

Ozonlochproblematik

Versuchsziele

- Messung der Absorption von UV-C-Strahlung durch Ozon.
- Nachweis der Zerstörung von Ozon durch FCKW.
- Synthese von Ozon aus Luftsauerstoff.

Grundlagen

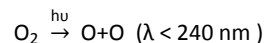
Die Ozonschicht in der Stratosphäre (15 – 50 km Höhe) ist von essenzieller Bedeutung für das Leben auf der Erde. Ohne ihre schützende Wirkung wäre durch die starke kurzwellige UV-Strahlung kein Leben außerhalb des Wassers möglich. Die Ozonschicht wirkt als Filter für Strahlung von 220 bis 310 nm. Dadurch wird die UV-C-Strahlung (220 – 280 nm) völlig und die UV-B-Strahlung (280 – 320 nm) zum größten Teil absorbiert.

Eine Verringerung der Ozonkonzentration (Ozonschwund, Ozonloch) führt deshalb zu einer erhöhten Intensität der biologisch wirksamen UV-B-Strahlung. Dies kann bei Pflanzen zu Schädigungen und damit verminderten Ernteerträgen führen. Auch das Phytoplankton (Algenarten in der oberen Wasserschicht des Ozeans) ist betroffen – ein wichtiges Glied in der Nahrungskette der Meere. Da es außerdem erhebliche Mengen Kohlendioxid aufnimmt, ist es wesentlicher Bestandteil des Kohlenstoffkreislaufes und steht in Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt.

Bei Mensch und Tier kann erhöhte UV-B-Strahlung zu Schädigungen der Augen und der Haut führen. Bei häufiger Einwirkung altert die Haut schneller. Da die DNA-Moleküle der Haut-

zellen besonders empfindlich reagieren, kann es zu Zellveränderungen bis zum Hautkrebs kommen. Das Immunsystem wird ebenfalls durch langfristige Einwirkung von UV-Strahlung geschwächt. Generell kann also gesagt werden, dass mit einer Erhöhung der UV-B-Strahlung und der Einwirkungsdauer die gesundheitlichen Risiken zunehmen.

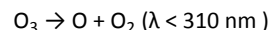
Ozon bildet sich in der Stratosphäre durch Einwirkung harter UV-Strahlung auf Sauerstoff:



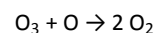
Die sehr reaktiven Sauerstoffatome reagieren bei Anwesenheit eines zusätzlichen neutralen Reaktionspartners M (z.B. Stickstoff oder Sauerstoff) mit O₂-Molekülen zu Ozon:



Durch Wellenlängen unterhalb von 310 nm kann das entstandene Ozon wieder aufgespalten werden:



Eine weitere Abbaumöglichkeit ist die Reaktion von Ozonmolekülen mit Sauerstoffatomen:



Diese vier Reaktionsschritte werden als Chapman-Mechanismus bezeichnet. Sie zeigen, dass die Konzentration des

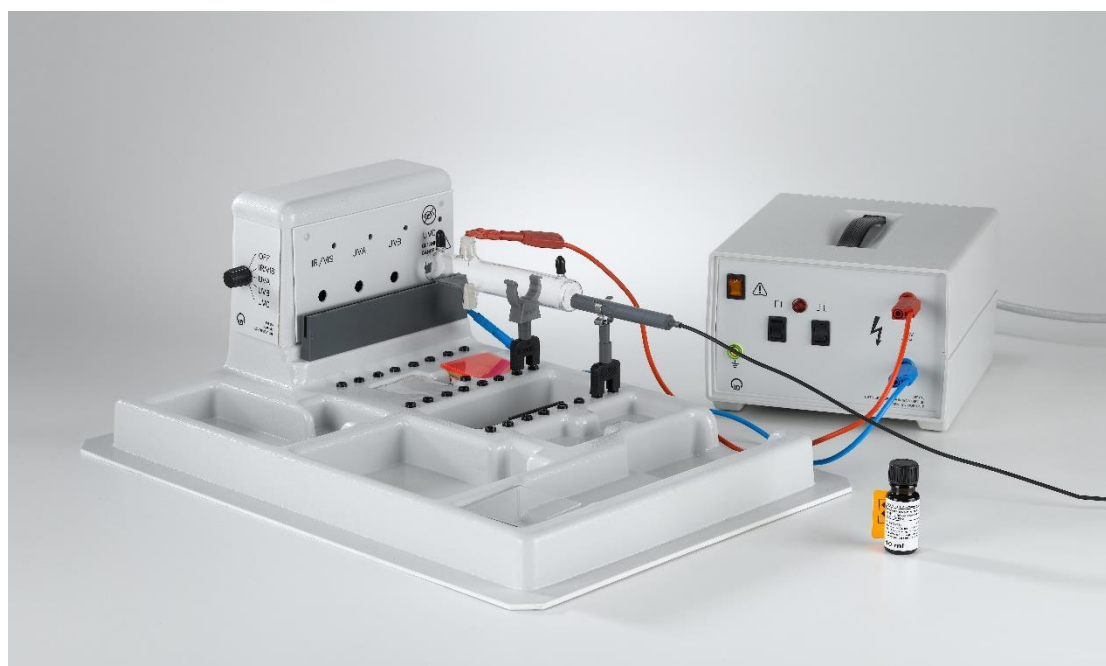
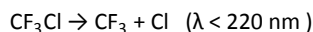


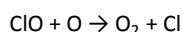
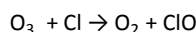
Abb. 1 Versuchsaufbau

Ozons durch ständigen Auf- und Abbau in einem stationären Gleichgewicht gehalten werden kann.

Da die tatsächliche Ozonmenge deutlich unter der theoretisch erwarteten liegt, muss es einen weiteren Mechanismus geben, der zu einem zusätzlichen Ozonabbau führt. Wie wir heute wissen, ist dies der katalytische Abbau durch verschiedene Spurengase, allen voran FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe). Unter Aufspaltung bilden diese Moleküle hochwirksame Katalysatoren (im Beispiel ist es das Chloratom), die tausende Male reaktionsfördernd wirken können, bevor sie „verbraucht“ sind:



Der Ozonabbau geschieht dann folgendermaßen:



Weitere Katalysatoren sind Hydroxid (OH), Stickstoffmonoxid (NO) und Bromid (Br). Insgesamt sind die in der Ozonschicht ablaufenden Reaktionen sehr komplex: Es reagieren 40 verschiedene Stoffe in über 200 Reaktionen miteinander, die neben der Strahlung auch noch von der Temperatur abhängig sind.


Ein zusätzliches Problem liegt darin, dass die freigesetzten Spurengase nur sehr langsam in die Stratosphäre aufsteigen. Es dauert ca. 5 – 10 Jahre, bis sie diese erreichen. Entsprechend lange dauert es auch, bis Maßnahmen zur Reduzierung schädlicher Spurengase Wirkung zeigen bzw. FCKW-Emissionen nachwirken.

FCKW wurden wegen ihrer chemisch inerten Natur und ihrer besonderen physikalischen Eigenschaften als Kühlmittel, Aufschäummittel für Kunststoffe und Treibgase eingesetzt. Zur Verhinderung weiterer Schädigungen der Ozonschicht wurde die Menge der eingesetzten FCKW stark reduziert bzw. deren Verbreitung staatlich geregelt.

In diesem Versuch wird die Wirkung des Ozons als UV-Filter gezeigt, sowie der Ozonabbau durch FCKW demonstriert. Ozon wird mittels Hochspannung durch stille Entladung aus reinem Sauerstoff oder Luftsauerstoff erzeugt. Da richtige FCKW zum Großteil verboten sind wird in diesem Versuch stellvertretend Dichlormethan (CH_2Cl_2) eingesetzt. Dieses liefert im Versuch ähnliche Ergebnisse, ist jedoch für die Ozonschicht nicht schädlich, da es bereits in der Troposphäre photochemisch abgebaut wird.

Gefährdungsbeurteilung

Während der Durchführung des Versuches auf keinen Fall in den UV-C-Strahl blicken.

Dichlormethan	
 <p>Achtung</p>	<p>Gefahrenhinweise</p> <p>H315 Verursacht Hautreizungen.</p> <p>H319 Verursacht schwere Augenreizung.</p> <p>H335 Kann die Atemwege reizen.</p> <p>H336 Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.</p> <p>H351 Kann vermutlich Krebs erzeugen.</p> <p>H373 Kann die Organe schädigen.</p> <p>Sicherheitshinweise</p> <p>P261 Einatmen von Staub / Rauch / Gas / Nebel / Dampf / Aerosol vermeiden.</p>

	<p>P281 Vorgeschriebene persönliche Schutzausrüstung verwenden.</p> <p>P305+351+338 Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.</p>
--	--

Geräte und Chemikalien

1 UV-IR-VIS-Versuchskit.....	666 265
1 Pocket-CASSY 2 Bluetooth.....	524 018
1 CASSY Lab 2	524 220
1 Akku für Pocket-CASSY 2 Bluetooth.....	524 019
1 Bluetooth-Dongle.....	524 0031
1 Lux-Adapter S	524 0511
1 UV-C-Sensor	666 246
1 Betriebsgerät für Funkenstrecke	667 818
1 Sicherheits-Experimentierkabel 50 cm, rot....	500 621
1 Sicherheits-Experimentierkabel 50 cm, blau .	500 622
1 Schnabelklemmen, isoliert, Satz 2	667 489
1 Gummigebläse, einfach.....	667 241
1 Dosierspritze 1 ml.....	665 957
1 Kanüle 0,6 mm Ø, Satz 10	603 030
1 Dichlormethan, 250 ml	671 6600

Zusätzlich erforderlich:

PC mit Windows XP/Vista/7/8

Versuchsaufbau und –vorbereitung

Aufbau der Apparatur

1. Die Apparatur wird wie in Abb.1 zu sehen aufgebaut.
2. Dazu die Rundküvette des UV-IR-VIS-Versuchskits mit zwei Halterungen unmittelbar vor der Austrittöffnung des UV-C-Strahles positionieren.
3. UV-C-Sensor mit Halter vor Küvettenfenster setzen.
4. Betriebsgerät Funkenstrecke über Sicherheitskabel und Schnabelklemmen mit den Metallkontakten der Rundküvette verbinden.
5. UV-IR-VIS-Versuchskit über Steckernetzgerät anschließen und über den Stufenschalter die UV-C-Lampe einschalten.
Hinweis: Es darf zu keinem Zeitpunkt direkt in den UV-C-Strahl geblickt werden. Es kann sonst zu einer Schädigung der Augen kommen.
6. Pocket-CASSY 2 Bluetooth mit Akku für Pocket-CASSY 2 Bluetooth verbinden
7. Lux-Adapter S auf Pocket-CASSY 2 Bluetooth stecken und UV-C-Sensor anschließen.

Vorbereitung des Versuches

1. Vor dem Versuch müssen in CASSY-Lab einige Einstellungen vorgenommen werden.
2. Zunächst wird unter Einstellungen Sensoreingang die Messgröße Beleuchtungsstärke E (UVC) mit dem Messbereich 0 – 10 W/m² ausgewählt.
3. Im Register Parameter/Formel/FTT wird die neue Größe Beleuchtungsstärke eingeführt. Dazu werden folgende Werte eingetragen:
Mittelwert über 20 s von E
Symbol: E'
Einheit: W/m² von 0 – 1,2 W/m²
Dezimalstellen: 2
4. Im Register Darstellung die y-Achse mit der Größe E' belegen.

5. Im Dialogfenster Messparameter automatische Aufnahme der Messwerte und als Messintervall 1 s wählen.

Durchführung

Absorption von UV-C-Strahlung durch Ozon

1. Vor Starten der Messung restliche Luft mit Hilfe des Gummigebläses aus der Küvette entfernen. Die Küvette anschließend mit den zwei Gummikappen verschließen.
2. Nach dem der Messwert in CASSY-Lab für 3 Minuten konstant ist kann mit den Messungen begonnen werden.
3. Messwertaufnahme in CASSY-Lab starten.
4. Daraufhin das Betriebsgerät Funkenstrecke auf Dauerfunken (rote LED leuchtet) einschalten.

Hinweis: Es ist unbedingt darauf zu achten, dass es sich für den Versuch um eine stille Entladung handeln muss. Dies bedeutet, dass die beiden Nadeln so weit voneinander entfernt sein müssen, dass kein sichtbarer Funken zu erkennen ist.

5. Einschaltzeitpunkt durch senkrechte Linie im Diagramm kennzeichnen. Dazu Rechtsklick mit der Maus und den Punkt Auswertung auswählen. Dort dann eine senkrechte Linie auswählen und im Diagramm markieren.
6. Nach einer Zeit von 5 – 10 min kann die Funkenstrecke abgeschaltet werden. Im Diagramm eine erneute Markierung setzen.
7. Nach weiteren 5- 10 min kann die Aufnahme der Messwerte gestoppt werden.

Ozon-Abbau durch FCKW (hier Dichlormethan)

1. Der Messaufbau für die Messung des Ozon-Abbaus durch FCKW bleibt dieselbe wie zuvor für die Absorption von UV-C-Strahlung durch Ozon.
2. Vor Starten der Messung restliche Luft mit Hilfe des Gummigebläses aus der Küvette entfernen. Die Küvette anschließend mit zwei Gummikappen verschließen.
3. Nach dem der Messwert in CASSY-Lab für 3 Minuten konstant ist kann mit den Messungen begonnen werden.
4. Messwertaufnahme in CASSY-Lab starten.
5. Daraufhin das Betriebsgerät Funkenstrecke auf Dauerfunken (rote LED leuchtet) einschalten.

Hinweis: Es ist unbedingt darauf zu achten, dass es sich für den Versuch um eine stille Entladung handeln muss. Siehe Versuchsteil 1.

6. Einschaltzeitpunkt durch senkrechte Linie im Diagramm kennzeichnen. Dazu Rechtsklick mit der Maus und den Punkt Auswertung auswählen. Dort dann eine senkrechte Linie auswählen und im Diagramm markieren.
7. Die verschlossene Dichlormethan Flasche kurz schütteln. Wenn der Messwert konstant bleibt die Flasche öffnen und mit der Dosierspritze 1 ml des Dampfes aus der Gasphase (*headspace*) oberhalb der Flüssigkeit entnehmen.
8. Spritzeninhalt durch die hintere Gummikappe in die Rundküvette einspritzen und eine weitere Markierung im Diagramm setzen.
9. Nach 3 - 5 Minuten die Messung stoppen und das Betriebsgerät Funkenstrecke ausschalten.

Beobachtung

Absorption von UV-C-Strahlung durch Ozon

Nachdem die Funkenstrecke eingeschaltet wird kann in der Küvette die Entladung beobachtet werden. Nach dem Einschalten kann zudem eine deutliche Zunahme der Absorption von UV-C-Strahlung beobachtet werden (Abb. 2, Markierung 1). Diese nimmt jedoch wieder ab, nachdem die Funkenstrecke abgeschaltet wird (Markierung 2).

Ozon-Abbau durch FCKW (hier Dichlormethan)

Nach dem Einschalten der Hochspannung kann wie im Versuch zuvor beobachtet werden, dass Ozon gebildet wird und es zu einer Zunahme der Absorption der UV-C-Strahlung kommt (Abb. 2, Markierung 1). Nach Injektion von Dichlormethan ändert sich dies jedoch, obwohl die Hochspannung weiter eingeschaltet ist (Markierung 2).

Auswertung

Absorption von UV-C-Strahlung durch Ozon

Das Einschalten sowie Ausschalten der Funkenstrecke wurden im Diagramm durch senkrechte Linien markiert. Anhand der beiden Markierungen und des Verlaufes der Kurve kann eine Aussage zur schützenden Wirkung des Ozons gegenüber UV-C-Strahlung getroffen werden. Mit zunehmendem Ozon wird mehr UV-C-Strahlung absorbiert.

Ozon-Abbau durch FCKW (hier Dichlormethan)

Das Einschalten der Funkenstrecke (Abb. 3, Markierung 1) sowie die Injektion des Dichlormethans (Markierung 2) wurden im Diagramm durch senkrechte Linien markiert. Anhand des Verlaufes des Graphen kann eine Aussage zum Ozon-Abbau durch FCKW getroffen werden. Nach der Injektion von Dichlormethans sinkt die Absorption von UV-C-Strahlung trotz laufender Funkenstrecke.

Ergebnis

Absorption von UV-C-Strahlung durch Ozon

In Abb.2 ist das Ergebnis für die Absorption von UV-C-Strahlung durch Ozon zu sehen.

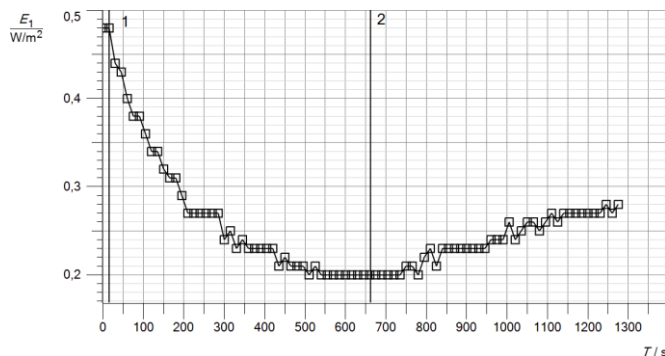
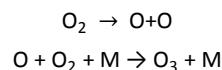


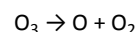
Abb. 2 Diagramm zur Absorption von UV-C-Strahlung durch Ozon

Nachdem die Funkenstrecke eingeschaltet wird bildet der in der Küvette enthaltende Luftsauerstoff durch die stille Entladung Ozon.



Die Hochspannung übernimmt dabei die Rolle der harten Strahlung in der Stratosphäre, welche sonst zur Bildung von Ozon führt.

Die Ozonbildungsreaktion überwiegt hierbei der Abbaureaktion.



Durch die zunehmende Ozonkonzentration in der Küvette wird die eingestrahlte UV-C-Strahlung immer weiter absorbiert. Dies führt zu einer Abnahme der Messgröße E, welche im Messdiagramm beobachtet werden kann (Abschnitt 1). Nachdem die Funkenstrecke wiederum ausgeschaltet wird, kann kein neues Ozon mehr gebildet werden. Ab diesem Zeitpunkt überwiegt nun die Abbaureaktion des Ozons. Mit der Abnahme der Ozonkonzentration in der Küvette kommt es auch zu einer

Abnahme der Absorption der UV-C-Strahlung. Diese Abnahme führt im Messdiagramm zu einem Anstieg der Messgröße E (Abschnitt 2).

Es konnte in diesem Versuch die schützende Wirkung der Ozonschicht demonstriert werden.

Ozon-Abbau durch FCKW (hier Dichlormethan)

In Abb.3 sind die Messergebnisse zum Ozon-Abbau durch FCKW zu sehen.

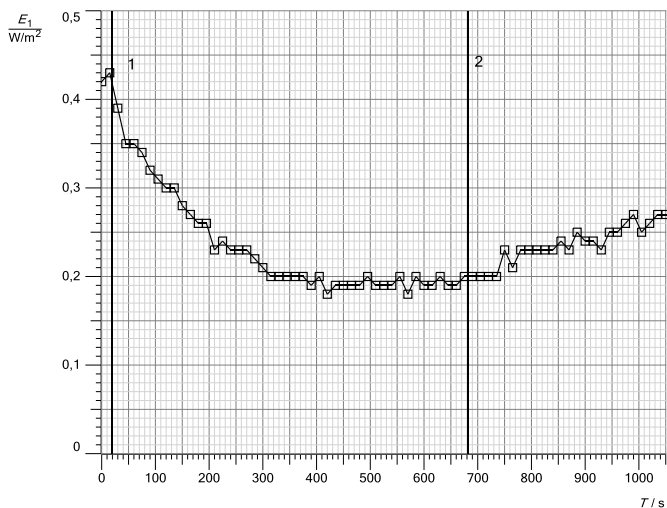
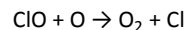
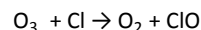


Abb. 3: Diagramm zum Ozon-Abbau durch FCKW

Wie bereits im ersten Versuch wird nach dem Einschalten der Funkenstrecke durch die stille Entladung aus dem in der Küvette enthaltenen Luftsauerstoff Ozon gebildet. Es kommt dadurch zu einer Zunahme der Absorption der UV-C-Strahlung (Abschnitt 1). In diesem Versuchsteil wird nach 5 – 10 Minuten gasförmiges Dichlormethan eingespritzt. Dieses übernimmt exemplarisch die Rolle von FCKW in der Atmosphäre. Die im Dichlormethan enthaltenen Chloratome bilden unter Aufspaltung des Dichlormethan-Moleküls hochwirksame Katalysatoren.

Diese Chloratome sorgen letztendlich für den Abbau des zuvor gebildeten Ozons. Der Ozonabbau geschieht wie folgt:



Trotz der weiterhin zugeführten Energie durch die Funkenstrecke nimmt die Intensität der UV-C-Strahlung am Sensor zu. Dies bedeutet, dass der Abbau des Ozons klar gegenüber der Neubildung überwiegt (Abschnitt 2).

In diesem Versuch konnte mittels Dichlormethan, als FCKW-Ersatz, deutlich der Abbau von Ozon und die damit verbundene Zunahme der Intensität der UV-C-Strahlung nachgewiesen werden. Dieser Versuch verdeutlicht exemplarisch die Problematik des Ozonabbaus in der Atmosphäre.

Reinigung und Entsorgung

Es sind keine besonderen Hinweise zu befolgen.