

Verfasser:

Jan Abendroth, Beuth-Hochschule für Technik Berlin, Pharma- und Chemietechnik Bachelor.

**Thema:**

- Der Stickstoffkreislauf der Natur wird in seinen Grundlagen erklärt.
- Zur Veranschaulichung und Erklärung des „kleinen Stickstoffkreislaufs“, den man zum Beispiel in der Tropenzone vorfindet, wird eine Aquaponikanlage herangezogen, die ein eigenständiges Öko-System darstellt und aus den Organismen „Mensch, Fisch, Bakterien und Pflanzen“ besteht.

**Einführung:**

**Betrachtet man den globalen Kreislauf, so findet man folgende Quellen von Stickstoffverbindungen auf der Erde:**

- Nitrat ( $XNO_3, s$ ), das im *Boden* eingelagert ist.
- Nitrat ( $XNO_3, aq$ ), das in Gewässern und Grundwasser gelöst ist.
- Stickstoff ( $N_2, g$ ), der in der Athmosphäre gespeichert ist.
- Ammonium ( $XNH_4, aq$ ), das in Gewässern und Lebewesen (Amino-Gruppe) gespeichert ist.
- Nitrat ( $XNO_3, l$ ), das bei Vulkaneruptionen in die Athmosphäre geschleudert wird.
- Nitrat ( $XNO_3, s$ ), das im Lichtbogen von Blitzen aus athmosphärischem Stick- und Sauerstoff entsteht. Abregnen von Stickoxiden aus der Athmosphäre.

$X = \text{Gegenion}, \quad l, s, g, aq = \text{Aggregatzustand}$

**Stickstoff als Abfall:**

Die intensive Landwirtschaft trägt viele Nitrat- und Ammonium-Verbindungen aus Tierabfällen in Gewässer ein. In Europa sind die Tierbestände in fleischerzeugenden Betrieben durch die Ackerflächen begrenzt, die zur Verfügung stehen um die tierischen Abfälle zu entsorgen.

Ein Großteil der Nährstoffe wird aus den einseitig bewirtschafteten Feldern ausgespült und gelangt dann in die örtlichen Gewässer, wo sie entscheidend zur **Eutrophierung** beitragen, die bis zum „Umschlagen“ eines Gewässers führen können wenn der Nährstoffeintrag ausreichend hoch ist. Es findet außerdem ein sehr hoher Stickstoffeintrag in die Natur aus Kläranlagen statt, die Prozess-bedingt immer Rest-Nitrate im gereinigten Abwasser haben.

Als „umgeschlagenes Gewässer“ bezeichnet man in der Regel ein Gewässer, das unbrauchbar für höherwertiges Leben und den Menschen ist. Ebenfalls ist anzuführen, dass durch den vielseitigen Einsatz von Antibiotika in der Fleischerzeugung eine Beeinflussungen der heimischen Bakterienkulturen in den Gewässern zu erwarten ist. In Schwellenländern, wie in Indien, werden Abwässer der pharmazeutischen und chemischen Industrie oft ungeklärt in öffentliche Gewässer geleitet, wo sie nachhaltig sämtlichen Teilnehmer im Ökosystem schaden und meist zum umschlagen der Gewässer beitragen.

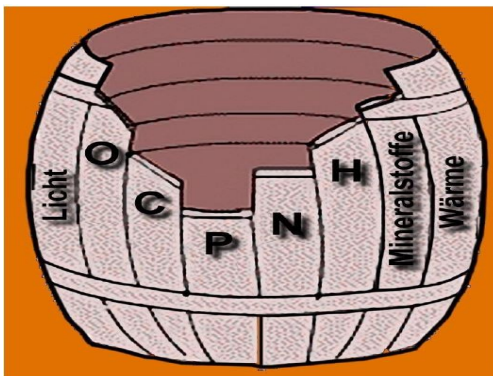


Abbildung 1: Das Fass kann höchstens so weit gefüllt werden, wie die tiefste Fassaube reicht

Phosphat ist Schlüssel-Element für das Pflanzenwachstum, und somit auch für das Algenwachstum, deswegen sind sehr hohe Grenzwerte für Phosphat im deutschen Abwassergesetz festgeschrieben. Dazu ist das **liebig'sche Minimumsgesetz** für das Pflanzenwachstum zu betrachten; Phosphat ist in Gewässern meistens der knappste Nährstoff, sodass bei Zugabe von Phosphat in das Ökosystem ein direktes Einsetzen von Algenwachstum zu beobachten ist. Phosphat ist ein endlicher Rohstoff auf der Erde und ist notwendig für die konventionelle Art der Landwirtschaft. Ist ein Gewässer mit Algen bedeckt, so dringt sehr wenig Sonnenlicht zum Gewässerboden und damit zur Pflanzenwelt durch, die normalerweise durch Photosynthese Sauerstoff erzeugen und diesen im Gewässer lösen. Durch die hohe Zellatmung und geringer Photosyntheseleistung der Algen wird dem Wasser in der Bilanz Sauerstoff entzogen; es bilden sich anaerobe Bereiche.

## Stickstoff als Nährstoff:

### Stickstoff ist ein essentieller Nährstoff für alle Lebewesen,

- Tiere nehmen Stickstoff in Form von Aminosäuren auf, die in pflanzlichen Proteinen enthalten sind,
- Pflanzen nehmen mithilfe von Sonnenenergie Nitrat- und Nitrit-Stickstoffe aus Tierabfällen auf.
- Bakterien können sowohl oxidierte als auch reduzierte Stickstoffverbindungen verstoffwechseln.

Mikroorganismen passen ihren Stoffwechsel der chemischen Umgebung an und befinden sich von Natur aus in allen intakten Böden und Gewässern (anaerob, anoxisch, aerob).

Sie müssen Ammonium bis zum Nitrat oxidieren, damit es für Pflanzen bio-verfügbar ist.

Pflanzen bauen Stickstoff und andere Nährstoffe wie Kalzium, Kohlenstoff, Eisen, Phosphor etc. in Form von Proteinen, Chlorophyll, Stärke, Nukleinsäuren etc. in ihre Biomasse ein.

### Stickstoff in Düngemitteln und in lebenden Pflanzen:

Stickstoff ist, wie Phosphor, Kalium und Magnesium, ein mobiler Primärnährstoff für Pflanzen.

Das heißt, dass diese Nährstoffe unmittelbar zur Instandhaltung der Stoffwechselaktivität der Pflanze benötigt werden und diese innerhalb der Pflanze bewegt werden können. Die Hauptpflanzennährstoffe, die Bestandteile eines jeden Volldüngers (N-P-K), werden kurz in ihren wichtigsten Funktionen in Pflanzen erläutert.

Phosphor: Energieüberträger bei allen biochemischen Reaktionen in Form von ADP/ATP.  
Kalium: Steuerung von Ionenkanälen, Depolarisation, Osmosedruck, Wasserhaushalt.  
Stickstoff: Komplexbildender Bestandteil des Chlorophyll-Moleküls (Häm-Gruppe).

### Mikroorganismen können Stickstoffverbindungen sowohl

**oxidieren** (aerob, Nitrosomonas, z.B. Nitro Bacter), als auch

**reduzieren** (anaerob, anoxisch, z.B. Pseudomonas).

*Vorgang (chemische Umgebung, Name Mikroorganismen)*

Reduktion von Stickstoff auf mikrobiologischem Weg unter Sauerstoffmangel (anaerob, anoxisch); es wird Substrat (C, s) mit Nitrat ( $XNO_3$ , aq) als Sauerstofflieferant oxidiert, dabei entsteht zunächst Kohlendioxid ( $CO_2$ , g) und Nitratsalz ( $XNO_2$ , aq).

Der Nitratstickstoff ( $XNO_3$ , aq) wird dabei über die **Lachgasreduktionsreihe** zu elementarem Stickstoff ( $N_2$ , g) reduziert, der Stickstoff wird somit aus dem aquatischen System entfernt (Denitrifizierung). Dabei entsteht als Zwischenprodukt in der Reduktionsreihe sowohl Fisch-toxisches Nitrit-Salz ( $XNO_2$ , aq) als auch toxisches Stickstoff-mono-Oxid.

Unter aeroben Bedingungen wird mikrobiologisch Ammonium ( $XNH_4$ , aq) mit gelöstem Luftsauerstoff ( $O_2$ , aq) durch Mikroorganismen, zu Nitrat ( $XNO_3$ , aq) oxidiert.

**Aerob:**  $(NH_3 \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO_3^-)$

**Anaerob/anoxisch:**  $(NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2)$

Bei anaeroben Bedingungen wird Nitrat als Sauerstofflieferant verbraucht und es entstehen unter anderem Faul- und Gärgase;  $CH_4$ ,  $SH_2$ ,  $N_2O$ ,  $CO_2$ . *Methan und Lachgas sind viel stärkere Treibhausgase als  $CO_2$ !*

Nitrit-Salz (*Salz der salpetrige Säure*) ist stark Fisch-toxisch und beeinflusst das pH-Gleichgewicht, der Dissoziationsgrad ist temperaturabhängig ( $dT \longrightarrow dpH$ ).

Nitratsalz (*Salz der Salpetersäure*) ist nicht Fisch-toxisch, es liegt vollständig dissoziiert unabhängig der Temperatur vor, und kann in relativ hohen Konzentrationen von vielen Lebewesen toleriert werden, ebenfalls ist Nitrat-Salz der Hauptbestandteil von Grünpflanzendünger, es wird unter Anderem zur Herstellung von Schwarzpulver und zum Pökeln von Fleischwaren herangezogen ( $dT \longrightarrow pH$ ).

## Beispiel Aquaponikanlage:

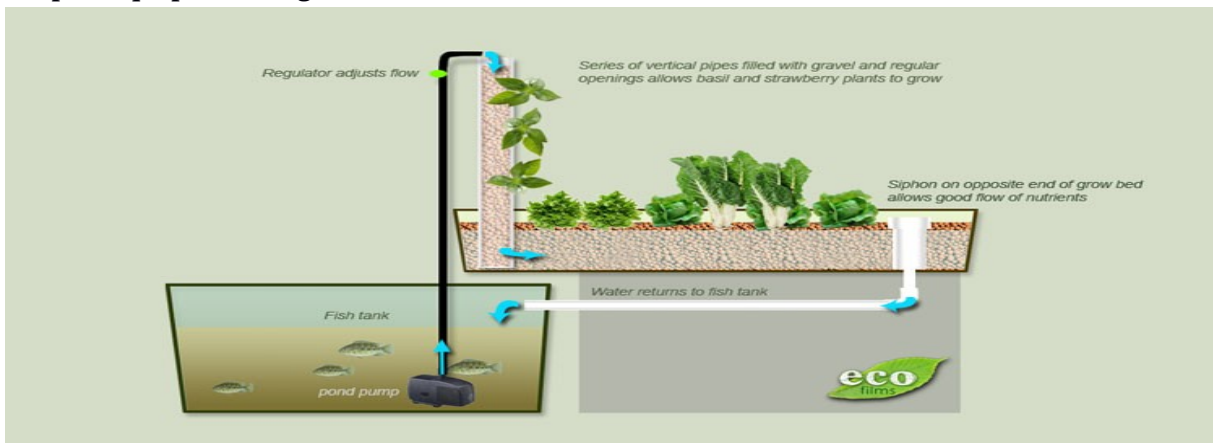


Abbildung 2) Beispiel „Basil-Tower“ von der Firma „Eco-Films“ mit Riesel- und Festbettfilter.

In einer Aquaponik-Anlage wird eine Aquakultur (Fischzucht) mit einer Art Hydrokultur (Pflanzenzucht) zu einem Kreislaufsystem (Wasser-Recyclingsystem) zusammengeschaltet. Das Abwasser der Aquakultur wird über Festbettfilter geleitet, die mit Tongranulat gefüllt sind. Auf diesen Festbettfiltern werden Pflanzen kultiviert. In den Filtern wird es mechanisch von Schwebstoffen (s) gereinigt. Anschließend geschieht eine mikrobiologische Oxidation der Stickstoffverbindungen; von Ammonium bis zum Nitrat. Auf der Oberfläche des Tongranulats siedeln sich diese Bakterien an, die die organischen Stickstoffverbindungen unter aeroben Bedingungen im Abwasser oxidieren (Nitrifizierer). Die gesamt-Oberfläche, die von Mikroorganismen besiedelt werden kann, wird als biologisch-aktive Oberfläche bezeichnet (BAO).

Die Wurzeln der Pflanzen wachsen auf dem Tongranulat, diese dringen teilweise sogar in die Poren des Ton-Granulats ein. Der Mineralton speichert eine Reihe von Spurenelementen in sich, die durch Absorptions- und Adsorptionskräfte an der Oberfläche und in den Poren des Tonminerals haften bleiben. Bei großen Feststoffmengen (industrielle Zucht) wird eine Installierung von Sedimentationsabscheidern, Sumpftanks und Sumpfbeeten empfohlen, da es eine Reihe Pflanzen gibt, die Nitrit und Ammoniak in ihrer Wurzelnähe tolerieren können und oft dazu beihelfen den Schlamm zu beleben. Der Vorgang der Nährstofffreisetzung aus organischem Material wird als Mineralisierung bezeichnet. Die Pflanzen absorbieren mineralisierten Stickstoff und entfernen ihn somit aus dem aquatischen System (Denitrifizierer). Die Adsorptionswirkung am Granulat, insbesondere von dem lebenswichtigen Pflanzennährstoff Phosphat, kann man durch Zugabe von Zeolith-, Lava- oder Silikat-Gestein beeinflussen. Die oxidierten Stickstoffverbindungen (Nitrat) werden von den Pflanzen aufgenommen und mit Kohlenstoff in Form von Chlorophyll in die Blattmasse eingebaut. Durch Abernten der stickstoffhaltigen Biomasse wird das Aquaponik-System vollständig und irreversibel denitrifiziert. Das Rückschneiden der Pflanzen bewirkt häufig einen buschigeren Wuchs – mit erheblich mehr Blattmasse – insbesondere bei Kräuterpflanzen beobachtet man dieses Wachstum, wovon viele auch als Heilkräuter bezeichnet werden und damit natürlicherweise einen sehr hohen Wert für die Menschheit darstellen. Es ist von Vorteil wenn Pflanzen 100% ökologisch und frei von Zusätzen kultiviert werden können, insbesondere wenn sie zu pharmazeutischen Grundstoffen und schließlich zu Arzneimitteln verarbeitet werden sollen, erhöht dieser Umstand die Qualität von Tee, Salben, Tinkturen, die aus Heilkräutern gewonnen werden um ein vielfaches. (Bsp. *Basilikum, Kalmus, Melisse, Baldrian, Minze*)

Ebenfalls ist erwähnenswert, dass der Wasserverbrauch einer Aquaponikanlage sehr gering ist, (ca. 10% Wasserverbrauch verglichen mit konventioneller Landwirtschaft). Wasserknappheit, und vor allem Wasserverschmutzung, sind ernste Probleme für die Menschheit; Aquaponik birgt auch hier einige Hoffnungen in die passende Richtung, sodass in Zukunft eventuell weniger Nitrat aus Abwässern in unsere Gewässer gelassen werden und die lokalen Ökosysteme sich erholen.

Ebenfalls ist es denkbar, Aquaponikanlagen als kostengünstige „Frisch-Wasser-Systeme“ in dritte-Welt-Länder zu etablieren, die die Lokalbevölkerung mit Nahrung aus Fisch- und Pflanzbestände versorgt, und gleichzeitig aufbereitetes Trink-Wasser zur Verfügung stellt.

## **Allgemeine Informationen:**

Aufstellung und Inbetriebnahme eines Aquaponiksystems:

**In einem System ist darauf zu achten,**

**dass das Volumen der Biofilter mindestens dem Volumen des Fischtanks entspricht (1:1),**

werden andere Verhältnisse gewählt ( $V_{\text{Biofilter}} \ll V_{\text{fischtank}}$ ) muss ein geringerer Fischbesatz oder eine andere Filtertechnik gewählt werden.

**dass der Fischbesatz nicht zu dicht ist.**

Es wird allgemein empfohlen einen Fischbesatz von 500 Gramm Fisch Zuchtziel pro 15 Liter Tankvolumen nicht zu überschreiten. Bei dichteren Fischbesätzen muss eine Feststoffabscheidung und ausreichend große Biofilter installiert werden. ( $V_{\text{Biofilter}} \gg V_{\text{fischtank}}$ ). Die Besatzdichte ist vom Zuchtfisch abhängig und muss daher sehr differenziert betrachtet werden.

**dass aerobe Bedingungen durch Zugabe von Druckluft in allen Systemkomponenten vorherrschen.**

**dass die Wasserwerte stabil sind, insbesondere pH- und O<sub>2</sub>-Werte.**

Aus diesem Grund ist ein Einlaufen der Fischtanks und der Biofilter nötig. Die Anlage wird ohne Fischbesatz und ohne Bepflanzung über einen Zeitraum von 4 Wochen betrieben, es werden anschließend Jungpflanzen auf die Festbettfilter gepflanzt und 1/3 des geplanten Fischbesatzes zugegeben. Der pH-Wert sollte zuvor mit einem Phosphat-Puffer auf 7,5 eingestellt werden. Nach weiteren 4 Wochen kann der volle Fischbesatz zugegeben werden, eine großzügige Bepflanzung mit Jungpflanzen sollte mindestens 10 Tage vor Zugabe des vollen Fischbesatzes geschehen.

**pH-Wert-Änderungen sind anschließend nur noch sehr langsam durchzuführen!**

**pH-Additiv nur verdünnt und innerhalb weniger Wochen dem System zuführen!**

**dass der Fisch regelmäßig gefüttert werden kann.**

Fische haben kein Sättigungsgefühl und können sehr oft in kürzesten Zeitabständen gefüttert werden; der „Appetit“ hängt sehr stark von der Wasserqualität ab, die über die Filterleistung und auch über die Nährstoffeinträge pro Zeit bestimmt wird. Die Bakterien sollten kontinuierlich mit Nährstoffen versorgt werden damit sie sich bei konstanten Bedingungen entwickeln können. Für die Filterleistung/Filteraktivität ist wiederum ist das Verhältnis ( $V_{\text{Biofilter}} : V_{\text{fischtank}}$ ), die Pumpleistung, der Anlagen- und Filteraufbau, die Temperaturführung und die Belüftung der Aquaponikanlage maßgebend.

Literaturverweise:

1) „Aquaponic Gardening by Sylvia Bernstein“, ISBN 978-0-86571-701-5

2) „Aquatische Chemie“, Laura Sigg, Werner Stumm, ISBN 978-3-8252-8463-3