

# Ozon

## Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II

M. Tausch

### 1 Einleitung

Diese Arbeit ist der Versuch einer partiellen didaktischen Auswertung mehrerer Publikationen, die in den letzten Jahren zur Ozon-Problematik erschienen sind. Eine mögliche Einbindung der Themen Ozonloch und Photo Smog ins Curriculum wird vorgeschlagen. Die als Kopiervorlagen bereitgestellten Arbeitsblätter sind davon unabhängig. Die Einschränkung auf die Sekundarstufe II darf nicht allzu eng gesehen werden. Möglicherweise ist das hier angesetzte Ausgangsniveau zu tief oder zu hoch.

### 2 Umweltthemen – wohin?

Bei der Erziehung zum umweltbewußten und verantwortungsvollen Handeln hat der Chemieunterricht einen substantiellen Beitrag zu leisten. Etwa so wurde es in die Richtlinien und Lehrpläne geschrieben und gleichzeitig wurde in einigen Bundesländern die Chemie-Stundentafel gekürzt. Ob da die Zeichen der Zeit richtig in Bildungspolitik umgesetzt wurden? Falls nicht, Korrekturen sind immer möglich. Wie auch immer, unter denen, die Chemie vermitteln, hat man nicht resigniert. Vielmehr

lautet in neuerer Zeit die didaktisch-methodische Gretchenfrage: „Wie hältst Du's mit der Umweltchemie?“. Oder, etwas präziser: „Soll die chemische Fachsystematik in die problemorientierte Erschließung des Alltags, der Technik und der Umwelt integriert werden, oder umgekehrt?“

In der **Skundarstufe I** sollte der Einstieg in kleingliedrige Unterrichtseinheiten, z. B. Doppelstunden, in der Regel von Alltagserfahrungen ausgehen, die auch unter „Umwelt“ zu subsumieren sind. Sie sollten aber so ausgewählt werden, daß an der Erschließung und Verarbeitung dieser Erfahrungen eine rasche Einführung in die Fachsystematik erfolgt. Nur so kann der Chemieunterricht bei den derzeitigen Studentafeln der Sekundarstufe I interessant und effektiv gestaltet werden.

In der **Sekundarstufe II** müssen die Ausgangsprobleme bei den Unterrichtsthemen in der Regel fachimmanent sein, denn bei genauerem Hinschauen ist jedes Problem, aus dem Alltag, der Umwelt oder der Technik außerordentlich komplex. Begriffe, Konzepte und Modelle, die als Instrumentarium für eine naturwissenschaftliche Diskussion dieser Probleme auf dem Niveau der Sekundarstufe II benötigt werden, kann man an einfacheren Phänomenen, d. h. gezielt ausgesuchten Laborversuchen zunächst effektiver einführen. Will man die Fachsystematik am Umweltproblem selbst erarbeiten, so begibt man sich entweder in die Gefahr, nun doch von vorne beginnen zu müssen und sich dabei monatelang vom eigentlichen Problem zu trennen, oder man verliert sich in oberflächlichem Geschwätz bei dem die fachlichen Probleme entweder aus Realitätsverlust übersehen oder gar aus strategischen Gründen verschwiegen werden. Vor Chemieunterricht in der S II nach dem Goumet-Prinzip wird zurecht gewarnt [1]. Umweltthemen (dazu gehören auch die Bezüge der Chemie zur Technik und zum Alltag) sollten in der Sekundarstufe II weitestgehend in die Kursthemen mit fachsystematischen Schwerpunkten integriert werden und zwar als Erweiterung, Vertiefung und Anwendung von erworbenen Chemiekenntnissen. Ein Kursthema „Umweltchemie“ kommt nur als eine unter mehreren Wahlmöglichkeiten im letzten Halbjahr in Frage und sollte dann die Umweltbereiche Luft, Wasser und Boden bündeln. Darin werden teils neue, teils bereits in anderen Kursen behandelte Themen projektartig bearbeitet und vertieft.

### 3 Curriculare Einbindung der Themen „Ozonloch“ und „Photosmog“

#### Thematischer Punktekatalog zum Ozon – Materialien:

1. Entstehung, Schichtung und Zusammensetzung der heutigen Erdatmosphäre – [2] S. 226; [3].
2. Photoreaktor Atmosphäre, photochemisches Ozon-Gleichgewicht – [2] S. 384, 226; [3]; [4], Arbeitsblatt 1.
3. CFKW-Einfluß auf die Ozonmenge in einer geschlossenen UV-Apparatur – [4]; [5]; Arbeitsblatt 2.
4. Ozonloch und Chlor-Katalyse-Zyklus – [2] S. 277f; [3]; [4]; [6]; Arbeitsblatt 4.
5. Ozon (Historisches, Eigenschaften, Verteilung, Schlüsselsubstanz) – [4]; [7]; [9] Arbeitsblatt 3.
6. UV-CKW-Einfluß auf Blattpigmente – [2] S. 227f; [4]; Arbeitsblatt 5.
7. Ursprung und Verbleib von CKW und CFKW in der Atmosphäre – [10].
8. Entwicklung des Ozonlochs über dem Südpol und über der nördlichen Hemisphäre, Prognosen – [6], [9].

9. Ozongehalt in Bodennähe – [2] S. 386f; [3]; [8], [9].
10. Photoreaktor Troposphäre – [2] S. 390; [3]; [4]; [8]; [9].
11. Modellversuche Photosmog – [4]; Arbeitsblatt 5.
12. Kreisprozesse – Arbeitsblatt 4.

Dies ist nicht das Gerüst einer Unterrichtseinheit; der Punktekatalog dient als Orientierungshilfe darüber, was im Zusammenhang mit Ozon behandelt werden kann. Der Anspruch auf Vollständigkeit besteht nicht.

Die Unterrichtseinheit „Ozonloch“ kann in den Baustein „Radikalische Kettenreaktionen“ aus dem Kursthema „Grundreaktionen in der organischen Chemie“ integriert werden. Einerseits entspricht der Chlor-Katalyse-Zyklus beim stratosphärischen Ozonabbau exakt dem radikalischen Kettenmechanismus bei Alkanhalogenierungen und andererseits kommen an dieser Stelle auch die halogenierten Kohlenwasserstoffe und ihre Bedeutung für die Technik und die Umwelt zur Sprache. Folgende unterrichtliche Voraussetzungen sollten gewährleistet sein: Kenntnisse über organische Stoffklassen, Gleichgewichte, radikalischer Kettenmechanismus (bei der Alkanhalogenierung) und einige Kenntnisse aus der S I und aus den Medien über Ozon (diese sind i.d.R. sehr heterogen und z. T. verzerrt). Als Zeitrichtwert für die Behandlung des „Ozonlochs“ kann man 2 Doppelstunden ansetzen, um aus dem Kursthema nicht zu stark auszuberechnen. Selbstverständlich bietet sich auch die Themenerweiterung zum „Photosmog“ an, sowohl unter dem Aspekt der radikalischen Kettenreaktionen, als auch unter dem Aspekt Ozon. Der „Photosmog“ kann aber ebenso gut an anderer Stelle behandelt werden, z. B. in Verbindung mit dem sauren Smog im Rahmen des Kursthemas „Umweltchemie“ in 13/2.

Auf die detaillierte Beschreibung möglicher Stundenskizzen wird hier verzichtet. Das Konzept ist in Lit. [2] verwirklicht. Aktuelle Medienberichte zum Thema Ozonloch sollten auf jeden Fall als Einstieg mit herangezogen werden. Als einschlägige Materialien über die Ausmaße des Ozonabbaus sind die Arbeiten von R. Zellner, z. B. [6], zu empfehlen. Je nach verfügbarer Zeit können Teile des Punktekatalogs mit Hilfe der Arbeitsblätter, der FCI-Folien [3], des FWU-Films [7] und weiterer einschlägiger Literatur vertieft und erweitert werden.

#### Literatur

- [1] R. P. Kreher, Mitteilungsblatt Nr. 18 der GDCh, FG Chemieunterricht, Frankfurt/M, 1993
- [2] H. Deissenberger, W. Fischer, H.-R. Porth, M. Tausch, M. v. Wachtendonk, R. G. Weißenhorn und H. Wambach, Chemie S II, STOFF-FORMEL-UMWELT, C. C. Buchner, Bamberg, 1993
- [3] Folienserie des Fond der Chemischen Industrie Nr. 22 „Umweltbereich Luft“
- [4] M. Tausch, M. Kolkowski und K. Weilert, Ozon – der andere Sauerstoff. Praxis (Chemie) **42**, Heft 1, 26 (1993)
- [5] B. Horlacher und A. Urban, Ozonentstehung und Ozonabbau. Praxis (Chemie) **41**, 18 (1992)
- [6] R. Zellner, Ozonabbau in der Stratosphäre. ChiuZ **27**, Heft 5, 230 (1993)
- [7] Film Ozon. Nr 3210254, FWU Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht (1993)
- [8] U. Dämmgen, Ozon in der unteren Atmosphäre. MNU **43**, Heft 8, 490 (1990)
- [9] G. Mégie, Ozon-Atmosphäre aus dem Gleichgewicht. Springer, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo-Hong Kong-Barcelona-Budapest 1991
- [10] R. Zellner, Das polarisierte Ozonlicht. Nachr. Chem. Tech. Lab. **41**, Heft 1, 58 (1993)

#### Anschrift des Verfassers:

Dr. Michael Tausch, Am Schwarzen Berge 31, 28857 Syke

## Arbeitsblatt 1

1. Trage in die nebenstehende Graphik (Abb. 1) das Höhenintervall ein, das der **Tropopause** entspricht. (Die Temperatur soll unter  $-55^{\circ}\text{C}$  liegen.)

2. Formuliere die Ozonbildung und den Ozonabbau beim „ungestörten“ *photostationären Ozongleichgewicht* der **Stratosphäre**.

Ozonbildung: .....

Ozonabbau: .....

Gleichgewicht: .....

3. Das Absorptionsspektrum von Ozon wurde zwischen 1881 und 1890 aufgeklärt. Bereits im Jahr 1878 entdeckte der Physikprofessor *Albert Cornu*, daß das Spektrum der Sonne, so wie es auf der Erdoberfläche ankommt, bei Wellenlängen unter 300 nm abrupt abbricht, so als wäre es entlang einer scharfen Kante abgeschnitten. Noch mehr: diese Kante verschiebt sich zu größeren Wellenlängen, wenn die Sonne tiefsteht (vgl. Abb. 2a  $\lambda(2) > \lambda(1)$ ).

Ist dieser Sachverhalt auf eine Eigenschaft der Sonne oder der Erdatmosphäre zurückzuführen? Begründe mündlich: a) aus der Sicht *A. Cornus* und b) aus heutiger Sicht.

4. Begründe schriftlich mit Hilfe des **Temperaturprofils** (Abb. 1) warum die Erdatmosphäre als **Zweikammer-Photoreaktor** (Abb. 2b) betrachtet werden kann.

.....  
 .....  
 .....

5. Gib drei Stoffe an, die als Emissionen in die Troposphäre gelangen und ihre photochemischen Produkte, die als Immissionen zurückkommen:

Emissionen: 1 ..... 2 ..... 3 .....

Immissionen: 1' ..... 2' ..... 3' .....

6. Erkläre mit Hilfe der unter 2. formulierten Reaktionen und der Angaben in der Skizze des Zweikammer-Photoreaktors, warum die Temperatur der oberen Stratosphäre fast so hoch ist, wie die der planetarischen Grenzschicht:

.....  
 .....  
 .....

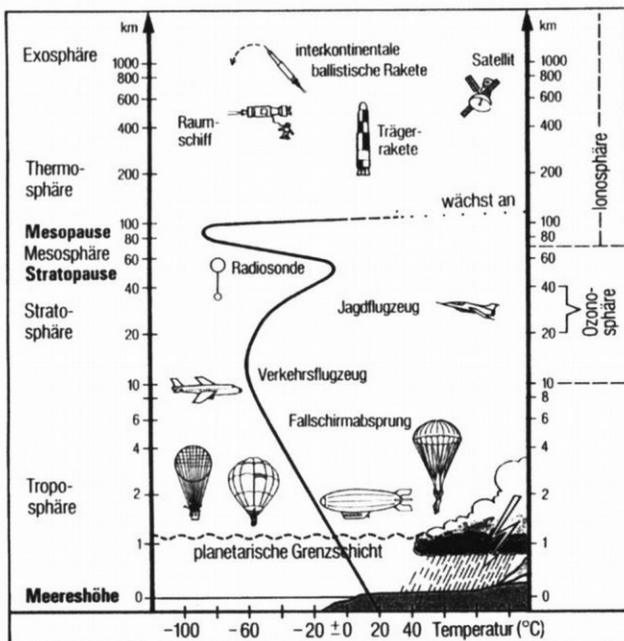
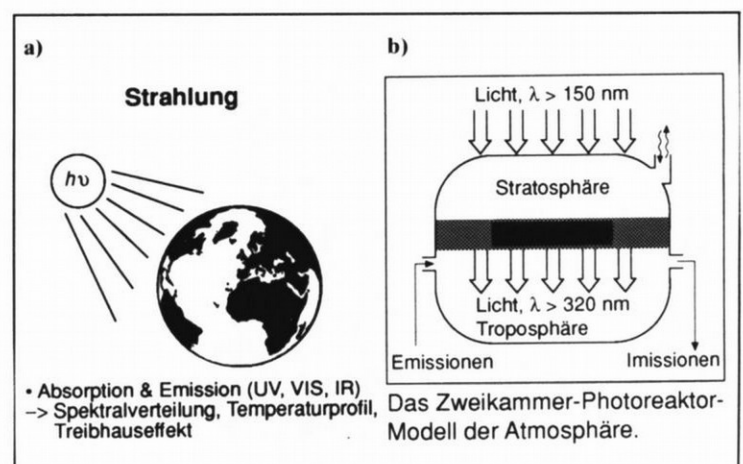


Abb. 1

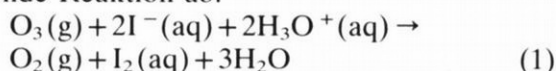
Abb. 2





### Arbeitsbatt 2

1. Eine Sauerstoff-Atmosphäre, die mit 40 ml Kaliumiodid-Lösung,  $w = 10\%$ , 10 ml Schwefelsäure,  $c = 0,025$  mol/l und einigen Tropfen Stärke-Lösung unterschichtet war, wurde unter starker Rührung 20 min. lang im wassergekühlten UV-Tauchlampenreaktor bestrahlt. 20 ml der inzwischen tiefblauen Lösung wurden zuerst mit Natriumthiosulfat-Lösung,  $c = 0,001$  mol/l, bis farblos titriert und anschließend (nach Zugabe von Bromthymolblau) mit Natronlauge,  $c = 0,005$  mol/l bis zum Blauumschlag. In einem zweiten Ansatz wurde dem Sauerstoff etwas Dichlordifluormethan hinzugefügt (vgl. Ergebnisse im Bild). An der Phasengrenze läuft folgende Reaktion ab:



Ozon-Erzeugung und -Umsetzung im UV-Tauchlampenreaktor (Fa. Jürgens & Co, Bremen, Tel. 0421/175990) (s. Abb. 1)

2. In einem Photoreaktor mit Vorschaltgerät, jedoch ohne Wasserkühlung, wurde zunächst Sauerstoff einige Minuten lang mit einer U-förmigen UV-Lampe bestrahlt. Dann wurde über das U-Rohr langsam frischer Sauerstoff in die Apparatur gedrückt. Das austretende Gasgemisch wurde über einen Fluoreszenzschirm, auf den Licht einer UV-Handlampe (254 nm) fiel, geleitet. Eine über den Schirm gleitende Dunkelwolke war zu beobachten. Von oben wurde nun etwas Dichlordifluormethan in den Reaktor zudosiert. Die Dunkelwolke auf dem Schirm verschwand nach kurzer Zeit. Stattdessen konnte am Gasaustrittsröhrchen elementares Chlor nachgewiesen werden. Bei weiterer Bestrahlung ging nach einiger Zeit der Chloraustritt zurück und die Dunkelwolke trat erneut wieder auf (s. Abb. 2).

Ozon-Erzeugung und -Nachweis im Photoreaktor (Fa. A. Hedinger, Stuttgart, Tel. 0711/402050)

Abb. 1

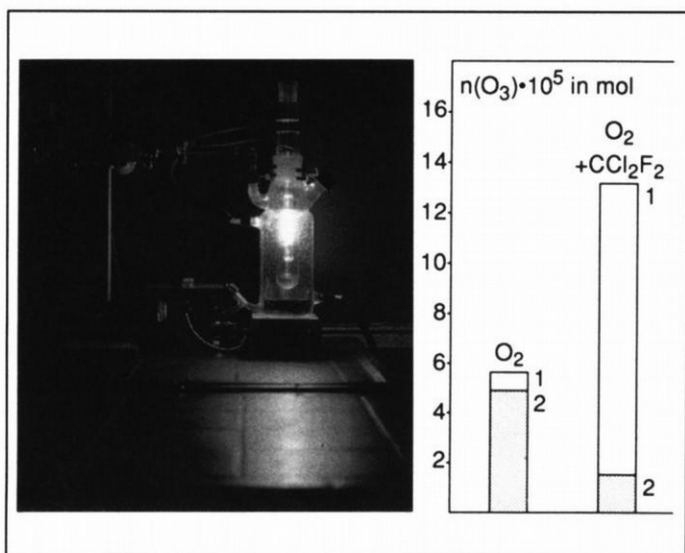
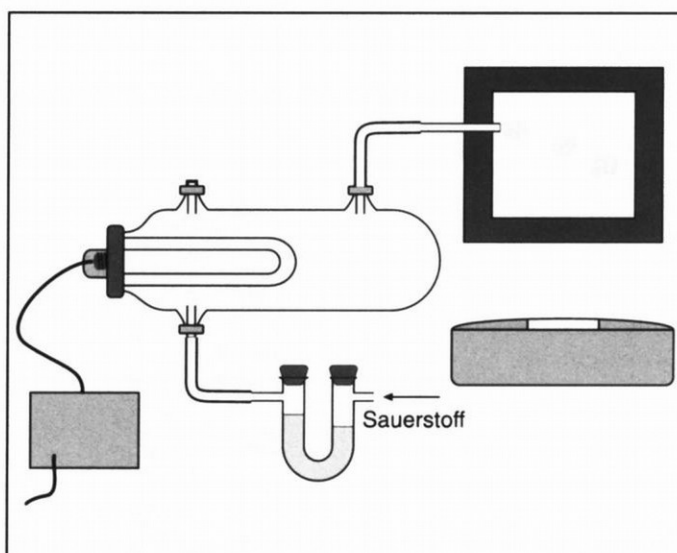


Abb. 2



Die **Versuche 1 und 2** weisen Gemeinsamkeiten und Unterschiede auf. Bearbeite folgende Fragen ausführlich (Beobachtungen, Deutungen, Erklärungen, Vor- und Nachteile) und fülle die Tabelle in Kurzform aus.

	Versuch 1	Versuch 2
Wie wird Ozon erzeugt? (Reaktionsschema)		
Ozon-Nachweis (Methode, ggf. Reaktionsschema)		
Einfluß von $\text{CCl}_2\text{F}_2$ beweisbar? (Beobachtungen, Deutung, Erklärung)		
Quantitative Untersuchungen möglich? (ausführliche Begründung)		

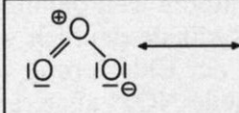
## Arbeitblatt 3

1. Formuliere zu der angegebenen Grenzstruktur des Ozon-Moleküls eine zweite Grenzstruktur.
2. Wie ist der Dipol-Charakter des  $O_3$ -Moleküls zu erklären? Vergleiche mit den Molekülen  $CO_2$  und  $H_2O$ .

.....

.....

- $\vartheta_b = -112,5^\circ \text{ C}$
- $\vartheta_m = -251,4^\circ \text{ C}$
- $\mu = -0,49 \text{ D}$
- bläuliche Farbe
- erzeugt charakteristischen Geruch
- schlecht wasserlöslich
- gut löslich z.B. in  $CF_2Cl_2$
- toxisch
- im Gemisch mit Sauerstoff mit  $w(O_3) = 10\%$  bis  $\vartheta = 100^\circ \text{ C}$  beständig
- $O_3(l), O_3(s)$  explodieren beim Berühren



**Starkes Oxidationsmittel**

$$O_3(g) + 2 e^- + 2 H_3O^+(aq) \longrightarrow O_2(g) + 3 H_2O(l)$$

$$E = E^\circ + \frac{0,059}{2} V \lg \{c^2(H_3O^+)\}$$

- Oxidationsvermögen nimmt bei sinkendem pH-Wert zu

Beispiele für Oxidation mit Ozon:

- 1)  $O_3 + 2 I^- + H_2O \longrightarrow O_2 + I_2 + 2 OH^-$
- 2)  $4 O_3 + PbS \longrightarrow PbSO_4 + 4 O_2$

Abb. 1: Ozon-Steckbrief

3. Nimmt die Oxidationsfähigkeit von Ozon bei sinkendem pH-Wert zu oder ab? Begründe mit Hilfe der Nernst-Gleichung und des Reaktionsschemas aus dem Kasten „Ozon-Steckbrief“.

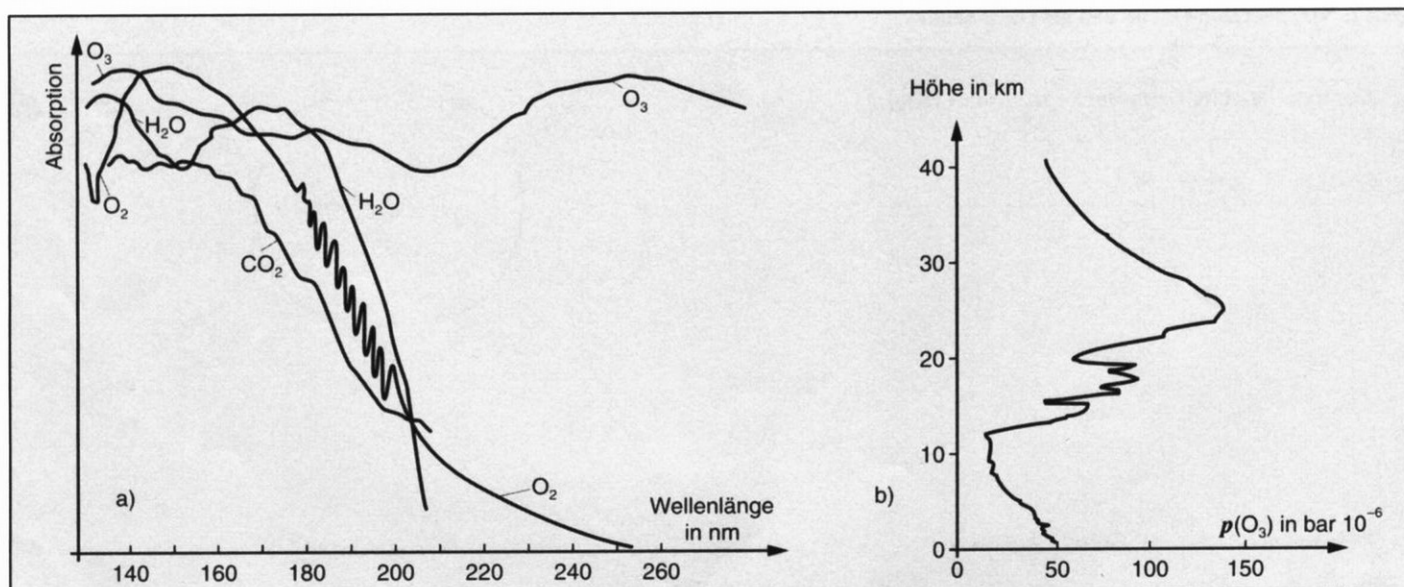
.....

.....

4. Schraffiere in Abb. 2a den Bereich der Wellenlängen, bei denen sich Ozon aus Sauerstoff bilden kann.
5. Markiere den Wellenlängenbereich, in dem nur Ozon als UV-Filter wirksam ist. Begründe.
6. Ermittle im rechten Bildteil die Höhe, in der Ozon-Partialdruck  $p(O_3)$  am größten ist. Um welchen Faktor ist er größer als der Ozon-Partialdruck in Bodennähe? (Alle Eintragungen ins Bild).
7. Wie dick ist (in etwa) die Luftschicht, in der  $p(O_3)$  größer ist als in Bodennähe? (Eintragungen ins Bild).
8. Wie kann man mit Hilfe des linken Bildteils den rechten Bildteil erklären?

.....

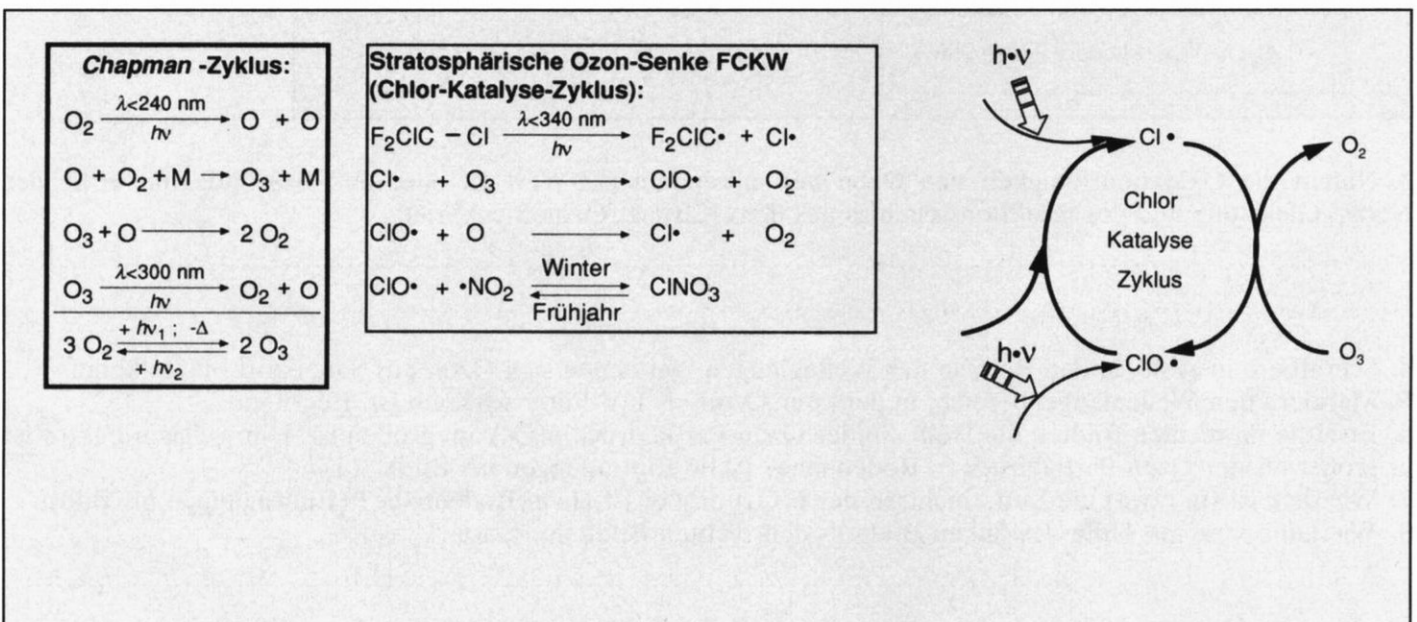
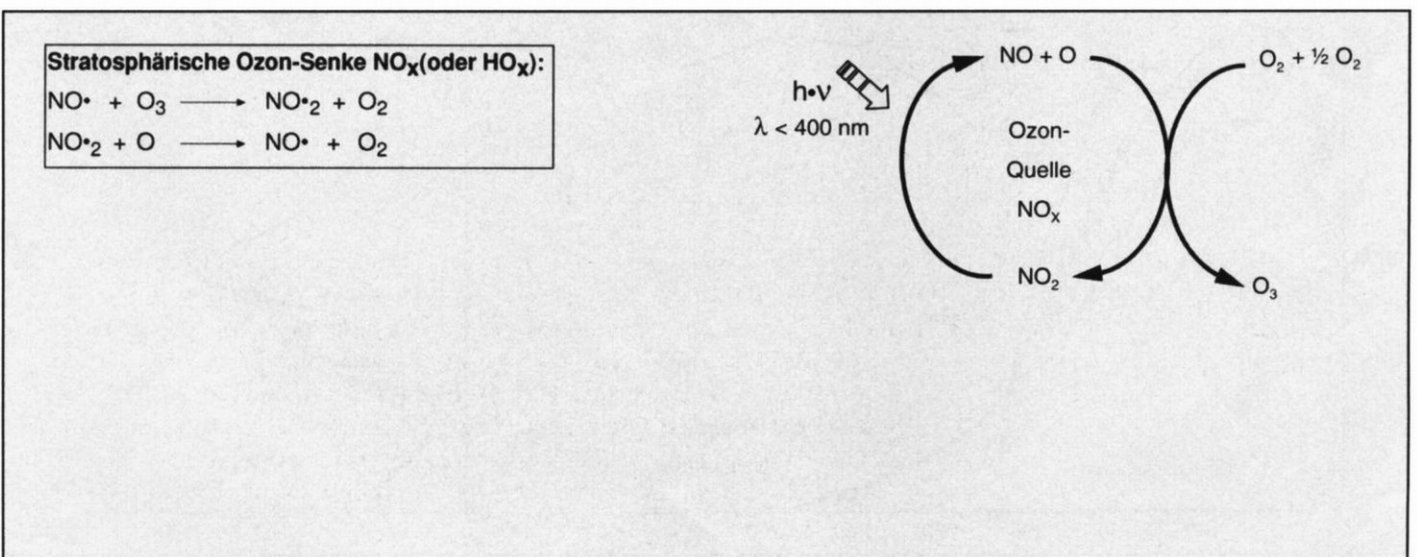
Abb. 2: a) Absorptionsspektren von Sauerstoff, Wasser, Kohlenstoffdioxid und Ozon. b) Vertikale Ozon-Verteilung in der Atmosphäre



## Arbeitsblatt 4

- In Abb. 1 ist der Chlor-Katalyse-Zyklus (CKZ) als Folge von Reaktionsschritten und als Kreisprozeß dargestellt. Die dicken Pfeile sollen andeuten, daß diese Elementarprozesse viel häufiger stattfinden als die anderen (Kettenreaktionen). Trage an die drei unbeschrifteten Pfeilenden die passenden Formeln ein.
- Der CKZ und der Chapman-Zyklus, der das „natürliche“ Ozon-Gleichgewicht in der Stratosphäre beschreibt, sind miteinander gekoppelt. Markiere die Kopplungsstellen in der Skizze des Kreisprozesses jeweils mit einer Farbe und trage dann die entsprechenden Farben auch in den Kästen mit dem Chapman-Zyklus ein.
- Ergänze die Skizze des Kreisprozesses im unteren Teil dahingehend, daß die Funktion des Stickstoffdioxids als „Konservierungsmittel“ für die Chloroxid-Radikale deutlich wird.
- Vergleiche den CKZ mit dem Mechanismus der Chlorierung von Methan (Abb. 2).
- Formuliere unter die Darstellung „Ozon-Quelle NO<sub>x</sub>“ als Kreisprozeß die Darstellung in Reaktionsschritten und zeichne unter die Reaktionsschritte „Stratosphärische Ozon-Senke NO<sub>x</sub>“ ein entsprechendes Kreisprozeß-Schema.
- Trage ein, welche der beiden Wirkungen von NO<sub>x</sub> für die Troposphäre stärker ins Gewicht fällt und begründe.
- Nenne jeweils Vor- und Nachteile der zeichnerischen Darstellung als Kreisprozeß und der Darstellung als Folge von Reaktionsschemata.

Abb. 1: Chapman-Zyklus und Chlor-Katalyse-Zyklus zur stratosphärischen Ozon-Chemie

Abb. 2: NO<sub>x</sub> als Ozon-Quelle und als Ozon-Senke



## Arbeitsblatt 5

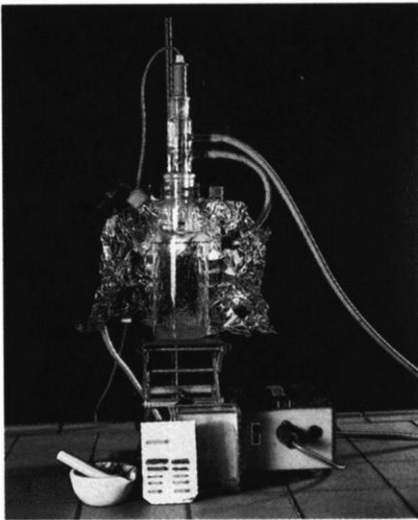


Abb. 1: Bestrahlung von Blättern im UV-Tauchlampenreaktor

Grüne Eichenblätter wurden in PER-haltiger Luft (0,5 ml Perchlorethylen auf dem Boden des wassergekühlten Reaktors) 25 min lang mit UV-Licht bestrahlt (Abb. 1). Die Blattfarbstoffe wurden anschließend mit Methanol extrahiert und die Lösung wurde dünnschichtchromatographisch aufgetrennt. Im Vergleich zu einem Extrakt aus unbestrahlten Blättern fehlte bei der bestrahlten Probe das Carotin (gelber Fleck) und die beiden Chlorophylle a und b erschienen nicht als grüne, sondern als braunschwarze Flecke. Beim Austausch von PER gegen Wasser trat bei gleicher Bestrahlungsdauer im Reaktor keine sichtbare Blattschädigung ein. Auch eine 10stündige Bestrahlung mit Sonnenlicht und PER-Atmosphäre verursachte noch keine deutliche Veränderung der Blattpigmente.

- Ergänze den Text: „Blattpigmente werden rasch abgebaut, wenn ..... und ..... zusammenwirken“.
- Nenne drei Verbindungen, bei denen ein ähnliches Versuchsergebnis zu erwarten ist wie beim PER-Versuch:  
1 ..... 2 ..... 3 .....
- Gib bei jedem der folgenden Parameter an, wie er im Vergleich zum beschriebenen Versuch im Tauchlampenreaktor geändert werden kann und nenne das zu erwartende Ergebnis (stärkere oder schwächere Schädigung der Blattpigmente):  
Temperatur: .....  
Wellenlänge des Lichts: .....  
Zusammensetzung der Atmosphäre: .....  
weitere Parameter: .....

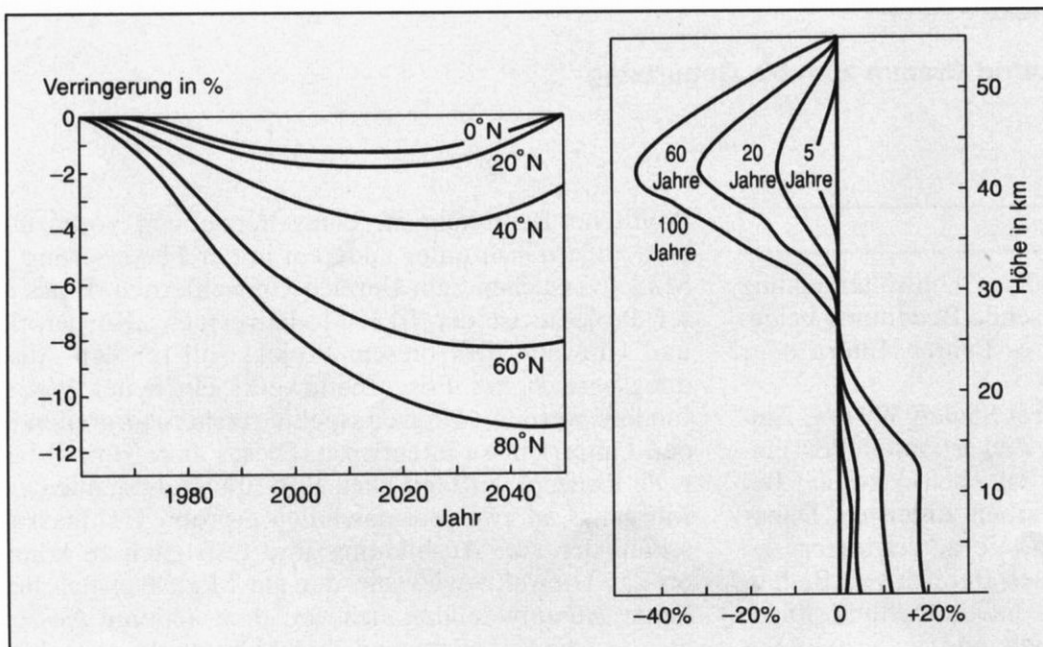
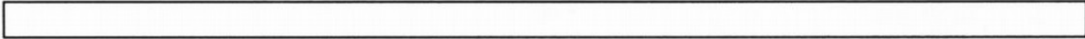


Abb. 2: Prognosen zur Veränderung der gesamten Ozonsäule nach geographischen Breitengraden (links) und zur Veränderung der vertikalen Ozon-Verteilung (rechts)

Fortsetzung S. 34



Forts. Arbeitsblatt 5

4. Der Reaktorversuch zur Blattpigmentschädigung ist ein **Modell**versuch für Vorgänge, die auch in der Natur ablaufen können. Die Reaktionsbedingungen im Reaktor sind aber nicht ganz naturgetreu, sondern z. T. stark übertrieben sowohl im Bezug auf die Troposphäre als auch auf die Stratosphäre. Ergänze die Tabelle:

	im Vergleich zur	
	Troposphäre	Stratosphäre
Druck	.....	.....
Gaszusammensetzung	.....	.....
Bestrahlungsdauer	.....	.....
Periodizität der Bestrahlung (Tag/Nacht Rhythmus)	.....	.....
Wellenlänge des Lichts	.....	.....

5. Werte die Ozon-Prognosen aus Abb. 2 aus. Was ist besorgniserregender, die Veränderung der gesamten Ozonsäule oder die vertikale Verteilung?

- gesamte Ozonsäule, weil .....
- vertikale Verteilung, weil .....

6. Betrachte die vertikale Ozon-Verteilung in 60 Jahren. Zu welchem Phänomen paßt der Modellversuch eher?

- zum Ozonloch, weil .....
- zum Photosmog, weil .....
- zum Ozonloch **und** Photosmog, weil .....