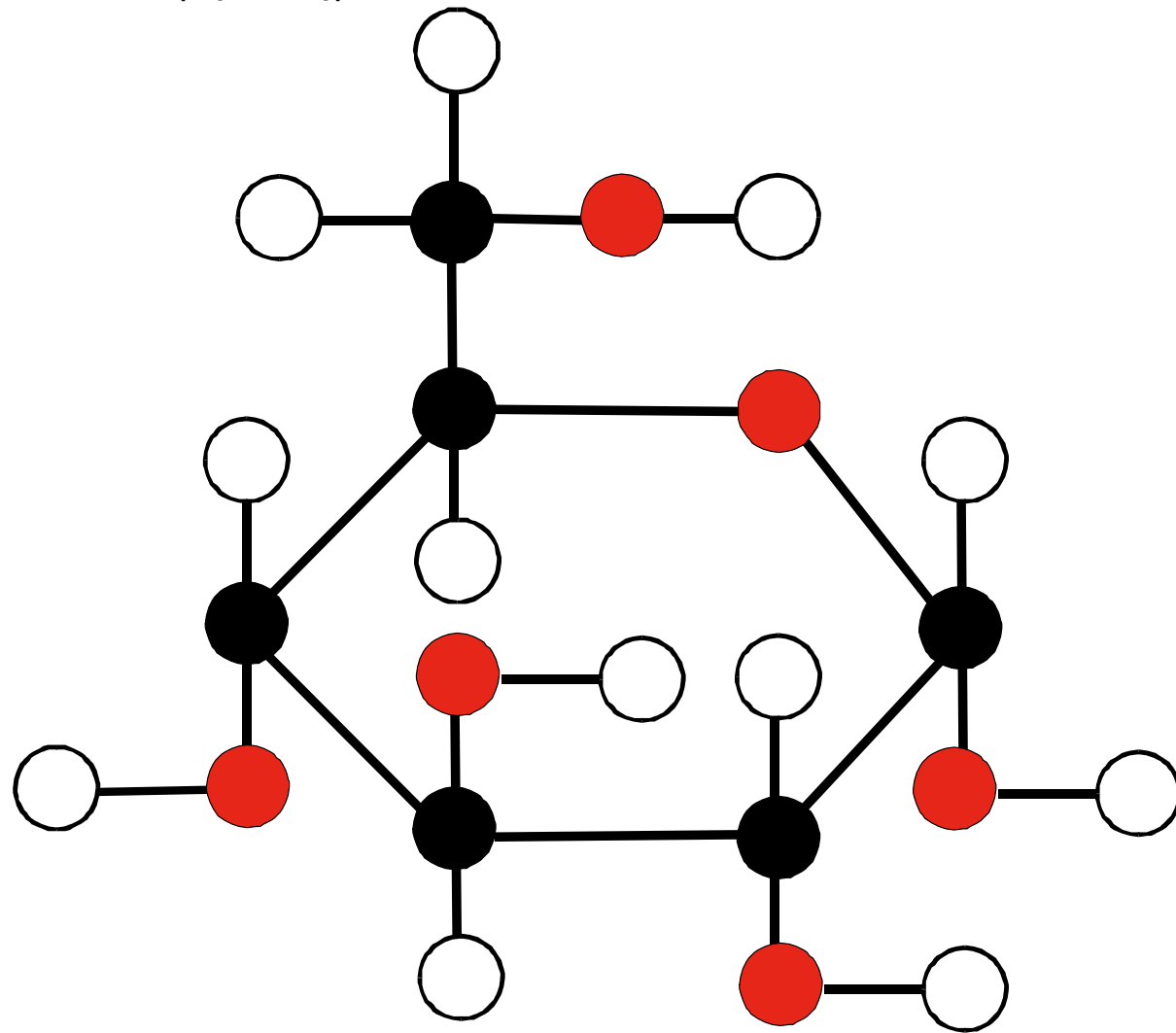


Glucose-Molekül (Molymod)



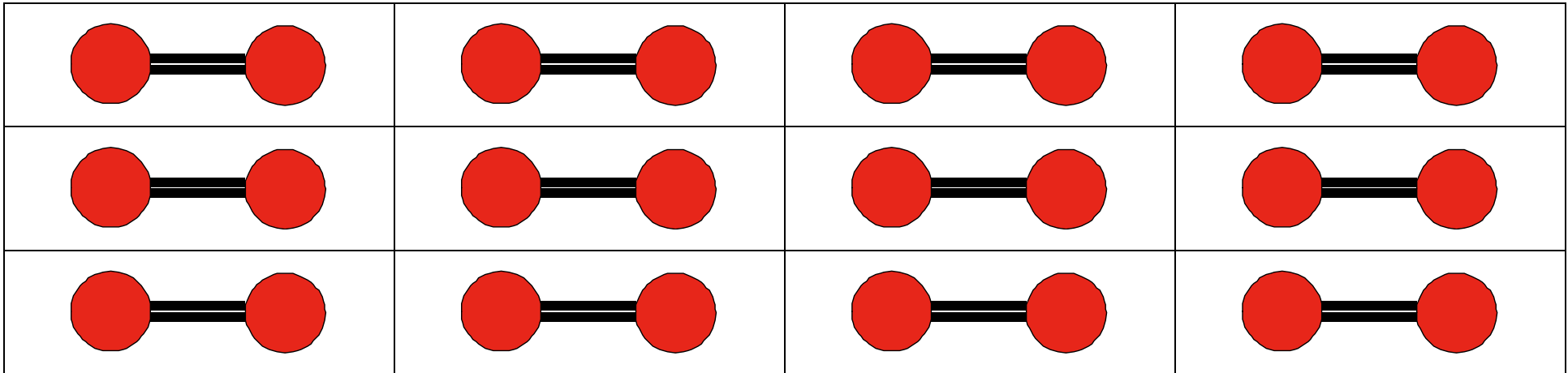
"Glucose-Molekül" zum Ausschneiden:

Glucose ($C_6H_{12}O_6$)

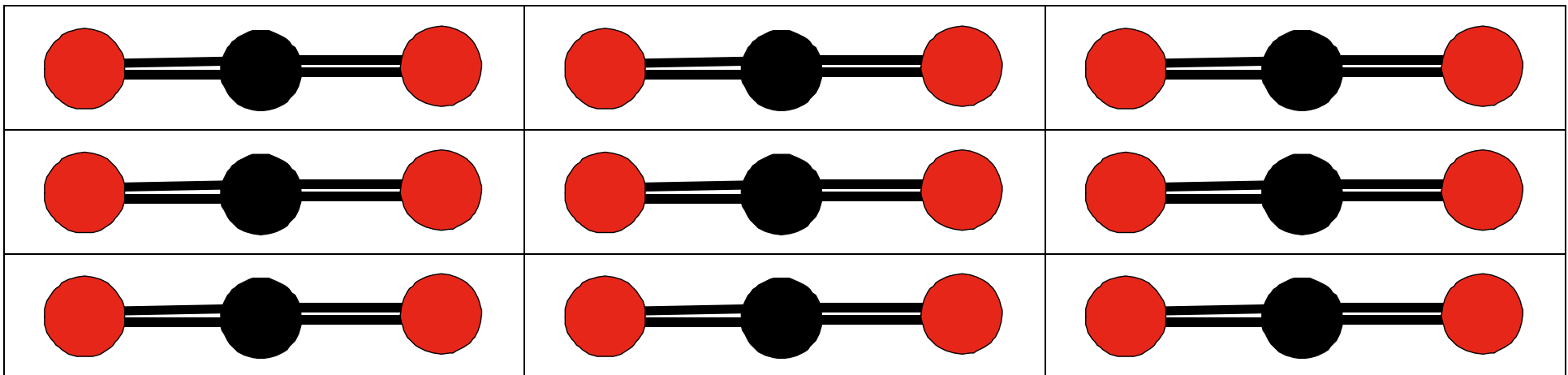


"O₂- und CO₂-Moleküle" zum Ausschneiden:

Sauerstoff (O₂)

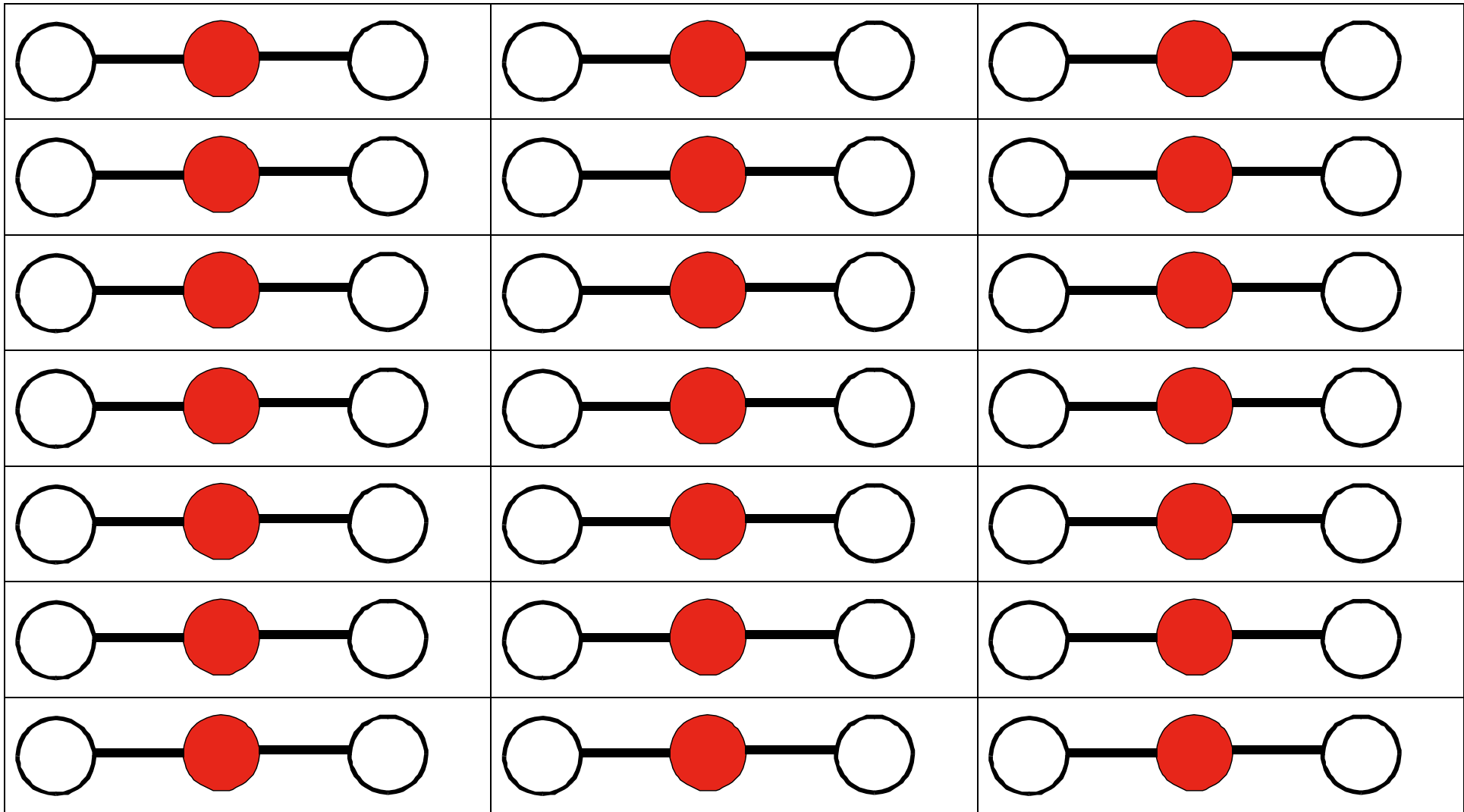


Kohlenstoffdioxid (CO₂)



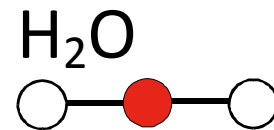
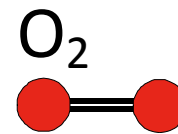
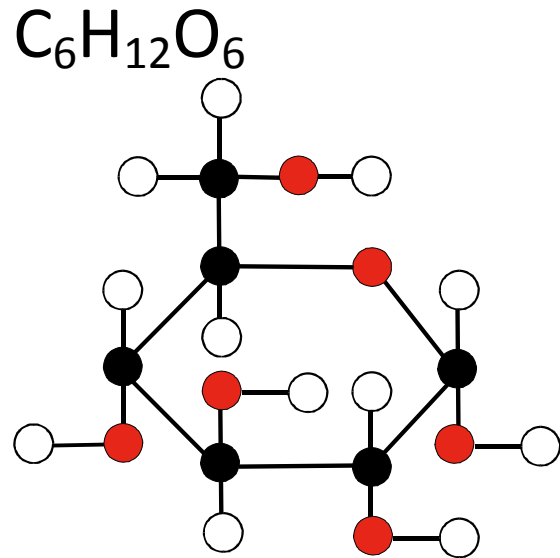
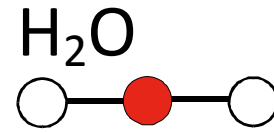
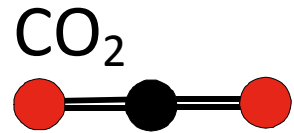
" H₂O-Moleküle" zum Ausschneiden:

Wasser (H₂O)*

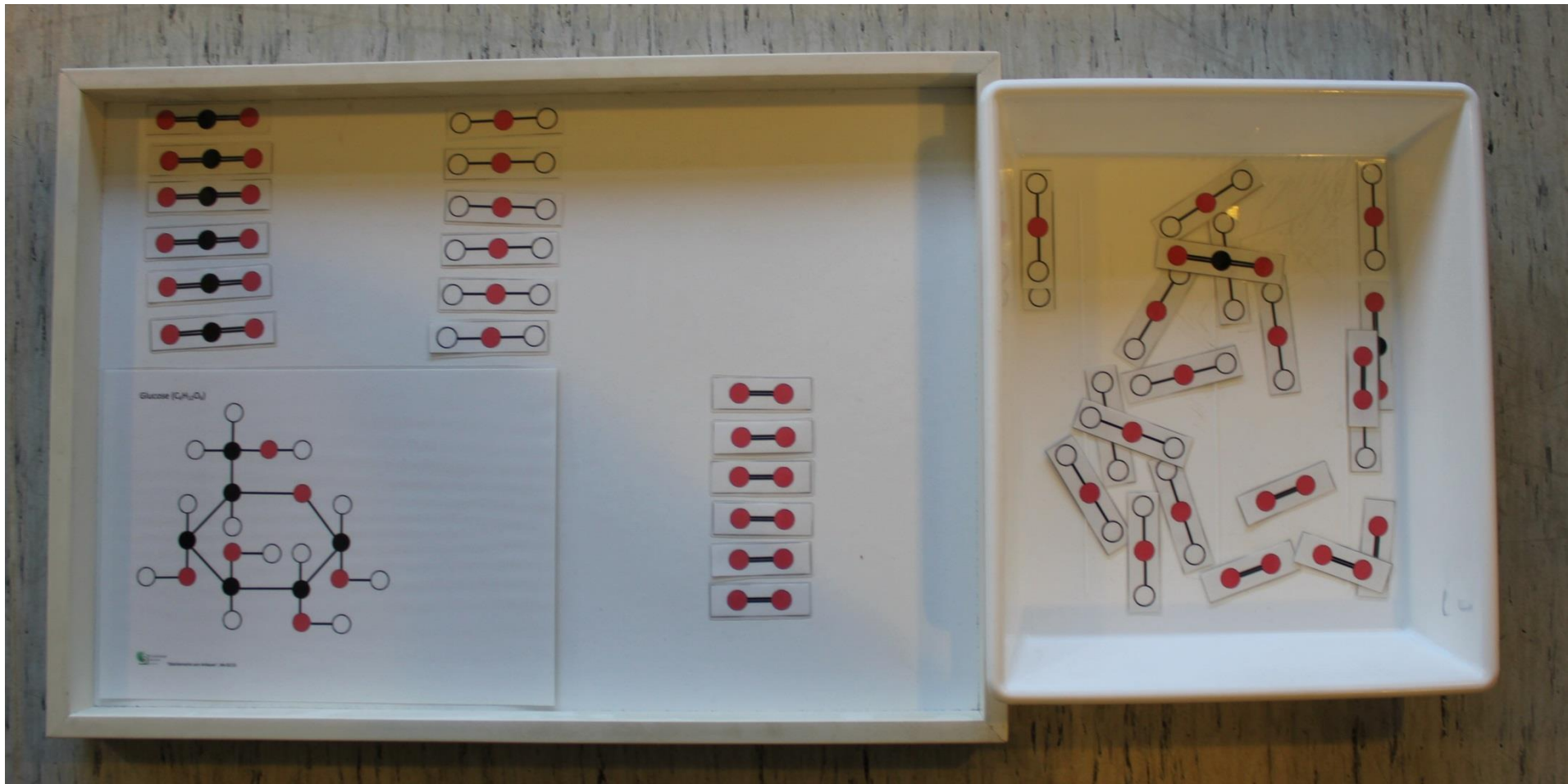


*) H₂O bildet ein abgewinkeltes Molekül, hier ist es der Einfachheit halber gestreckt dargestellt

Stelle eine Reaktionsgleichung* der Photosynthese auf
Achte dabei darauf, dass auf der linken Seite der Gleichung (Edukte) genauso viele
Atome wie auf der rechten Seite (Produkte) liegen!

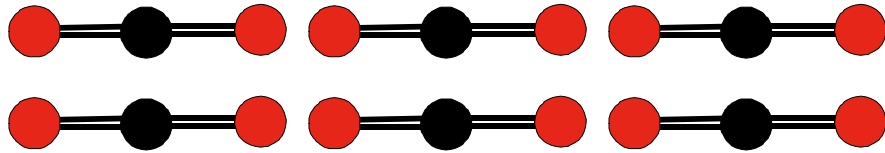


*) Brutto-Gleichung

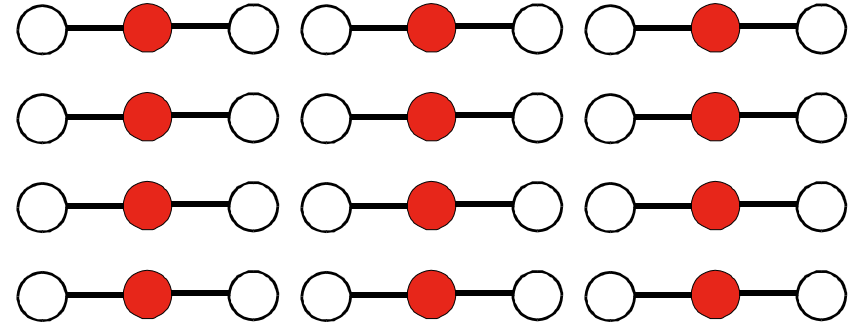


LÖSUNG (Brutto-Gleichung)

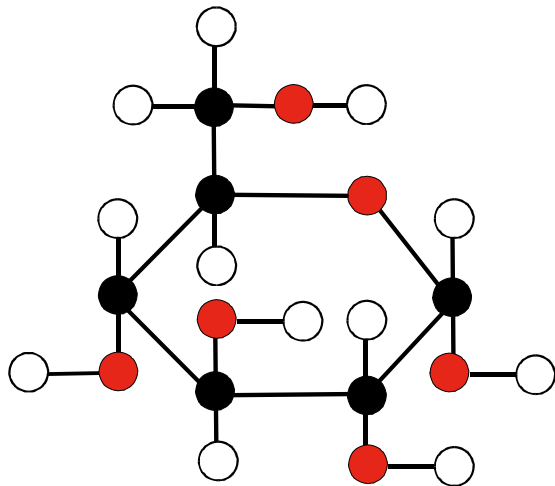
6x



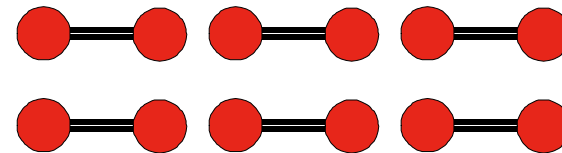
12x



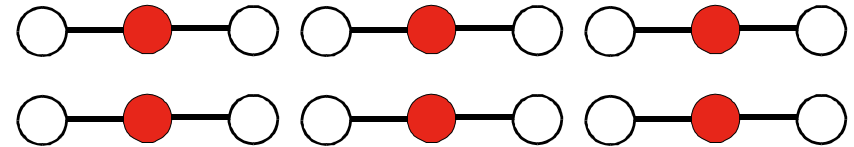
1x



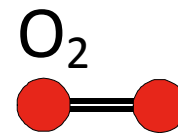
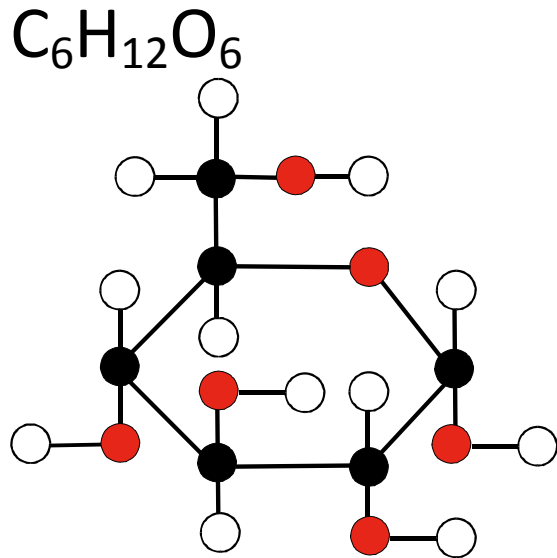
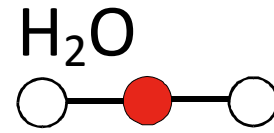
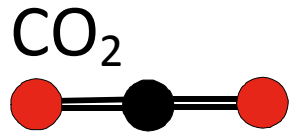
6x



6x



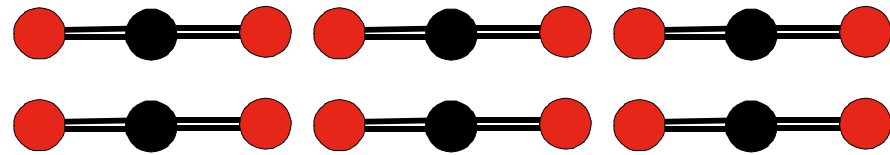
Stelle eine Reaktionsgleichung* der Photosynthese auf
Achte dabei darauf, dass auf der linken Seite der Gleichung (Edukte) genauso viele
Atome wie auf der rechten Seite (Produkte) liegen!



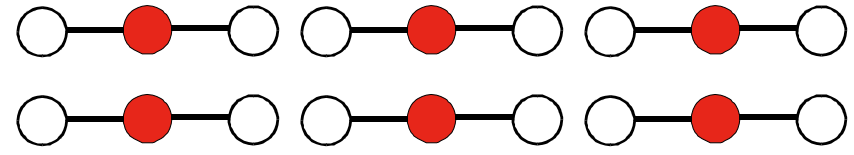
*) Netto-Gleichung

LÖSUNG (Netto-Gleichung):

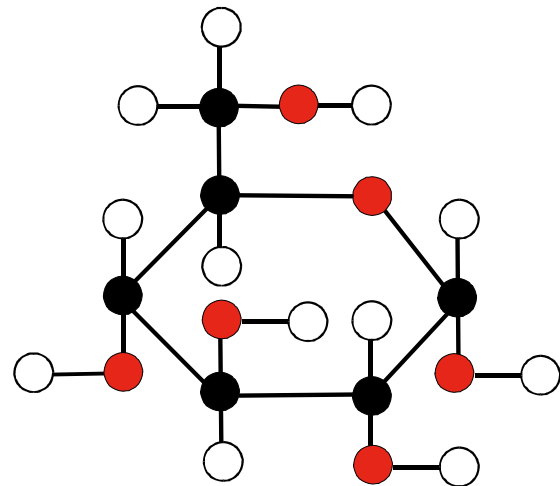
6x



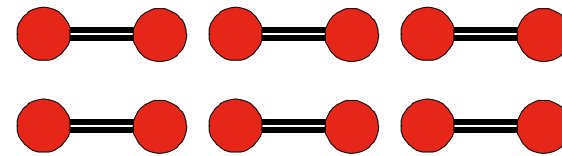
6x



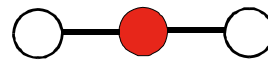
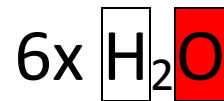
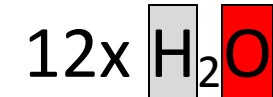
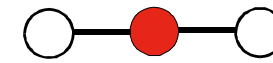
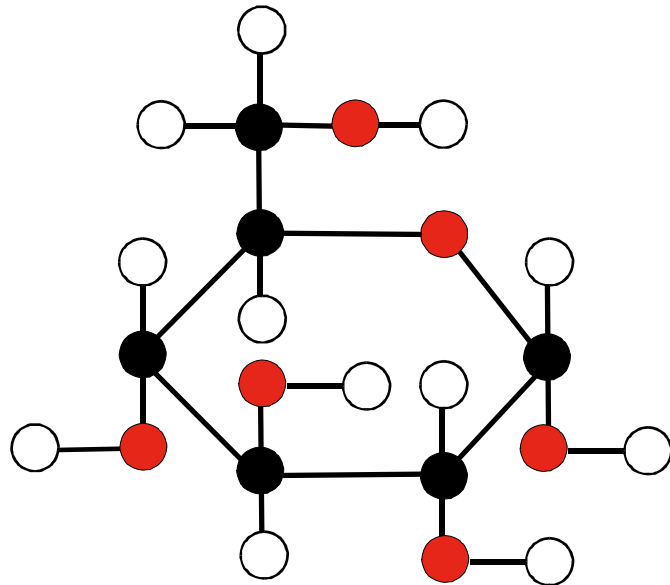
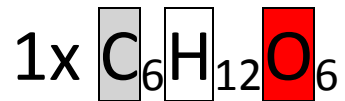
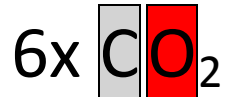
1x



6x



Stammt der bei der Photosynthese frei werdende Sauerstoff aus dem Kohlenstoffdioxid oder aus dem Wasser?

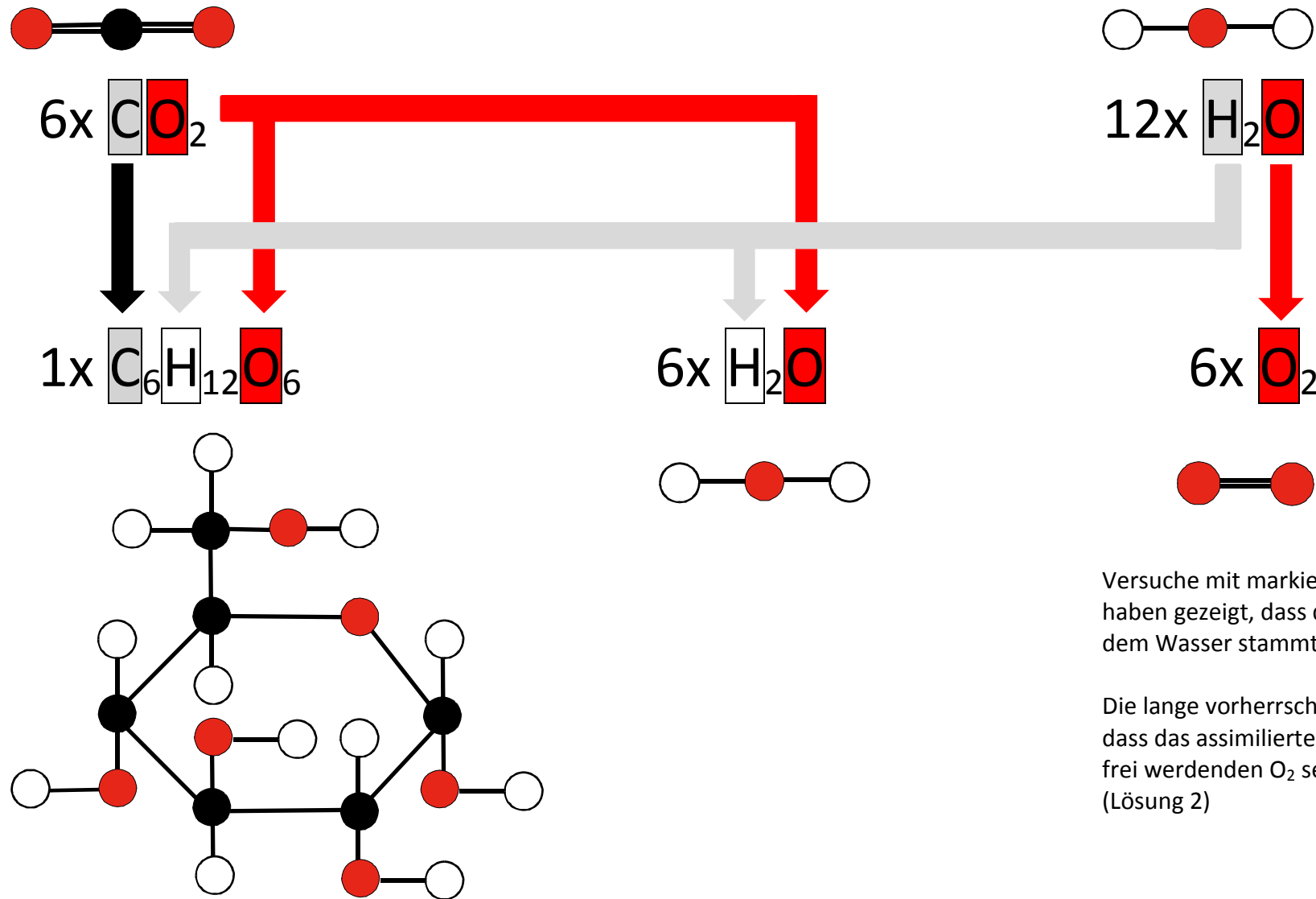


Welchen Weg nehmen C, H und O in der Photosynthese-Reaktion?

Verbinde mit (farbigen) Pfeilen!

Es gibt (grundsätzlich) 2 Lösungen.

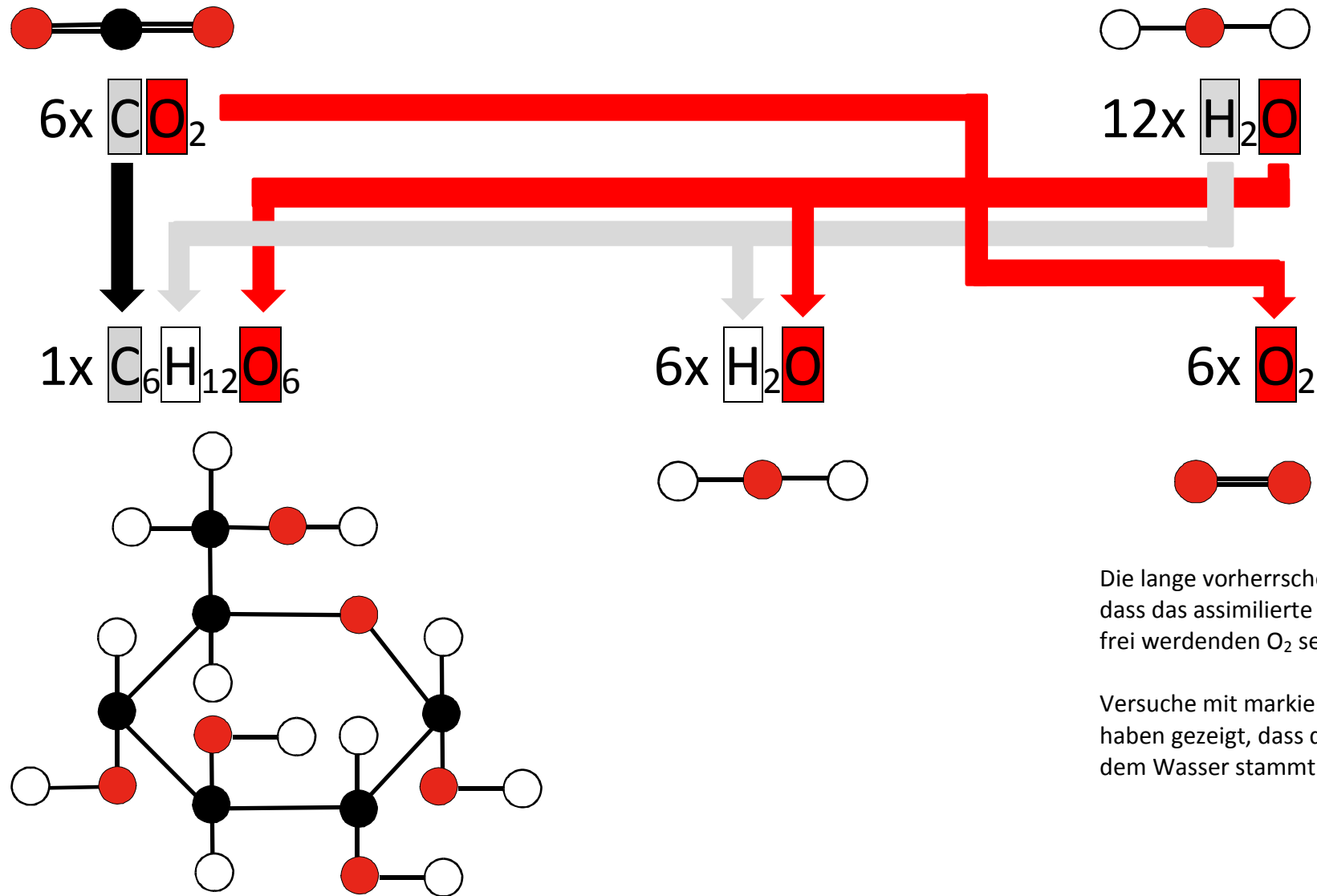
Lösung 1 (Hier wäre das Wasser die Quelle des Sauerstoffs)



Versuche mit markiertem Sauerstoff haben gezeigt, dass der Sauerstoff aus dem Wasser stammt (Lösung 1)

Die lange vorherrschende Ansicht, dass das assimilierte CO_2 die Quelle des frei werdenden O_2 sei gilt heute als falsch (Lösung 2)

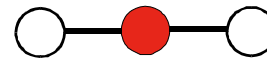
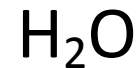
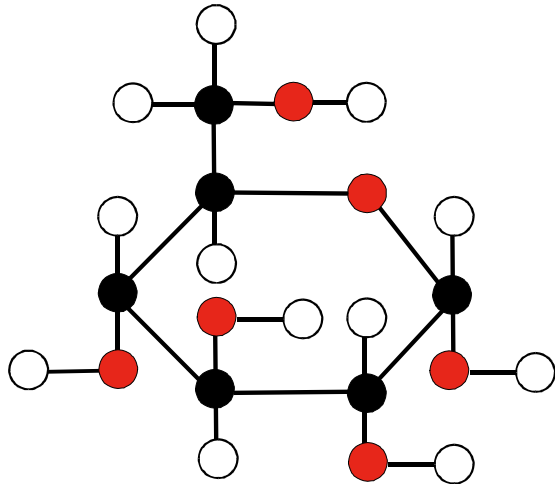
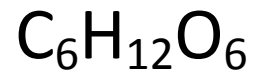
Lösung 2 (Hier wäre das Kohlenstoffdioxid die Quelle des Sauerstoffs)



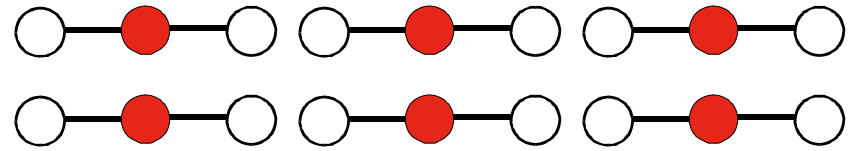
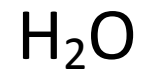
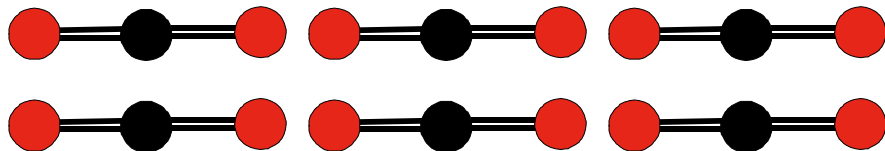
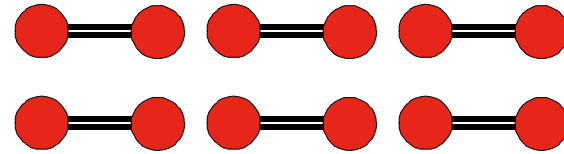
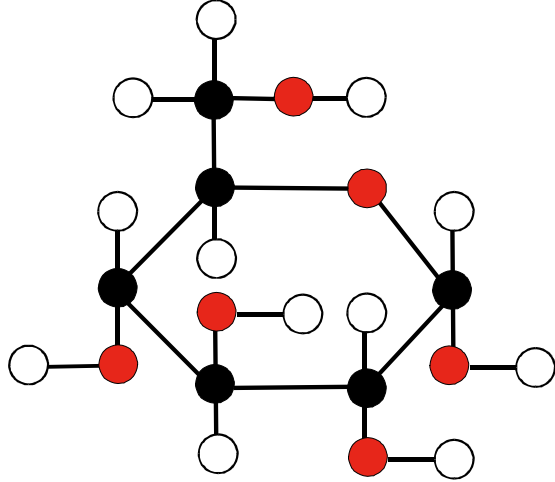
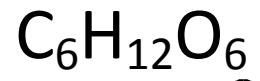
Die lange vorherrschende Ansicht, dass das assimilierte CO_2 die Quelle des frei werdenden O_2 sei gilt heute als falsch.

Versuche mit markiertem Sauerstoff haben gezeigt, dass der Sauerstoff aus dem Wasser stammt (Lösung 1)

Stelle eine Reaktionsgleichung der Glucose-Verbrennung auf
Achte dabei darauf, dass auf der linken Seite der Gleichung (Edukte) genauso viele
Atome wie auf der rechten Seite (Produkte) liegen!



LÖSUNG:



Stöchiometrie zum Anfassen...

Berechnen der Reaktionsenthalpie mit dem MOLYMOD-Molekülbaukasten



Abb. WINLAB

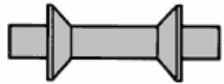
Atome vereinigen sich zu **Molekülen**.

Sauerstoff (O_2) besteht aus zwei durch eine **Doppelbindung** (=) miteinander verbundenen Sauerstoff-Atomen (O). $\rightarrow O=O$

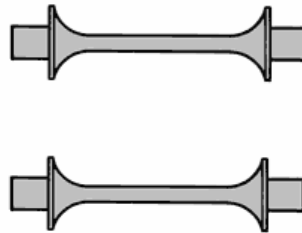
Kohlenstoffdioxid (CO_2) setzt sich aus einem Kohlenstoff-Atom (C) und zwei Sauerstoff-Atomen (O) zusammen. Sie sind ebenfalls durch **Doppelbindungen** miteinander verbunden. $\rightarrow O=C=O$

Wassermoleküle (H_2O) enthalten ein Sauerstoff-Atom (O) und zwei durch **Einfachbindungen** (-) angeschlossene Wasserstoff-Atome (H). $\rightarrow O-H-O$

Einfachbindung



Doppelbindung



Bei chemischen Reaktionen, z.B. Verbrennungen werden die Bindungen zwischen den Atomen aufgebrochen und die Atome zu neuen Verbindungen zusammengesetzt.

Das Aufbrechen von Bindungen erfordert Energie, die Herstellung neuer Bindungen setzt Energie frei.

Die erforderliche bzw. freigesetzte Energie ist abhängig vom Bindungstyp (z.B. Einfach- oder Doppelbindung) und von den Kräften die zwischen den verschiedenen Atomen wirken.

Die Energie wird in kJ/mol (Kilojoule pro Mol) angegeben.

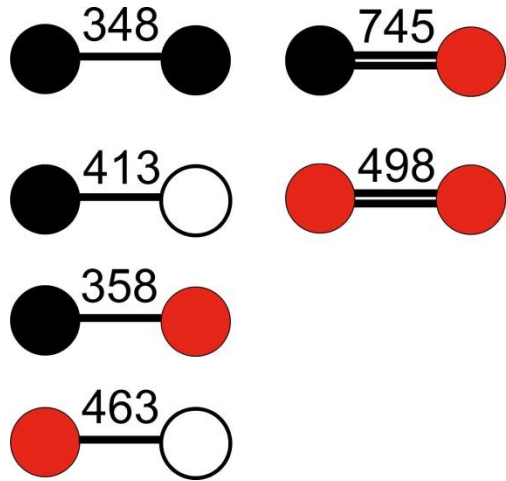
Ein **Joule** ist die **Einheit** für Energie. Wir können sie umgangssprachlich auch als "**Energiewährung**" bezeichnen.

Ein **Mol** ist eine Stoffmenge die aus 602 Trilliarden Teilchen (hier Molekülen) besteht.

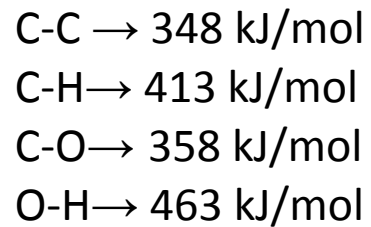
1 Mol eines bestimmten Stoffes enthält genauso viele Teilchen wie ein anderer Stoff: 1 Mol Zucker = 1 Mol Sauerstoff = 1 Mol Wasser = 1 Mol....

Bindungsenergie (kJ/mol)

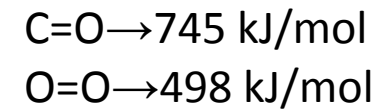
(Zahlen aus Wikipedia, "Bindungsenergie")



Einfachbindung:



Doppelbindung:



Regel 1:

Das Aufbrechen von Bindungen erfordert Energie ("Input")

Regel 2

Das Herstellen von Bindungen setzt Energie frei ("Output")

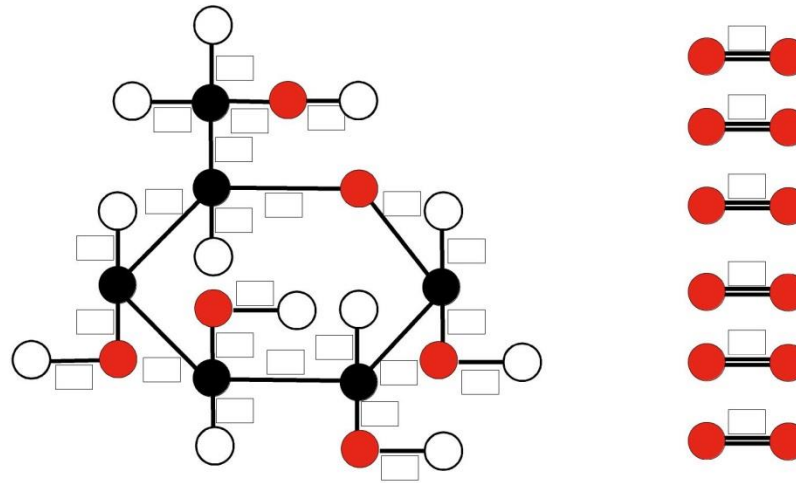
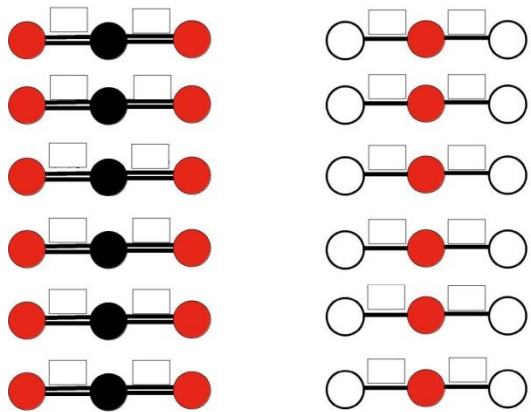
Regel 3:

Die Differenz zwischen "Output" und "Input" ist die Energiebilanz. Sie kann positiv ("Gewinn") oder negativ ("Verlust") sein.

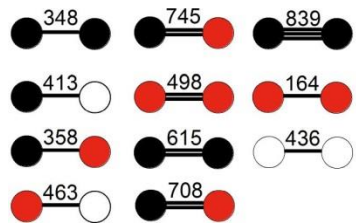
Energiebilanz bei der Bildung von Glucose ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$)



"INPUT" _____ kJ/mol



"OUTPUT" _____ kJ/mol



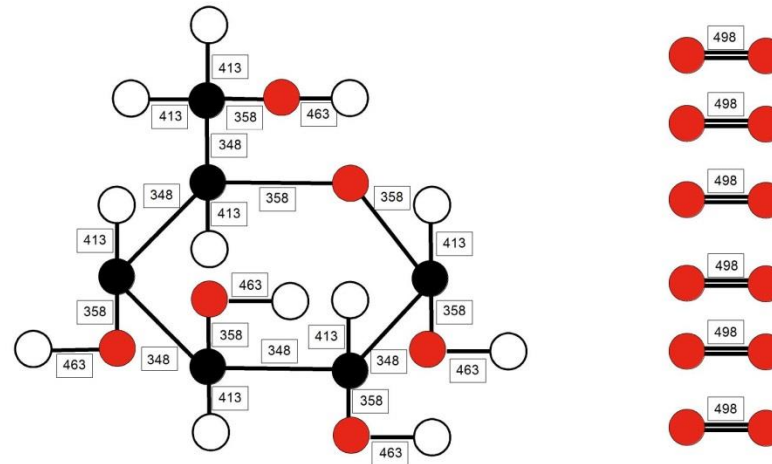
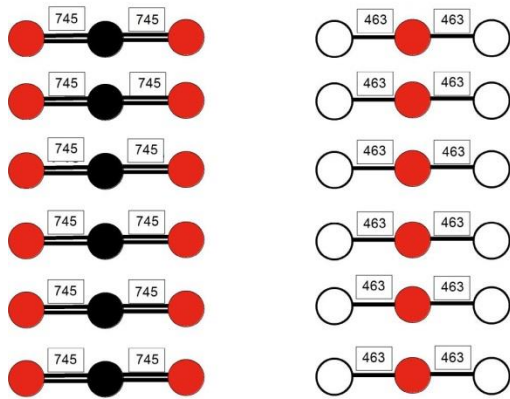
"GEWINN"_(Output - Input) = _____ kJ/mol

Lösung:



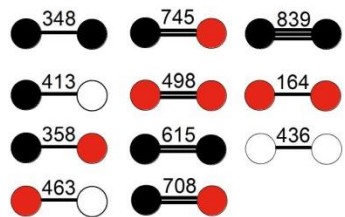
"INPUT" 14496 kJ/mol

$$8940 + 5556 = 14496$$



"OUTPUT" 12082 kJ/mol

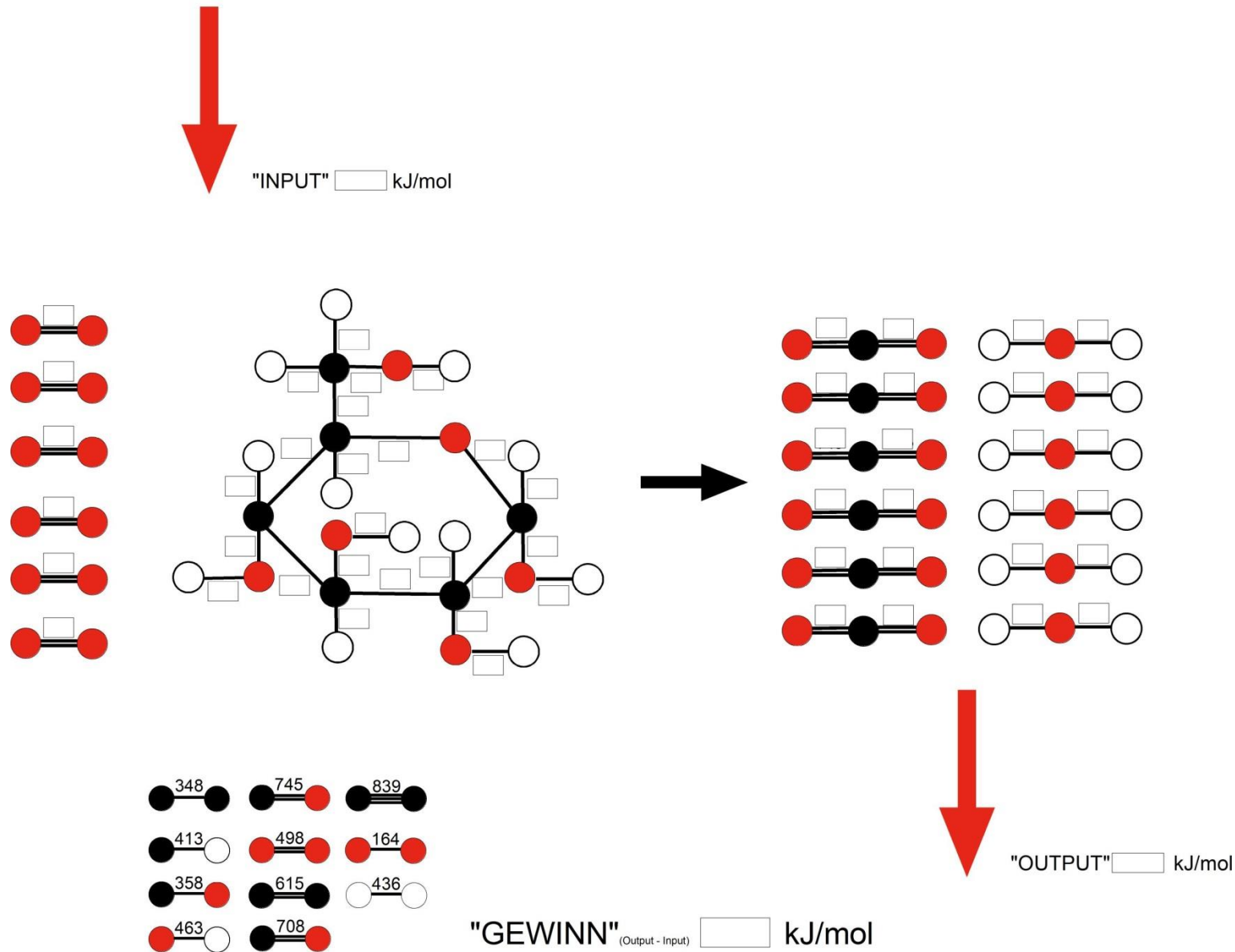
$$2988 + 9094 = 12082$$



"GEWINN" (Output - Input) = - 2414 kJ/mol

$$12086 - 14496 = -2414$$

Energiebilanz bei der Verbrennung von Glucose ($C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$)

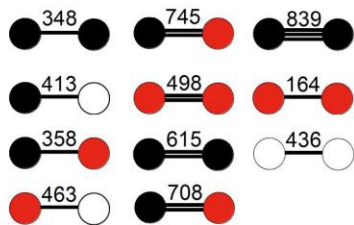
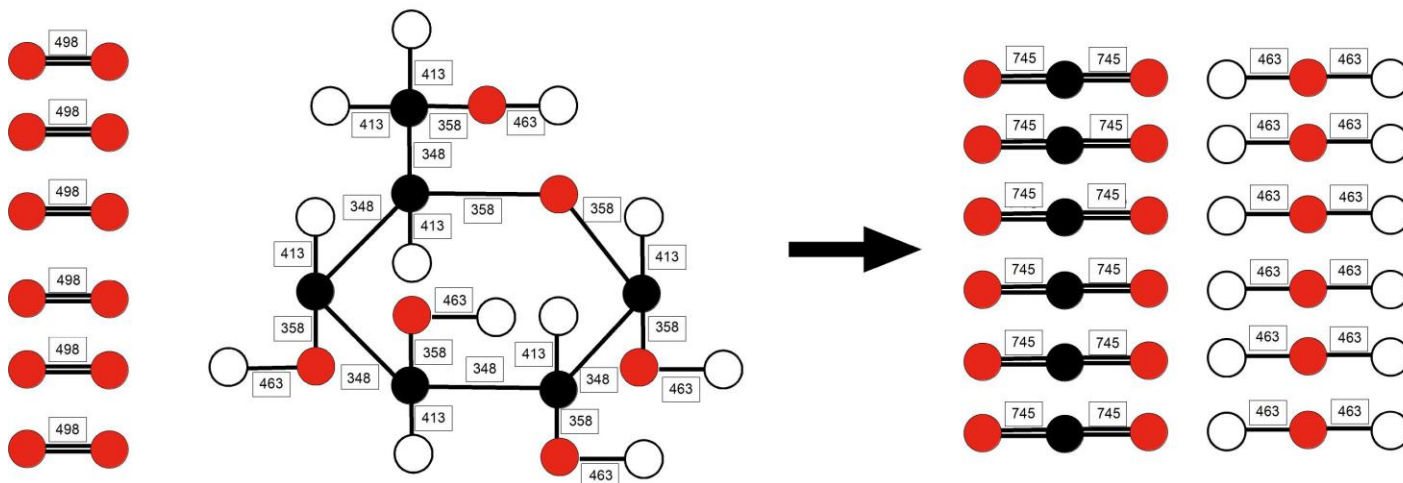


Lösung:



"INPUT" 12082 kJ/mol

$$2988+9094=12082$$



"GEWINN" (Output - Input) 2414 kJ/mol

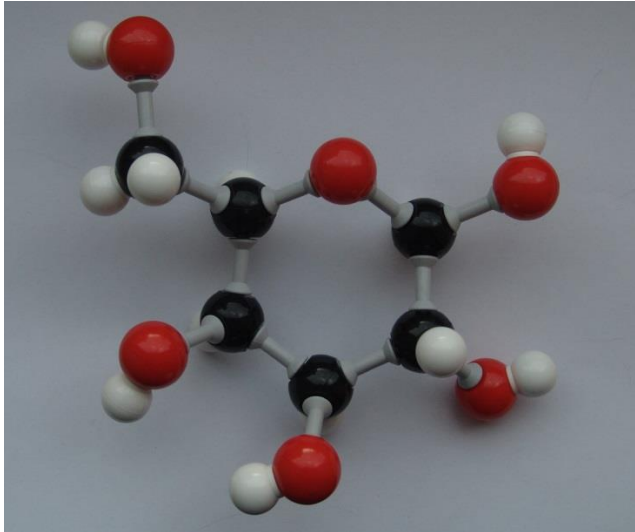
$$14496-12082=2414$$



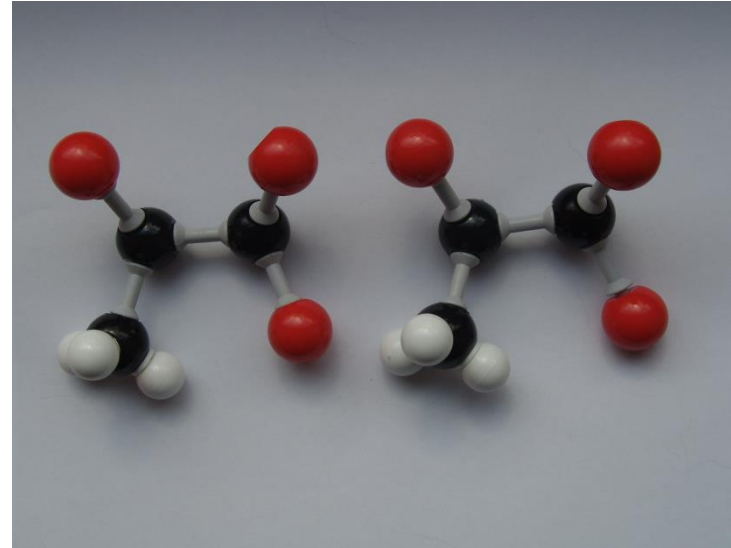
"OUTPUT" 14496 kJ/mol

$$8940+5556=14496$$

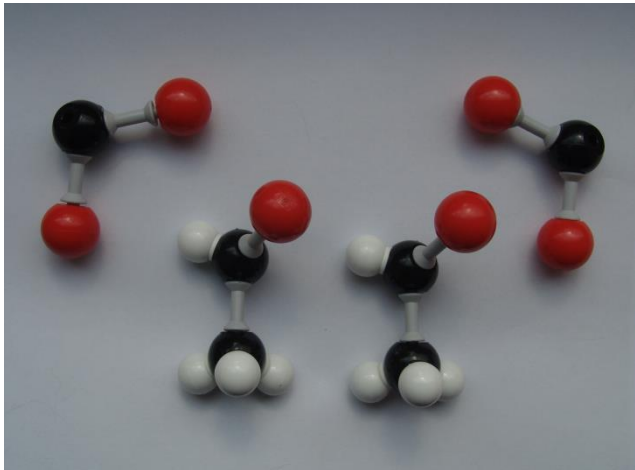
Ethanol-Entstehung durch Gärung



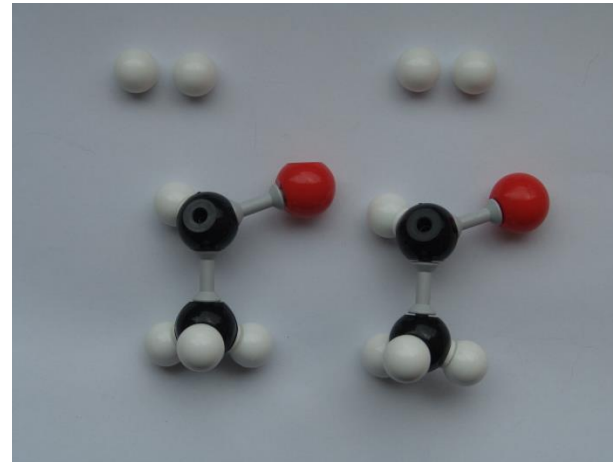
Glucose ($C_6H_{12}O_6$)



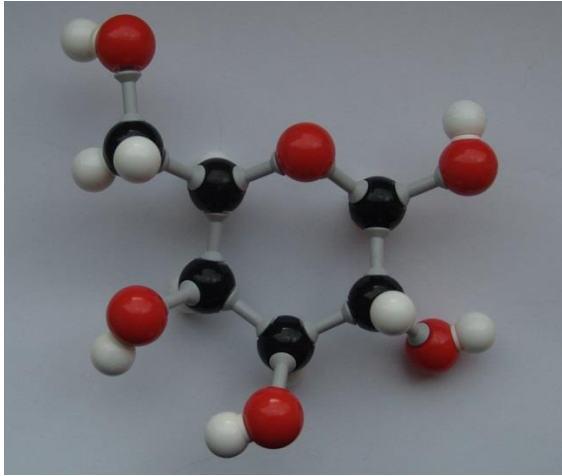
Glucose - 6 H \rightarrow 2x Pyruvat ($C_3H_3O_2 + O^-$) + 3 H₂O



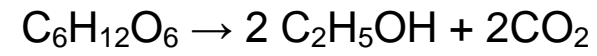
Pyruvat \rightarrow 2x Acetaldehyd (C_2H_4O) + 2 CO₂



2x Acetaldehyd (C_2H_4O) + 2 x 2H⁺ \rightarrow Ethanol (C_2H_4OH)



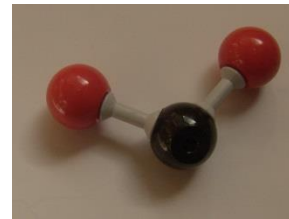
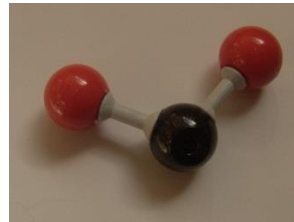
Summarische Gleichung
der alkoholischen Gärung:



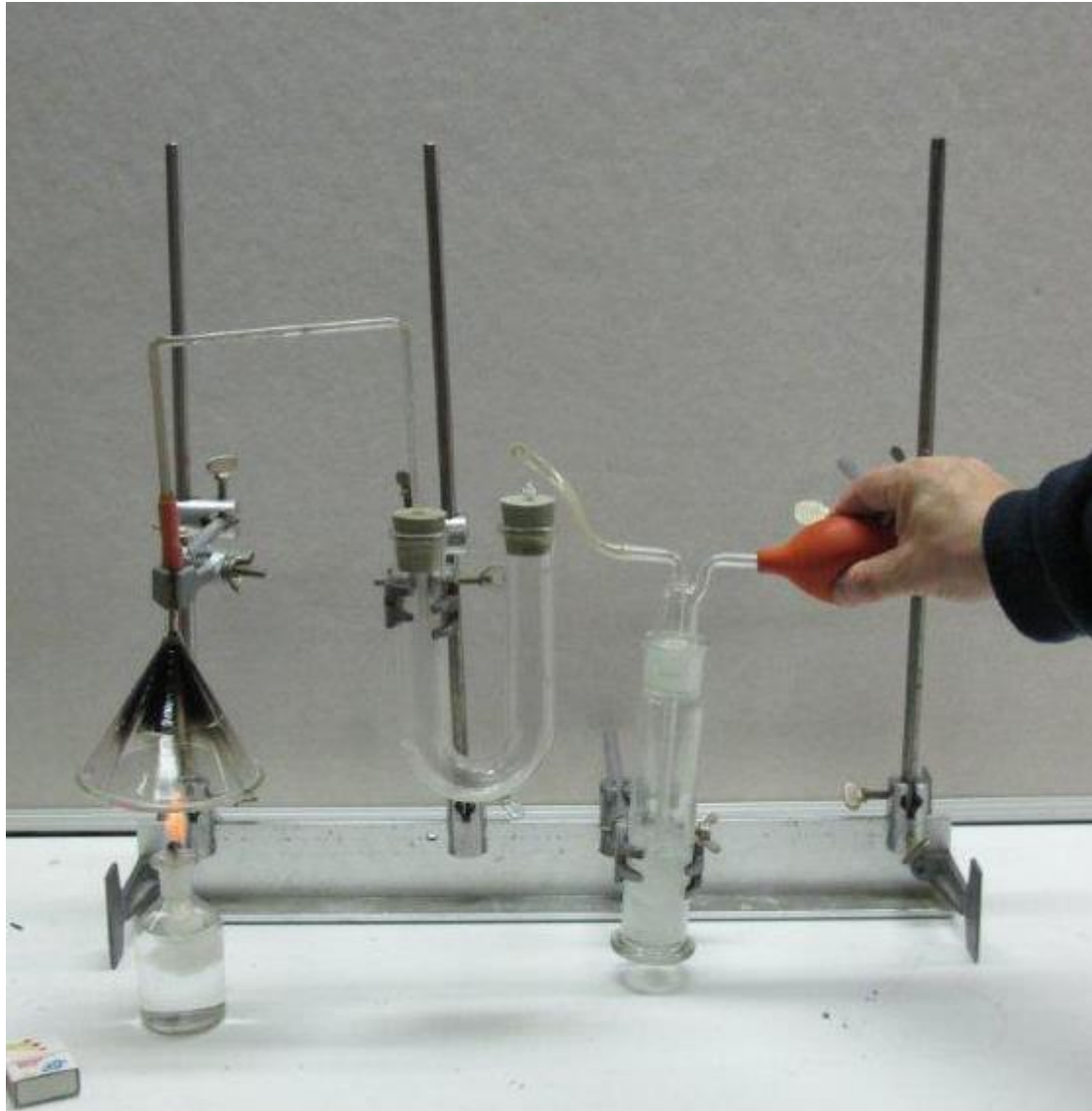
Aus einem Glucose-Molekül werden durch Gärung zwei Ethanol-Moleküle und 2 Kohlenstoffdioxid-Moleküle



+



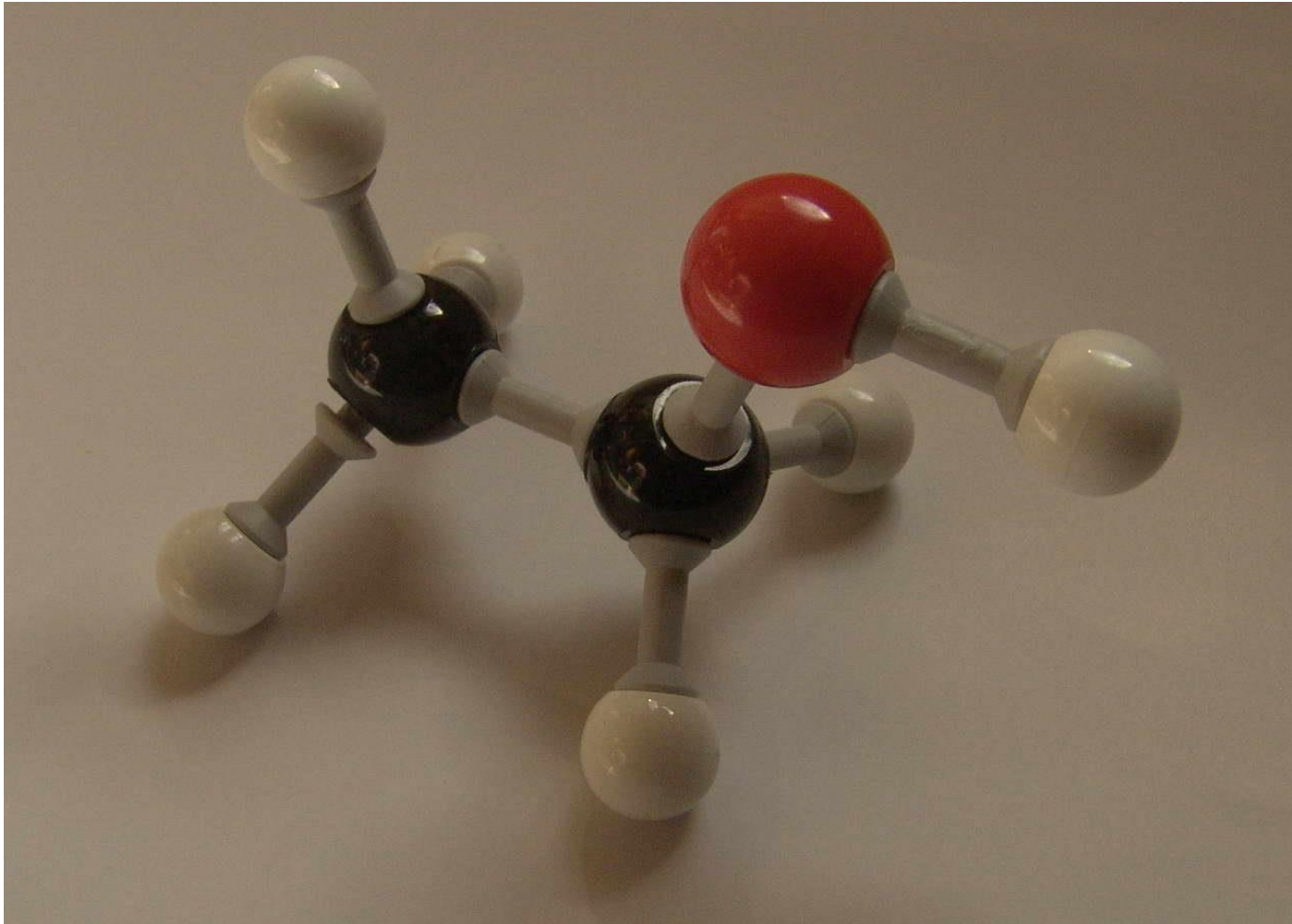
Ethanol-Verbrennung



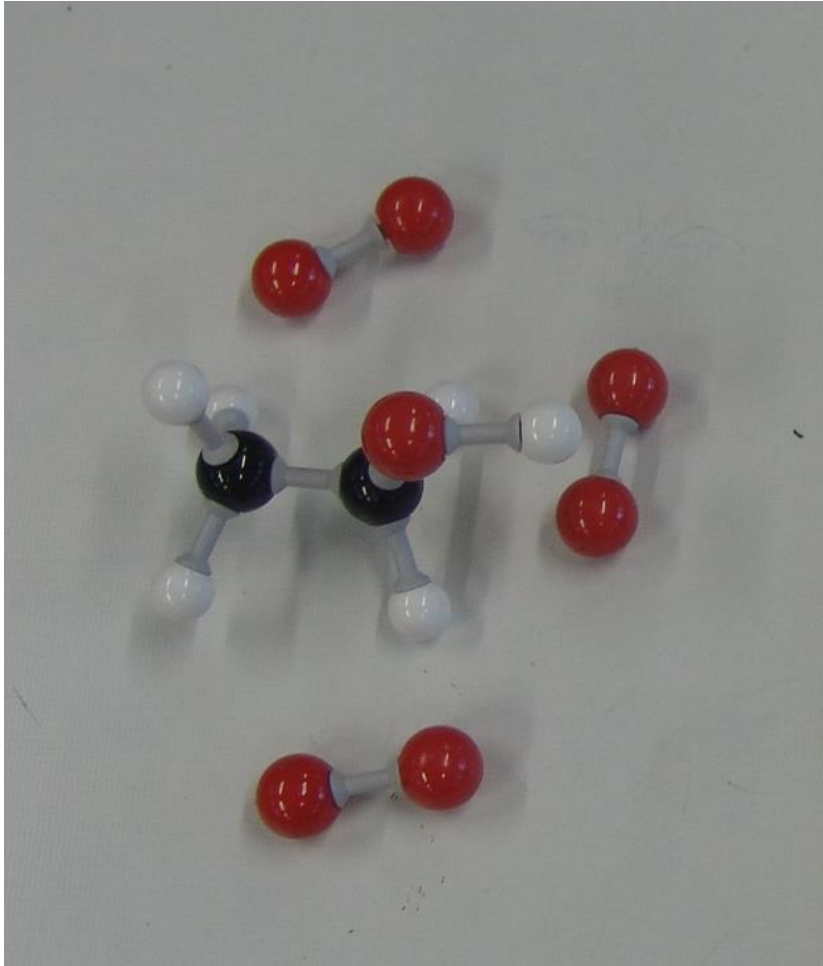
Bei der Verbrennung von Ethanol (links) entstehen

- Wasser (H_2O)
→ Kondenswasser im U-Rohr (Mitte)
- Kohlenstoffdioxid (CO_2)
→ Nachweis durch Kalkwasser (rechts)

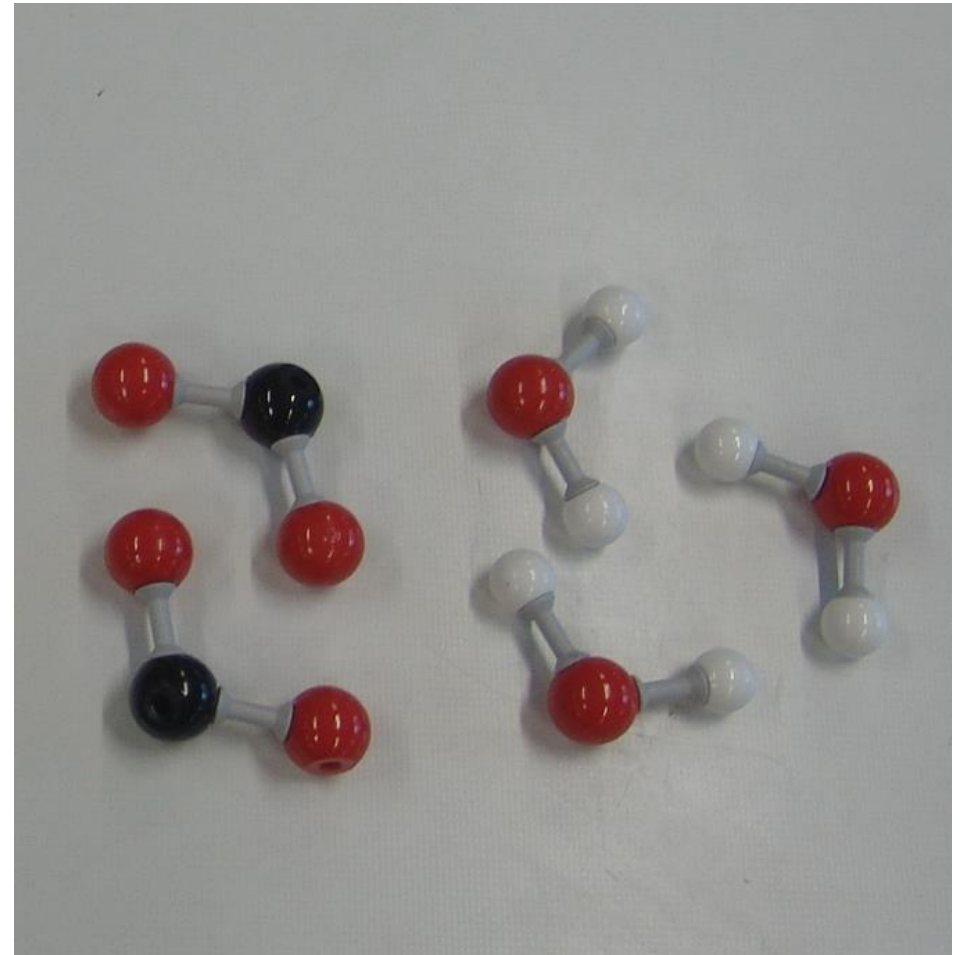
"Ethy", das Ethanol-Molekül



Ethanol-Verbrennung

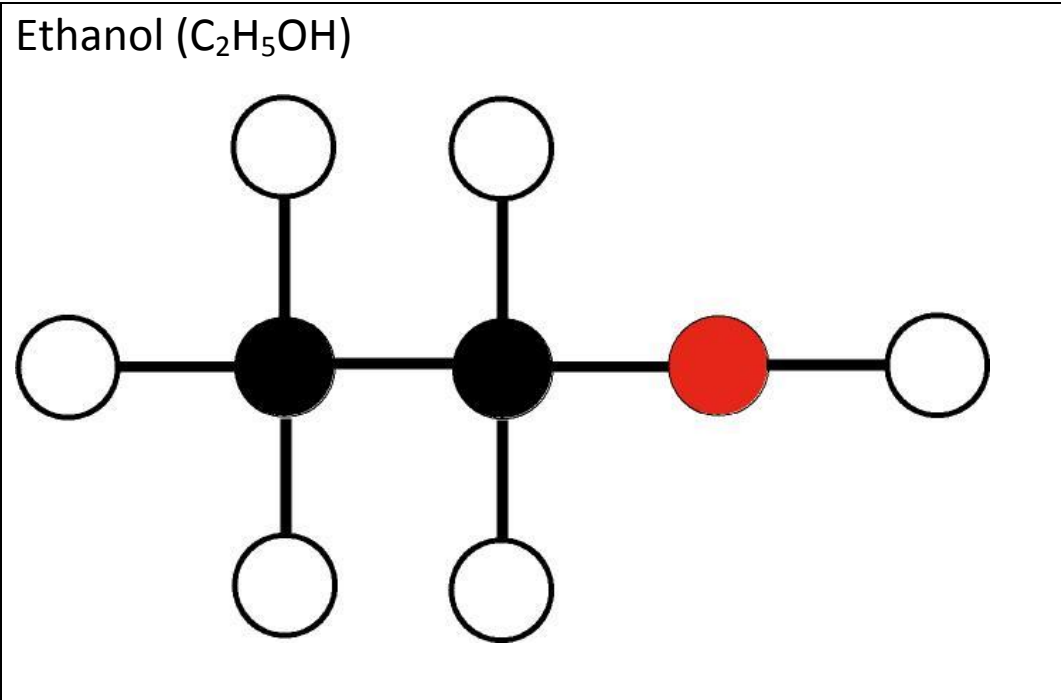


Ethanol und Sauerstoff verbrennen zu...

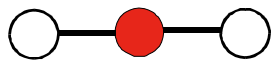
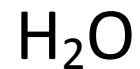
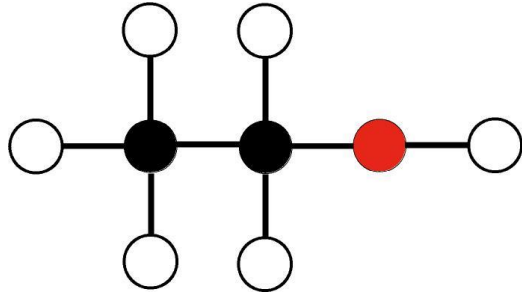
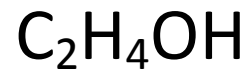


...Kohlenstoffdioxid und Wasser

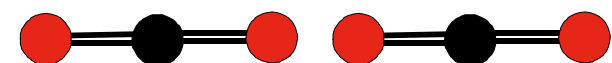
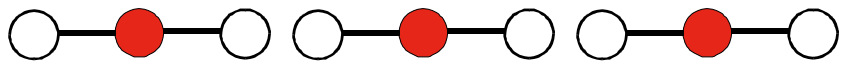
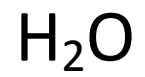
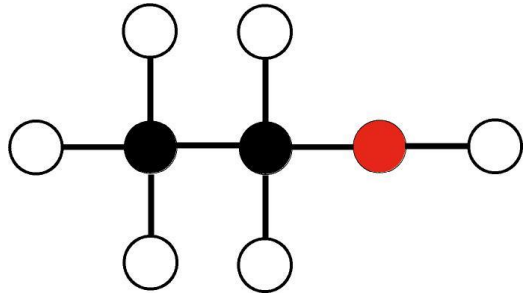
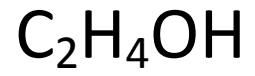
"Ethanol-Molekül" zum Ausschneiden



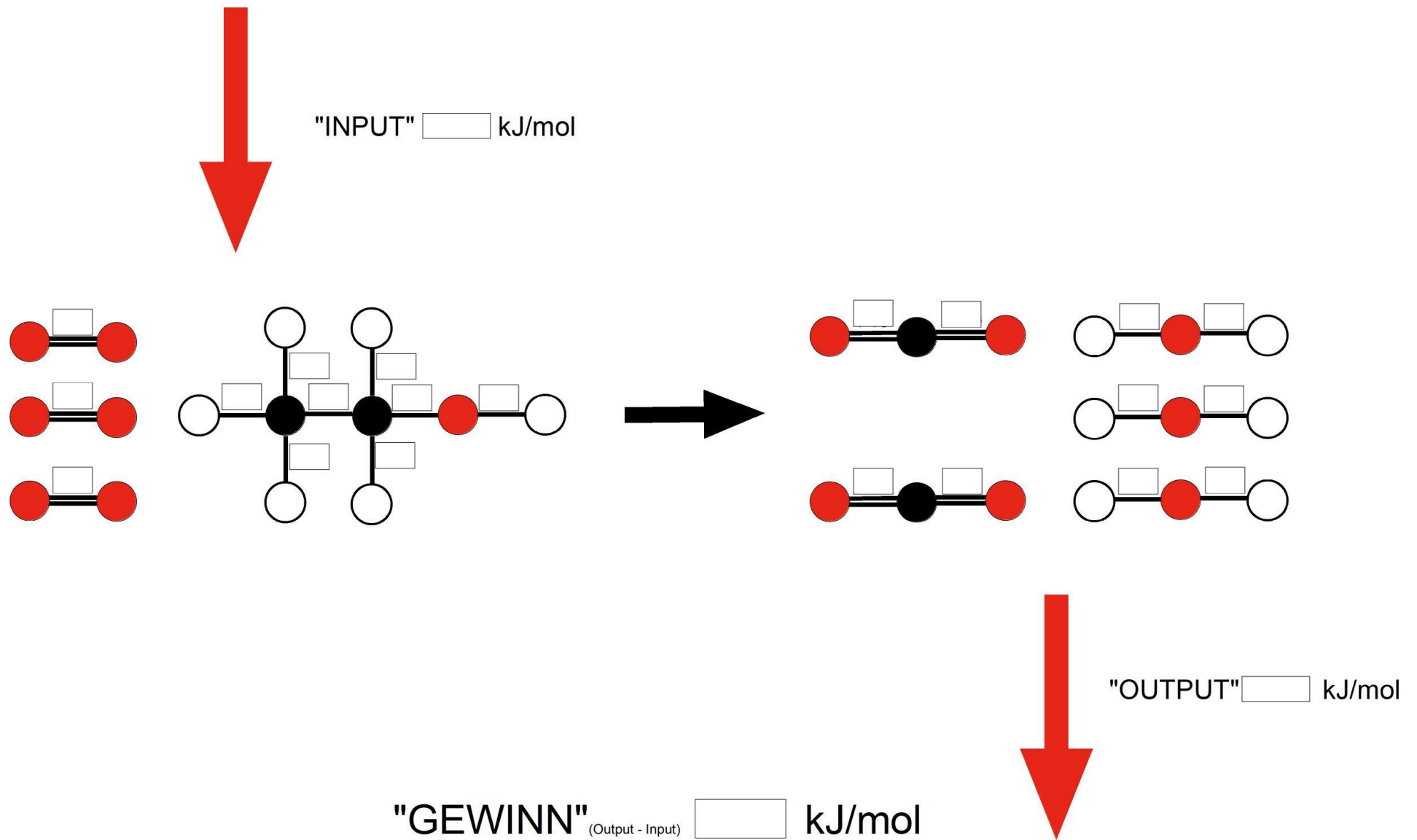
Stelle eine Reaktionsgleichung der Ethanol-Verbrennung auf
Achte dabei darauf, dass auf der linken Seite der Gleichung (Edukte) genauso viele
Atome wie auf der rechten Seite (Produkte) liegen!



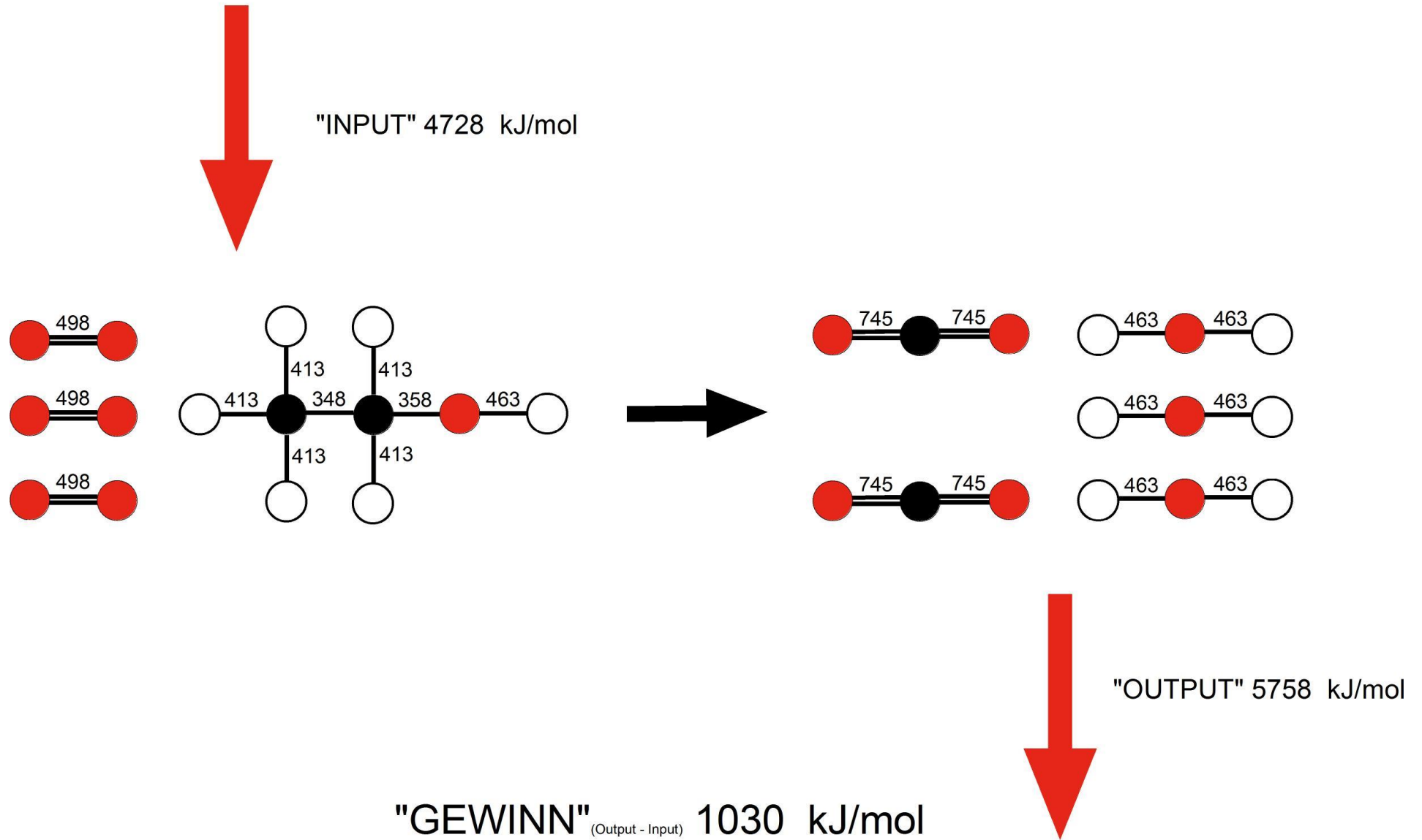
Lösung:



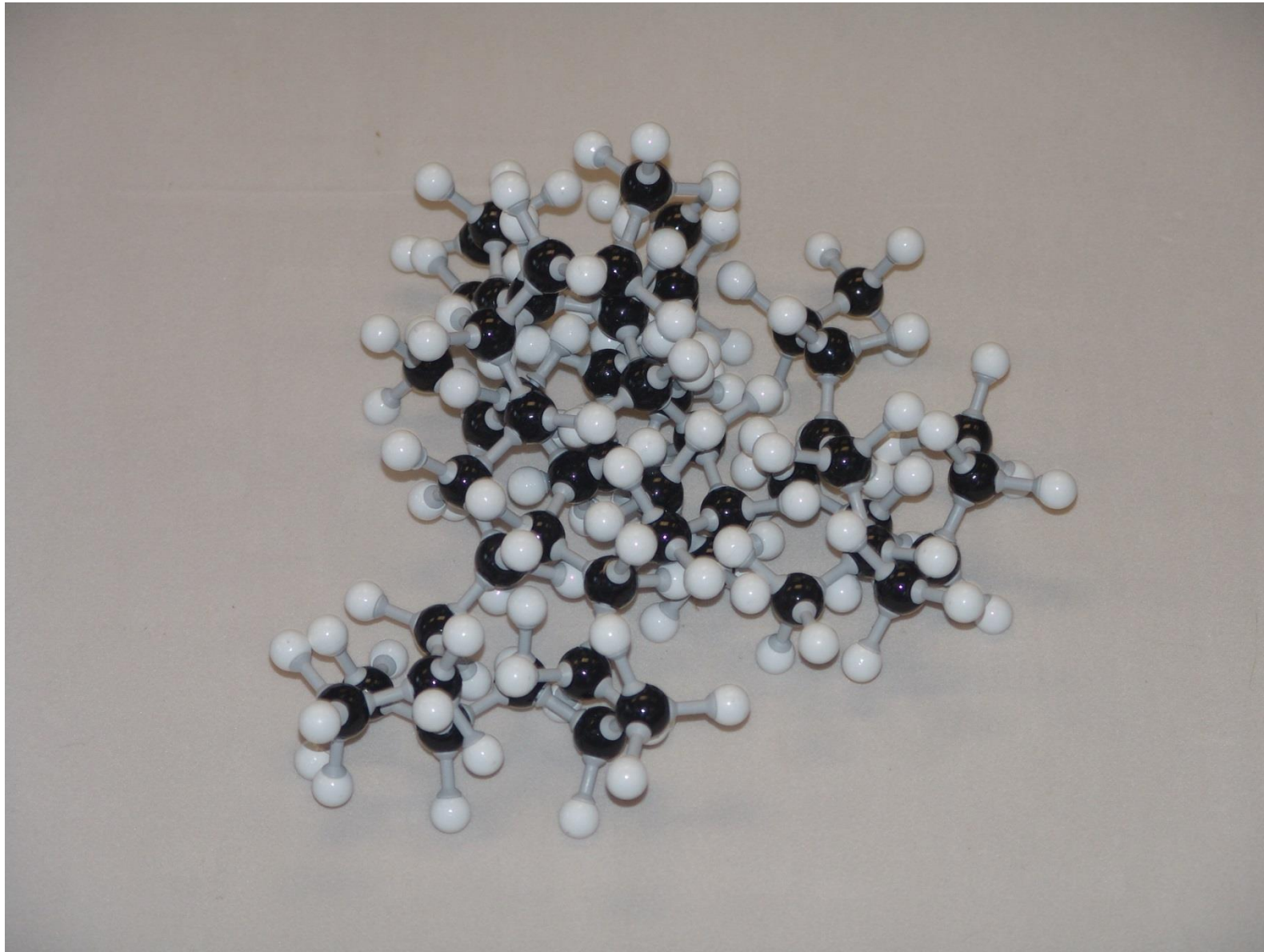
Energiebilanz bei der Verbrennung von Ethanol:



Lösung:

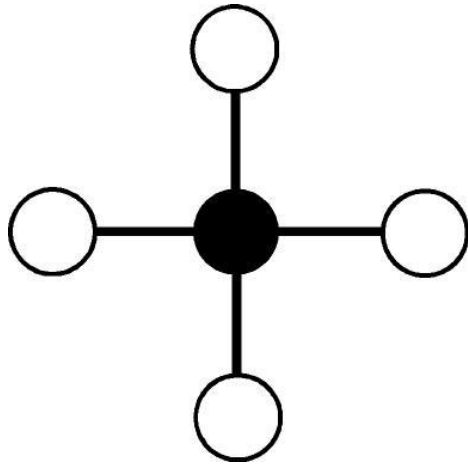


Alkane

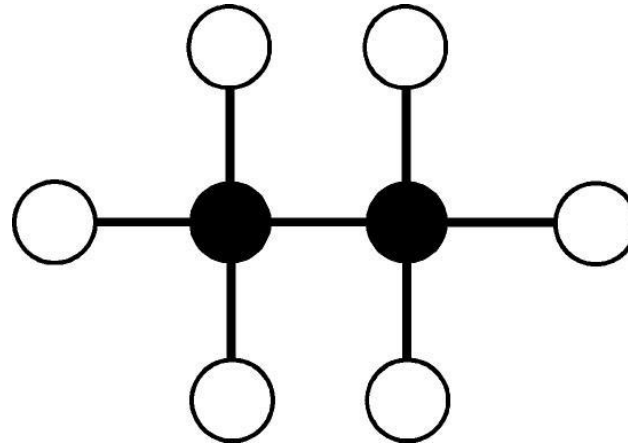


"Alkan-Moleküle" zum Ausschneiden:

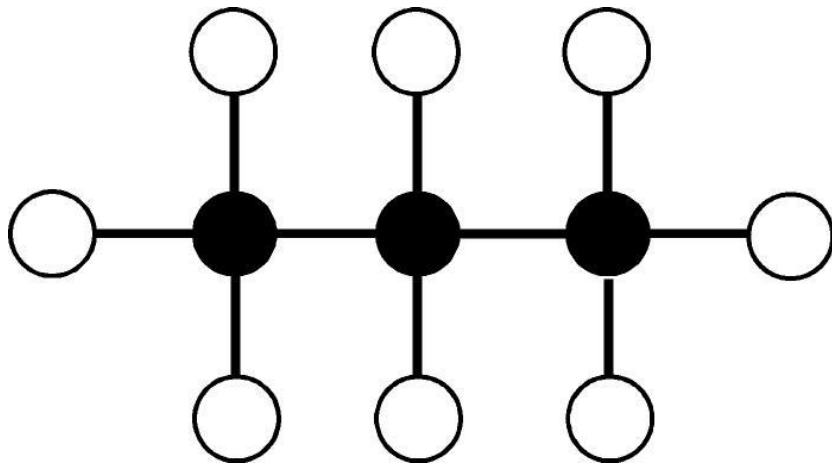
Methan CH_4



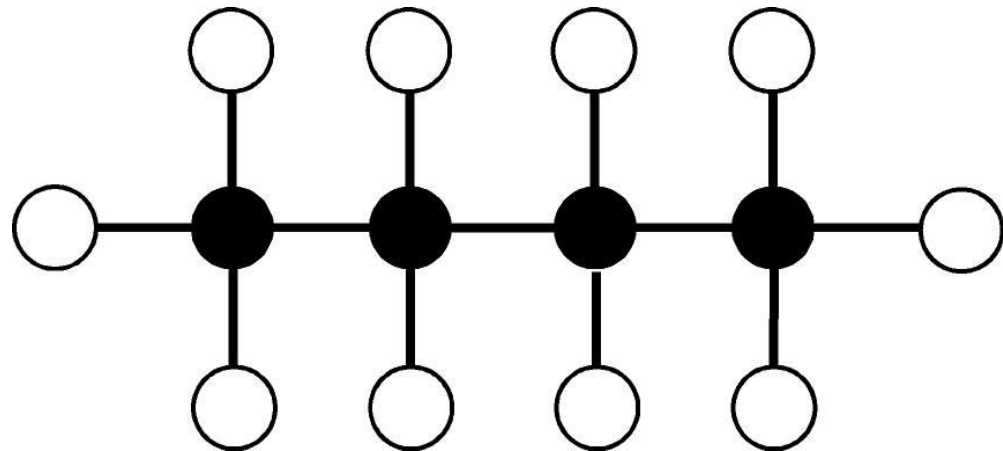
Ethan C_2H_6



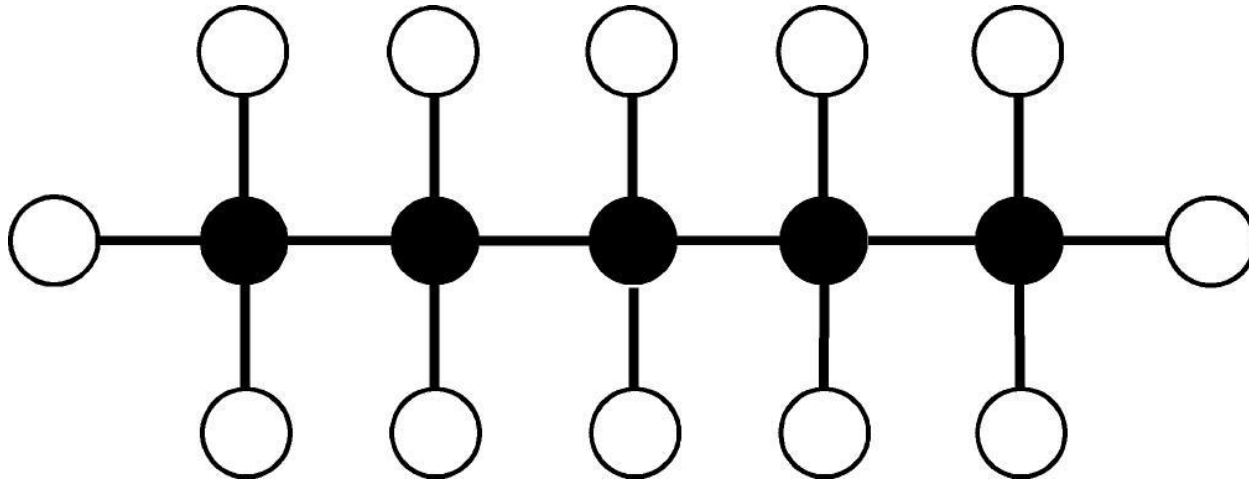
Propan C_3H_8



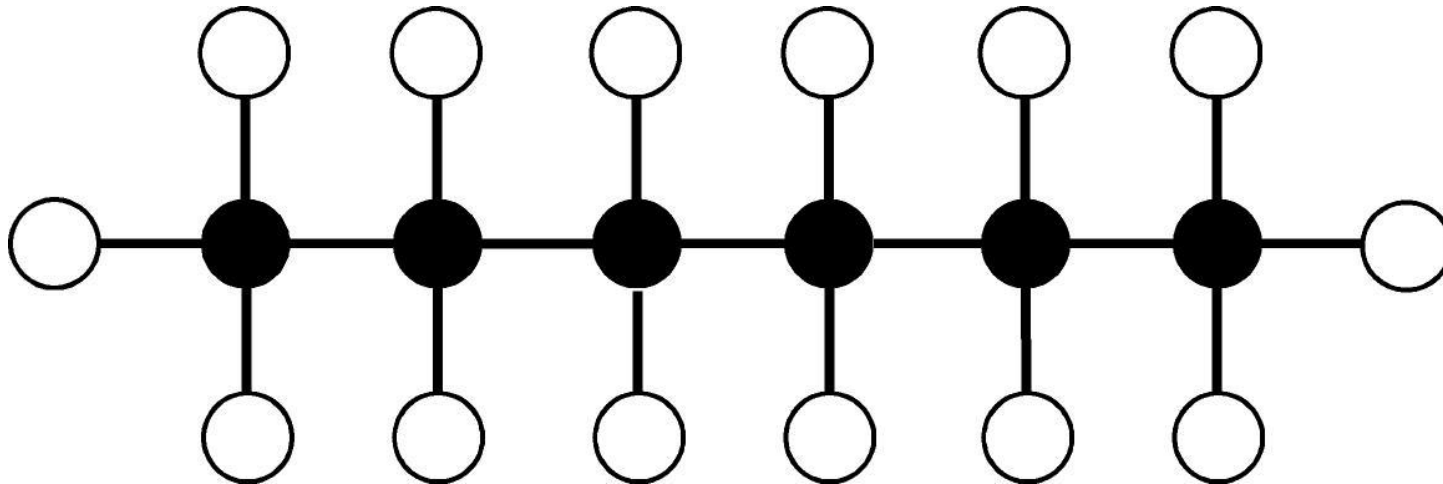
Butan C_4H_{10}



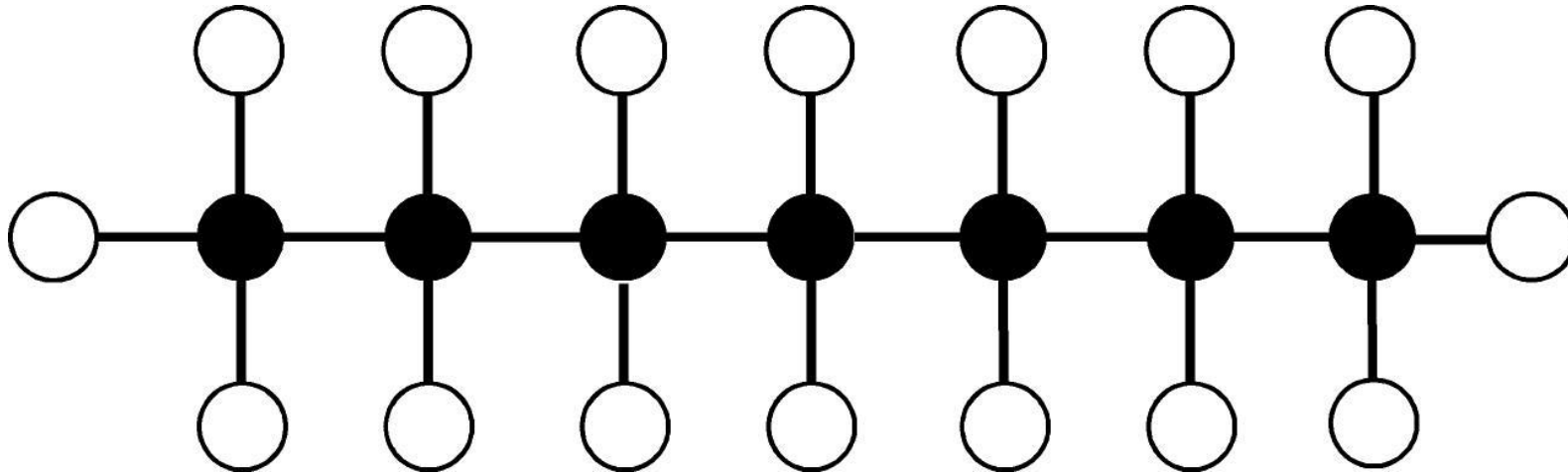
Pentan C_5H_{12}



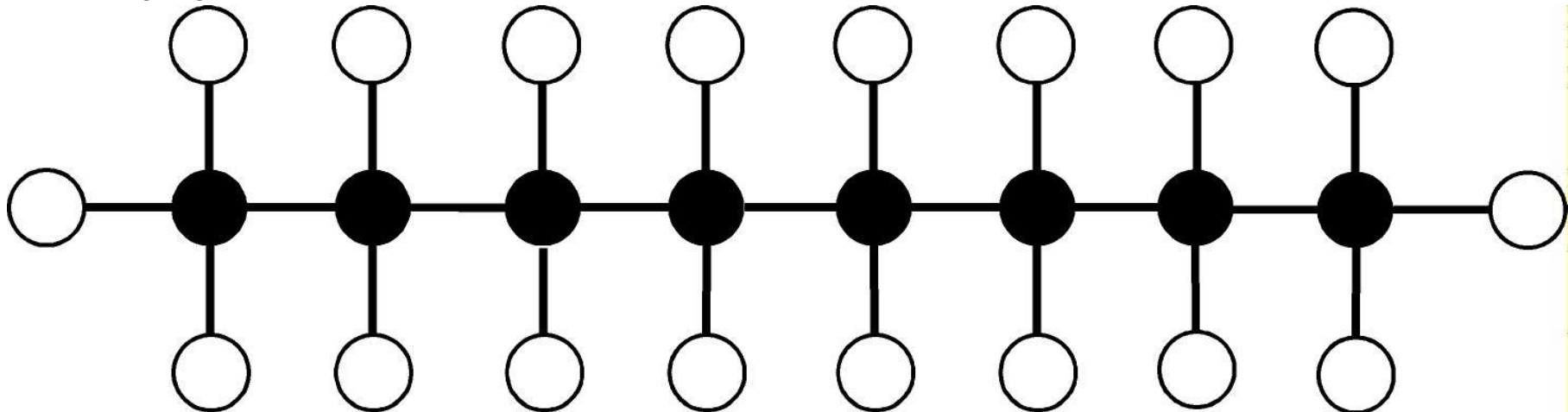
Hexan C_6H_{14}



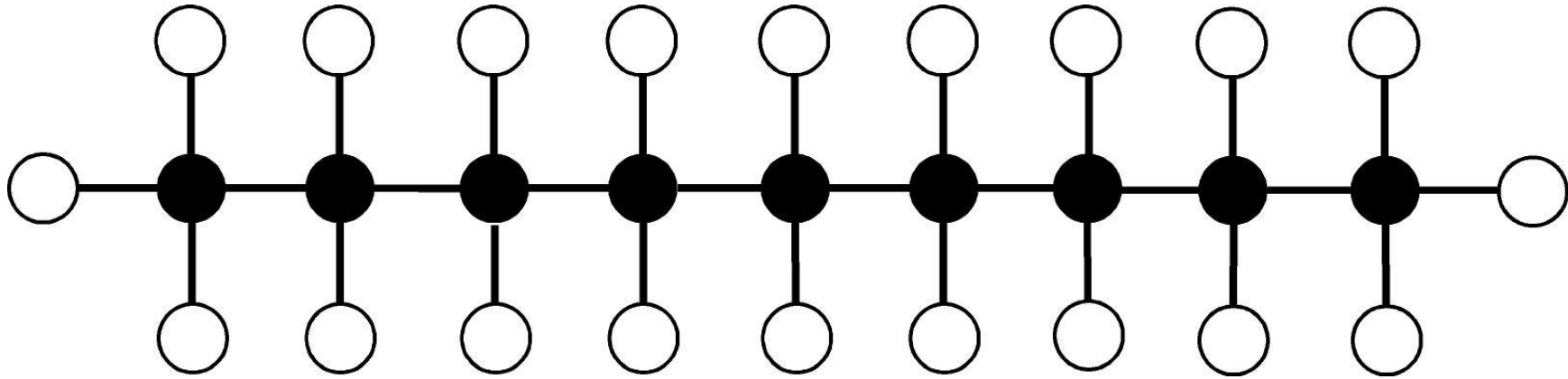
Heptan C_7H_{16}



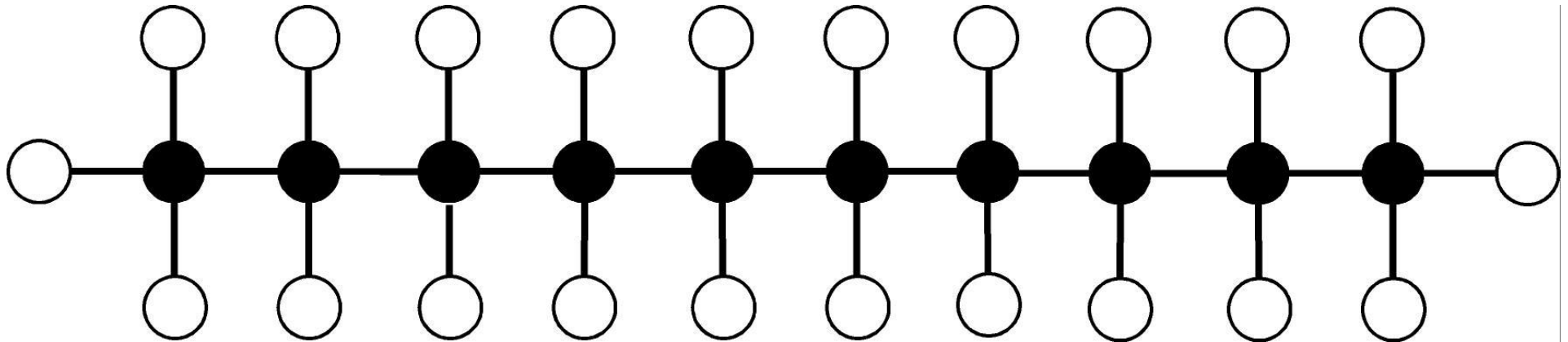
Oktan C_8H_{18}



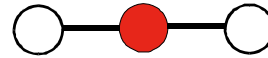
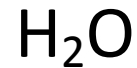
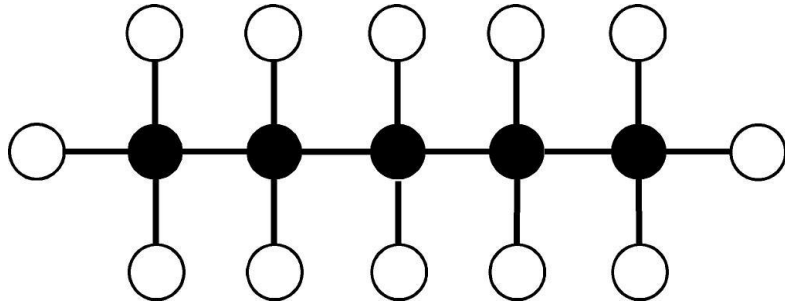
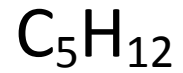
Nonan C_9H_{20}



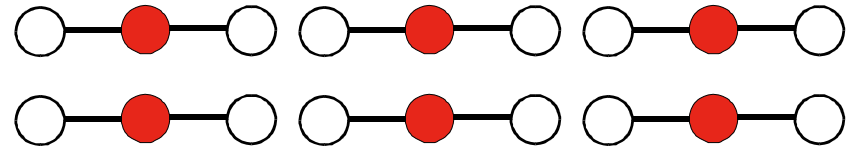
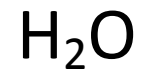
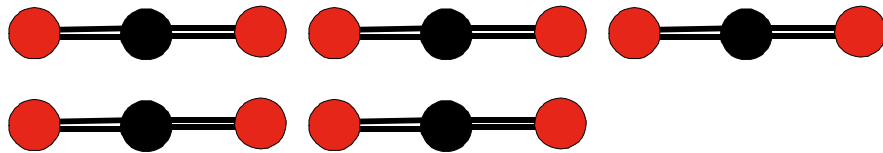
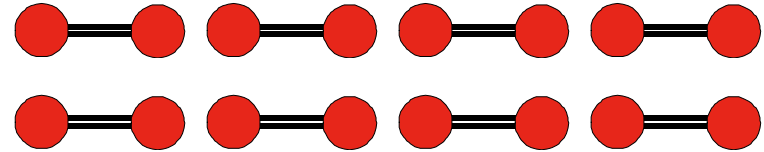
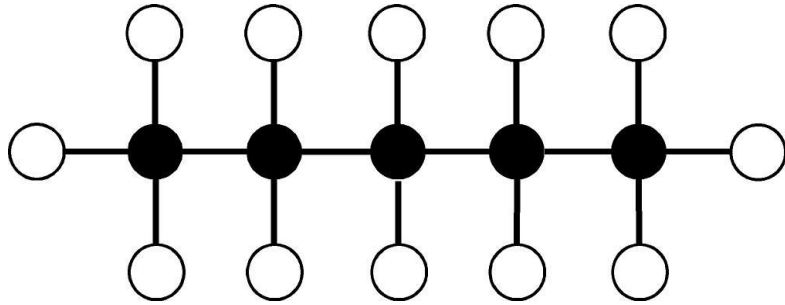
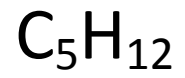
Decan $C_{10}H_{22}$



Stelle eine Reaktionsgleichung der Pentan-Verbrennung auf
Achte dabei darauf, dass auf der linken Seite der Gleichung (Edukte) genauso viele
Atome wie auf der rechten Seite (Produkte) liegen!

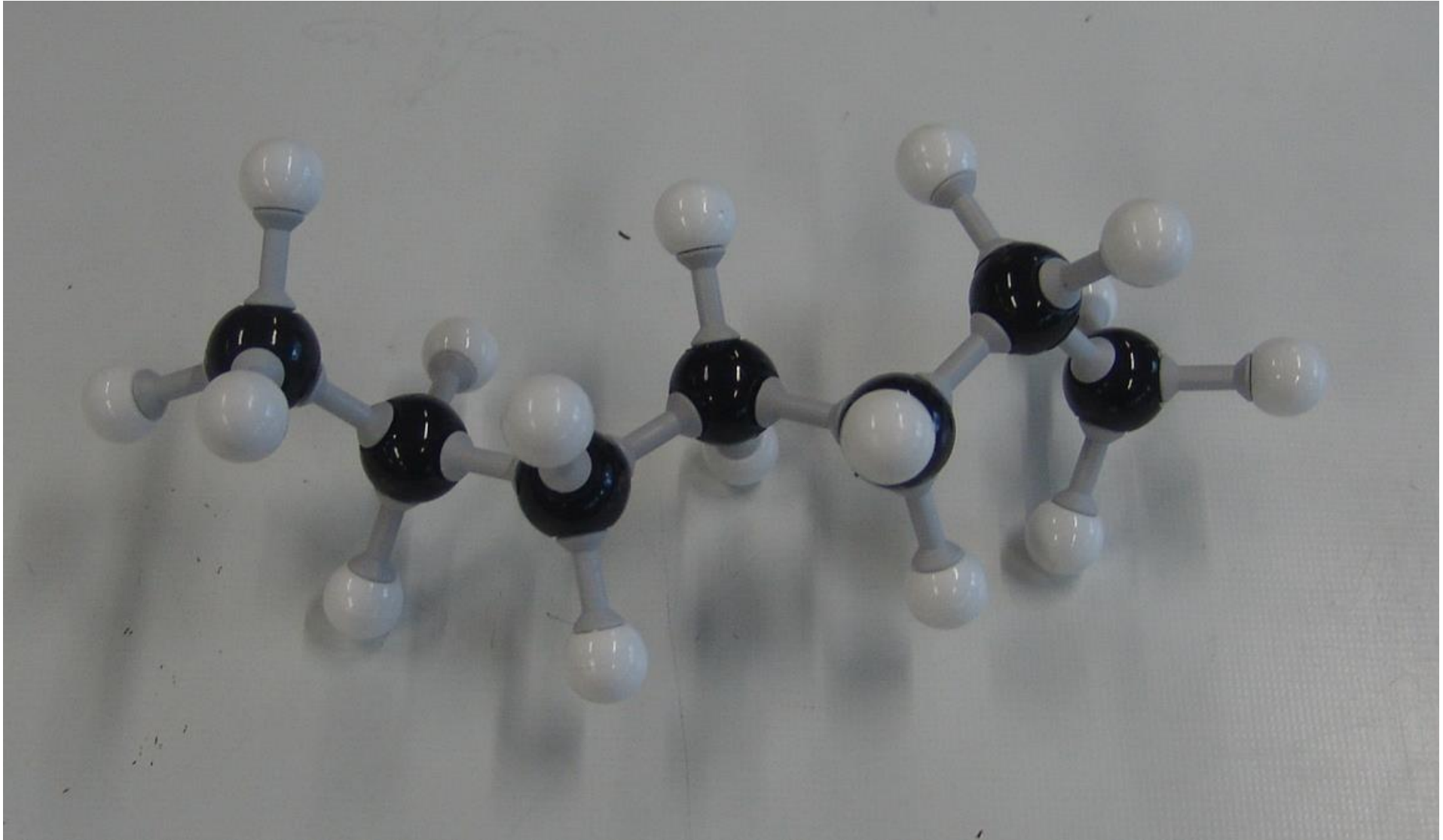


LÖSUNG:

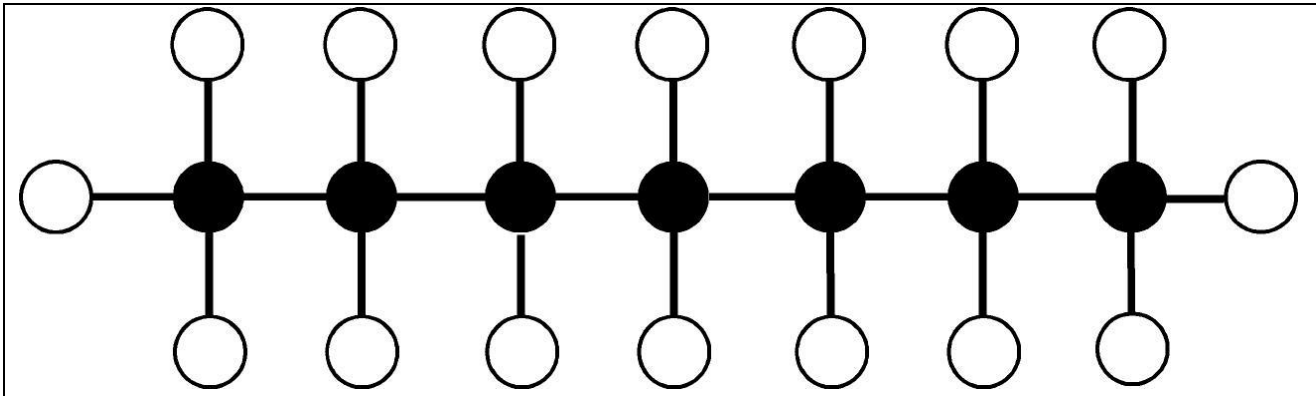


Energiegehalt von Alkanen

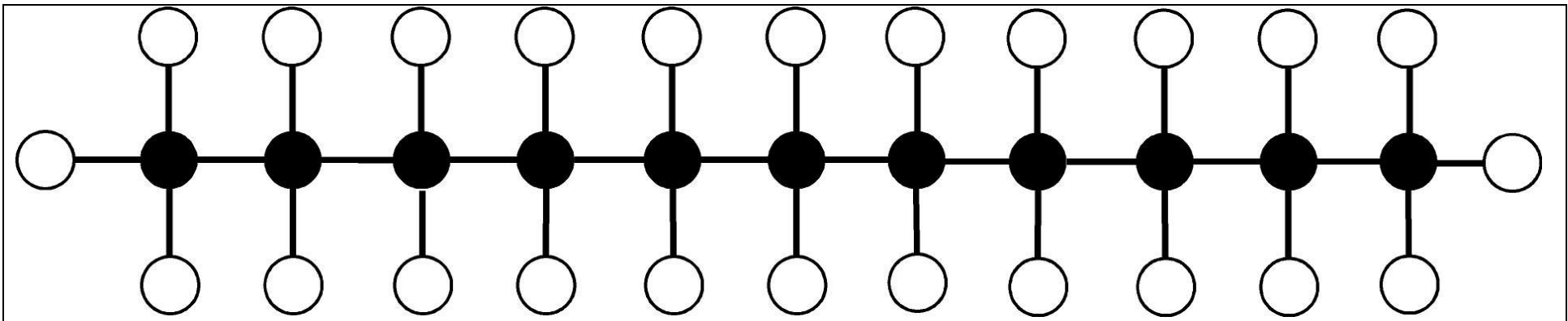
Heptan



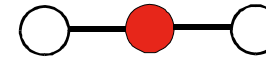
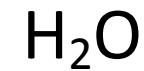
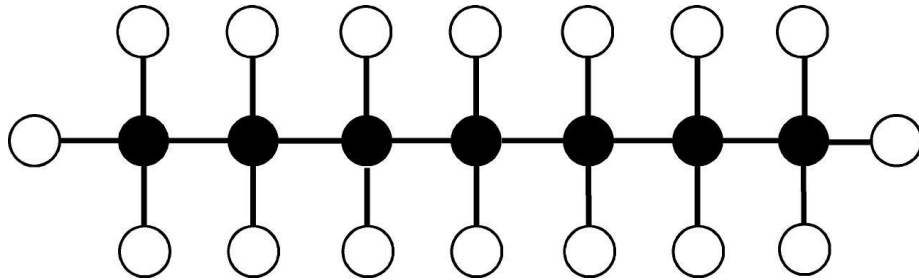
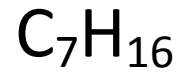
Heptan



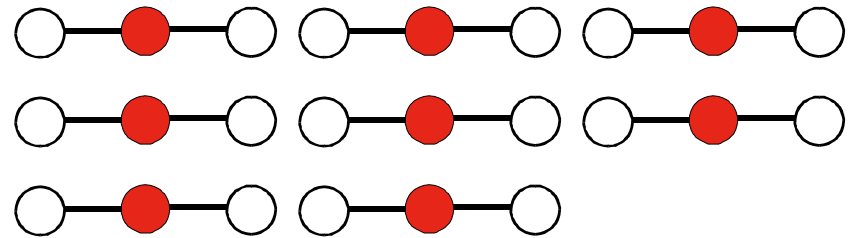
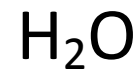
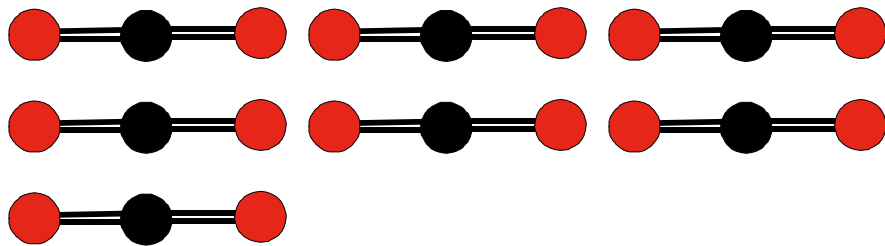
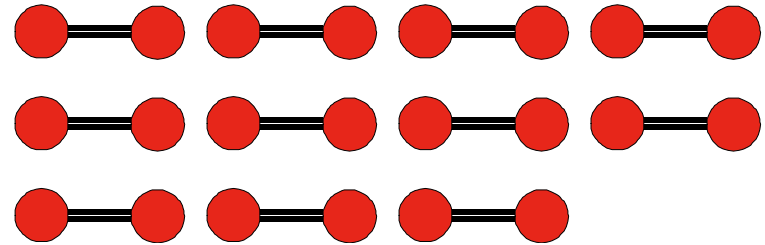
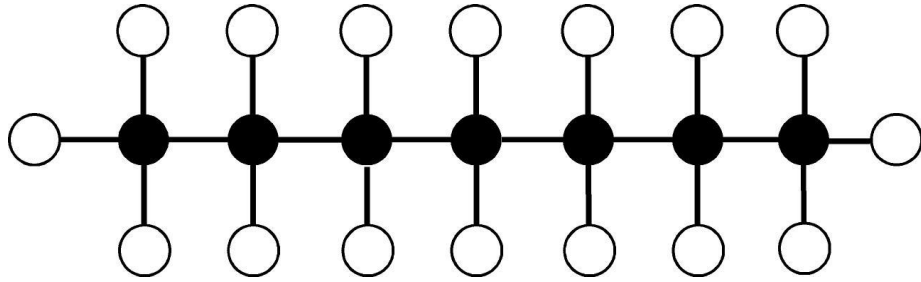
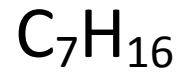
Undecan



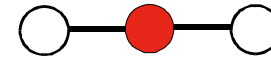
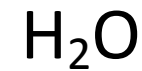
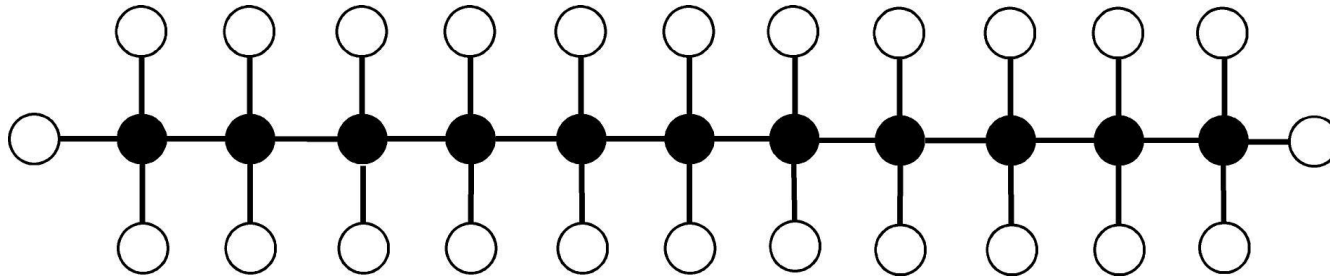
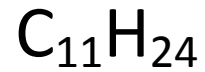
Stelle eine Reaktionsgleichung der Heptan-Verbrennung auf
Achte dabei darauf, dass auf der linken Seite der Gleichung (Edukte) genauso viele
Atome wie auf der rechten Seite (Produkte) liegen!



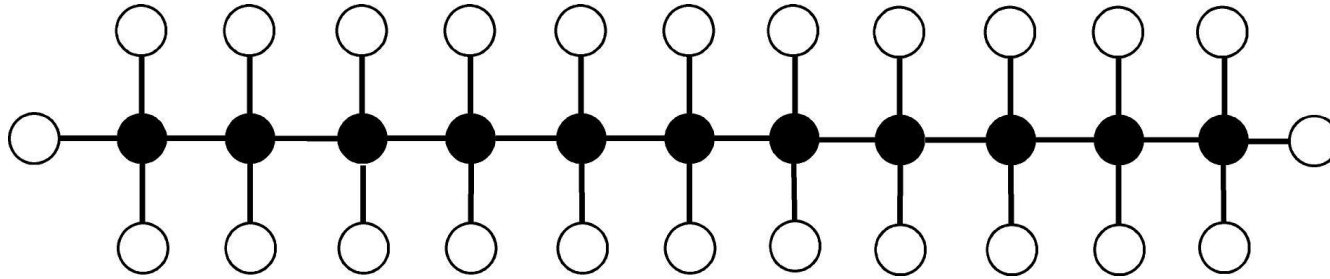
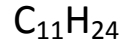
Lösung:



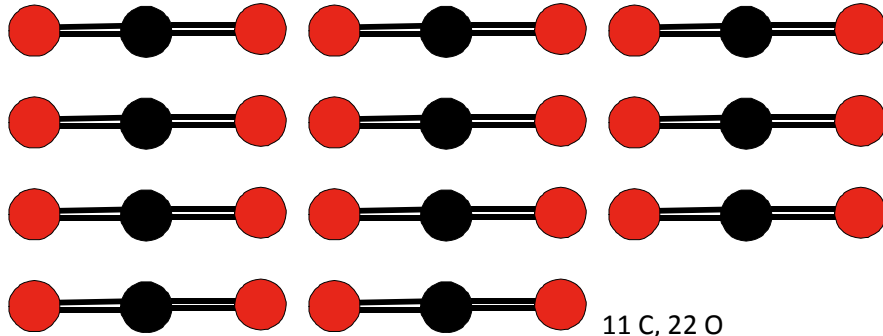
Stelle eine Reaktionsgleichung der Undecan-Verbrennung auf
Achte dabei darauf, dass auf der linken Seite der Gleichung (Edukte) genauso viele
Atome wie auf der rechten Seite (Produkte) liegen!



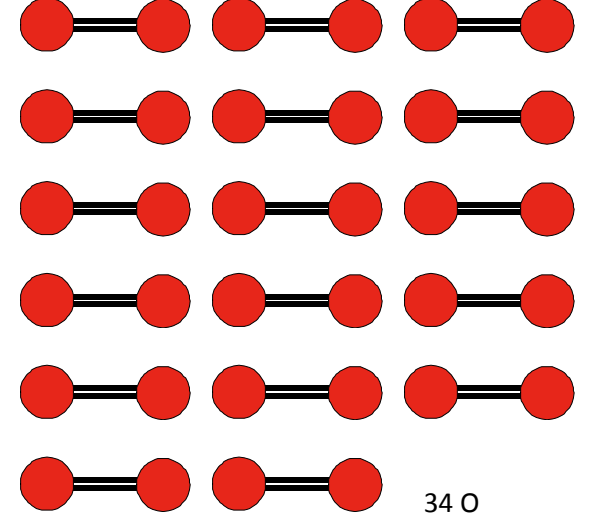
Lösung:



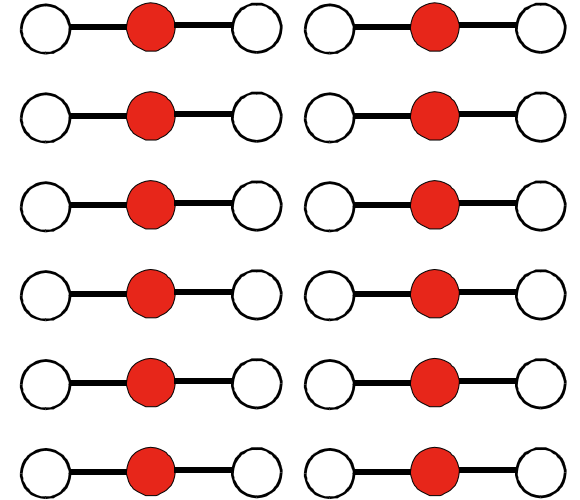
11 C, 24 H



11 C, 22 O



34 O



24 H, 12 O

Was hat mehr Power: Benzin oder Diesel?

Benzin und Diesel bestehen aus vielen verschiedenen Stoffen, vor allem aus Alkanen.

n-Alkane sind kettenförmige, aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen bestehende Kohlenwasserstoffe.

Typische Bestandteile sind n-**Heptan** (C₇H₁₆) im Benzin und n-**Undecan** (C₁₁H₂₄) im Diesel.

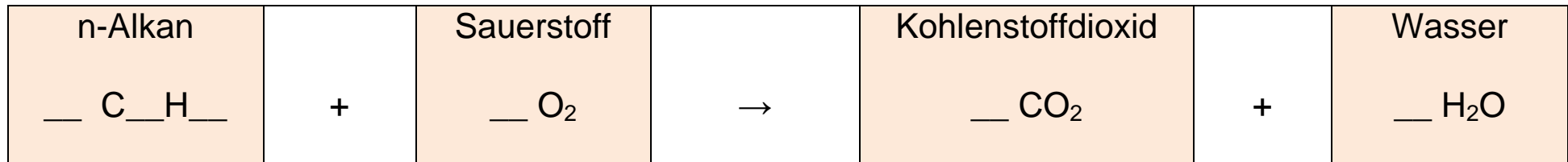
Welcher der beiden Stoffe enthält mehr Energie?

Die Atome eines Moleküls sind einfach oder doppelt miteinander verbunden.

Bei einer chemischen Reaktion, z.B. einer Verbrennung müssen die Bindungen zwischen den Atomen gelöst werden. Das kostet Energie. Wenn sich die Atome zu neuen Verbindungen zusammenfinden wird Energie freigesetzt.

Stelle die **Reaktionsgleichung** der n-Heptan bzw. n-Undecan-Verbrennung mit den Molekül-Modellen dar.

- Kohlenstoff (C) → schwarz
- Sauerstoff (O) → rot
- Wasserstoff (H) → weiß



Achte darauf, dass die Anzahl der Atome auf beiden Seiten der Gleichung gleich ist!

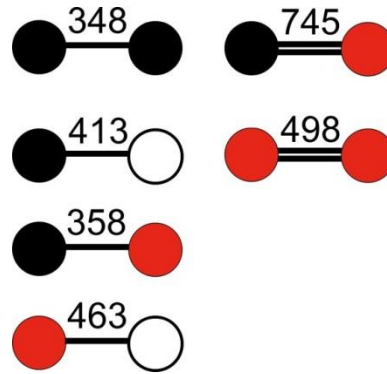
Wiege die Moleküle beider Seiten mit der Tafelwaage aus! Was stellst Du fest? _____

Bindungsenergie (EE: "Energie-Einheiten")

Zahlen aus Wikipedia, "Bindungsenergie", EE ist eine fiktive an kJ/mol gebundene Größe

Wenn Atome voneinander getrennt werden kostet das so viele Energie-Einheiten

→→



Einfachbindung:

C-C → 348 EE
C-H → 413 EE
O-H → 463 EE

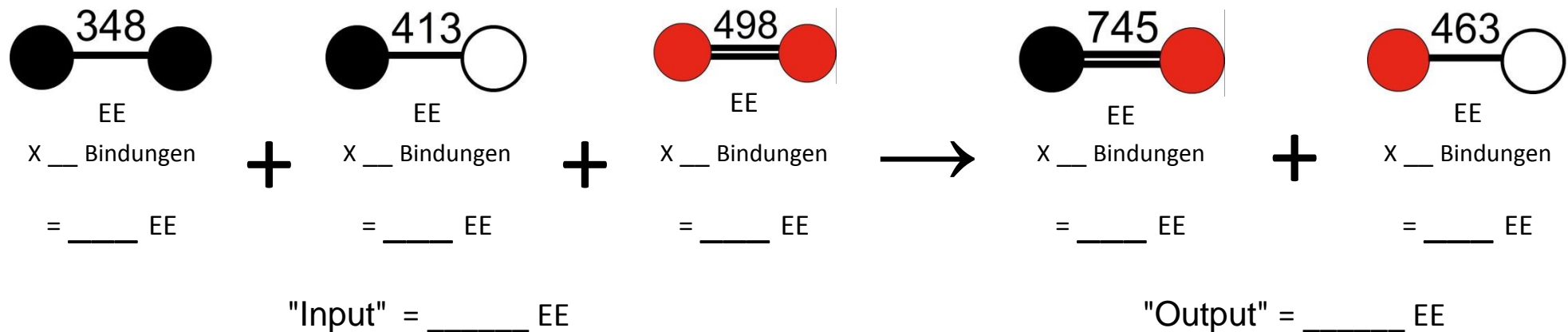
Wenn sich Atome vereinigen werden so viele Energie-Einheiten frei (z.B. als Wärme)

→→

Doppelbindung:

C=O → 745 EE
O=O → 498 EE

Zähle die Bindungen (O=O, C-C, C-H, C=O und H-O) und multipliziere sie mit der die jeweilige Bindungsenergie.

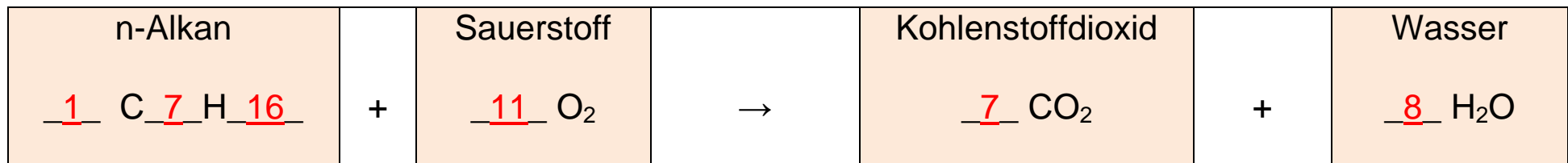


"Gewinn" = "Output" - "Input" = _____ EE

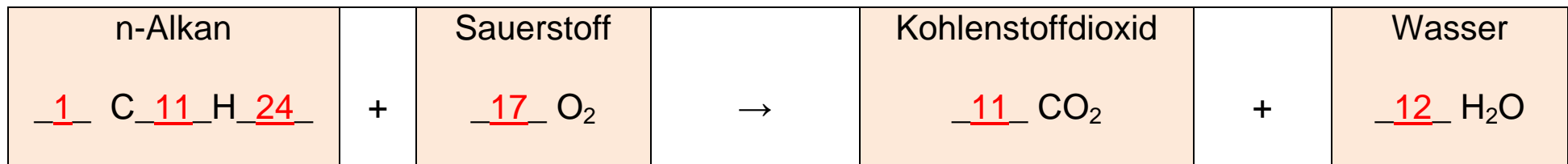
Schulbiologiezentrum Hannover / Schul-LAB IGS-Mühlenberg Me/Nov13

LÖSUNG:

n-Heptan



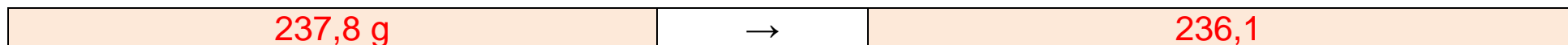
n-Undecan



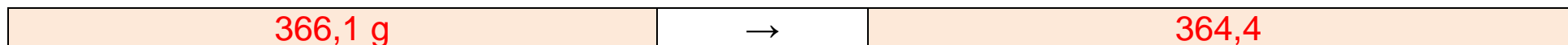
Achte darauf, dass die Anzahl der Atome auf beiden Seiten der Gleichung gleich ist!

Wiege die Moleküle beider Seiten mit der **Tafelwaage** aus! Was stellst Du fest? Sie haben etwa das gleiche Gewicht

n-Heptan



n-Undecan

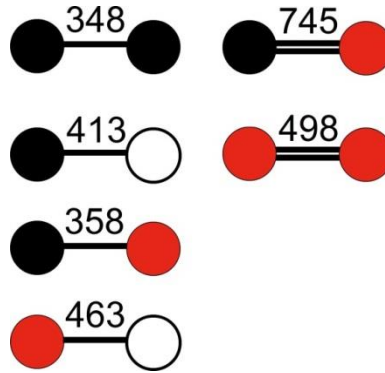


Bindungsenergie (EE: "Energie-Einheiten")

Zahlen aus Wikipedia, "Bindungsenergie", EE ist eine fiktive an kJ/mol gebundene Größe

Wenn Atome voneinander getrennt werden kostet das so viele Energie-Einheiten

→→



Einfachbindung:

C-C → 348 EE
C-H → 413 EE
O-H → 463 EE

Wenn sich Atome vereinigen werden so viele Energie-Einheiten frei (z.B. als Wärme)

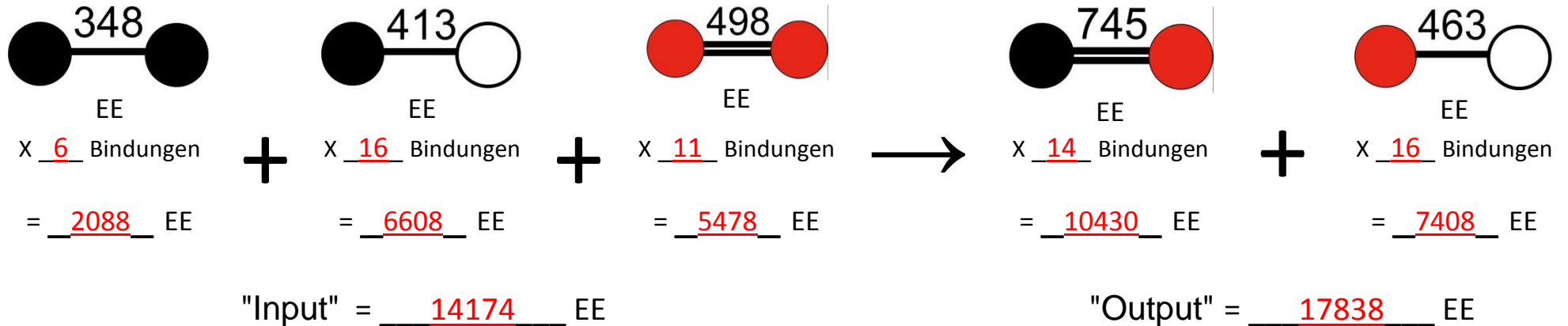
→→

Doppelbindung:

C=O → 745 EE
O=O → 498 EE

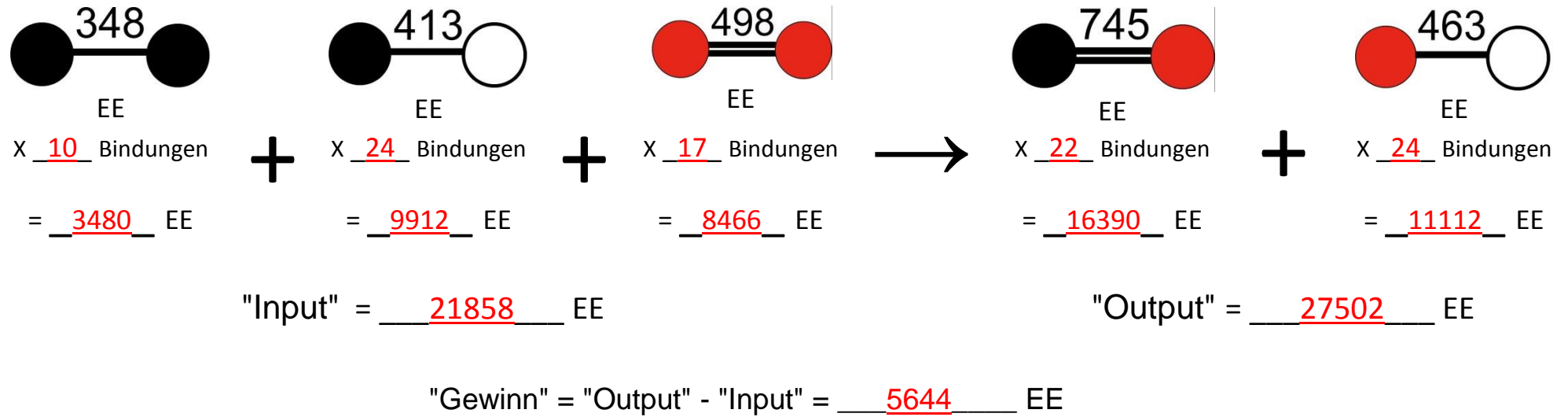
Zähle die Bindungen (O=O, C-C, C-H, C=O und H-O) und multipliziere sie mit der die jeweilige Bindungsenergie.

n-Heptan



"Gewinn" = "Output" - "Input" = 3664 EE

n-Undecan



Ergebnis: Ein Molekül n-Undecan enthält mit 5644 EE 1980 Energie-Einheiten mehr als n-Heptan (3664 EE)

Hinweis zur Methode:

Die beiden n-Alkane befinden sich auf der linken Seite der Reaktionsgleichung. Alle O₂, CO₂ und H₂O-Moleküle liegen in 3 Töpfen.

Die Gruppe von 6 Schülern teilt sich auf, 3 versuchen die Reaktionsgleichung für n-Heptan und 3 die Reaktionsgleichung für n-Undecan zu legen.

Dabei bedienen sie sich aus den drei Töpfen die lediglich die Gesamtsumme der an beiden Reaktionen beteiligten Moleküle enthalten.

Die beiden Gruppen müssen sich also absprechen.

Kontrolle: Aus dem Gesetz der Erhaltung der Masse folgt, Edukte und Produkte gleich viele Atome enthalten müssen und gleich schwer sind.

Bindungen und Bindungsenergien ...der Edukte								...der Produkte				
___x		___x		___x		___x		___x		___x		___x
	+		+		+		+		→		+	
___KJ/mol		___KJ/mol		___KJ/mol		___KJ/mol		___KJ/mol		___KJ/mol		___KJ/mol
Σ(Edukte): _____KJ/mol								Σ(Produkte):: _____KJ/mol				
								Bilanz: _____KJ/mol				

Inhalt der "Stöchiometrie"-Kiste

Reaktionsgleichungen Verbrennung, Gärung, Hydrolyse

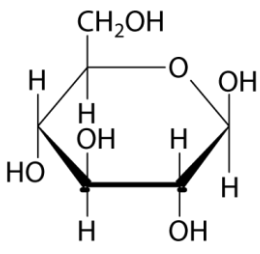
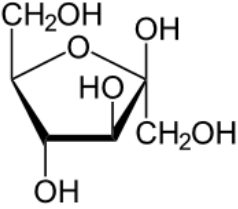
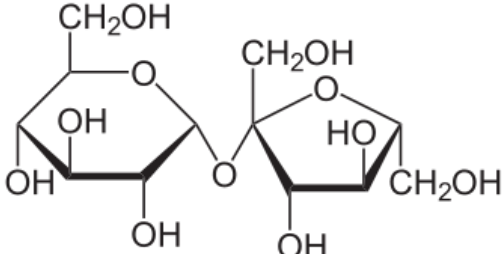
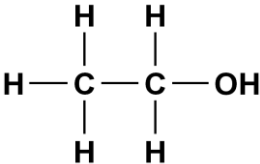
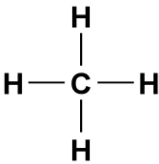
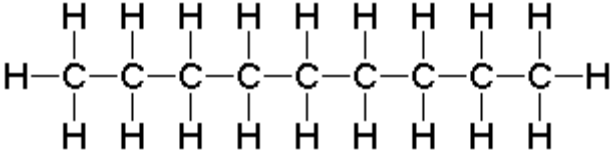
Sauerstoff (O) → ROT

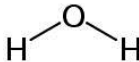
Kohlenstoff (C) → SCHWARZ

Wasserstoff (H) → WEISS

Inhalt:

Saccharose	$C_{12}H_{22}O_{11}$	1x		Sauerstoff	O_2	15x
Glucose	$C_6H_{12}O_6$	1x		Kohlenstoffdioxid	CO_2	15x
Fructose	$C_6H_{12}O_6$	1x		Wasser	H_2O	15x
Ethanol	C_2H_5OH	2x				
n-Methan	CH_4	1x				
n-Ethan	C_2H_6	1x				
n-Propan	C_3H_8	1x				
n-Butan	C_4H_{10}	1x				
n-Pentan	C_5H_{12}	1x				
n-Hexan	C_6H_{14}	1x				
n-Heptan	C_7H_{16}	1x				
n-Oktan	C_8H_{18}	1x				
n-Nonan	C_9H_{20}	1x				

		
Glucose	Fructose	Saccharose (Glucose/Fructose)
		
Ethanol	Methan	Nonan

$O=O$	$O=C=O$	
Sauerstoff	Kohlenstoffdioxid	Wasser

Reaktionsgleichungen

Verbrennung:

n- Alkane										
1	CH ₄	+	2	O ₂	→	1	CO ₂	+	2	H ₂ O
1	C ₂ H ₆	+	3,5	O ₂	→	2	CO ₂	+	3	H ₂ O
1	C ₃ H ₈	+	5	O ₂	→	3	CO ₂	+	4	H ₂ O
1	C ₄ H ₁₀	+	6,5	O ₂	→	4	CO ₂	+	5	H ₂ O
1	C ₅ H ₁₂	+	8	O ₂	→	5	CO ₂	+	6	H ₂ O
1	C ₆ H ₁₄	+	9,5	O ₂	→	6	CO ₂	+	7	H ₂ O
1	C ₇ H ₁₆	+	11	O ₂	→	7	CO ₂	+	8	H ₂ O
1	C ₈ H ₁₈	+	12,5	O ₂	→	8	CO ₂	+	9	H ₂ O
1	C ₉ H ₂₀	+	14	O ₂	→	9	CO ₂	+	10	H ₂ O
Zucker										
1	C ₆ H ₁₂ O ₆	+	6	O ₂	→	6	CO ₂	+	6	H ₂ O
1	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	+	12	O ₂	→	12	CO ₂	+	11	H ₂ O
Alkohol										
1	C ₂ H ₅ OH	+	3	O ₂	→	2	CO ₂	+	3	H ₂ O

Gärung Glucose

1	C ₆ H ₁₂ O ₆				→	2	C ₂ H ₅ OH	+	2	CO ₂

Hydrolyse Saccharose:

1	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	+	1	H ₂ O	→	1	C ₆ H ₁₂ O ₆ (Glucose)	+	1	C ₆ H ₁₂ O ₆ (Fructose)