HALB-FINALE : Aufgaben

Liebe Schülerinnen und Schüler,

Wir gratulieren euch zu eurer Teilnahme an der Chemie-Olympiade und wünschen euch viel Erfolg bei dieser zweiten Prüfung sowie bei eurem Studium und all euren zukünftigen Unternehmungen. Wir gratulieren euch ebenfalls dazu, die erste Prüfung bestanden zu haben, was es euch heute ermöglicht, die Prüfung „Aufgaben“ in Angriff zu nehmen. **Bevor ihr mit dieser Prüfung beginnt, lest bitte aufmerksam, was folgt.**

Ihr findet im Anhang vier Probleme. Die Themen, auf die sich diese Fragen beziehen, sind: Thermochemie, Redoxreaktionen, Quantenchemie, Allgemeine Chemie, Stöchiometrie und Organische Chemie.

Ihr habt **zwei Stunden** (120 Minuten) Zeit, um zu antworten. Ihr dürft einen nicht programmierbaren Taschenrechner benutzen, aber ihr dürft keinerlei persönliche Unterlagen bei euch haben.

Gebt euren Namen und euer Lyzeum am Anfang **jeder** Frage an. Beantwortet jedes der Probleme auf dem Blatt (Vorder- und Rückseite, falls nötig), auf dem die Aufgabenstellung abgedruckt ist. **Gebt euren Gedankengang und eure Berechnungen klar an. Begründet eure Antworten und gebt die Einheiten bei den Endergebnissen an.** Das letzte Blatt ist ein Schmierblatt, das bei der Bewertung nicht berücksichtigt wird.

Nach der Bewertung dieser zweiten Prüfung werden die 12 besten Schülerinnen und Schüler zu einem **Trainingstag** eingeladen, der am **Samstag, den 28. März 2026**, in den Laboren der Universität Luxemburg (Standort Belval) von 09:00 bis 17:00 Uhr stattfinden wird. Weitere Informationen werden den Finalisten zu gegebener Zeit mitgeteilt. Anschließend wird die **letzte, praktische Prüfung** am **Samstag, den 25. April 2026**, in den Laboren der Universität Luxemburg (Standort Belval) stattfinden. Diese Abschlussprüfung wird die vier Preisträger der Nationalen Chemieolympiade auswählen, die gleichzeitig das luxemburgische Team für die 58. IChO, die vom 10. bis 19. Juli 2026 in Taschkent (Usbekistan) organisiert wird, bilden. Mehr Infos auf unserer Website: https://chimie.olympiades.lu/.

Die Ergebnisse dieser zweiten Prüfung werden für die Rangliste der vier Finalisten berücksichtigt!!!

Wir wünschen Euch viel Erfolg bei Eurer Arbeit und verbleiben mit freundlichen Grüßen,

Die Organisatoren der Chemie-Olympiade

Periodensystem der Elemente

I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII	
1,0 H 1																	4,0 He 2	1
6,9 Li 3	9,0 Be 4											10,8 B 5	12,0 C 6	14,0 N 7	16,0 O 8	19,0 F 9	20,2 Ne 10	2
23,0 Na 11	24,3 Mg 12											27,0 Al 13	28,1 Si 14	31,0 P 15	32,1 S 16	35,5 Cl 17	39,9 Ar 18	3
39,1 K 19	40,1 Ca 20	45,0 Sc 21	47,9 Ti 22	50,9 V 23	52,0 Cr 24	54,9 Mn 25	55,8 Fe 26	58,9 Co 27	58,7 Ni 28	63,5 Cu 29	65,4 Zn 30	69,7 Ga 31	72,6 Ge 32	74,9 As 33	79,0 Se 34	79,9 Br 35	83,8 Kr 36	4
85,5 Rb 37	87,6 Sr 38	88,9 Y 39	91,2 Zr 40	92,9 Nb 41	95,9 Mo 42	(97) Tc 43	101,1 Ru 44	102,9 Rh 45	106,5 Pd 46	107,9 Ag 47	112,4 Cd 48	114,8 In 49	118,7 Sn 50	121,8 Sb 51	127,6 Te 52	126,9 I 53	131,3 Xe 54	5
132,9 Cs 55	137,3 Ba 56	57-71	178,5 Hf 72	180,9 Ta 73	183,8 W 74	186,2 Re 75	190,2 Os 76	192,2 Ir 77	195,1 Pt 78	197,0 Au 79	200,6 Hg 80	204,4 Tl 81	207,2 Pb 82	209,0 Bi 83	(209) Po 84	(210) At 85	(222) Rn 86	6
223 Fr 87	226 Ra 88	89-103	(267) Rf 104	(268) Db 105	(269) Sg 106	(270) Bh 107	(269) Hs 108	(278) Mt 109	(281) Ds 110	(282) Rg 111	(285) Cn 112	(286) Nh 113	(289) Fl 114	(290) Mc 115	(293) Lv 116	(294) Ts 117	(294) Og 118	7

Lanthanides	138,9 La 57	140,1 Ce 58	140,9 Pr 59	144,2 Nd 60	(145) Pm 61	150,4 Sm 62	152,0 Eu 63	157,3 Gd 64	158,9 Tb 65	162,5 Dy 66	164,9 Ho 67	167,3 Er 68	168,9 Tm 69	173,0 Yb 70	175,0 Lu 71
Actinides	(227) Ac 89	232,0 Th 90	231,0 Pa 91	238,0 U 92	(237) Np 93	(244) Pu 94	(243) Am 95	(247) Cm 96	(247) Bk 97	(251) Cf 98	(252) Es 99	(257) Fm 100	(258) Md 101	(259) No 102	(266) Lr 103

Konstanten

$R = 8{,}31\ J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$	$1\ F = 9{,}65 \cdot 10^{4}\ C \cdot mol^{-1}$
$R = 8{,}21 \cdot 10^{-2}\ L \cdot atm \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$	$N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}$

Volumen eines Mols eines idealen Gases bei 273 K und 101325 Pa: 22,4 $dm^3 \cdot mol^{-1}$ ($L \cdot mol^{-1}$).
Ein Jahr entspricht 365 Tagen.

Allgemeine Chemie:

Die **Aktivität (A)** in Becquerel (Bq) einer radioaktiven Quelle ist mit der Anzahl der sich zerfallenden Kerne (N) und der Halbwertszeit ($T_{1/2}$) des Radioisotops verknüpft.

$$A = \frac{ln\,2}{T_{1/2}} \cdot N$$

Die **Aktivität (A)** zu einem bestimmten Zeitpunkt kann mithilfe der Anfangsaktivität (A_0) und ihrer Zerfallskonstanten λ berechnet werden.

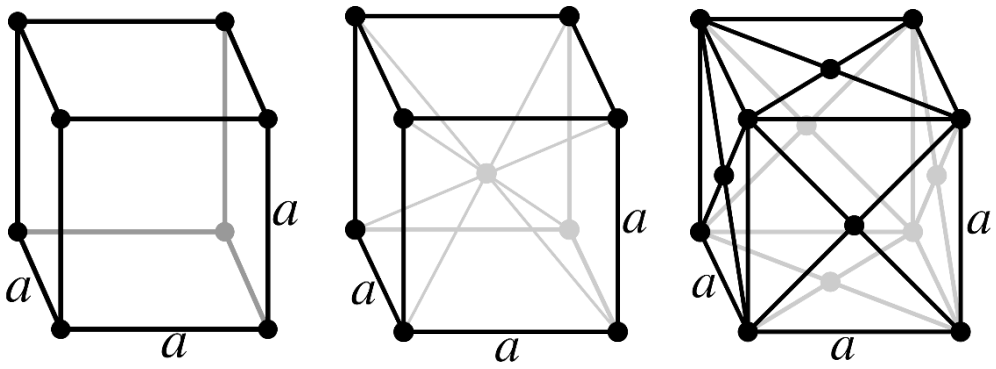
$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Das **Faraday'sche Gesetz** ermöglicht es, die abgeschiedene Masse *m* einer Substanz in Abhängigkeit von der Stromstärke *I*, der Dauer der Elektrolyse *t* und der Anzahl der in der Redoxreaktion ausgetauschten Elektronen zu berechnen. *M* bezeichnet die molare Masse der betreffenden Substanz und *F* entspricht der Faraday-Konstanten.

$$m = \frac{M \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

Kubische Elementarzellen :



Name : _____

Vorname : _____

Lyzeum : _____

Aufgabe I : Funkelnde Chemie

1a	1b	1c	1d	1e	1f	1g	Gesamtpunkte Aufgabe I
2	4	5	3	3	3	4	24



Ein Feuerwerk besteht aus einer Antriebsvorrichtung (die die Ladung in die Höhe befördert) und aus Pastillen (auch „Sterne“ genannt), die sich im Flug entzünden. Die Verbrennung dieser Pastillen verursacht den Knall und setzt die Energie frei, die notwendig ist, um die Metallatome, die ebenfalls in den Pastillen enthalten sind, anzuregen, damit die vom Boden aus sichtbaren Farben erzeugt werden.

Teil A: Verbrennung – Wärme – Temperatur – Boom!

Nehmen wir an, dass der Brennstoff der Pastillen aus einem Cellulose-Monomer mit der chemischen Formel $C_6H_{10}O_5$ besteht.

a) Formuliere die Reaktionsgleichung für die vollständige Verbrennung der Cellulose.

Eine Kapsel enthält typischerweise 0,200 g Cellulose, deren Bildungsenthalpie bei 25 °C $\Delta_f H^\circ = -1275\ \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ beträgt. Außerdem betragen die Standard-Bildungsenthalpien von gasförmigem CO_2 und H_2O bei 25 °C jeweils −393,5 kJ·mol^{-1} und −241,8 kJ·mol^{-1}.

b) Ausgehend von den obigen Daten: Welche Wärmeenergie wird bei der Verbrennung von 0,200 g Cellulose unter Standarddruck (p = 1 bar) und bei 25 °C freigesetzt?

Wenn die Verbrennung adiabatisch abläuft, das heißt, dass die gesamte Verbrennungsenergie ausschließlich dazu dient, die durch die Reaktion gebildeten gasförmigen Produkte zu erwärmen, ist es möglich, die Temperatur der Gase nach der Verbrennung abzuschätzen. Man nimmt an, dass die erzeugten Gase die gesamte durch die Verbrennung freigesetzte Wärmeenergie aufnehmen, dass die Temperatur der Atmosphäre um die Kapsel anfänglich 25 °C beträgt und dass der Druck um die Kapsel konstant dem Standarddruck entspricht (p = 1 bar).



c) Welche Temperatur erreichen die Gase nach der Verbrennung? Die mittleren molaren Wärmekapazitäten von CO_2 und gasförmigem H_2O betragen 50 bzw. 36 $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ und bleiben im betrachteten Temperaturbereich konstant.



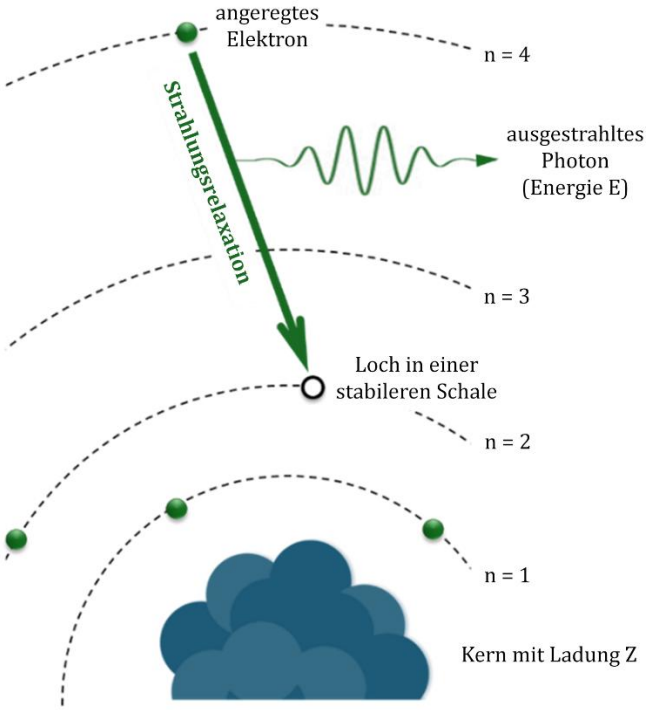
Die Schockwelle, die durch die sofortige adiabatische Ausdehnung der bei der explosiven Verbrennung in der Atmosphäre entstehenden Gase erzeugt wird, verursacht den charakteristischen Knall des Feuerwerks.

d) Berechne das Endvolumen (in L), das von den bei der Verbrennung von 0,200 g Cellulose freigesetzten Gasen eingenommen wird. Gehe davon aus, dass sich die entstehenden Gase wie ideale Gase verhalten und dass sie sofort auf die im Punkt c) berechnete Endtemperatur erhitzt werden.

Falls du die Temperatur in Punkt c) nicht berechnen konntest, verwende den Wert $T_{final} = 2000\ K$.

Teil B: Strahlungstransitionen

Während der Explosion der pyrotechnischen Kapseln werden die in der Ladung enthaltenen Metallatome stark erhitzt. Ihre Elektronen werden dann in instabile, energiereiche Energieniveaus (Elektronenschalen) angeregt, die angeregte Zustände (n_i) genannt werden, von denen sie wieder in einen stabileren Zustand (n_f) zurückfallen. Dabei strahlen sie Licht aus: Die Energie wird in Form eines Photons mit einer genau bestimmten Energie E abgegeben, die für jedes Element charakteristisch ist.



Es ist möglich, diese Übergänge zu modellieren, indem man sich vom vereinfachten Bohr-Modell inspirieren lässt: Der Energieunterschied zwischen zwei Niveaus n_i und n_f entspricht der Energie des emittierten Photons E (in eV), gemäß dem untenstehenden mathematischen Ausdruck.

$$E\ (in\ eV) = \frac{1240}{\lambda\ (in\ nm)} = 13.6 \cdot Z_{Eff}^2 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

wobei Z_{Eff} die effektive positive Kernladung ist, die das Elektron beim Übergang wahrnimmt, unter Berücksichtigung der Abschirmung durch die Elektronen der inneren Schalen.

e) Welche der folgenden Vorschläge sind richtig ?

	Die Elektronen des Kerns sind diejenigen, die am weitesten vom Kern entfernt sind.
	Die Elektronen des Kerns sind diejenigen, die dem Kern am nächsten sind.
	Die Elektronen des Kerns sind diejenigen, die im Atom am stärksten stabilisiert sind.
	Die Elektronen des Kerns sind diejenigen, die im Atom am wenigsten stabilisiert sind.
	Die Elektronen des Kerns nehmen nicht an chemischen Bindungen teil.

Zu den klassischen Bestandteilen von Feuerwerksladungen gehören Chlorid- oder Nitratsalze von Strontium, Barium, Kupfer und Natrium sowie Aluminiumpulver. Sie erzeugen die Farben Rot, Grün, Blau, Orange und Weiß.

f) Im Fall von Strontium findet der Übergang zwischen den Energieniveaus 5 und 4 statt, und das beteiligte Elektron hat eine effektive Kernladung Z_{Eff} von 2,50. Welche Wellenlänge ist diesem Übergang zugeordnet und entspricht einem roten Photon?

g) Die orangefarbene Natriumemission ($\lambda = 589$ nm) entsteht durch Übergänge angeregter Elektronen in der Schale n = 3. Wenn das beteiligte Elektron eine effektive Kernladung $Z_{Eff} = 1.06$ hat, auf welches Energieniveau fällt es dann zurück, um ein Photon mit $\lambda = 589$ nm zu erzeugen?

Name : _____

Vorname : _____

Lyzeum : _____

Aufgabe II : Χρώμα

2a	2b	2c	2d	2e	Gesamtpunkte Aufgabe II
7	5	5	7	4	28

Chrom hat eine Dichte von de $\rho = 7{,}14\ \mathrm{g \cdot cm^{-3}}$. Der Atomradius beträgt 1,25 Å. Chrom kristallisiert in einem regulären kubischen System, entweder raumzentriert oder flächenzentriert.

a) Bestimme, in welchem der beiden Kristallgitter Chrom kristallisiert, und gib eine nachvollziehbare Rechnung zur Begründung deiner Schlussfolgerung an.

Rasierklingen werden aus einer Eisen-Chrom-Legierung hergestellt. 0,1331 g einer solchen Klinge wurden in erhitzter, verdünnter Schwefelsäure gelöst, wobei Eisen(II)- und Chrom(III)-Ionen entstanden. In der erhaltenen Lösung wurde das Eisen mit einer Permanganat-Lösung ($c = 0{,}0205\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$) titriert, wobei Eisen(III)-Ionen gebildet wurden. Das verbrauchte Volumen beträgt 20,08 $\mathrm{cm^3}$. Die Chrom(III)-Ionen reagierten unter diesen Bedingungen nicht.

b) Gib die ausgeglichenen Ionengleichungen für das Auflösen von Eisen, das Auflösen von Chrom sowie für die Reaktion der Titration an.

c) Berechne die Massenanteile von Eisen und Chrom in der Legierung.

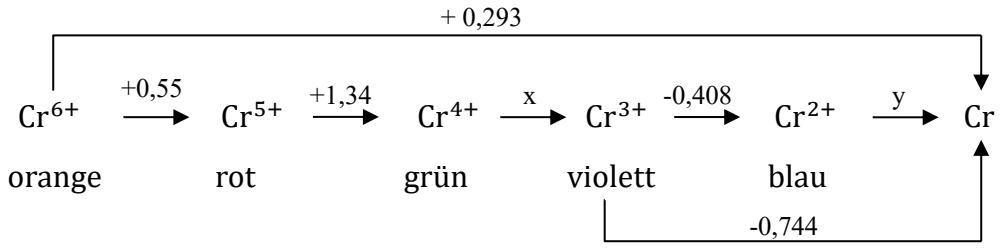
Die metallischen Chrombeschichtungen können durch Elektrolyse hergestellt werden. Eine Elektrolysezelle wurde mit 100 L einer wässrigen Lösung befüllt, die 230 $g \cdot L^{-1}$ „wasserfreie Chromsäure“ (H_2CrO_4) enthält. Die Elektrolyse wurde anschließend mit einem Strom von 1500 A während 10 Stunden durchgeführt. Die verchromten Werkstücke dienten als Kathode, während die Anode unverändert blieb. Die Massenzunahme an der Kathode betrug 670 g.

d) Berechne den prozentualen Wirkungsgrad für den beschriebenen Prozess.

Chromverbindungen zeigen ein vielfältiges Farbspektrum (Χρώμα = Farbe), das vom Oxidationszustand des Chroms abhängt.

Die Standard-Reduktionspotenziale (bei pH = 0) dieser verschiedenen Ionen können in einem Latimer-Diagramm dargestellt werden, wobei jeder Pfeil (von links nach rechts) das Reduktionspotenzial E° pro aufgenommenem Elektron angibt.

Vorgänge mit positivem Potenzial laufen spontan ab, während solche mit negativem Potenzial nur unter Anlegen einer Spannung stattfinden.



e) Berechne x und y mithilfe des Diagramms.

Name : _____

Vorname : _____

Lyzeum : _____

Aufgabe III : Astat-monobromid

3a	3b	3c	3d	3e	3f	3g	3h	Gesamtpunkte Aufgabe III
2	5	2	1	2	2	2	5	21

Die Verbindung BrAt hat eine begrenzte Lebensdauer, bedingt durch die radioaktive Zersetzung des Astats. Astat ist das in der Erdkruste natürlich vorkommende seltenste Element, mit einer geschätzten Gesamtmasse von etwa 30 g zu jedem Zeitpunkt.

a) Schätze ab, wie viele Astat-Atome zu jedem Zeitpunkt natürlich auf der Erde existieren. Gehen wir davon aus, dass alles Astat das stabilste natürlich vorkommende Isotop $^{219}\mathrm{At}$ ist.

Astat kann durch eine Kernreaktion aus Bismut hergestellt werden. Bismut fällt als Nebenprodukt bei der Raffination von Blei an. Während der Reinigung werden Magnesium und Calcium hinzugefügt, um eine Legierung aus Blei und Bismut zu bilden. Die Legierung A enthält 7,91 % Ca und 9,60 % Mg nach Masse. In Legierung A ist kein Blei enthalten.

b) Bestimme die empirische Formel der Legierung A.

Die Legierung A wird von einer zweiten Legierung, die Blei enthält, getrennt, indem man sie mit Chlorgas reagieren lässt; dabei entstehen Bismut sowie zwei ionische Verbindungen B und C im Verhältnis 2:1.

c) Gib die Formeln der Verbindungen B und C an.

Astat kann gewonnen werden, indem Bismut-Atome mit Alphateilchen bombardiert werden. Alphateilchen sind hochenergetische ^{4}He-Kerne, die von einer radioaktiven Quelle emittiert werden. Wenn ein Alphateilchen mit einem Bismutkern kollidiert, entsteht ein Astat-Iisotop $^{x}_{y}$At sowie zwei Neutronen:

$$^{209}_{83}\mathrm{Bi} + \alpha \rightarrow {}^{x}_{y}\mathrm{At} + 2\ {}^{1}_{0}n$$

d) Gib die Massezahl und die Ordnungszahl des Astat-Isotops $\left(^{x}_{y}\mathrm{At}\right)$ an, das gebildet wird.

Die meisten Bismut-Atome reagieren nicht und müssen aus dem Reaktionsgemisch entfernt werden. Nach Zugabe von konzentrierter Salpetersäure reagiert das Bismut und bildet Bismutnitrat, ein farbloses Gas mit einer molaren Masse von 30,01 g·mol^{-1}, sowie eine dritte anorganische Verbindung. Reines Astat, At_2, wird durch Extraktion in eine organische Phase mit einem organischen Lösungsmittel isoliert.

e) Schreibe eine Gleichung für die Reaktion von Bismut mit konzentrierter Salpetersäure.

BrAt kann in zwei Schritten aus Astat synthetisiert werden. Zuerst reagiert Br_2 mit D und bildet die Verbindung E. Die Verbindung E reagiert anschließend mit Astat und bildet BrAt. Das Massenspektrum von E zeigt zwei Hauptsignale mit m/z = 205,82 und 207,82.

f) Gib die Formeln von D und E an.

Das Isotop ^{211}At ist ein α-Strahler, der für die gezielte Radiotherapie eingesetzt wird und eine Halbwertszeit von 432 Minuten besitzt. Ein Forscher stellt ein Radiopharmazeutikum her, das aus einem mit ^{211}At markierten monoklonalen Antikörper besteht. Die injizierte Dosis enthält 20 MBq ^{211}At. Nach der Injektion wird der Antikörper im Blut ungefähr exponentiell eliminiert, mit einer biologischen Halbwertszeit von 10 Stunden.

Die effektive Halbwertszeit (T_{eff}) ist die Zeit, in der die Radioaktivität einer Substanz im Körper zur Hälfte abnimmt, unter Berücksichtigung sowohl des physikalischen Zerfalls (T_p) als auch der biologischen Eliminierung (T_b) :

$$\frac{1}{T_{\text{eff}}} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_b}$$

g) Berechne die effektive Halbwertszeit des Radiopharmazeutikums im Blut.

h) Berechne den Anteil der injizierten Aktivität, der nach 12 Stunden noch im Blut verbleibt.

Name : _____

Vorname : _____

Lyzeum : _____

Aufgabe IV : Die Epoxide

4a	4b	4c	4d	4e	4f	4g	4h	Gesamtpunkte Aufgabe IV
1	2	2	2	4	4	6	6	27

Epoxid ist eine äußerst widerstandsfähige und chemisch beständige Kunststofffamilie. Er hat eine Vielzahl von Anwendungen, darunter hochfeste Klebstoffe, Carbonfasern und dekorative Möbel.

Epoxidkunststoff wird aus Epoxidmolekülen hergestellt. Ein Epoxid enthält einen Dreiring mit zwei Kohlenstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Epoxide sind aufgrund der Ringspannung im Dreiring sehr reaktiv.

Beispiele für Epoxide:

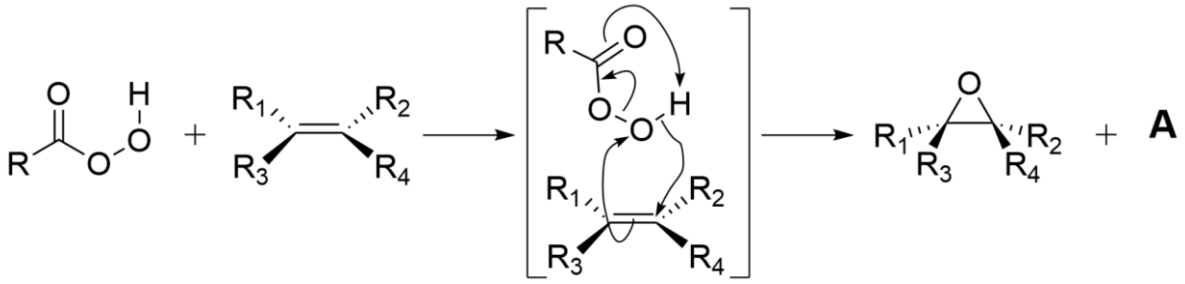


a) Gib die allgemeine Formel eines Epoxids an, das n Kohlenstoffatome enthält.

b) Kreuze den ungefähren Bindungswinkel C–C–O für die folgenden Moleküle an:

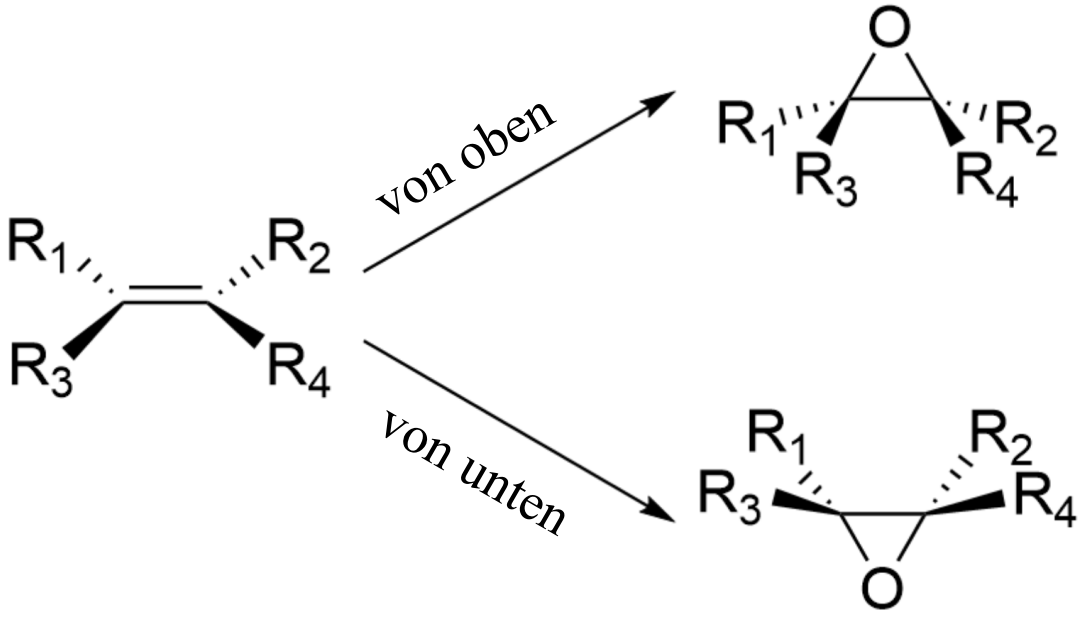
	60°	90°	104.5°	107°	109.5°	120°	180°
$C_2H_5OC_2H_5$							
							

Eine gängige Methode zur Herstellung von Epoxiden ist die Reaktion von Alkenen mit organischen Persäuren. Der Mechanismus dieser Reaktion wird gezeigt, wobei der Übergangszustand in eckigen Klammern dargestellt ist.



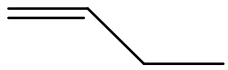
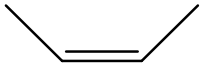
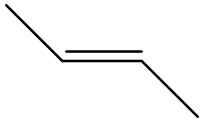
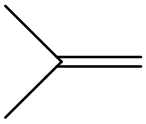
c) Zeichne die Struktur von Molekül **A**.

Diese Persäuren können je nach Anlagerungsrichtung entweder oberhalb oder unterhalb der Doppelbindung ein Sauerstoffatom hinzufügen. Das kann zur Bildung von Stereoisomeren führen.

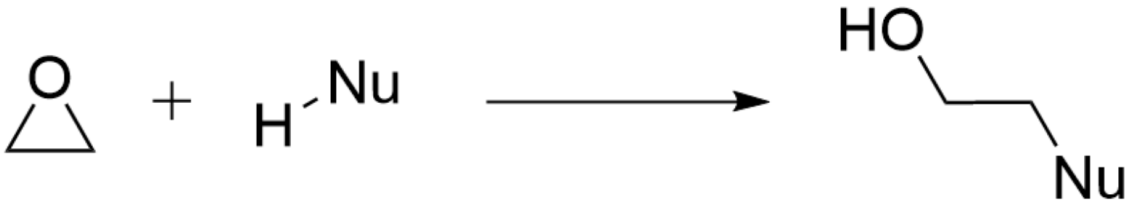


d) Zeichne die Strukturen der beiden Stereoisomere, die entstehen, wenn Propen mit einer Persäure reagiert.

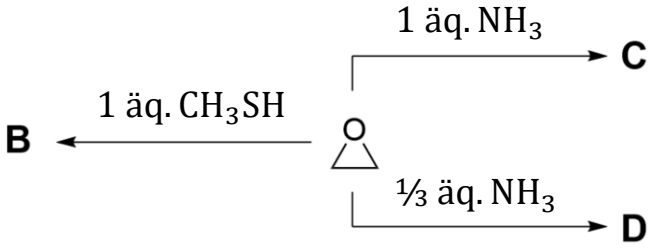
e) Kreuze an, wie viele Epoxid-Isomere bei der Reaktion der einzelnen Isomere von C_4H_8 mit einer Persäure entstehen würden.

Isomere von C_4H_8	**1**	**2**	**3**	**4**
				
				
				
				

Wenn Epoxide mit Nukleophilen reagieren, öffnet sich ihr Dreiring, wie im allgemeinen Schema unten dargestellt.



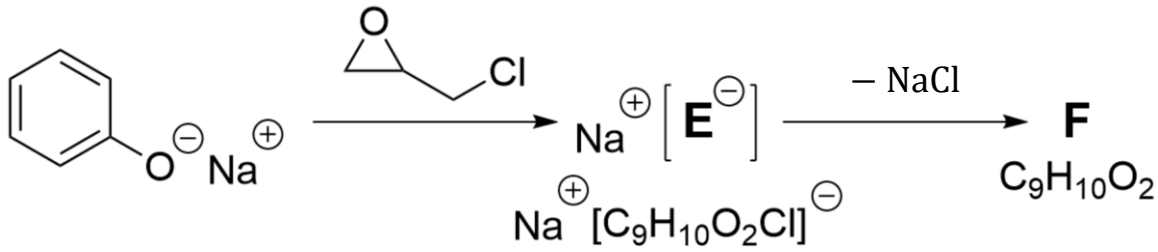
Betrachte die folgenden Reaktionen :



f) Zeichne die Strukturen der Verbindungen **B**, **C** und **D**.

B	**C**	**D**

Ein besonders nützliches Epoxid wird Epichlorhydrin (C_3H_5OCl) genannt. Natriumphenoxid reagiert mit Epichlorhydrin und bildet das Zwischenanion **E**$^-$, das anschließend cyclisiert und das Epoxid **F** ergibt.



g) Zeichne die Strukturen des Zwischenanions **E**$^-$ und der Verbindung **F**. Eine Angabe der Stereochemie ist nicht erforderlich.

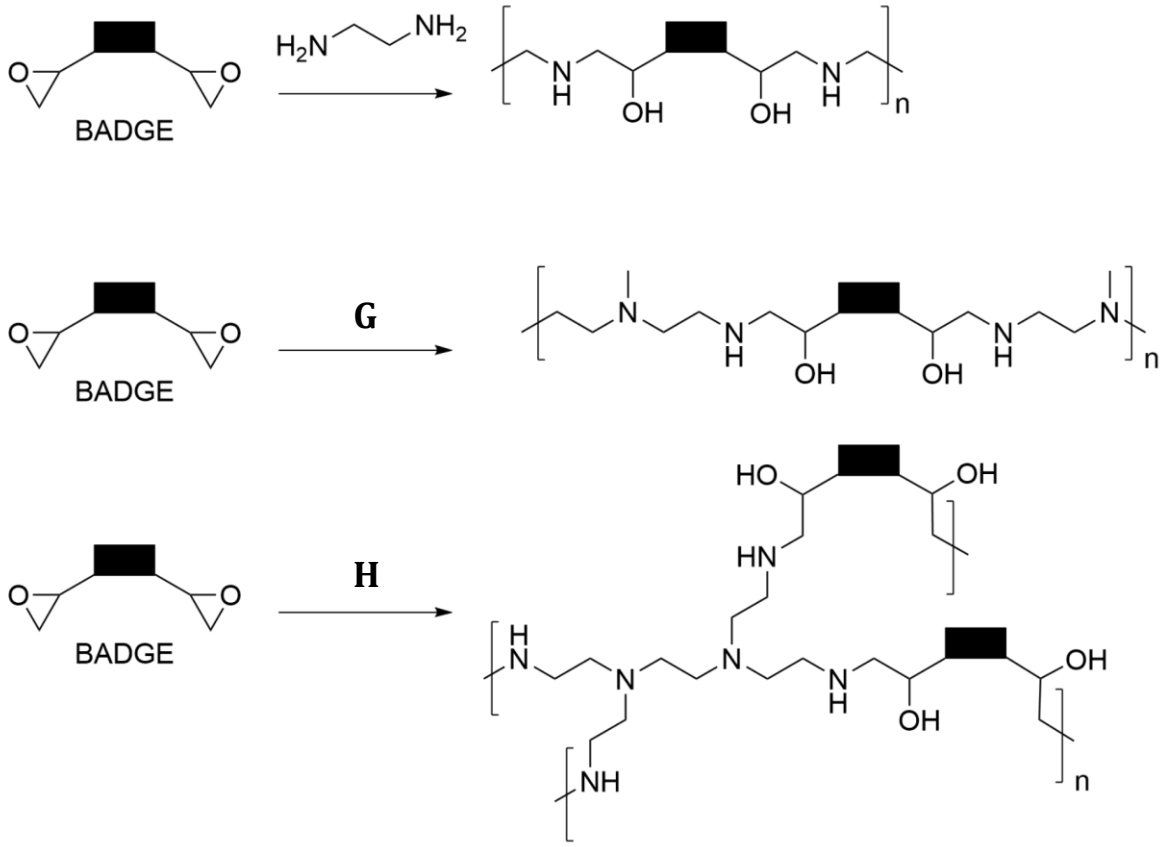
E$^-$	**F**

Um Epoxidkunststoff herzustellen, wird ein Epoxidharz (das das Epoxid enthält) mit einem Härter (der das Nukleophil enthält) vermischt.



Ein häufig verwendeter Bestandteil von Epoxidharz ist Bisphenol-A-Diglycidylether, allgemein als **BADGE** bezeichnet. Dieses reagiert mit einem Härter, um das Epoxid zu bilden. Die Wiederholungseinheiten einiger Epoxide sind dargestellt. Die Struktur von **BADGE** wurde durch einen rechteckigen Block vereinfacht dargestellt.





h) Zeichne die Strukturen der Härter **G** und **H**.

G	**H**

Schmierblatt