

Stoffkreisläufe: Der Stickstoffhaushalt in Fließgewässern




V





Kurzbeschreibung

In dieser Unterrichtsstunde erarbeiten die SuS den Stickstoffhaushalt von Fließgewässern anhand eines Textes. Danach erklären sich die SuS gegenseitig vorgegebene Begriffe. In der Gruppe wird ein Schaubild mit den im Text vorkommenden Begriffen ergänzt. Zur Kontrolle der Ergebnisse wird dasselbe Schaubild im Plenum auf dem Overheadprojektor vervollständigt. Mithilfe dieser Ergebnisse können die SuS den Stickstoffhaushalt eines Fließgewässers schriftlich beschreiben.

Ziele

-  Die SuS können die von ihnen gezogenen Fachtermini mithilfe des Textes erklären.
-  Die SuS können zehn Begriffe mithilfe des vorliegenden Textes in Gruppenarbeit in das Schaubild des Stickstoffhaushaltes einordnen.
-  Die SuS können den Stickstoffhaushalt in Fließgewässern mithilfe der Materialien beschreiben.

Benötigtes Vorwissen der Schülerinnen und Schüler

-  Oxidation und Reduktion
-  Anaerob, aerob, heterotroph, autotroph

Fachbegriffe dieser Stunde

-  Nitrifikation, Nitratatmung, Denitrifikation, Nitratammonifikation

Vorbereitung/Material

Material	Vorbereitung
M1	Kurzen Lehrervortrag zu M1 (max. 3-4 Min.) vorbereiten.
M2	M2 im Klassensatz kopieren und für Gruppenarbeit in drei Teile schneiden (Klassensatz = Anzahl der SuS geteilt durch drei).
M3	M3 im Klassensatz kopieren.
M4, L4	M4 im Klassensatz kopieren und einmal auf Folie ziehen. LuL hält für die Lösung L4 bereit. Overheadprojektor bereitstellen.
M5	M5 im Klassensatz kopieren.

Ausblick auf die nächste Stunde

Die Hausaufgaben zum Thema Stickstoffhaushalt in Fließgewässern aus dieser Stunde werden vorgelesen und eventuelle Verbesserungen vorgenommen. Im Anschluss wird mit der Stunde „Die Fischbesiedlung im Längsverlauf von Fließgewässern“ fortgefahren. Die SuS auffordern, Schere und Kleber mit in die nächste Stunde zu bringen.

Phasierung der Stunde (45 Minuten)

Stoffkreisläufe: Der Stickstoffhaushalt in Fließgewässern



Dauer (Min.)	Unterrichtsphase	LuL-Aktion	SuS-Reaktion	Sozialform/Methode	Medium/Material
6	Einstieg	Fragenrucksack beantworten. LuL stellt mithilfe der Informationen auf M1 Stickstoff als essentielles Element für Lebewesen, Hauptbestandteil der Luft und gleichzeitig limitierender Faktor in Ökosystemen im kurzen LV (max. 3-4 Min.) vor; LuL schreibt Problemstellung an die Tafel: „Wie können Lebewesen den Stickstoff nutzen?“ Einteilung der SuS in 3er-Gruppen, zufällige Verteilung der Aufgabenzettel (M2.1, M2.2, M2.3).	SuS erkennen Widerspruch: Viel N ₂ in Luft und gleichzeitig limitierender Faktor für Lebewesen.	LV Plenum	M1 Tafel, Kreide M2
15	Erarbeitungsphase 1	LuL gibt Aufgabenstellung: „Lesen Sie den Text (M3) gründlich durch! Bearbeiten Sie die Aufgabe 1 (M2) auf ihrem Aufgabenblatt!“ LuL gibt ggf. Hilfestellungen.	SuS ziehen in 3er-Gruppen die verschiedenen Aufgabenzettel (M2.1, M2.2, M2.3). SuS lesen den Text (M3) in EA und bearbeiten die Aufgabenstellung.	EA	M2, M3
15	Erarbeitungsphase 2	LuL fordert SuS auf, die Aufgaben 2+3 (M2) gemeinsam in den 3er-Gruppen zu bearbeiten. LuL gibt ggf. Hilfestellungen.	SuS erklären sich gegenseitig in den Kleingruppen die Fachbegriffe. SuS tragen die vorgegebenen Begriffe in AB (M4) ein. SuS markieren in M4 den Vorgang der Nitrifikation.	GA; Glückstopf	M2, M3, M4

Stoffkreisläufe: Der Stickstoffhaushalt in Fließgewässern

V



Dauer (Min.)	Unterrichtsphase	LuL-Aktion	SuS-Reaktion	Sozialform/Methode	Medium/Material
7	Sicherung	<p>LuL fordert SuS auf, ihre Ergebnisse auf einer Folie (M4) einzutragen.</p> <p>LuL geht auf Ausgangsproblem zurück: „Wie können Lebewesen den Stickstoff nutzen?“</p>	<p>SuS ergänzen und korrigieren sich ggf. gegenseitig.</p> <p>SuS beantworten die Problemstellung: Durch den Stickstoffhaushalt wird N₂ in Nitrat und Ammonium, für die Pflanzen nutzbare Nährstoffe, umgewandelt.</p> <p>SuS lösen die HA (M5) zu Hause.</p>	Plenum	OHP, Folie (M4), Folienstift
2	Hausaufgabe	<p>LuL verteilt M5 und gibt HA: Beschreiben Sie die Abbildung zum N-Gehalt eines Fließgewässers im Jahresverlauf. Erklären Sie warum sich der N-Gehalt natürlicherweise ändert.</p>	<p>HA</p>		M5

Verwendete Abkürzungen:

EA = Einzelarbeit; GA = Gruppenarbeit; ggf. = gegebenenfalls; HA = Hausaufgabe;
 LuL = Lehrerinnen und Lehrer; LV = Lehrervortrag; max. = maximal;
 Min. = Minuten; OHP = Overheadprojektor; SuS = Schülerinnen und Schüler

Stoffkreisläufe: Der Stickstoffhaushalt in Fließgewässern

M1



Zusatzinformatinen für die LuL

Stickstoff ist ein essentielles Element für Lebewesen

Ein bestimmtes chemisches Element wird dann als essentieller Nährstoff bezeichnet, wenn es für das Wachstum der Pflanze aus dem Samen bis zur Vollendung des Entwicklungszyklus mit abschließender Produktion einer neuen Samengeneration erforderlich ist. Dabei gibt es sechs Hauptbestandteile, die Pflanzen in relativ großen Mengen benötigen: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel und Phosphor (Campbell/Reece 2003).

Tiere sind als Konsumenten auf die in den Pflanzen vorkommenden Stickstoffverbindungen angewiesen. Auch für sie ist Stickstoff ein lebenswichtiges Element.

Beispiele für Verbindungen, in denen Stickstoff vorkommt:

Ammoniak, Ammoniumverbindungen, Nitride, Amine, Peptide und Proteine, Adenin, Thymin, Uracil und viele mehr

Stickstoff als Hauptbestandteil der Luft

Gas	Formel	%-Anteil
Stickstoff	N ₂	78 %
Sauerstoff	O ₂	21 %
Kohlendioxid	CO ₂	0,04%
Argon	Ar	0,93 %
Spurengase		0,03 %

Stickstoff als limitierender Faktor in Ökosystemen:

Stickstoffdünger gilt als wichtigste Düngeform in der Landwirtschaft, da Stickstoff in Ökosystemen häufig den limitierenden Faktor darstellt.

Leitfrage der Stunde:

Wie können Lebewesen den atmosphärischen Stickstoff nutzen?

Stoffkreisläufe: Der Stickstoffhaushalt in Fließgewässern

M2



M2.1

Aufgabe 1: **Erklären** Sie Ihren Gruppenmitgliedern den Begriff Nitrifikation mithilfe der Informationen des vorliegenden Textes zum Stickstoffhaushalt in Fließgewässern!

Aufgabe 2: Ordnen Sie gemeinsam in der Gruppe die folgenden Begriffe in die Abbildung auf dem Arbeitsblatt „Stickstoffhaushalt im Fließgewässer“ ein:

Stickstoff, Stickstoff, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Ammoniak, Ammoniak, Wurzelknöllchen, Denitrifikation, Nitratammonifikation

Aufgabe 3: Zeichnen Sie den Vorgang der Nitrifikation mit einem farbigen Stift in die Abbildung zum „Stickstoffhaushalt im Fließgewässer“ ein!

M2.2

Aufgabe 1: **Erklären** Sie Ihren Gruppenmitgliedern die Begriffe Nitratatmung und Denitrifikation mithilfe der Informationen des vorliegenden Textes zum Stickstoffhaushalt in Fließgewässern!

Aufgabe 2: Ordnen Sie gemeinsam in der Gruppe die folgenden Begriffe in die Abbildung auf dem Arbeitsblatt „Stickstoffhaushalt im Fließgewässer“ ein:

Stickstoff, Stickstoff, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Ammoniak, Ammoniak, Wurzelknöllchen, Denitrifikation, Nitratammonifikation

Aufgabe 3: Zeichnen Sie den Vorgang der Nitrifikation mit einem farbigen Stift in die Abbildung zum „Stickstoffhaushalt im Fließgewässer“ ein!

M2.3

Aufgabe 1: **Erklären** Sie Ihren Gruppenmitgliedern den Vorgang der Bindung von molekularem Stickstoff mithilfe der Informationen des vorliegenden Textes zum Stickstoffhaushalt in Fließgewässern!

Aufgabe 2: Ordnen Sie gemeinsam in der Gruppe die folgenden Begriffe in die Abbildung auf dem Arbeitsblatt „Stickstoffhaushalt im Fließgewässer“ ein:

Stickstoff, Stickstoff, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Ammoniak, Ammoniak, Wurzelknöllchen, Denitrifikation, Nitratammonifikation

Aufgabe 3: Zeichnen Sie den Vorgang der Nitrifikation mit einem farbigen Stift in die Abbildung zum „Stickstoffhaushalt im Fließgewässer“ ein!



Stickstoffhaushalt

Stickstoff gelangt durch den Abbau von Eiweißen¹, als Nitrat (NO_3^-) auch direkt aus der Aue, vor allem aus dem Boden und heute besonders aus der Düngung (Gülle, mineralischer Dünger) in die Gewässer. Auch aus der Luft und dem Grundwasser gelangen Nitrate in die Fließgewässer. Nitrate sind leicht wasserlöslich. Nitrate und Ammonium werden von Pflanzen direkt als Nährstoffe aufgenommen. Der Stickstoffhaushalt wird fast ausschließlich über Nitrifikation und Denitrifikation reguliert. Beim Vorgang der Nitrifikation geht das aus dem Eiweißabbau stammende Ammonium (NH_4^+) in Fließgewässern sehr schnell in Ammoniak (NH_3) über, welches meist schnell zu Nitrit (NO_2^-) oxidiert:

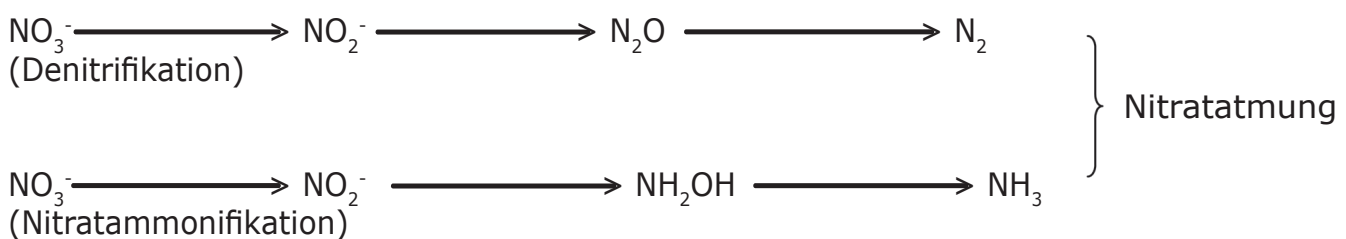


Für die Reaktion ist das Bakterium *Nitrosomonas* verantwortlich. Je nach Sauerstoffgehalt des Wassers wird das Nitrit verschieden schnell durch das Bakterium *Nitrobacter* zu Nitrat oxidiert:



Es ist von Bedeutung, dass die Ammoniak- und Nitritphase nur sehr kurz ist; verlangsamt sich die Oxidationsphase, kommt es zu einem deutlichen Rückgang der Artenmannigfaltigkeit infolge der Giftigkeit beider Verbindungen.

In anoxischen oder sauerstoffarmen Bereichen der Fließgewässer kommt es zur Nitratatmung. Als Endprodukte entstehen dabei molekularer Stickstoff (N_2) oder Ammoniak.



Die Nitratatmung ist von entscheidender Bedeutung für die Selbstreinigung eines Fließgewässers unter sauerstoffarmen Bedingungen.

Bei der Denitrifikation handelt es sich um eine Reduktion von Nitraten zu Ammoniak oder bis hin zum freien Stickstoff durch fakultativ² anaerob lebende Bakterien. Statt des atmosphärischen Sauerstoffs verwenden sie den Sauerstoff von Nitraten, Nitriten oder Stickstoffoxiden zur Oxidation von organischen Verbindungen. Durch die Denitrifikation entweicht der molekulare Stickstoff als Gas aus dem Gewässer. So kann es in belasteten Gewässern zu größeren Stickstoffeliminationen kommen, sogar in turbulenten Gebirgs- und Mittelgebirgsbächen.

Stoffkreisläufe: Der Stickstoffhaushalt in Fließgewässern

M3



Beeinflusst wird der Stickstoffhaushalt durch N_2 -Fixierung und die N-Akkumulation einiger Pflanzen. Einige heterotrophe Bakterien (z.B. *Azotobacter*, *Azomonas*-Arten) und phototrophe Bakterien einschließlich Blaualgen sind zur Bindung von molekularem Stickstoff befähigt. In anaeroben Bereichen hat diese Funktion besonders *Clostridium* inne, während die überwiegende Zahl der Fixierer freien Stickstoff unter aeroben Bedingungen nutzt.

Eine besondere Rolle im Zusammenhang mit der Bindung von molekularem Stickstoff spielen die uferbegleitenden Erlen. Ihre landwärts wachsenden Wurzeln bilden sogenannte Knöllchen aus, in denen symbiontische Bakterien leben. In diesem Fall sind es N_2 -fixierende Actinomyzeten (z.B. *Frankia*), die der Pflanze Stickstoff zukommen lassen. Die Bakterien hingegen werden von den Pflanzen mit Nährstoffen und Wasser versorgt. Der aus der Bodenluft entnommene Stickstoff befähigt die Erlen, auch an Bächen zu wachsen, die in nährstoffarmen Gebieten fließen. Die Erlen entziehen den Blättern vor dem herbstlichen Laubfall keinen Stickstoff, so dass das C/N-Verhältnis in den Blättern, die in den Bach fallen, niedrig bleibt, wodurch diese sich vorzüglich als Nahrung für das Makrozoobenthos eignen.

¹ Definition Eiweiß (Protein):

Dreidimensionale Biopolymere, die aus zwanzig verschiedenen, als Aminosäuren bezeichneten Monomeren aufgebaut sind. Aus den Aminosäureketten (Primärstruktur) entstehen durch die Ausbildung von Wasserstoffbrücken (Sekundärstruktur) und anschließende Wechselwirkungen zwischen den Seitenketten der Aminosäuren Polypeptide (Tertiärstruktur). Lagern sich mehrere Polypeptide zusammen, spricht man von der Quatärstruktur oder Proteinen (nach Campbell/Reece, 2003.).

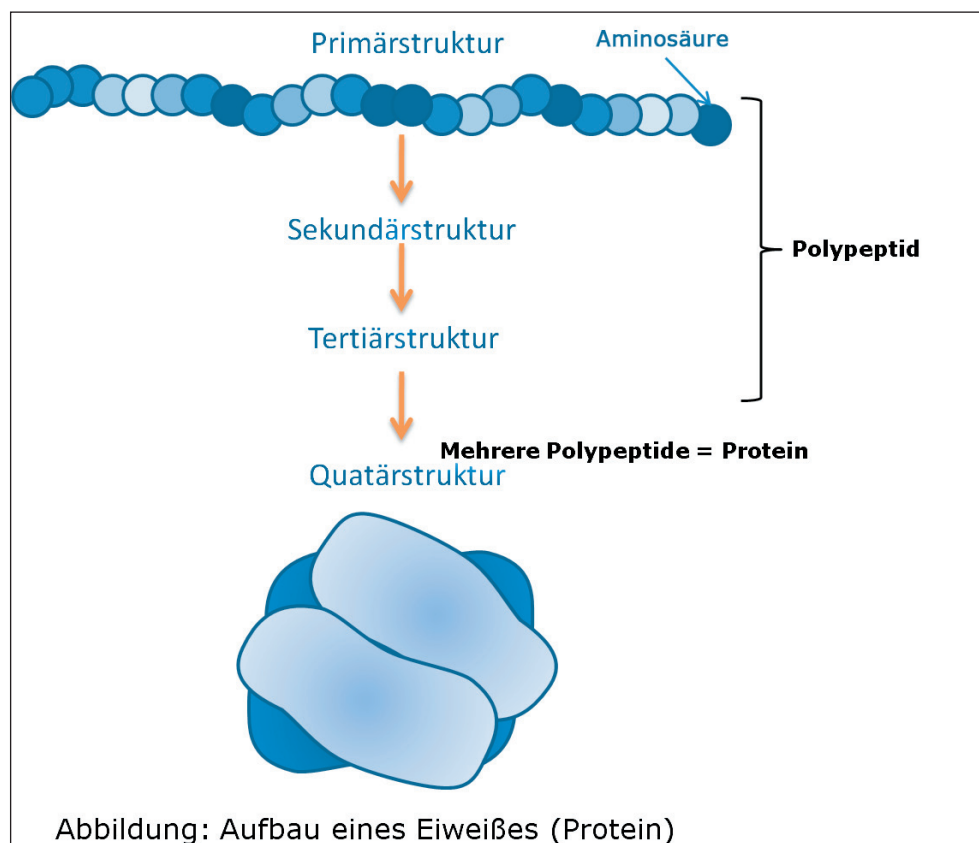


Abbildung: Aufbau eines Eiweißes (Protein)

² fakultativ: [von lat. facultas: Möglichkeit]; freigestellt, unter bestimmten Kontextbedingungen.

Stoffkreisläufe: Der Stickstoffhaushalt in Fließgewässern

M4

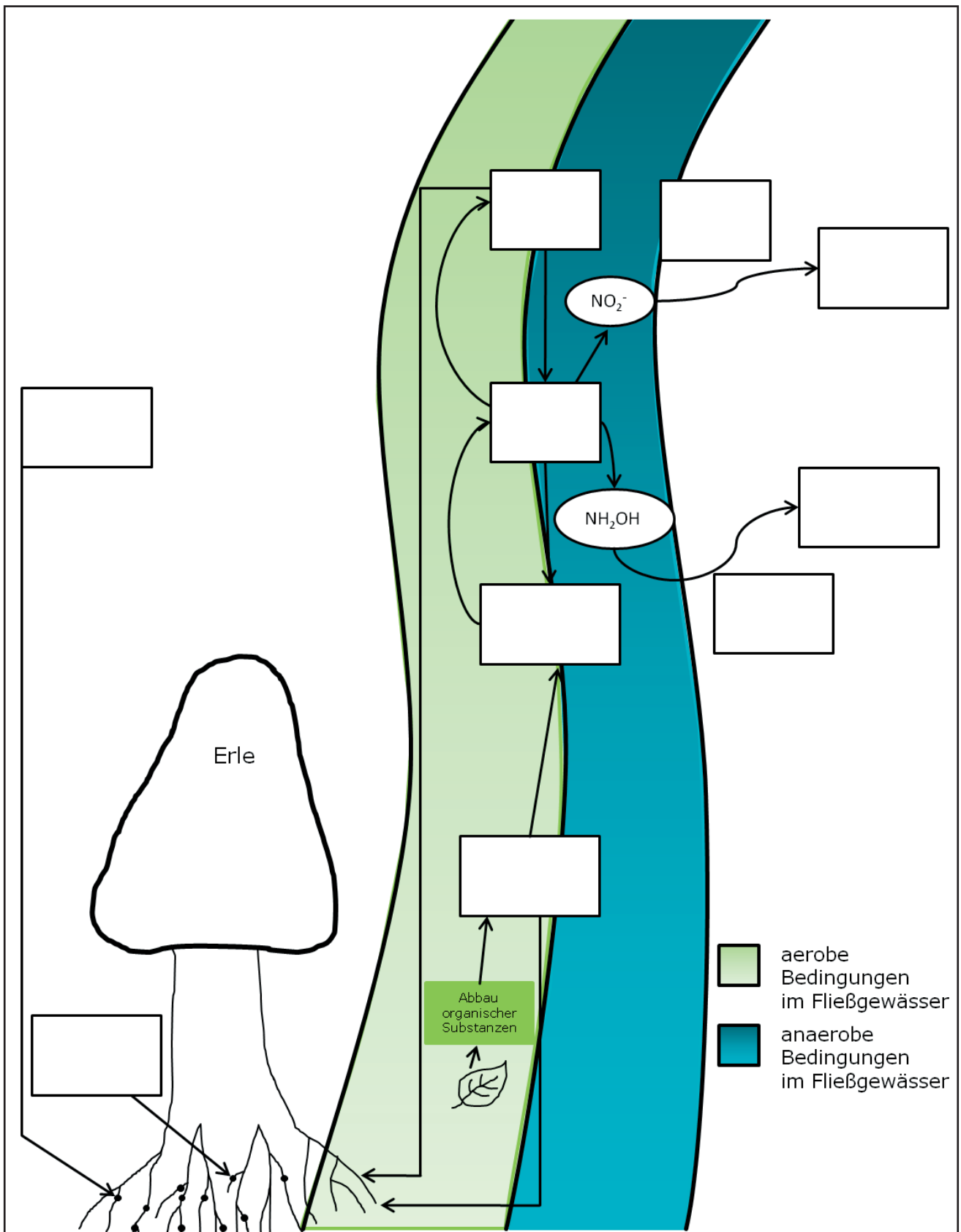


Abbildung: Stickstoffhaushalt im Fließgewässer



Hausaufgabe zum Thema Stickstoffhaushalt im Fließgewässer

- Aufgabe 1:** **Beschreiben** Sie anhand der Abbildung 1 den Kurvenverlauf der Nitratkonzentration eines Fließgewässers im Jahresverlauf.
- Aufgabe 2:** **Erklären** Sie mithilfe des Ihnen aus dem Unterricht bekannten Stoffes und der Abbildung über die Niederschläge in Deutschland im Jahresverlauf (Abb. 2), warum sich der Nitratgehalt im Fließgewässer natürlicherweise im Jahresverlauf ändert.

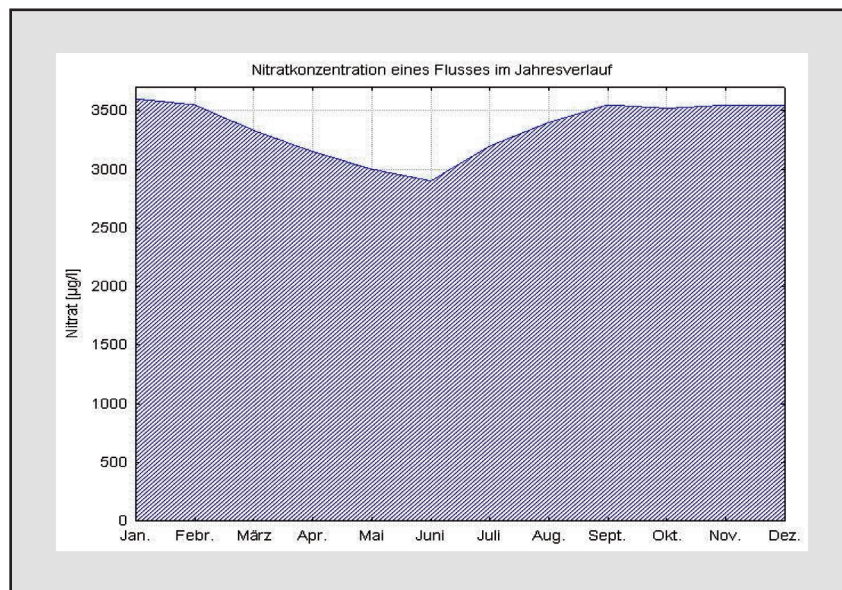


Abb.1: Die Nitratkonzentration eines Flusses im Jahresverlauf (aus: Brehm & Meijering. Fließgewässerkunde. 1996.)

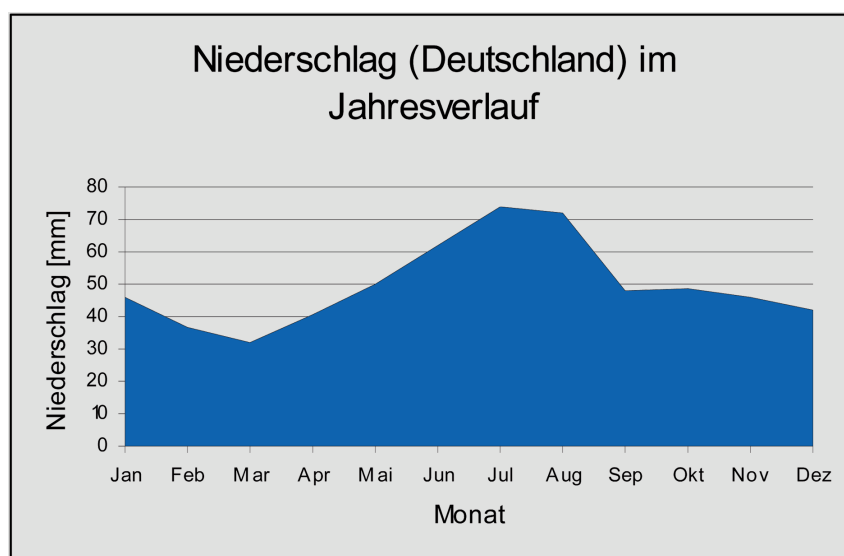


Abb.2: Der Niederschlag in Deutschland im Jahresverlauf (vgl. <http://www.diewettervorhersage.info/> Zugriff: 15.10.2009.)

Stoffkreisläufe: Der Stickstoffhaushalt in Fließgewässern

L3



Lösung Aufgabe 1 (M2.1-2.3):

Nitrifikation

Beim Vorgang der Nitrifikation geht das aus dem Eiweißabbau stammende Ammonium (NH_4^+) in Fließgewässern sehr schnell in Ammoniak (NH_3) über, welches meist schnell zu Nitrit (NO_2^-) oxidiert:



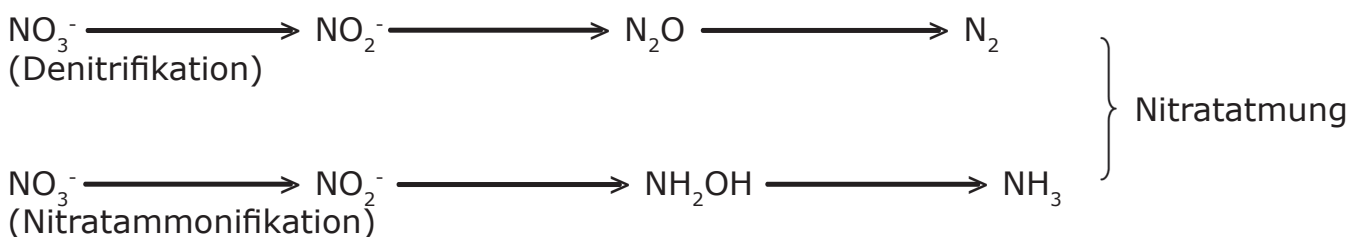
Für die Reaktion ist das Bakterium *Nitrosomonas* verantwortlich. Je nach Sauerstoffgehalt des Wassers wird das Nitrit relativ schnell oder auch langsamer ebenfalls durch ein Bakterium (*Nitrobacter*) zu Nitrat oxidiert:



Es ist von Bedeutung, dass die Ammoniak- und Nitritphase nur sehr kurz ist; verlangsamt sich die Oxidationsphase, kommt es zu einem deutlichen Rückgang der Artenmanngfaltigkeit infolge der Giftigkeit beider Verbindungen.

Nitratatmung und Denitrifikation

In anoxischen oder sauerstoffarmen Bereichen der Fließgewässer kommt es zur Nitratatmung. Als Endprodukte entstehen dabei molekularer Stickstoff (N_2) oder Ammoniak.



Die Nitratatmung ist von entscheidender Bedeutung für die Selbstreinigung eines Fließgewässers unter sauerstoffarmen Bedingungen.

Bei der Denitrifikation handelt es sich um eine Reduktion von Nitraten zu Ammoniak oder bis hin zum freien Stickstoff durch fakultativ² anaerob lebende Bakterien. Statt des atmosphärischen Sauerstoffs verwenden sie den Sauerstoff von Nitraten, Nitriten oder Stickstoffoxiden zur Oxidation von organischen Verbindungen. Durch die Denitrifikation entweicht der molekulare Stickstoff als Gas aus dem Gewässer. So kann es in belasteten Gewässern zu größeren Stickstoffeliminationen kommen, sogar in turbulenten Gebirgs- und Mittelgebirgsbächen.

² fakultativ: [von lat. facultas: Möglichkeit]; freigestellt, unter bestimmten Kontextbedingungen

Stoffkreisläufe: Der Stickstoffhaushalt in Fließgewässern

L3



Bindung von molekularem Stickstoff

Beeinflussungen des Stickstoffhaushaltes entstehen durch N_2 -Fixierung und die N-Akkumulation einiger Pflanzen. Einige heterotrophe Bakterien (z.B. *Azotobacter*, *Azomonas*-Arten) und phototrophe Bakterien einschließlich Blaualgen sind zur Bindung von molekularem Stickstoff befähigt. In anaeroben Bereichen hat diese Funktion besonders *Clostridium* inne, während die überwiegende Zahl der Fixierer freien Stickstoff unter aeroben Bedingungen nutzt.

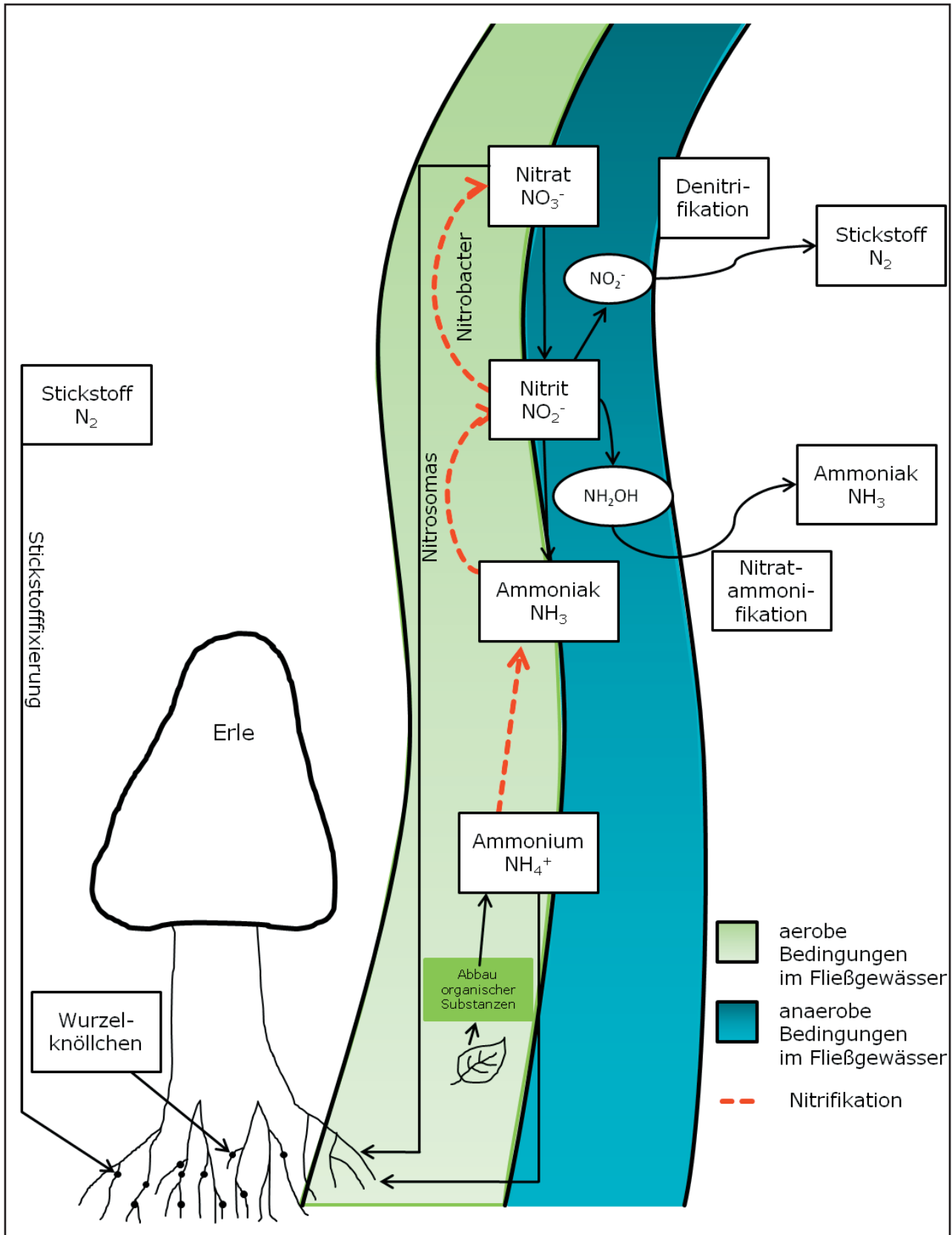
Eine besondere Rolle im Zusammenhang mit der Bindung von molekularem Stickstoff spielen die uferbegleitenden Erlen. Ihre landwärts wachsenden Wurzeln bilden sogenannte Knöllchen aus, in denen symbiontische Bakterien leben. In diesem Fall sind es N_2 -fixierende Actinomyceten (z.B. *Frankia*), die der Pflanze Stickstoff zukommen lassen. Die Bakterien hingegen werden von den Pflanzen mit Nährstoffen und Wasser versorgt. Der aus der Bodenluft entnommene Stickstoff befähigt die Erlen, auch an Bächen zu wachsen, die in nährstoffarmen Gebieten fließen. Die Erlen entziehen den Blättern vor dem herbstlichen Laubfall keinen Stickstoff, so dass das Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis in den Blättern, die in den Bach fallen, niedrig bleibt. Dadurch eignen sich diese gut als Nahrung für das Makrozoobenthos.

Stoffkreisläufe: Der Stickstoffhaushalt in Fließgewässern

L4



Lösung Aufgabe 2+3 (M2.1-2.3):



Stoffkreisläufe: Der Stickstoffhaushalt in Fließgewässern

L5



Lösung zur Hausaufgabe (M5):

Lösung Aufgabe 1:

In der Abbildung 1 zur Nitratkonzentration eines Flusses im Jahresverlauf kann man auf der x-Achse die Monate von Januar (Jan.) bis Dezember (Dez.) ablesen, auf der y-Achse die Konzentration des Nitrats in $\mu\text{g/l}$.

Die Nitratkonzentration schwankt im Jahresverlauf in etwa zwischen den Werten 3600 $\mu\text{g/l}$ und 2800 $\mu\text{g/l}$. Von September bis Februar bleibt die Konzentration in etwa gleich und liegt bei ungefähr 3500 $\mu\text{g/l}$ bis 3600 $\mu\text{g/l}$. Ab Februar sinkt die Kurve kontinuierlich bis auf einen Wert von etwa 2800 $\mu\text{g/l}$ im Juni. In diesem Monat ist die Nitratkonzentration im Jahresverlauf am niedrigsten. Ab Juni steigt die Konzentration wieder kontinuierlich an, bis sie im September wieder einen Wert von etwa 3500 $\mu\text{g/l}$ erreicht.

Lösung Aufgabe 2:

Stickstoffverbindungen gelangen natürlicherweise direkt aus dem Boden der Aue oder durch das Grundwasser in das Gewässer. Dieser Eintrag ist abhängig von der Niederschlagsmenge. Wasserpflanzen und Algen nehmen Nitrat und Ammonium als Nährstoffe auf. Die Konzentration von Stickstoffverbindungen, besonders des Nitrats, schwankt also im Jahresverlauf.

Im Februar und März ist die Niederschlagsmenge gering (siehe Abbildung 2). Wenig Stickstoff gelangt von außen in das Gewässer. Mit Beginn der Vegetationsperiode im Februar und März nehmen gleichzeitig die Pflanzen die Stickstoffverbindungen Nitrat und Ammonium als Nährstoffe auf. Als Folge sinkt die Nitratkonzentration im Gewässer (siehe Abbildung 1).

Im Hochsommer (Juni bis August) ist die Niederschlagsrate sehr hoch (siehe Abbildung 2); es gelangen also kontinuierlich Stickstoffverbindungen aus der Aue oder dem Grundwasser in den Fluss. Die Pflanzen reduzieren im Spätsommer die Stickstoffaufnahme, weil sie zunehmend weniger Energie in die Biomasseproduktion investieren; die Nitratkonzentration im Gewässer steigt wieder an (siehe Abbildung 1).

Bei gleichbleibender Niederschlagsmenge und geringem Pflanzenwachstum von September bis Februar bleibt die Konzentration von Nitrat im Gewässer relativ konstant (siehe Abbildung 1 und 2).