

## Begriffe in der Ökologie

**Biosphäre:** Gesamtheit der mit Lebewesen besiedelten Schichten der Erde

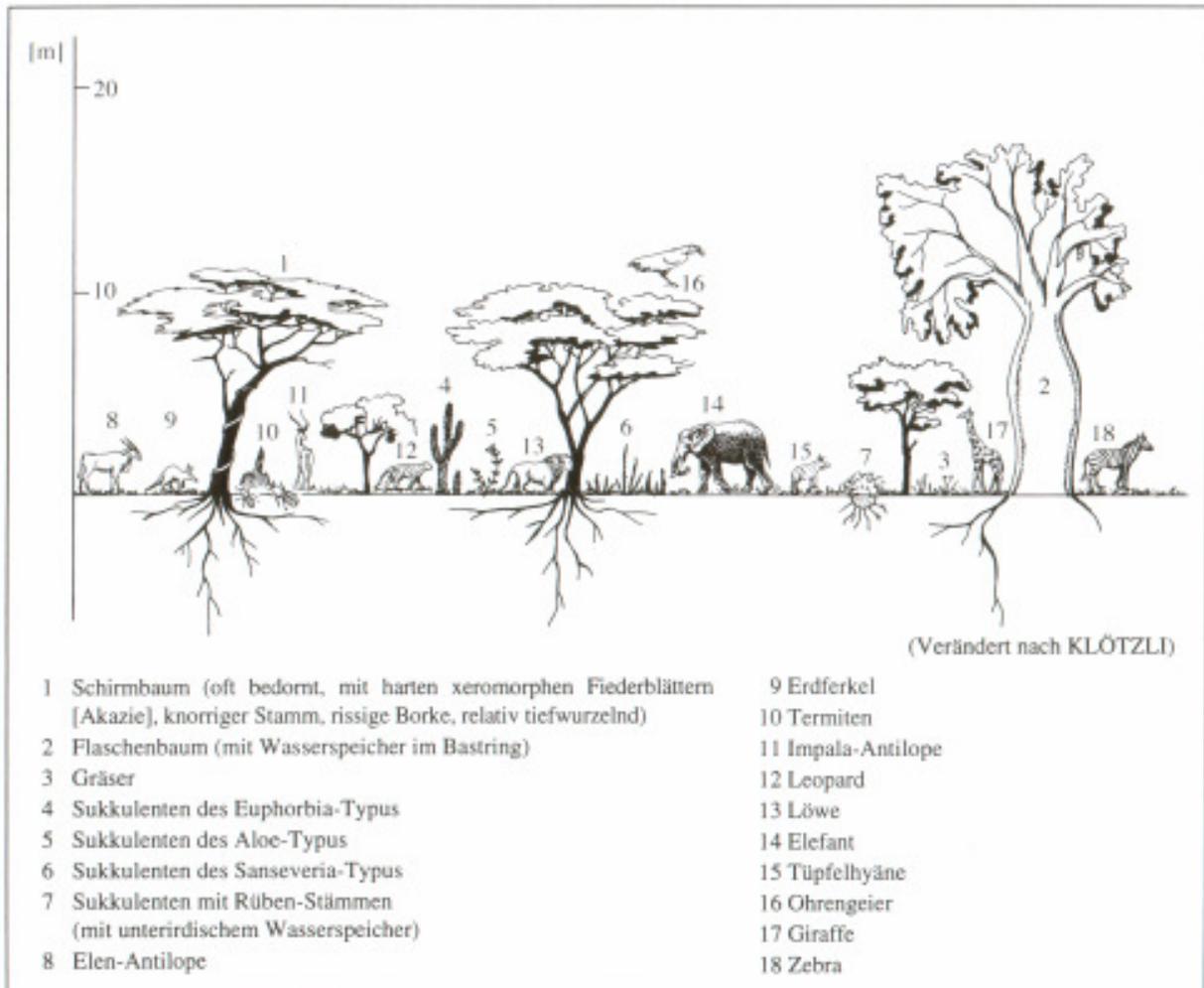
**Ökosystem:** auch Biogeozönose genannt = Wechselwirkung von Lebensgemeinschaften (=Biozönose) mit ihrer unbelebten (=abiotischen) Umwelt

**Biom:** auch Makroökosystem genannt; ist eine Lebensgemeinschaftseinheit in einem größeren Lebensraum unter bestimmten klimatischen Bedingungen

## **Nahrungsbeziehungen**

In einem Ökosystem wie einem Laubwald erzeugen die grünen Pflanzen durch Fotosynthese organische Stoffe: Sie sind die **Produzenten** dieser Stoffe. So stellen sie die Lebensgrundlage für alle anderen Lebewesen her. Von den grünen Blättern fressen Käfer und Raupen, Nagetiere und Vögel ernähren sich von Wurzeln und Früchten. Die Pflanzenfresser wiederum sind Beute von Fleischfressern wie Füchsen und Sperbern. Sowohl Pflanzen als Tiere dienen Parasiten als Lebensgrundlage. Pflanzenfresser, Fleischfresser und Parasiten bilden in einem **Ökosystem** die Gruppe der **Konsumenten**. Sie leben davon, dass sie organische Stoffe anderer lebender Mitglieder des Ökosystems aufnehmen. In einem Ökosystem werden jedoch auch Stoffe abgegeben: abgestorbene Teile von Pflanzen, Haare, Ausscheidungen von Tieren und Menschen sowie Tierleichen und tote Pflanzen. Diese organischen Reste bezeichnet man als Detritus (lat. detritus, vergangen). Sie bilden die Nahrungsgrundlage weiterer Lebewesen. Aaskäfer ernähren sich von Tierkadavern, Regenwürmer und Springschwänze von Laubstreu. Sie zerkleinern als Detritusfresser die Körper immer stärker und scheiden einen Teil des gefressenen Detritus wieder aus. Nach ihrem Tod werden sie selbst zu Detritus. Die zerkleinerten Körper und Ausscheidungen bilden ideale Angriffsflächen für weitere Lebewesen: Bodenbakterien und Pilze zersetzen das organische Material zu Kohlenstoffdioxid, Mineralstoffen und Wasser. Sie werden deshalb als Mineralisierer bezeichnet. Die entstandenen anorganischen Stoffe können wiederum grünen Pflanzen aufgenommen werden. Detritusfresser und Mineralisierer bilden zusammen die Gruppe der **Destruenten** (lat. destruere, abbauen). Produzenten, Konsumenten und Destruenten eines Ökosystems sind durch Nahrungsketten miteinander verbunden. Diese sind zu einem Nahrungsnetz verknüpft. Das Nahrungsnetz bildet die "Bahnen" auf denen die Stoffe eines Ökosystems wie Kohlenstoff und Mineralstoffe "fließen".

- Aufgabe:** a) Zeichnen Sie die Nahrungsbeziehungen mit Pfeilen ein.  
 b) Wie stellt sich ein Nahrungsgleichgewicht ein?  
 c) Teilen Sie die Lebewesen in Produzenten, Konsumenten und Destruenten ein (z.B. durch farbiges Markieren)



### Wasserverschmutzung

Im Quellbereich und Oberlauf eines Flusses ist das Wasser meist klar und hat einen hohen Sauerstoffgehalt. Die Konzentration organischer Stoffe ist gering. Auf dem Grund oder an Steinen finden sich Lebewesen wie Larven von Steinfliegen und bestimmte Strudelwürmer, die auf sauberes Wasser angewiesen sind. Gerät aber an einer Stelle unzureichend gereinigtes Abwasser in den Fluss, das größere Mengen an organischen Stoffen mit sich führt, ändern sich flussabwärts die abiotischen Faktoren des Lebensraums und die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft drastisch. Die organischen Substanzen dienen Bakterien, die sich nun stark vermehren können, als Nahrungsgrundlage. Durch die bakterielle Zersetzungstätigkeit werden Ammonium-, Nitrat- und Phosphationen freigesetzt. Mitgeführte Schwebstoffe trüben das Wasser, und die Fotosynthese der grünen Pflanzen wird behindert. Ein Teil von ihnen stirbt ab und erhöht zusätzlich die Menge zersetzbarer Substanzen. Durch die Zersetzungstätigkeit der Bakterien sinkt die Sauerstoff-Konzentration des Flusses stark: Es stellen sich anaerobe Bedingungen ein. Die Zersetzungsprozesse übernehmen nun Bakterien und Pilze, die ohne Sauerstoffverbrauch auskommen. Unter diesen Bedingungen können keine Fische mehr existieren. Nur wenige Tierarten überleben hier.

Weiter flussabwärts nimmt die Konzentration der Schmutzstoffe durch die bakterielle Aktivität ab und es gelangt mehr Licht in das Wasser. Algen und andere Wasserpflanzen können wieder Fotosynthese betreiben. Durch freigesetzte Mineralstoffe wird ihr Wachstum zusätzlich gefördert. Mit fortschreitendem Abbau der organischen Stoffe die Dichte der Bakterienpopulationen und die Sauerzehrung ab, und die Sauerstoff-Konzentration steigt: Es stellen sich wieder aerobe Bedingungen ein. In diesem Bereich kommen Tiere wie Rollegel und Wasserassel vor. Auch Fische finden sich wieder ein. Noch weiter flussabwärts ist der Abbau organischer Substanzen stärker fortgeschritten, und ein großer Teil der Mineralstoffe wurde von Wasserpflanzen aufgenommen. Die Sauerstoffkonzentration befindet sich jetzt fast wieder auf dem ursprünglichen Niveau. Arten mit höheren Ansprüchen an die Sauberkeit des Wassers wie Flussflohkrebs und Wandermuschel kommen hier vor.

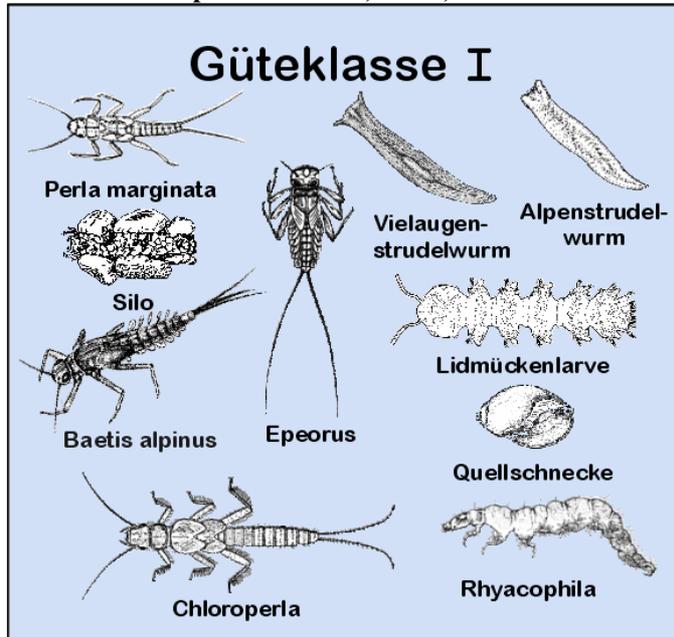
Diese stetige Abnahme des Verschmutzungsgrades zeugt von der Selbstreinigungskraft von Gewässern, die fast ausschließlich auf der Aktivität der Bakterien beruht. Selbstreinigung ist aber nur möglich, solange die Verschmutzung ein bestimmtes Ausmaß nicht übersteigt. Ist die Verschmutzung extrem stark, verbrauchen die Zersetzer nahezu den gesamten Sauerstoff und die übrigen Lebewesen können nicht mehr atmen und sterben ab. Wenn dieser Zustand erreicht ist spricht man von einem **Umkippen des Gewässers**.

Zur Beurteilung des Verschmutzungsgrades eines Gewässers wird der **Biologische Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>)** gemessen: Im Labor wird die Sauerstoffmenge ermittelt, die von Bakterien und Pilzen zum Abbau organischer Substanz in den ersten fünf Tagen nach der Entnahme einer Wasserprobe verbraucht wird. Je höher der Verbrauch ist, desto mehr organische Substanz ist im Wasser enthalten.

Durch die chemischen Analysen lässt sich der aktuelle Zustand der **Gewässergüte** charakterisieren. So kann man Veränderungen aufgrund akuter Verschmutzung erkennen. Will man jedoch Aussagen über die Gewässergüte für einen längeren Zeitraum treffen, zieht man dazu Lebewesen heran, die nur unter bestimmten chemischen Bedingungen im Gewässer vorkommen. Diese Lebewesen kennzeichnen die Gewässergüte: Sie sind **Indikatorlebewesen**. Aus einer Vielzahl von Untersuchungen kennt man die Zusammenhänge zwischen chemischer Wasserqualität und dem Vorkommen der Indikatorlebewesen sehr gut. Die Wasserqualität von Gewässern wird in vier Stufen eingeteilt: I = sehr sauber bis IV = extrem belastet. Den Indikatorlebewesen wird jeweils ein Wert zugeordnet, der sich aus ihrem mittleren Vorkommen ergibt. Besonders aussagekräftig ist das Vorkommen von **Saprobien**, das sind Lebewesen, die durch physiologische Anpassung unter Fäulnisbedingungen leben können (gr. sapos, verfault). Der den Indikatorlebewesen zugeordnete Wert wird daher als **Saprobienindex** bezeichnet. Will man die Wassergüteklasse eines Gewässerabschnitts ermitteln, erfasst man möglichst alle in ihm vorkommenden Indikatorlebewesen und berechnet aus ihren Saprobienindizes und ihrer Häufigkeit einen durchschnittlichen Saprobienindex. Den Wassergüteklassen entsprechen bestimmte Bereiche der Saprobienindizes. Den Mineralstoffgehalt eines Gewässers kennzeichnet man mit seiner **Trophiestufe** (gr. trophe, Nahrung). Ein eutrophes Gewässer enthält relativ große Mengen an Mineralstoffen, ein oligotrophes nur geringe. In eutrophen Gewässern kann sich bei weiterer Zufuhr von Mineralstoffen eine Massenentwicklung von Algen, eine Algenblüte, einstellen. Wassergüteklassen und Trophiestufen entsprechen sich teilweise, bezeichnen aber unterschiedliche Gewässereigenschaften. Nicht alle eingeleiteten Stoffe können biologisch gut umgesetzt oder abgebaut werden. Gelangen durch unsachgemäße Handhabung oder durch Unfälle größere Mengen giftiger Chemikalien in Gewässer, kann es zu einem Fischsterben kommen.

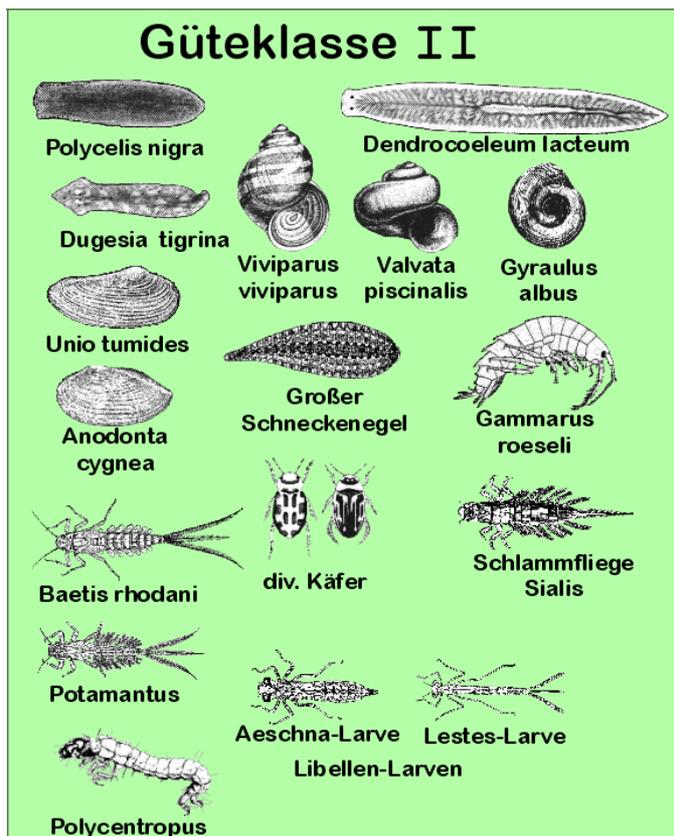
**Güteklasse I – unbelastet bis sehr gering belastet**

Gewässerabschnitte mit reinem, stets annähernd sauerstoffgesättigtem und nährstoffarmem Wasser; geringer Bakteriengehalt; mäßig dichte Besiedelung, vorwiegend von Algen, Moosen, Strudelwürmern, Insektenlarven (Lidmückenlarven, abgeflachte Eintagsfliegenlarven, Steinfliegenlarven, Köcherfliegenlarven); Laichgewässer für Edelfische **Saprobienindex 1,0 - < 1,5**



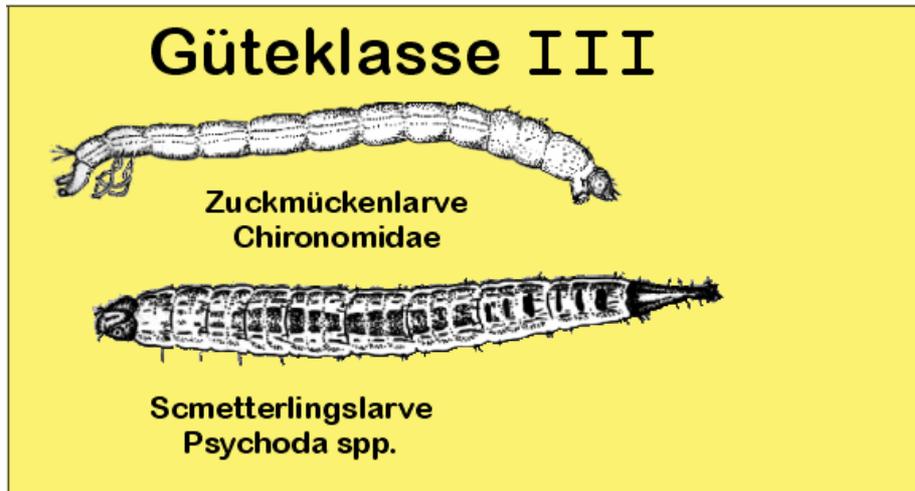
**Güteklasse II: mäßig belastet**

Gewässerabschnitt mit mäßiger Verunreinigung und guter Sauerstoffversorgung; große Artenvielfalt und Individuendichte; Wasserpflanzenbestände bedecken größere Flächen; typische Vertreter sind Bachflohkrebse, Eintags-, Kriech- und Köcherfliegenlarven, Schnecken; bevorzugte Fischgewässer **Saprobienindex 1,8 - < 2,3**



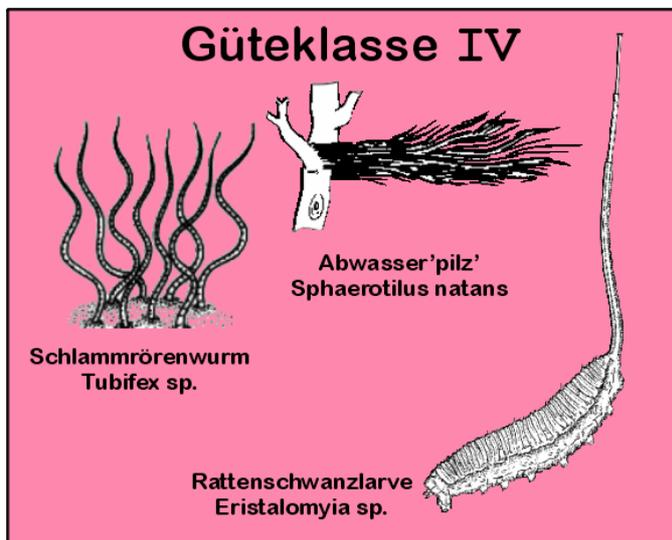
**Güteklasse III: stark verschmutzt**

Gewässerabschnitte mit starker organischer Verschmutzung; der meist niedrige Sauerstoffgehalt reicht oft für höhere Wasserlebewesen wie Fische nicht aus; örtlich Faulschlammablagerungen; massenhaftes Auftreten von Abwasserbakterien und Wimperntiere, Egel, Kugelmuscheln und Wasserasseln **Saprobienindex 2,7 - < 3,2**



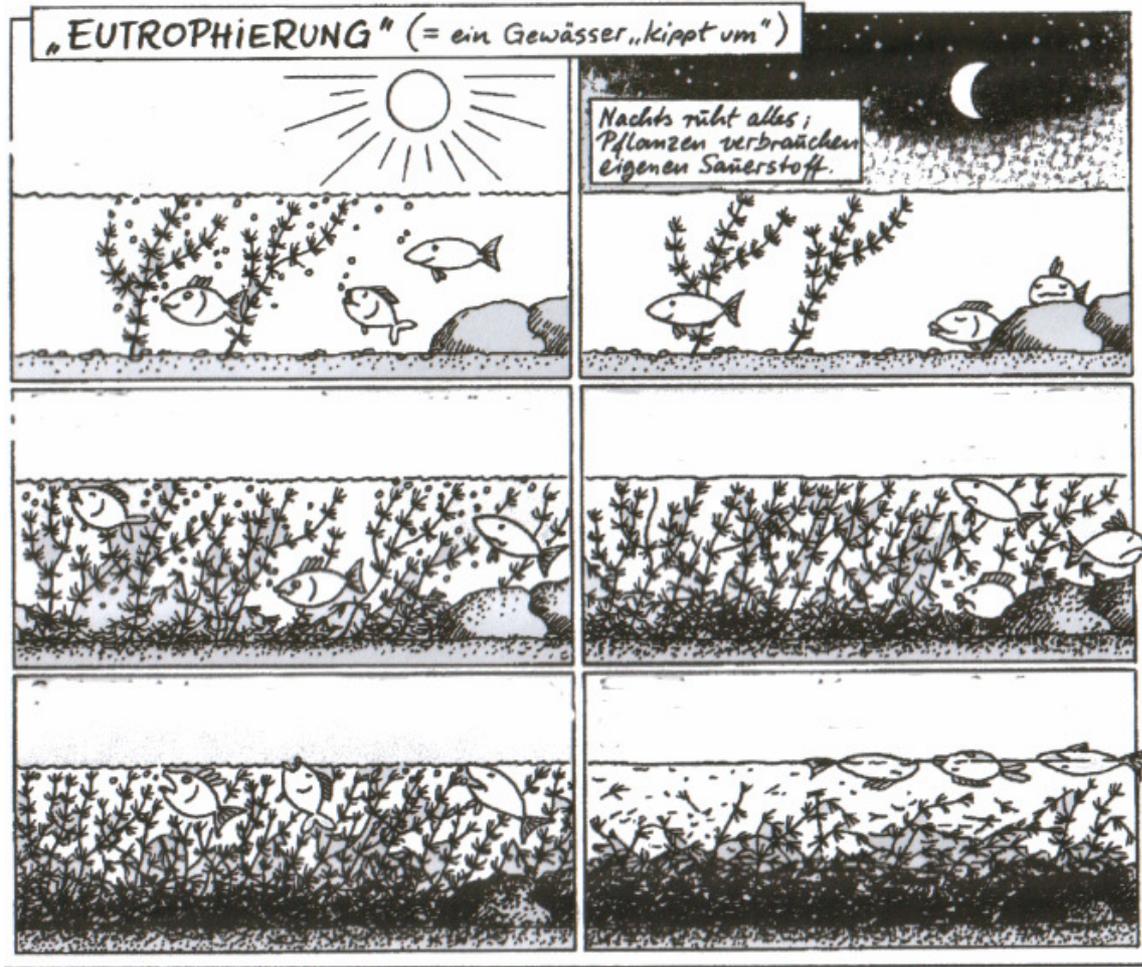
**Güteklasse IV: übermäßig verschmutzt**

Gewässerabschnitte mit einer übermäßigen Verschmutzung durch organische, sauerstoffzehrende Abwässer; Bakterien (z.B. Abwasser"pilz" *Sphaerotilus natans*), Geißel- und Wimperntiere leben auf ausgedehnten Faulschlammablägerungen; Sauerstoff fehlt oft gänzlich, kaum höheres Leben; Ausnahme z.B. Rattenschwanzlarve (Larve der Mistbiene *Eristalis*), holt sich über ein Atemrohr Sauerstoff aus der Luft **Saprobienindex 3,5 – 4,0**



## Arbeitsblatt zum Thema Eutrophierung

Aufgabe 1: Kommentieren Sie den Vorgang der Eutrophierung im unteren Comic.



**Aufgabe 2:** Nennen Sie Faktoren die zur Entstehung der Eutrophierung führen:



**Aufgabe 3:** Nennen Sie Maßnahmen die Eutrophierung verhindern:



### Trinkwasseraufbereitung / Leitungsnetz

An Trinkwasser werden die höchsten Anforderungen unter gesundheitlichen Aspekten gestellt. Es darf nach dem **SeuchRNeuG** auch bei **lebenslangen Genuss oder Gebrauch zu keinerlei gesundheitlicher Schädigung führen**. Die Grenzwerte der **Trinkwasserverordnung (TrinkwVO)** sind deshalb so festgelegt, dass auch zur Vermeidung chronischer Effekte aufgrund der lebenslangen Aufnahme auch bei kurzzeitiger Überschreitung der Werte keine Gesundheitsgefährdung besteht.

Das Rohwasser unbelasteter, oligotropher Seen und Talsperren kann zwar bereits Trinkwasserqualität aufweisen, für den Transport in weitverzweigten Fernleitungsnetzen mit langen Fließ- und Aufenthaltszeiten müssen jedoch einige grundlegende Aufbereitungsschritte erfolgen. Die wichtigsten sind:

- Entnahme von Biomasse durch Flockung und Filtration
- Einstellung chemischer Gleichgewichte (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht)
- Desinfektion

In der Aufbereitung von Oberflächenwasser kommt der Entnahme von Biomasse neben der Entnahme mineralischer Trübstoffe eine große Bedeutung zu. Dabei richtet sich der technologische Aufwand nicht nur nach der Menge der Biomasse, sondern sehr stark nach deren Zusammensetzung. Große Zooplankter können bereits durch Mikrosiebe eliminiert werden, während das wesentlich kleinere Phytoplankton (5 - 50 µm) in der Regel nur nach vorheriger Flockung (Eisenchlorid, Aluminiumsulfat, Flockungshilfsmittel) filtriert werden kann, da es sonst aufgrund der geringen Zellgröße die Filter ungehindert passiert. Durch die Flockung mit Metallsalzen werden die kleinen Partikel in die größeren Flockenkomplexe eingebunden. Neben der Eliminierung von Partikeln können durch die Flockung auch gelöste Verbindungen (CO<sub>2</sub>, Phosphat, Eisen) abgetrennt werden. Für die wirkungsvolle Algenentnahme ist nicht nur die Zellgröße, sondern auch die Form der Zellen von Bedeutung. Kleine kugelige Algenzellen (chlorococcale Formen) sind schlechter eliminierbar als sperrige Kieselalgen. Fädige Formen (Cyanobakterien oder Kieselalgen) können die Filter schnell verstopfen.

Einige Algen (*Uroglena* spp., *Synura* spp.) sind dafür bekannt, daß sie vor allem unter Stress in der Wasseraufbereitung intensive Geruchs- und Geschmacksstoffe (fischig usw.) bilden, die einen zusätzlichen Einsatz von Aktivkohle erfordern. Besonders problematisch ist das Auftreten von Cyanobakterien ("Blualgen"), da diese neben Allergenen auch Cyto- und Neurotoxine ausscheiden.

Viele einzellige Algen (Cyanobakterien, Chrysophyceen, Cryptophyceen, Chlorophyceen) und natürlich die Zooplankter sind eigenbeweglich. Sie können sich aus dem Al- bzw. Eisenflocken befreien und auch auf diese Weise in das Reinwasser und somit ins Leitungsnetz gelangen. Dann ist der Einsatz zusätzlicher Oxidationsmittel zur Hemmung der Beweglichkeit (z. B. Kaliumpermanganat) bereits vor der Filtration erforderlich.

Geringste Biomassenanteile, die in das Reinwasser bzw. ins Leitungsnetz gelangen, sind zwar in der Regel nicht unmittelbar gesundheitlich bedenklich, sie stellen aber

einen Nährboden für die Wiederverkeimung des Rohrnetzes dar. In weitverzweigten Leitungsnetzen, in denen der Eintrag gelöster oder partikulärer organischer Substanzen nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, muß ein Desinfektionsschutz bis zum Endverbraucher gewährleistet sein. Dies erfolgt in vielen Fällen durch den Einsatz von Oxidationsmitteln wie Chlor oder Chlordioxid, welche die Zellmembranen der Bakterien oxidieren. Einige Versorger in Deutschland kommen bereits mit einer alleinigen UV-Desinfektion am Wasserwerksausgang aus.

### **Krankheitserreger**

Trinkwasserbedingte Erkrankungen gaben gegen Ende des 19. Jahrhunderts den Anstoß, erste Normen über die Beschaffenheit und Aufbereitung von Trinkwasser zu erstellen (z. B. Hamburger Cholera-Epidemie 1892, bei der 17.000 Menschen erkrankten). Trinkwasserbedingte Epidemien gehören in Deutschland weitestgehend der Vergangenheit an.

Die wichtigsten Krankheitserreger gehören zu den großen Gruppen der Viren, der Bakterien und der parasitisch lebenden Protozoen. Sie können auf unterschiedlichen Wegen in die Oberflächengewässer gelangen. Hauptquellen sind kommunale und landwirtschaftliche Abwässer (erkrankte Viehbestände). Neben dem direkten Eintrag von Erregern stellen schlecht gepflegte Rohrnetze und Hochbehälter Wiederverkeimungspotentiale dar. Die Aufnahme der Erreger erfolgt in der Regel oral oder durch Einatmen von Aerosolen ([Legionella pneumophila](#)).

Die folgende Tabelle stellt die bekanntesten und stark virulente Erreger dar. Darüber hinaus existiert eine Vielzahl von bekannten Erregern, die jedoch in mehr oder weniger pathogenen Stämmen auftreten können ([Salmonellen](#)). Schwache Krankheitsverläufe, wie unspezifische Durchfälle, können trinkwasserbedingt sein. Sie werden jedoch nur selten ärztlich behandelt bzw. statistisch erfasst.

<b>Bakterien</b>	
Pathogene <i>E. coli</i>	Enteritis (Darmentzündung)
<i>Salmonella div. spec.</i> (u. a. Typhus)	Gastro-Enteritis (Magen-Darm-entzündung)
Shigella	Ruhr
<i>Vibrio cholerae</i>	Cholera
<i>Legionella pneumophila</i>	schwere Lungenentzündung
<b>Viren</b>	
Enteroviren (Coxsacki, Polio)	Hepatitis-A
Rotaviren	Gastro-Enteritis bei Säuglingen
<b>Protozoen</b>	
<a href="#">Cryptosporidium parvum</a>	
<a href="#">Giardia intestinalis</a>	Gastro-Enteritis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Gastro-Enteritis

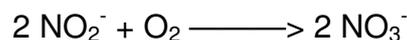
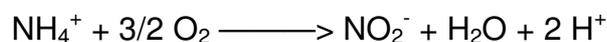
## Stickstoffverbindungen als Schadstoffe im Trinkwasser

Für die Wasserchemie wichtige anorganische Verbindungen des Stickstoffs sind Nitrat-, Nitrit- und Ammonium-Ionen. Sie werden vor allem beim Abbau von Biomasse durch Bakterien gebildet. Hier ist aber auch die Überdüngung von Feldern zu nennen ("Viel hilft viel!"). Hinzu kommt, dass Ammonium und Nitrit giftig sind. Vor allem das Nitrit kann sogar Veränderungen im Erbgut (Mutationen) auslösen. Außerdem wird bei ihrer Oxidation durch Bakterien viel Sauerstoff verbraucht, so dass die Sauerstoffbilanz der Gewässer weiter negativ beeinflusst wird. Das Nitrat aus Trinkwasser oder überdüngtem Obst und Gemüse wird im Körper in Nitrit umgewandelt, wirkt also als indirektes Gift. Erhitzt man Speisen mit Nitrat oder Nitrit, bilden sich krebserregende Stoffe, die Nitrosamine.

Es gibt also genug Gründe, die Stickstoffverbindungen aus dem Wasser zu entfernen. Hierzu benötigt man in der Kläranlage zwei Stufen, eine aerobe und eine anaerobe. Die erste Stufe ist eine Nitrifikation, also Umwandlung zu Nitrat. Die zweite Stufe ist eine Denitrifikation des so gebildeten Nitrats zu elementarem Stickstoff.

### Nitrifikation zur Bildung von Nitrat

Zunächst wird das Abwasser in einem besonderen Becken 8-10 Stunden belassen, wobei es gut mit Sauerstoff versorgt wird. In dieser Zeit bauen die Bakterien organisches Material ab, wobei sie Ammonium freisetzen. Gleichzeitig oxidieren die Bakterien Ammonium und Nitrit zu Nitrat. Auch dieser Schritt geht in zwei Stufen vor sich:



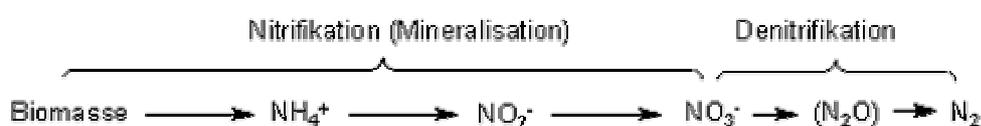
Der erste Schritt ist besonders sauerstoffzehrend. Für die Bakterien muss dazu ausreichend organisches Material vorhanden sein. Meistens reicht die organische Schmutzfracht des Klärwassers aus. Sonst gibt man Essigsäure oder Methanol zu. Dies ist der Fall, wenn man das Verfahren auf Grundwasser mit dem Ziel der Trinkwasserbereitung anwenden will.

### Denitrifikation (Abbau von Nitrat)

Nach erfolgter Nitrifikation ist das Wasser nitrathaltig. Erlaubt sind für Trinkwasserzwecke nur 50 mg/l.



### Zusammenfassung:



### Luftverschmutzung

In den Industriegesellschaften werden zum Heizen, zur Stromerzeugung für Industrie, Gewerbe und Haushalte sowie zum Transport von Menschen und Gütern überwiegend Kohle, Erdöl und Erdgas verbrannt. Beim Verbrennen dieser kohlenstoffreichen Energieträger entsteht Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ), das einen großen Teil der hierbei produzierten Abgase bildet und in die Atmosphäre abgegeben wird. Die Abgabe von Stoffen in die Atmosphäre durch Menschen, mit Ausnahme ihrer Stoffwechselprodukte, bezeichnet man als **Emission**.

Doch nicht nur Kohlenstoffdioxid gelangt durch Verbrennungsprozesse in die Luft. Bei unvollständiger Verbrennung, zum Beispiel in Automotoren, entsteht hochgiftiges Kohlenstoffmonooxid (CO). Schwefel und Stickstoff, die in den Brennstoffen enthalten sind, werden bei Verbrennung in Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und in Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) umgewandelt. Sie sind auch Bestandteile des **Smog** (zusammengesetzt aus engl. smoke, Rauch und engl. fog, Nebel), der sich in Ballungsräumen vor allem bei ungünstigen Wetterlagen im Winterhalbjahr aus Rauch, Nebel und Abgasen bilden kann. Besonders bei Kindern und alten Menschen kann er zu Atemwegerkrankungen führen.

In der Luft reagieren Schwefeldioxid und Stickstoffoxide mit Sauerstoff und Wasser und lassen Schwefel- und Salpetersäure entstehen, die mit Niederschlägen wieder auf die Erde fallen. Durch diesen **sauren Regen** wird die Vegetation geschädigt. Der pH-Wert von Böden und Gewässern wird abgesenkt, was Schäden an den Lebewesen hervorrufen kann. Die Verwitterung von Gebäuden wird stark beschleunigt. Wegen ihrer nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt bezeichnet man die genannten Stoffe als Luftschadstoffe und ihre Abgabe an die Atmosphäre als Luftverschmutzung.

Durch gesetzliche Bestimmungen wurden Massnahmen getroffen, die in den letzten 15 Jahren zu einem deutlichen Rückgang der Emissionen und damit der Luftverschmutzung geführt haben: Es werden verstärkt Kohle und Öl mit geringen Schwefelgehalten verwendet, durch Filter in Kraftwerken wird Schwefeldioxid aus den Abgasen entfernt, Katalysatoren in Autos wandeln Stickstoffoxide in molekularen Stickstoff sowie Kohlenstoffmonooxid in Kohlenstoffdioxid um. Durch Energiesparmassnahmen wird der auf die Bevölkerung bezogene Energieverbrauch verringert. Doch durch die Zunahme des Verkehrs und den Zwang zu fortgesetztem wirtschaftlichen Wachstum wird der Erfolg Maßnahmen teilweise wieder aufgehoben.

In den vergangenen 20 Jahren ist verstärkt ein weiteres Problem aufgetreten: In sonnenreichen Perioden reagiert Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) aus Abgasen in den bodennahen Bereichen unter Einwirkung des ultravioletten Anteils der Sonneneinstrahlung mit Sauerstoff zu Ozon. In Konzentrationen oberhalb von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  führt Ozon zu Reizungen der Schleimhäute und oberhalb von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zu Atembeschwerden und herabgesetzter körperlicher Leistungsfähigkeit. Derartig hohe Konzentrationen werden gemessen und als Warnmeldung an die Bevölkerung weitergegeben. **Infos : [www.wetteronline.de](http://www.wetteronline.de)**

## Wie das Ozonloch entsteht

In jedem Frühling gibt es Zeitungsmeldungen über das Ozonloch am Nordpol und im Herbst über das am Südpol.

Merkwürdig ist, dass die Zerstörung des Ozons in der Polarnacht und vor allem hauptsächlich zu Beginn des jeweiligen Polarfrühlings stattfindet. Die Chloratome, die bekanntlich das Ozon abbauen, können sich doch nur unter Sonnenbestrahlung aus den [FCKW](#) bilden! Warum reißt das Ozonloch nicht in der vollen Strahlung der Sommersonne auf? Wie kann man das erklären?

Außerdem soll der Ozonabbau etwas mit Abkühlung der Stratosphäre und dortiger Wolkenbildung zu tun haben.

## Schlechte Aussichten

*Ozonschicht erholt sich nicht wie erwartet*

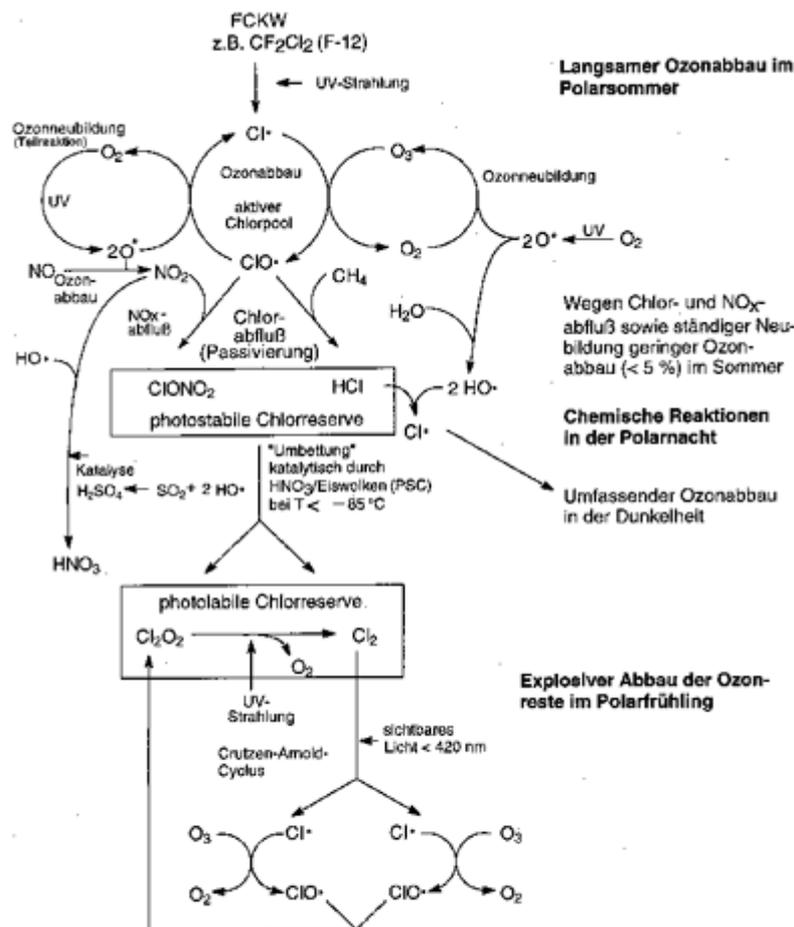
■ Pasadena (AP). Die Ozonschicht über dem Nordpol erholt sich nach Erkenntnissen von Forschern der US-Raumfahrtbehörde NASA nicht so wie erwartet von ihren Schäden. In der Stratosphäre bildeten sich weitere Wolken, die zu einem stärkeren Verlust an Ozon führten, erklärten die Forscher in einem Beitrag für das Wissenschaftsmagazin „Science“. Die Ozonschichten über dem Süd- und dem Nordpol werden von den Forschern genau beobachtet, weil diese Schichten das Leben auf der Erde vor gefährlicher Strahlung aus dem Weltraum schützen.

27.05.00

### 1) Sommerreaktionen

Ozon schützt die Lebewesen auf der Erde vor zu starker UV-Strahlung von der Sonne.

Gehen wir einmal von der Mischung aus, die im Sommer einen großen Teil der UV-Strahlung absorbiert (Bild 16): Sauerstoffmoleküle werden durch UV-Strahlung in Atome gespalten. Ozon bildet sich ständig in exothermer (wärmefreier) Reaktion aus Sauerstoffmolekülen und freien Sauerstoffatomen. Bei Bestrahlung zerfällt Ozon wieder in diese Bausteine, bildet sich daraus wieder neu (usw.). Auf diese Weise wird in der Stratosphäre die UV-Strahlung langsam in Wärme umgewandelt. Daher steigt die Temperatur in der Stratosphäre wieder an. Soll ein Stoff den Ozongürtel schädigen, muss er zunächst einmal das Ozonmolekül durch Übernahme des dritten labilen O-Atoms spalten. Außerdem muss die Rückbildung des Ozons durch Abfangen der freien Sauerstoffatome verhindert werden. Das ist bereits das Schema, wie Chloratome zum Ozonloch beitragen. Die Chloratome bilden bei Reaktion mit Ozon Chloroxomoleküle, die die Neubildung von Ozon durch Abfangen von freien Sauerstoffatomen unterbinden. Wirksam sind übrigens auch die aus der Troposphäre stammenden Stickoxide ("NO<sub>x</sub>"). Das Stickstoffmonoxid NO wirkt dabei wie Chlormonoxid ClO, indem es die Neubildung von Ozon durch Abfangen von freien O-Atomen verhindert.



- 1) Ein Chlor-Radikal zerstört durchschnittlich  $10^5$  Ozonmoleküle.
- 2) Der Ozonabbau schreitet quadratisch mit der Chlormenge voran.

Bild 15: Reaktionen zur Bildung des Ozonlochs (vereinfacht)

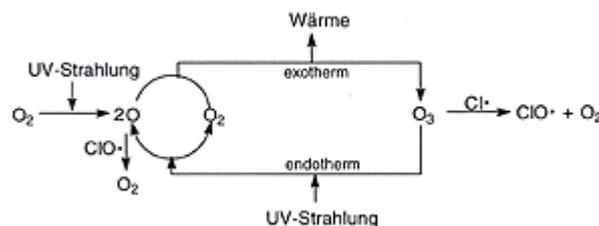


Bild 16: Sommerreaktionen des Ozons in der Stratosphäre

Gegen die Ozonerstörung wirkt jedoch die UV-Strahlung der Sonne, durch die Ozon ständig neu gebildet und die Ozonschicht ständig "repariert" wird.

(Auch Stickoxide können wie es auch in Bodennähe der Fall ist, unter bestimmten Bedingungen die Ozonschicht aufbauen helfen: Stickstoffdioxid überträgt dann ein Sauerstoffatom auf ein Sauerstoffmolekül.)

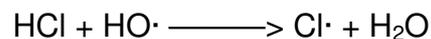
Es gibt also mehrere Möglichkeiten zum Aufbau und zum Abbau von Ozon. Letztere werden aber nicht voll genutzt. Der Hauptgrund für den geringen Ozonabbau im Sommer ist nämlich, daß die aktiven Chloratome, Chloroxomoleküle und Stickoxide durch andere Reaktionen unter Bildung von Verbindungen wie Chlorwasserstoff HCl, Chlornitrat  $\text{ClONO}_2$  und Salpetersäure  $\text{HNO}_3$  inaktiviert werden. (Daran sind noch Methan  $\text{CH}_4$ , Wasserdampf und Schwefelsäure  $\text{H}_2\text{SO}_4$  beteiligt.)

Diese Verbindungen sind gegen UV-Strahlung stabil, setzen also keine Chloratome oder Stickoxide frei und bauen Ozon deshalb nicht mehr ab. Sie sammeln sich den ganzen Sommer über in den 15-16 km hoch gelegenen polaren Stratosphärenwolken ("PSC"), die vor allem aus Salpetersäure- und Schwefelsäure-Eis bestehen. (Diese kann man in Skandinavien bei Sonnenuntergang sehr gut sehen. Wegen ihres Schimmers nennt man sie Perlmutterwolken.

Die gesamte sommerliche Ausdünnungsrate beträgt deshalb "nur" etwa 5 % und hängt von der regionalen Konzentration an FCKW sowie Stickoxiden ab.

### 2) Winterreaktionen

Wenn nun die lange Polarnacht hereinbricht, geht der Ozonabbau durch Chlor-Atome in der Dunkelheit ohne Ozon-Neubildung weiter. Dabei werden durch HO-Radikale an den Oberflächen der PSC ständig Chloratome aus ansonsten passiven HCl-Molekülen nachgebildet:



(Die HO-Radikale stammen aus der Reaktion von Wassermolekülen mit Ozonmolekülen oder Sauerstoffatomen.)

Somit verfügen die PSC auch in der Dunkelheit über ein besonders hohes Ozonabbau-Potential. Diese winterliche Ozonausdünnung stört weniger, da davon wegen fehlender UV-Strahlung für Lebewesen keine Bedrohung ausgeht.

### 3) Reaktionen im Frühjahr

Der Rest des Ozons wird zu Frühlingsbeginn durch folgende Mechanismen zerstört, die zugleich auch seine Neubildung über eine lange Zeit hinweg verhindern:

In der Polarnacht kühlt die Stratosphäre stark aus. Bei Temperaturen unter  $-85\text{ }^\circ\text{C}$  setzen in den PSC merkwürdige chemische Prozesse ein, durch die die strahlungsstabile und daher gegenüber Ozon passive Chlorverbindungen in strahlungslabile und daher ozonabbauaktive Verbindungen wie Chlor  $\text{Cl}_2$ , unterchlorige Säure HClO und vor allem Dichlordioxid  $\text{Cl}_2\text{O}_2$  (besser: ClO-OCI) umgebildet werden. Diese Reaktionen laufen bevorzugt an den Kristalloberflächen der gefrorenen Salpetersäure ab; letztere wirken also als Katalysatoren.

Wenn der Polarfrühling einsetzt, wird durch die ersten Strahlen der über den Horizont auftauchenden Sonne diese Chlorreserve mit einem Schlag zersetzt. Es bilden sich riesige Mengen an Chloratomen und Chloroxomolekülen; die Zerstörung des Ozons beginnt. Bei diesen Chlormassen ist der Reaktionsmechanismus etwas anders als im Sommer. Ein Chloratom zerstört 100.000 bis 300.000 Ozonmoleküle, bis es schließlich selbst vernichtet wird! Pro Tag werden etwa 5 % des Ozons abgebaut; nach zwei Wochen sollten bereits 50 % vernichtet sein. Da aber gleichzeitig Ozon neugebildet wird, wird dieser Wert erst nach drei Wochen erreicht. Allerdings haben die Moleküle des nachgebildeten Ozons wegen der großen Chlormenge keine besonders große Überlebenschance. Das "Ozonloch" reißt auf.

Bei Verdoppelung der Chlorkonzentration beobachtet man eine Vervierfachung des Ozonabbaus. Das Verbot von FCKW ist deshalb durchaus sinnvoll.

#### 4) Langfristige Entwicklungen

Zur Bildung des Ozonlochs sind also die Stratosphärenwolken aus Eis notwendig. Wenn das Ozon fehlt, kann es auch keine UV-Strahlung mehr in Wärme umwandeln. Dadurch kühlt die Stratosphäre noch mehr aus, es bilden sich mehr Eiswolken (usw.). Deswegen gelangt mehr UV-Strahlung zum Erdboden und wandelt sich dort in Wärme um; die untere Atmosphäre heizt sich zusätzlich auf, und der Treibhauseffekt verstärkt sich. Da aber durch ihn die Stratosphäre auskühlt, verstärken sich wieder die Höhenwolken, das Ozonloch reißt noch weiter auf. Man weiß heute, dass sich Ozonloch und Treibhauseffekt gegenseitig aufschaukeln.

Wie Ozonzerstörungspotential und Beitrag zum Treibhauseffekt zusammengehören, zeigt die folgende Tabelle.

<b>Ozonzerstörungspotential und Treibhauseffekt</b>				
<b>Verbindung</b>	<b>Lebensdauer (Jahre)</b>	<b>GWP (20 J.)</b>	<b>ODP</b>	<b>CLP</b>
CO <sub>2</sub>	120	1	-	-
F-11 (CCl <sub>3</sub> F)	60	4500	1	1
F-12 (CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )	120	7100	1	1,5
H-FCKW 22 (CHClF <sub>2</sub> )	15	4100	0,05	0,14
H-FKW 134a (CF <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> F)	16	3200	0	0

Abkürzungen:

GWP: Global Warming Potential =  
Beitrag zum Treibhauseffekt

ODP: Ozone depletion Potential =  
Ozonzerstörungspotential

CLP: Chlorine Loading Potential =  
Chlorbelastungspotential

---

**Untersuchung eines Teiches**

Standort der Probennahme:

1. Geruch:

2. Farbe:

3. Trübstoffe:

4. Wassergüte:

Gefundene Tiere	Anzahl

5.  $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$

6.  $\text{PO}_4^{3-}$

7. pH

8.  $\text{Cl}^-$

9.  $\text{NH}_4^+$

