

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

X = Gegenion, l, s, g, aq = 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 **Euthrophierung** beitragen, die bis zum „Umschlagen“ eines **Gewässers** führen können wenn der **Nährstoffeintrag** ausreichend hoch ist. Anschließend gelangen die **Nährstoffe** ins **Grundwasser**. Es findet außerdem ein sehr hoher **Stickstoffeintrag** in die **Natur** aus **Kläranlagen** statt, die **Prozess-bedingt** immer **Rest-Nitrat** 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 **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.

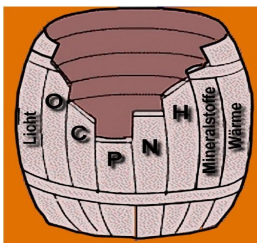


Abbildung 1: Das Fass kann höchstens so weit gefüllt werden, wie die tiefste Füllhöhe reicht

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**.

Abbildung 1) Liebig'sches Minimumgesetz

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, Nitro Bacter), **als auch**

reduzieren (anaerob, anoxisch, Pseudomonas).

Vorgang („chemische Umgebung“, „Name Mikroorganismen“)

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

Der **Nitratstickstoff** (XNO_3 , aq) wird dabei über die **Lachgasreduktionsreihe** (N_2O , g) zu **elementarem Stickstoff** (N_2 , g) **reduziert** und wird somit aus dem System entfernt (**Denitrifizierung**), dabei entsteht als **Zwischenprodukt** in der **Reduktionsreihe** **Fisch-toxisches Nitrit** (XNO_2 , aq).

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: $(NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2)$

Bei **anaeroben Bedingungen** wird **Nitrat als Sauerstofflieferant** verbraucht und es entstehen unter anderem **Faul- und Gärgase**; SH_2 , N_2O , CO_2 . *Lachgas ist ein stärkeres Treibhausgas als CO_2 !*

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

Nitrat-Salz (*Salz der Salpetersäure*) ist nicht Fisch-toxisch, es liegt **vollständig dissoziiert unabhängig der Temperatur** vor, und kann in hohen 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:

In einer **Aquaponik-Anlage** wird eine **Aquakultur** (*Fischzucht*) mit einer Art **Hydrokultur** (*Pflanzenzucht*) zu einem **Kreislaufsystem** (*Wasser-Recyclingsystem*) **verbunden**. Auf einem **Festbettfilter** werden **Pflanzen** kultiviert. Das **Abwasser** der **Aquakultur** wird über die **Festbettfilter** geleitet, die mit **Tongranulat** gefüllt sind. Dort wird es **mechanisch** von **Schwebstoffen** (s) gereinigt.

Anschließend geschieht eine **mikrobiologische Oxidation** der **Stickstoffverbindungen** unter **aeroben Bedingungen**; von **Ammonium** zu **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 **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** eingespeichert. Durch **Abernten** der **stickstoffhaltigen Biomasse** wird das **Aquaponik-System 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, 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, Hopfen, 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 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 Wasser zur Verfügung stellt.

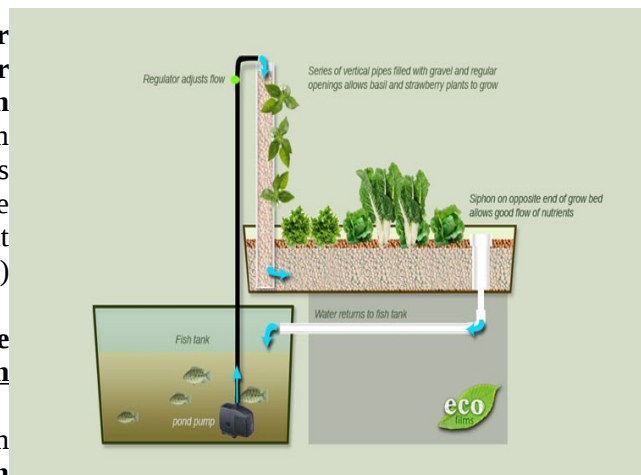


Abbildung 2) Beispiel „Basil-Tower“ von „Eco-Films“

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** 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 ($V_{\text{Biofilter}} \gg V_{\text{fischtank}}$).

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

dass die Wasserwerte stabil sind, insbesondere pH- und O₂-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