
Umweltanalytische Untersuchung einer von Kormoranen und Graureihern besiedelten Stillwasserzone an der Saar im Nahbereich der Schleuse Kanzem

Ergebnisbericht einer gewässeranalytischen Studie
im Rahmen der Projekttag 2015
am Gymnasium Konz (Kreis Trier-Saarburg)

Projektbetreuer
StR Jürgen Nikolaus Kopp
(Chemie- und Biologielehrer, sowie MINT-Beauftragter am Gymnasium Konz)



Quelle: Landschaftsinformationssystem der Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz (LANIS)

„Umweltschutz ist eine Chance und keine Last, die wir tragen müssen.“

Helmut Sihler (*1930)

österreichischer Topmanager, 1980-1992 Vorsitzender der GF Henkel KGaA

[zit. nach VNR Verlag für die deutsche Wirtschaft AG, o. J.]

A. Inhaltsverzeichnis

1 Theoretischer Teil der Projektstage	2
1.1 Element- bzw. Stoffkreisläufe in aquatischen Ökosystemen.....	2
1.2 Selbstreinigung aquatischer Ökosysteme	8
2 Praktischer Teil der Projektstage	9
2.1 Die Stillwasserzone im Nahbereich der Schleuse Kanzem.....	9
2.2 Untersuchung physikalisch-chemischer Parameter der Stillwasserzone.....	12
2.2 Verbesserung des Gewässerzustandes der Stillwasserzone	14
B Literaturverzeichnis.....	15

Als im Juli 2015 die am Gymnasium Konz regelmäßig stattfindenden Projekttagge bevorstanden, trafen 16 naturwissenschaftlich interessierte Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II den Entschluss, ein gewässeranalytisches Projekt zu bearbeiten, das von insgesamt drei Lehrerinnen und Lehrern unter chemischen, biologischen und hydromorphologischen Gesichtspunkten interdisziplinär betreut wurde (StD Rudolf Schmidt, StR Jürgen Kopp, StRef' Linda Mathei). Das Projekt gliederte sich in zwei große Abschnitte, wobei theoretische und praktische Kompetenzen (Inhalts- und Handlungsdimension) im Sinne der Förderung eines nachhaltigen Umweltschutzbewusstseins sinnstiftend bzw. gewinnbringend miteinander verzahnt werden sollten. Zunächst wurden mit der Projektgruppe die in *Kapitel 1* aufgeführten theoretischen Grundlagen zur Interpretation und Bewertung der gewässeranalytischen Messwerte erarbeitet (vgl. Stoff- bzw. Elementkreisläufe). Daraufhin erfolgte die in *Kapitel 2* beschriebene Entnahme und Untersuchung von Oberflächenwasserproben, wobei neben verschiedenen Abschnitten der Saar (Altarm, Saarkanal) auch eine Stillwasserzone im Nahbereich der Schleuse Kanzem analysiert wurde, die bereits seit mehreren Jahren von wachsenden Kormoran- und Graureiher-Kolonien besiedelt wird. Im nachstehenden Beitrag soll der Fokus ausschließlich auf die chemisch-physikalischen Parameter der Stillwasserzone gelegt werden, die – im Gegensatz zur weitreichend zufriedenstellenden (chemischen und biologischen) Gewässergüte der Saar – einen besonders kritischen Gewässerzustand anzeigen.

1 Theoretischer Teil der Projekttagge

1.1 Element- bzw. Stoffkreisläufe in aquatischen Ökosystemen

Organismen tauschen als offene Systeme Materie und Energie mit ihrer Umgebung aus. Der hierbei in Ökosystemen zu beobachtende Austausch chemischer Elemente zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt ist an verschiedene organische und anorganische Stoffe gebunden und zeichnet sich dadurch aus, dass die von Organismen abgegebenen Elemente auf unterschiedlich komplexen und zeitintensiven Wegen der Stoffumwandlung letztlich wieder von Lebewesen aufgenommen werden (Zirkulationsprinzip). Aufgrund dieses zyklischen Charakters der Elementflüsse bzw. Stoffumwandlungen wird auch von *Element- bzw. Stoffkreisläufen* gesprochen. Da diese Kreisläufe einerseits die belebte und unbelebte Natur, also biotische und abiotische Komponenten von Ökosystemen einbeziehen (z. B. Flora, Boden) und andererseits durch biologische, geologische und chemische Prozesse angetrieben werden (z. B. Assimilation, Verwitterung), ist zur genaueren Charakterisierung vielfach auch von *biogeochemischen Element- bzw. Stoffkreisläufen* die Rede. In einem allgemeinen Modell zur Beschreibung derartiger Kreisläufe lässt sich zwischen insgesamt vier verschiedenen Reservoiren (Kompartimenten) chemischer Elemente differenzieren (vgl. Abb. 1). Zur Unterscheidung der vier Reservoirs muss betrachtet werden, ob das jeweilige Element in organi-

scher oder anorganischer Bindung vorliegt und ob es unmittelbar oder nicht unmittelbar für Organismen verfügbar ist. Die Untersuchung spezifischer Elementflüsse innerhalb eines Ökosystems ist relativ schwierig. Im Verlauf solcher Untersuchungen werden in aller Regel Spuren eines geeigneten radioaktiven Isotops („Tracer“) in das Ökosystem eingetragen. Daraufhin lässt sich der Weg des Isotops im Ökosystem verfolgen. [CAMPBELL et al. 2003: 1442 ff.]

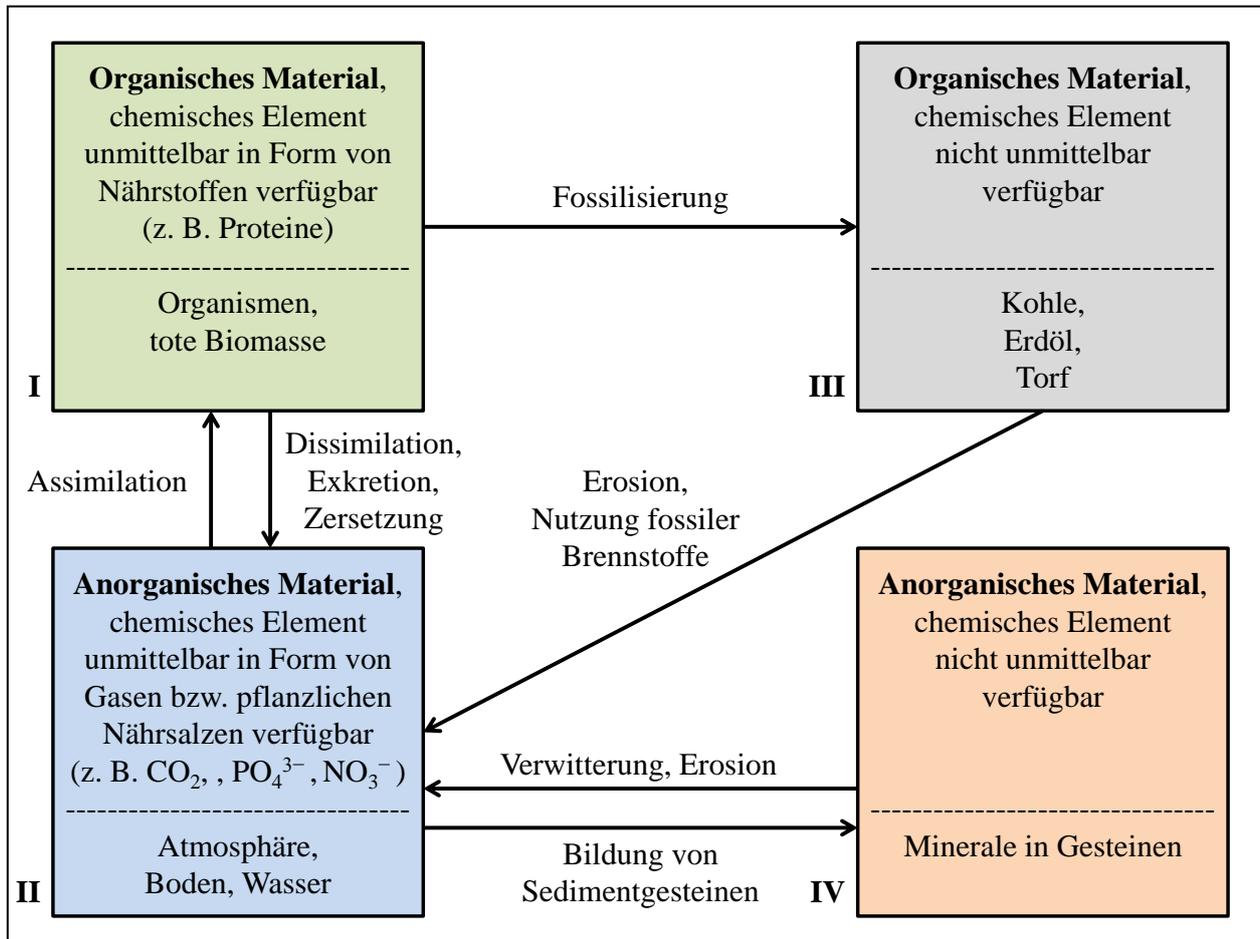


Abb. 1: Allgemeines Modell eines Stoffkreislaufs. Die biologischen, chemischen und geologischen Prozesse, durch die chemische Elemente von einem Reservoir in ein anderes Reservoir gelangen, sind durch Pfeile gekennzeichnet. (verändert nach [CAMPBELL et al. 2003: 1443])

Mit Blick auf die gewässeranalytischen Studien im Rahmen der Projekttagge sollen ausschließlich ausgewählte Elementflüsse zwischen den beiden Reservoiren I und II näher betrachtet werden.

Das *Reservoir I* umfasst im Wesentlichen die Gesamtheit der lebenden und toten Biomasse. Während sich die tote Biomasse aus toten Organismen und abgestorbenen Teilen von Lebewesen, sowie einem Großteil ihrer spezifischen Ausscheidungen zusammensetzt, wird die lebende Biomasse von lebenden Organismen gebildet, bei denen zwischen Produzenten („Erzeuger“), Konsumenten („Verbraucher“) und Destruenten („Zersetzer“) zu differenzieren ist. Zu den Produzenten zählen vor allem Pflanzen, Algen und Cyanobakterien, die *im Zuge der Fotosynthese* aus den Edukten „Was-

ser“ und „Kohlenstoffdioxid“ die Produkte „Glucose“ und „Sauerstoff“ synthetisieren (→ *Kohlenstoff-Assimilation*). Ausgehend von Glucose können die Produzenten schließlich im Falle einer hinreichenden Versorgung mit verschiedenen Nährsalzen (z. B. Phosphat-, Nitrat-, Sulfat-Anionen) zahlreiche hochmolekulare Stoffe synthetisieren (vgl. Kohlenhydrate, Proteine, Lipide), also Biomasse aufbauen. Die auf Produzentenebene zu beobachtende Sauerstofffreisetzung und Biomassebildung sind schließlich Voraussetzung für die Aufrechterhaltung des Bau- und Betriebsstoffwechsels (Synthese- und Energiestoffwechsel) der Konsumenten, bei denen zwischen Herbivoren (Pflanzenfressern), Carnivoren (Fleischfressern) und Omnivoren (Allesfressern) differenziert werden kann. Ein Teil der von Konsumenten aufgenommenen Nahrung dient also dem Aufbau körpereigener Biomasse, während ein anderer Teil *im Zuge der Atmung (Zellatmung)* für die Energiegewinnung verwendet wird, wobei aus den beiden Edukten „Glucose“ und „Sauerstoff“ die beiden Produkte „Wasser“ und „Kohlenstoffdioxid“ entstehen (→ *Kohlenstoff-Dissimilation*). Die auf Ebene der Produzenten, Konsumenten und Destruenten anfallende tote Biomasse ist aus stofflicher und energetischer Sicht als Lebensgrundlage der Destruenten zu betrachten, bei denen es sich vor allem um Bakterien, Pilze und Protozoen (z. B. Wimpertierchen) handelt. Bei adäquater Sauerstoffversorgung bauen die verschiedenen Vertreter der Destruenten das tote organische Material letztlich vollständig zu Kohlenstoffdioxid, Wasser und verschiedenen Nährsalzen ab. Analog zu den Konsumenten sind also auch zahlreiche Destruenten zur Atmung (Zellatmung) befähigt. Hierbei muss aus Gründen der Vollständigkeit betont werden, dass auch Produzenten im Zuge ihrer Energiegewinnung Atmung (Zellatmung) betreiben, also Glucose mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid und Wasser umsetzen. Das auf Ebene der Konsumenten und Destruenten anfallende Kohlenstoffdioxid, sowie die Nährsalze, die im Zuge der zersetzenden Tätigkeit der Destruenten freigesetzt werden, stehen also letztlich wieder dem Stoffwechsel der Produzenten zur Verfügung. Daran lässt sich das Zirkulationsprinzip der Element- bzw. Stoffkreisläufe deutlich erkennen. Das *Reservoir II* umfasst also im Wesentlichen die zwischen Produzenten, Konsumenten und Destruenten ausgetauschten Gase, sowie die von Destruenten freigesetzten Nährsalze. [Campbell et al. 2003: 1444 ff.]

Der von Destruenten betriebene Abbau organischer Verbindungen zu anorganischen Produkten wird als Mineralisierung bzw. Mineralisation bezeichnet. Bevor eine nähere Betrachtung verschiedener Aspekte der mikrobiellen Mineralisierung erfolgt, soll noch auf einige wichtige Fachtermini zur Charakterisierung der *Lebensbedingungen* und *Lebensweisen* von Mikroorganismen eingegangen werden. Hierbei ist allerdings darauf zu verweisen, dass die einzelnen Fachtermini in aller Regel auch bei höheren Organismen Anwendung finden. Zur *Beschreibung der Lebensbedingungen* in Abhängigkeit von der Sauerstoffverfügbarkeit werden die beiden Begriffe „oxisch“ und „anoxisch“ verwendet. Während es sich bei einem *anoxischen Lebensraum* um eine Umgebung handelt, in der kein molekularer Sauerstoff vorhanden ist, versteht man unter einem *oxischen Le-*

bensraum einen Bereich, der sich durch die Gegenwart von molekularem Sauerstoff auszeichnet. Zur *Charakterisierung der Lebensweise* in Abhängigkeit der Sauerstoffverfügbarkeit sind dagegen die beiden Begriffe „aerob“ und „anaerob“ zu verwenden. *Obligat aerobe* Organismen sind hinsichtlich ihrer Energiegewinnung an die Gegenwart von molekularem Sauerstoff gebunden, während *obligat anaerobe* Organismen nur im sauerstofffreien Milieu wachsen können – für sie ist molekularer Sauerstoff toxisch. *Fakultativ anaerobe Organismen* können sowohl in Gegenwart als auch unter Ausschluss von molekularem Sauerstoff wachsen. [FUCHS et al. 2007: 13, 160]

In Abhängigkeit der Sauerstoffverfügbarkeit im jeweiligen Medium (Boden bzw. Wasser) erfolgt die Mineralisierung durch entsprechend angepasste Mikroorganismen (→ obligat aerob, fakultativ anaerob, obligat anaerob), wodurch unterschiedliche Produkte gebildet werden. Bei der folgenden Betrachtung des Mineralisierungsprozesses sollen ausschließlich solche Mineralisierungsprodukte thematisiert werden, die mit pflanzlichen Makronährelementen (Hauptnährelemente) in Verbindung stehen. Makronährelemente (C, O, H, N, S, P, Mg, K, Ca, Fe) werden im Gegensatz zu Mikronährelementen (Spurenelemente wie Mn, B, Zn, Cu, Mo, Cl) vom Pflanzenkörper in relativ großen Mengen benötigt, um Mangelerscheinungen zu vermeiden [SITTE et al. 2002: 241 ff.]. In diesem Zusammenhang muss allerdings herausgestellt werden, dass nicht alle Mineralisierungsprodukte, die pflanzliche Makronährelemente enthalten, auch zwangsläufig von Pflanzen aufgenommen werden (z. B. NH_3). Unter *oxischen Lebensbedingungen* verläuft eine *aerobe* Mineralisierung, wobei organische Verbindungen vor allem zu Nitrat-Anionen, Sulfat-Anionen, Phosphat-Anionen (bzw. Hydrogen- und Dihydrogenphosphat-Anionen), Kohlenstoffdioxid (bzw. Hydrogencarbonat-Anionen), Wasser und verschiedenen kationischen Nährsalzen abgebaut (vgl. K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$) werden. Entsprechend lässt sich unter *anoxischen Lebensbedingungen* eine *anaerobe Mineralisierung* organischer Substanzen beobachten, in deren Verlauf es zur Freisetzung von Ammoniak (bzw. Ammonium-Kationen), Schwefelwasserstoff (bzw. Hydrogensulfid-Anionen), Phosphat-Anionen (bzw. Hydrogen- und Dihydrogenphosphat-Anionen), Methan, Kohlenstoffdioxid (bzw. Hydrogencarbonat-Anionen) und verschiedenen kationischen Nährsalzen (vgl. K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$) kommt. [FUCHS et al. 2007: 285 f.]

Das nachstehend aufgeführte Schema fasst die in terrestrischen bzw. aquatischen Ökosystemen zu beobachtenden Kreisläufe der pflanzlichen Makronährelemente unter besonderer Betonung aerober und anaerober Mineralisierungsprozesse nochmals zusammen (vgl. Abb. 2). Im Zusammenhang dieser Übersicht wird deutlich, dass die beiden Reservoirs I und II auf vielseitige und komplexe Weise in Element- bzw. Stoffkreisläufe eingebunden sind.

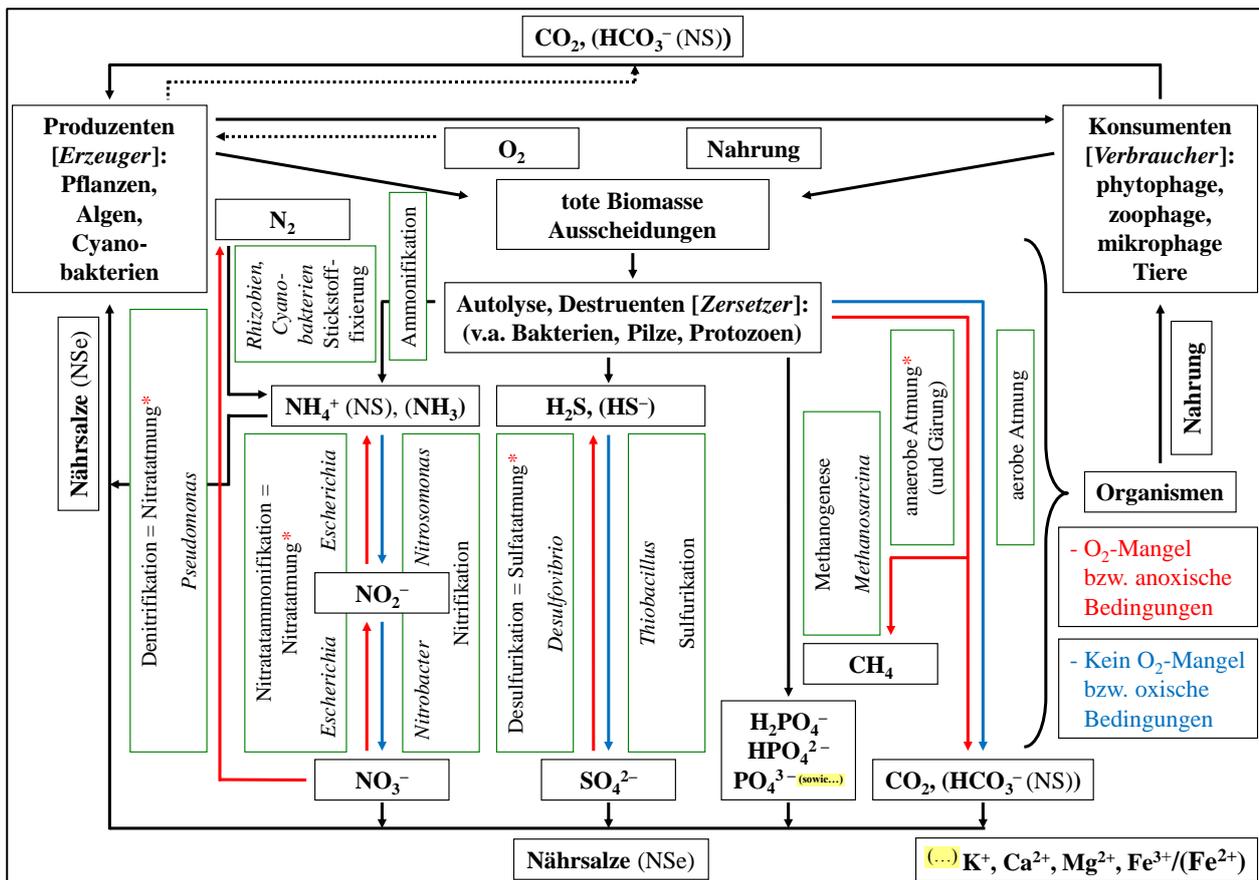


Abb. 2: Übersicht zu den Kreisläufen der pflanzlichen Makronährelemente mit besonderer Betonung der Mineralisierungsprozesse. Die blauen Pfeile gelten für oxische Bedingungen bzw. aerobe Mineralisierung, die roten Pfeile hingegen für anoxische Verhältnisse bzw. anaerobe Mineralisierung. Bei den schwarzen Pfeilen handelt es sich um Prozesse, die unabhängig von der Sauerstoffverfügbarkeit ablaufen. Die exemplarisch aufgeführten Bakteriengattungen wurden kursiv geschrieben. In Abhängigkeit des im jeweiligen Medium (Boden bzw. Wasser) vorliegenden pH-Wertes erfolgt eine Protonierung bzw. Deprotonierung spezifischer Ionen. [nach CYPIONKA 2002: 197 ff.; nach CAMPBELL et al. 2003: 1444 ff.; nach FUCHS et al. 2007: 13, 285 f., 379 ff.; nach HÜTTER 1994: 39, 232 f.; nach RICHTER 1998: 50 ff.]

Die in Abbildung 2 exemplarisch aufgeführten, an der aeroben bzw. anaeroben Mineralisierung beteiligten Organismen ziehen redoxchemische Prozesse zur Energiegewinnung heran. Unter *oxischen Lebensbedingungen* können hierbei je nach Bakteriengattung entweder anorganische oder organische Verbindungen als Reduktionsmittel herangezogen werden, während molekularer Sauerstoff als Oxidationsmittel fungiert (Nitrifikation, Sulfurifikation, aerobe Atmung, vgl. Tab. 1). Unter *anoxischen Bedingungen* werden hingegen ausschließlich organische Verbindungen als Reduktionsmittel herangezogen und je nach Bakteriengattung verschiedene Oxidationsmittel verwendet. In Abhängigkeit des jeweiligen Oxidationsmittels ist hierbei zwischen anaerober Atmung (anorganische Oxidationsmittel) und Gärung bzw. acetoclastischer Methanogenese zu differenzieren (organische Oxidationsmittel). Bei der anaeroben Atmung können Nitrat- bzw. Sulfat-Anionen als Oxida-

tionsmittel fungieren (vgl. Denitrifikation, Nitrat-Ammonifikation, Desulfurikation), während bei der Gärung und acetoclastischen Methanogenese Disproportionierungen vorliegen (vgl. Tab. 2).

Tab. 1: Mineralisierung unter oxischen Bedingungen bzw. bei aerober Lebensweise
[FUCHS et al. 2007: 15, 285; HÜTTER 1994: 232 f.; RICHTER 1998: 50 ff.]

a) Nitrifikation (Molekularer Sauerstoff als Oxidationsmittel)	
z. <i>B. Nitrosomonas</i>	
$2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow 2 \text{NO}_2^- + 4 \text{H}_3\text{O}^+$
z. <i>B. Nitrobacter</i>	
$2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2$	$\rightarrow 2 \text{NO}_3^-$

$\text{NH}_4^+ + 2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow \text{NO}_3^- + 2 \text{H}_3\text{O}^+$
b) Sulfurikation (Molekularer Sauerstoff als Oxidationsmittel)	
z. <i>B. Thiobacillus</i>	
$\text{H}_2\text{S} + 2 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{H}_3\text{O}^+$
c) Aerobe Atmung (Molekularer Sauerstoff als Oxidationsmittel)	
Organisches Substrat, O_2	$\rightarrow \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$
z. <i>B. Saccharomyces</i> (Zuckerhefe)	
z. <i>B. C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2</i>	$\rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$

Tab. 2: Mineralisierung unter anoxischen Bedingungen bzw. bei anaerober Lebensweise
[CYPIONKA 2002: 197 ff.; FUCHS et al. 2007: 13, 285 f., 379 ff.; HÜTTER 1994: 39]

a) Denitrifikation = Nitratatmung (Nitrat-Anion als Oxidationsmittel)	
Organisches Substrat, NO_3^-	$\rightarrow \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{N}_2$ (Anaerobe Atmung)
z. <i>B. Pseudomonas</i>	
$5 \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 24 \text{NO}_3^- + 24 \text{H}_3\text{O}^+$	$\rightarrow 30 \text{CO}_2 + 66 \text{H}_2\text{O} + 12 \text{N}_2$
b) Nitrat-Ammonifikation = Nitratatmung (Nitrat-Anion als Oxidationsmittel)	
Organisches Substrat, NO_3^-	$\rightarrow \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{NH}_4^+$ (Anaerobe Atmung)
z. <i>B. Escherichia</i>	
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 3 \text{NO}_3^- + 6 \text{H}_3\text{O}^+$	$\rightarrow 6 \text{CO}_2 + 9 \text{H}_2\text{O} + 3 \text{NH}_4^+$
c) Desulfurikation = Sulfatatmung (Sulfat-Anion als Oxidationsmittel)	
Organisches Substrat, SO_4^{2-}	$\rightarrow \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{H}_2\text{S}$ (Anaerobe Atmung)
z. <i>B. Desulfovibrio</i>	
$2 \text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-$ (Lactat) + $\text{SO}_4^{2-} + 2 \text{H}_3\text{O}^+$	$\rightarrow 2 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{S} + 2 \text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ (Acetat)
d) Methanogenese durch Acetatspaltung (Disproportionierung)	
z. <i>B. Methanosarcina</i>	
$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ (Acetat) + H_3O^+	$\rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$
e) Gärung (Disproportionierung)	
z. <i>B. Saccharomyces</i> (Zuckerhefe)	
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	$\rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (Ethanol) + 2CO_2

1.2 Selbstreinigung aquatischer Ökosysteme

Die im vorausgehenden Abschnitt allgemein beschriebene Eingebundenheit der Produzenten, Konsumenten und Destruenten in zahlreiche Element- bzw. Stoffkreisläufe soll im Folgenden am Beispiel eines aquatischen Ökosystem konkretisiert werden (z. B. Teich, See, Bach).

In aquatischen Ökosystemen, die sich im *biologischen Gleichgewicht* befinden, ist das Verhältnis der Produzenten, Konsumenten und Destruenten ausgewogen, sodass sich Aufbau (vgl. Assimilation) und Abbau (vgl. Dissimilation, Mineralisierung) organischer Substanzen die Waage halten. Ein solches Gleichgewicht ist zentrale Voraussetzung für eine optimale *Selbstreinigung* des jeweiligen Gewässers, also für den natürlichen Prozess, moderate Einträge organischer Verbindungen (z. B. Falllaub) ohne weitere Folgen abzubauen, sodass der ursprüngliche Gleichgewichtszustand wieder hergestellt werden kann. Durch anhaltende Einträge von organischen Verbindungen bzw. Nährsalzen (z. B. Abwässer) wird das biologische Gleichgewicht jedoch derart gestört, dass es zu einer Überschreitung der Fähigkeit zur Selbstreinigung, also der Selbstreinigungskraft des Gewässers kommt. Der dabei zu beobachtende Übergang der Lebensbedingungen vom oxischen in den anoxischen Zustand und die damit einhergehende Ausbildung eines Fäulnis-Milieus wird auch als „Umkippen des Gewässers“ bezeichnet. Anzumerken ist, dass die Selbstreinigungskraft eines Gewässers mit steigendem Sauerstoffgehalt zunimmt. Aus diesem Grund besitzen Fließgewässer in aller Regel auch eine wesentlich höhere Selbstreinigungskraft als stehende Gewässer, da durch strömungsbedingte Turbulenzen vermehrt Sauerstoff ins Wasser eingetragen wird. Im Folgenden sollen die einzelnen Schritte, die letztlich zum „Umkippen eines Gewässers“ führen, unter Einbezug der verschiedenen Element- bzw. Stoffkreisläufe detailliert beschrieben werden (vgl. 1.1).

Durch den anhaltenden Eintrag von Abwässern unterschiedlicher Art (z. B. Exkrememente, Waschmittel, Düngemittel) in ein aquatisches Ökosystem wird das betreffende Gewässer mit verschiedenen organischen Verbindungen und anorganischen Stoffen angereichert. Da es sich bei einem Teil der anorganischen Stoffe um Nährsalze handelt, wird die Biomasseproduktion der Produzenten direkt durch die Einleitungen gefördert. Die organischen Verbindungen werden von Destruenten unter Sauerstoffverbrauch mineralisiert, wobei das überschüssige Nahrungsangebot mit einer starken Vermehrung der Mikroorganismen korreliert. Im Zuge der direkten Nährsalzeinträge und der hohen aeroben Mineralisierungsintensität kommt es folglich zu einer intensiven Nährsalzanreicherung und damit zu einer starken Vermehrung der Produzenten, sodass eine Algen- bzw. Wasserblüte entsteht. Die beschriebene Kombination aus einer Überdüngung des Gewässers und der dadurch hervorgerufenen Massenvermehrung der Produzenten wird allgemein mit dem Begriff „Eutrophierung“ charakterisiert. Ein besonders großes eutrophierendes Potential besitzt der die Biomasseproduktion limitierende Faktor (Minimumfaktor), bei dem es sich in aquatischen Ökosystemen zumeist um

Phosphat, seltener auch um Nitrat handelt. Die beschriebene, starke Vermehrung der Destruenten und Produzenten fördert wiederum die Vermehrung der Konsumenten, was insgesamt mit einem höheren Anfall organischer Verbindungen in Form von toter Biomasse und Ausscheidungen korreliert. Zur Unterhaltung der Atmung und aeroben Mineralisierung steigt folglich die von der lebenden Biomasse pro Zeiteinheit benötigte Sauerstoffmenge, also die Sauerstoffzehrung im aquatischen Ökosystem. Die damit einhergehende, sukzessive Abnahme des Sauerstoffgehaltes führt schließlich schrittweise zum Übergang des betreffenden Gewässers vom oxischen in den anoxischen Zustand. Bei diesem folgenschweren Übergang ist darauf zu verweisen, dass ein akuter Sauerstoffmangel vor allem in der Nacht auftreten kann, da die Produzenten ohne Lichteinwirkung nicht zur fotosynthetischen Sauerstoffproduktion befähigt sind. Dies führt zum Sterben zahlreicher sauerstoffbedürftiger Organismen, wodurch die tote Biomasse und folglich auch die Sauerstoffzehrung einen weiteren Zuwachs erfahren. Mit fortschreitendem Übergang zum anoxischen Zustand steigt auch die Intensität der von Mikroorganismen zum Abbau organischer Verbindungen betriebenen anaeroben Mineralisierung, wobei es schließlich zur Anreicherung von teilweise sehr toxischen Faulgasen kommt (NH_3 , H_2S , CH_4 , CO_2 , Ammoniak und Schwefelwasserstoff besitzen eine hohe Fischtoxizität). Hierdurch entwickelt sich dann ein Fäulnis-Milieu, das den umgekippten Zustand des Gewässers deutlich anzeigt. In diesem Zustand sammeln sich organische Verbindungen aufgrund unzureichender Mineralisierungsintensitäten am Boden des Gewässers (vgl. Faulschlammakkumulation). Unter den Bedingungen des Fäulnis-Milieus können vor allem Mikroorganismen leben, während höhere Lebensformen vollständig ausgelöscht werden. Zuletzt sei noch darauf verwiesen, dass Phosphat-Anionen unter oxischen Bedingungen in Form von schwerlöslichem Eisen(III)-phosphat gefällt und im Sediment des Gewässers abgelagert werden. Diese Phosphat-Immobilisierung wird auch als „Phosphatfalle“ bezeichnet. Beim Übergang des Gewässers vom oxischen in den anoxischen Zustand, also bei sinkender Sauerstoffkonzentration, werden die im Sediment fixierten Eisen(III)-Kationen jedoch in zunehmendem Maße zu Eisen(II)-Kationen reduziert ($4 \text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + 6 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightleftharpoons 4 \text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{O}_{2(\text{aq})} + 4 \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$) [RIEDEL 2004: 825], wodurch sich lösliches Eisen(II)-Phosphat bildet. Die dabei freigesetzten Phosphat-Anionen leisten einen zusätzlichen Beitrag zur Biomasseproduktion, was folglich mit einer Selbstverstärkung der Eutrophierung korreliert. [HÜTTER 1994: 71 ff.]

2 Praktischer Teil der Projekttag

2.1 Die Stillwasserzone im Nahbereich der Schleuse Kanzem

Das nachstehende Satellitenbild (vgl. Abb. 3) liefert einen Überblick über das Einzugsgebiet der Schleuse Kanzem, inklusive dem Altarm der Saar, dem Saarkanal und der Stillwasserzone.



Abb. 3: Überblick über das Einzugsgebiet der Schleuse Kanzem (1), inklusive Altarm der Saar (2), Saarkanal (3) und Stillwasserzone (4). Bei der analysierten Wasserprobe (P) der Stillwasserzone handelt es sich um eine 1:1-Mischprobe von Oberflächenwasser des West- und Ostufers (rote Pfeilspitzen = Probenentnahmestandorte). [Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten des Bundeslandes Rheinland-Pfalz, o. J.; Foto (17.07.2015): Michel Kickert]

Das im Nahbereich der Schleuse Kanzem befindliche stehende Gewässer wird vom Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Saarbrücken als "Stillwasserzone" bezeichnet. Diese Zone wurde im Zuge der Saarkanalisation als ökologische Ausgleichsmaßnahme künstlich angelegt und kann als ein Prallhang-Relikt des Altarms der Saar betrachtet werden. Am östlichen Ufer der Stillwasserzone führt ein Radweg vorbei, am westlichen Ufer befindet sich dagegen ein kleiner Mischwaldbestand. Insgesamt ist das gesamte Ufer der Stillwasserzone stark von Pflanzen bewachsen (Sträucher und Bäume), wobei insbesondere die Kronen der ufernahen Bäume teilweise weit über die Wasseroberfläche des stehenden Gewässers ragen. Seit einigen Jahren (erste Zählung im Jahr 2004) nisten Kormorane (*Phalacrocorax carbo*) und Graureiher (*Ardea cinerea*) in den Baumkronen am Westufer der Stillwasserzone, wobei die Größe der Kolonien in den letzten Jahren drastisch angestiegen ist (ca. 40 Graureiher und 110 Kormorane im Jahr 2015). Die Exkremente der dort lebenden Vögel sammeln sich auf den Bäumen und im Wasserkörper der Stillwasserzone. Entsprechend sind die meisten Bäume am Westufer großflächig mit einer weißgrauen Kotschicht bedeckt (vgl. Abb. 4), sodass sich dem Betrachter ein überaus bizarres Bild eines Waldes offenbart, das mittlerweile sogar auf Satellitenbildern beobachten werden kann (vgl. Abb. 3). Insbesondere im Hochsommer lassen

sich häufig starke Algenblüten im Wasserkörper beobachten. Darüber hinaus kommt es während den Sommermonaten im nahen Umfeld der Stillwasserzone regelmäßig zu intensiven Gerüchen nach Faulgasen, wobei ein typischer Ammoniakgeruch dominiert. Schließlich sei noch zu betonen, dass die Stillwasserzone ganzjährig einen mehr oder weniger starken, rinnsalartigen Zustrom von Oberflächenwasser erfährt und über einen Mönch (Ablaufwerk) kommunizierend mit der Saar unterhalb der Staustufe in Verbindung steht.

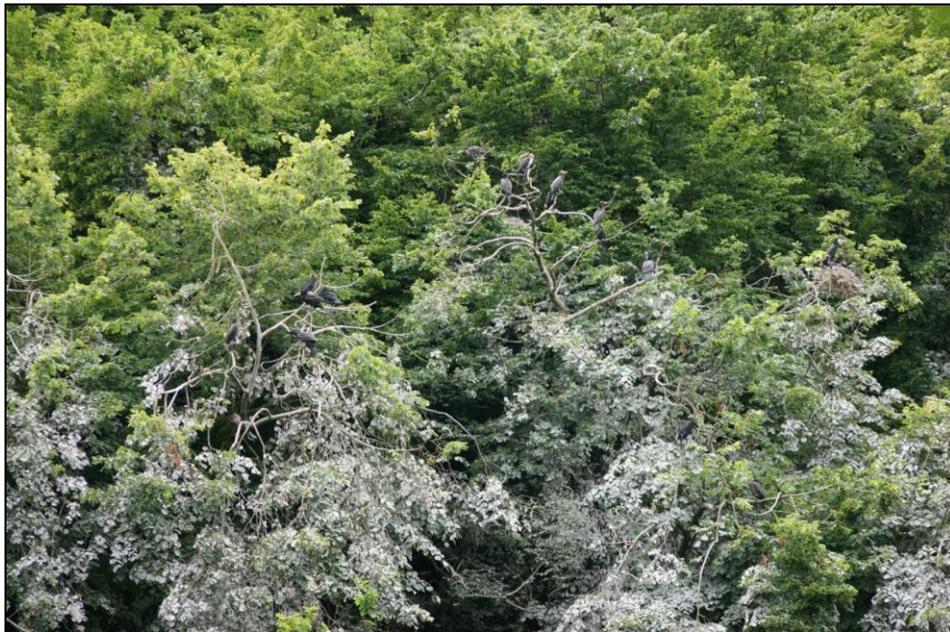


Abb. 4: Foto des Westufers der Stillwasserzone (Nistplätze der Kormorane und Kotauf lagerungen der Baumkronen). [Foto (17.07.2015): Rudolf Schmidt]



Abb. 5: Foto einer Algenblüte in der Stillwasserzone am Tag der Probenentnahme mit Blick auf das Westufer. [Foto (17.07.2015): Michel Kickert]

2.2 Untersuchung physikalisch-chemischer Parameter der Stillwasserzone

Die nachstehend aufgeführten physikalisch-chemischen Parameter (vgl. Tab. 3) wurden – abgesehen von der Sichttiefe (Einsatz einer Secchi-Scheibe) – alle mit HACH-Messgeräten (Tab. 4) und HACH-Testkits (Tab. 5) ermittelt. Während die Parameter "Sichttiefe", "Temperatur", "elektrische Leitfähigkeit", "pH-Wert" und "Sauerstoffsättigung" direkt nach Herstellung der 1:1-Mischprobe (vgl. Abb. 3) erfasst wurden, erfolgte die Bestimmung der N, P und C-Parameter mit geringer zeitlicher Verzögerung im neu eingerichteten und modernen Umweltanalytiklabor am Gymnasium Konz (<http://labor.gymnasium-konz.de/>). Pro Parameter wurden Dreifachbestimmungen durchgeführt, sodass die angegebenen Messwerte (vgl. Tab. 3) Mittelwerte repräsentieren.

Tab 3: Messerwerte (Mittelwerte von Dreifachbestimmungen) bezüglich der 1:1-Mischprobe von Oberflächenwasser des Ost- und Westufers der Stillwasserzone. Probenentnahme: Fr. 17.07.2015, 09:30-09:40 Uhr, Probenuntersuchung im Umweltanalytiklabor: Fr. 17.07.2015, 10:30-11:30 Uhr.

Parameter		Messwert	
Sichttiefe	[cm]	25	
Temperatur	[°C]	39,9	
Elektrische Leitfähigkeit	[µS/cm]	399	
pH-Wert		9,27	
Sauerstoffsättigung	[%]	214	
Ammonium-Konzentration	[mg/l]	0,44	N-Parameter
Ammonium-Stickstoff	[mg/l]	0,35	
Nitrit-Konzentration	[mg/l]	0,26	
Nitrit-Stickstoff	[mg/l]	0,078	
Nitrat-Konzentration	[mg/l]	4,41	
Nitrat-Stickstoff	[mg/l]	1,00	
Gesamtstickstoff	[mg/l]	2,55	
Phosphat-Konzentration	[mg/l]	3,22	P-Parameter
Phosphat-Phosphor	[mg/l]	1,05	
Gesamtphosphor	[mg/l]	1,28	
BSB ₅	[mg/l]	12,3	C-Parameter
CSB	[mg/l]	39,6	

Tab. 4: Eingesetzte HACH-Messgeräte

Messgerät	Modell	Gemessene Parameter
Digitales Multi-Messgerät - Leitfähigkeits-Elektrode - pH-Elektrode - Sauerstoffelektrode	HACH, HQ40d - IntelliCal Leitfähigkeits-Elektrode - IntelliCal pH-Elektrode - IntelliCal Sauerstoffelektrode	- Temperatur - elektrische Leitfähigkeit - pH-Wert - Sauerstoffsättigung
Hochtemperaturthermostat	HACH, HT200S	- Gesamtstickstoff - Gesamtphosphor - CSB

UV-VIS-Fotometer	HACH, DR6000	<ul style="list-style-type: none"> - Ammonium - Nitrit - Nitrat - Gesamtstickstoff - Phosphat - Gesamtphosphor - BSB₅ - CSB
------------------	--------------	--

Tab. 5: Eingesetzte HACH-Testkits (Fotometrie)

Parameter	HACH-Testkit	Messbereich
Ammonium	Pulverkissentest, 2668000	0,01-0,5 mg/l NH ₄ -N
Nitrit	Pulverkissentest, 2107169	0,002-0,3 mg/l NO ₂ -N
Nitrat	LCK-Küvettest, LCK339	0,23-13,5 mg/l NO ₃ -N
Gesamtstickstoff	LCK-Küvettest, LCK138	1-16 mg/l TN
Phosphat	LCK-Küvettest, LCK349	0,05-1,5 mg/l PO ₄ -P
Gesamtphosphor	LCK-Küvettest, LCK349	0,05-1,5 mg/l PO ₄ -P
BSB ₅	LCK-Küvettest, LCK554	0,5-12 mg/l
CSB	LCK-Küvettest, LCK414	5-60 mg/l

Nachstehend sollen einige zentrale Gedanken zur Interpretation und Bewertung der gewässeranalytischen Messwerte aufgeführt werden, die mit den Schülerinnen und Schülern auf Basis der Stoff- bzw. Elementkreisläufe erarbeitet wurden (vgl. Abb. 2). Entsprechend der Probenentnahme beziehen sich diese Aussagen (in erster Linie) auf das Oberflächenwasser der Stillwasserzone.

Die starke Übersättigung des Oberflächenwassers mit molekularem Sauerstoff lässt sich auf die am Untersuchungstag zu beobachtende Algenblüte erklären (vgl. Abb.5). Aus diesem Grund war auch die Sichttiefe überaus gering. Mit der insgesamt hohen Fotosyntheseaktivität des Algent Teppichs lässt sich auch der relativ kritisch einzustufende pH-Wert erklären: Im Verlauf des Tages werden von den Produzenten verstärkt Hydrogencarbonat-Anionen zur Fotosynthese herangezogen, wobei im Austausch Hydroxid-Anionen abgegeben werden, sodass der Wasserkörper zunehmend alkalisch wird. Mit zunehmendem pH-Wert wird wiederum das NH₄⁺/NH₃-Gleichgewicht stärker in Richtung Ammoniak verschoben, was unter Berücksichtigung der relativ hohen Ammonium-Konzentration und der relativ hohen Temperatur im Oberflächenwasser eine Ammoniak-Ausgasung begünstigt und damit auch den starken Ammoniak-Geruch im nahen Umfeld der Stillwasserzone erklärt. Die mit der Algenblüte einhergehende Sauerstoffübersättigung des Oberflächenwassers am Tag sollte mit einer Sauerstoffunterversorgung in der Nacht korrelieren (fortlaufende Zellatmung, keine Fotosynthese), sodass sich im Oberflächenwasser anoxische Lebensbedingungen und damit anaerobe Mineralisationsprozesse einstellen. Während in der Nacht also Prozesse wie Nitrat-Ammonifikation und Denitrifikation dominieren sollten (Verminderung der Nitrat-Konzentration in der Nacht), soll-

te im Tagesverlauf mit zunehmender Sauerstoffanreicherung eine fortschreitende Nitrifikation zu beobachten sein (Anstieg der Nitratkonzentration am Tag). Darüber hinaus sei zu erwähnen, dass Nitrat-Anionen verstärkt von Produzenten zur Biomasseakkumulation (N-Assimilation) aufgenommen werden. Unter Berücksichtigung dieser beiden Faktoren lassen sich die relativ niedrigen Nitrat-Konzentration am frühen Vormittag verstehen. Als weiteres pflanzliches Nährelement sei auf Phosphor in Form von Phosphat-Anionen verwiesen, die am Untersuchungstag in überaus hoher Konzentration vorlagen, was vermutlich in erster Linie auf den starken Koteintrag durch die Kormoran- und Graureiherkolonien in den Baumkronen am westlichen Ufer der Stillwasserzone zurückzuführen ist. Beim Vergleich der Phosphat- und Nitrat-Messwerte lässt sich vermuten, dass zum Zeitpunkt der Untersuchung die Nitrat-Anionen den limitierenden Faktor für das Wachstum der Produzenten darstellten. Der BSB₅-Wert ist ein Maß für den Gehalt an biologisch leicht abbaubaren organischen Verbindungen; der CSB-Wert ist hingegen als Maß für die biologisch leicht, schwer und nicht abbaubaren organischen Verbindungen zu betrachten. Die BSB₅- und CSB-Messwerte zeigen beide an, dass die Stillwasserzone erheblich mit organischem Material belastet ist (vgl. Exkrement und Laub). Unter Berücksichtigung der hier beschriebenen Zusammenhänge bleibt festzuhalten, dass sich die Stillwasserzone zum Untersuchungszeitpunkt in einem ökologisch besonders kritisch zu bewertenden eutrophen bis polytrophen Zustand befand (vgl. STREBLE et al. 2006: 37). Hauptursachen für diese Situation sind der regelmäßige Eintrag von Laub (relativ üppige Vegetation im Uferbereich) und Exkrementen (relativ große Vogelkolonien). Auch wenn das Tiefenwasser der Stillwasserzone im Rahmen der Projekttag nicht untersucht wurde, so lässt sich auf Basis der hier beschriebenen Zusammenhänge eine starke Faulschlammakkumulation am Grund der Stillwasserzone vermuten. Demnach sollten im Tiefenbereich der Stillwasserzone ganzjährig anoxische Lebensbedingungen vorliegen (anaerobe Mineralisation, Faulgasbildung).

2.2 Verbesserung des Gewässerzustandes der Stillwasserzone

Unter Berücksichtigung der besorgniserregenden Messwerte zum Zeitpunkt der Untersuchung entwickelten die Schülerinnen und Schüler der Projektgruppe Strategien zur Verbesserung des Gewässerzustandes der Stillwasserzone, deren Realisierbarkeit schließlich mit dem Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Saarbrücken (Außenbezirk Saarburg) kommuniziert wurde. Auf diese Weise konnte das Gymnasium Konz eine Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden anbahnen, die schließlich dazu führte, dass eine (energetisch kostenneutrale) Einleitung von vergleichsweise wenig belastetem Saarwasser aus der Stauhaltung in die tiefer gelegene Stillwasserzone realisiert wurde (Oberflächeneinleitung). Der hierdurch hervorgerufene – zumindest oberflächennahe – Verdünnungseffekt sollte mittelfristig zu einer leichten Verbesserung des Gewässerzustandes beitragen. Als Anerkennung für die umweltanalytischen Studien der Schülerinnen und Schüler und die angestoßenen

Handlungsmaßnahmen zur Verbesserung von ökologisch problematisch zu bewertenden Umweltparametern wurde dem Gymnasium Konz der "RWE-Klimaschutzpreis 2015" verliehen.

Das Gymnasium Konz setzt seit längerer Zeit einen Schwerpunkt im Bereich Umwelterziehung bzw. Umweltanalytik (vgl. <http://labor.gymnasium-konz.de/mint-schwerpunkte/>), was insbesondere durch das Vorhandensein eines modernen Umweltanalytiklabors gefördert worden ist.

- chemische und biologische Gewässeranalytik
am Konzer Bach (Bachpatenschaft), an der Saar und an der Mosel.
- chemische und biologische Bodenanalytik
am Liescher Berg (unter Einbezug des Orchideenpfades),
wo auf engstem Raum unterschiedliche Ausgangsgesteine (Buntsandstein vs. Muschelkalk) und Bodentypen (Rendzina versus Braunerde) vorliegen.

Hierbei wird im Zusammenhang der Aneignung von interdisziplinären Fachkenntnissen und dem Einüben analytischer Fachmethoden stets das Ziel verfolgt, den Lernenden ein Verständnis bezüglich der Notwendigkeit des Umweltschutzes zu vermitteln – denn was sie nicht verstehen, werden sie auch nicht schätzen; und was sie nicht schätzen, werden sie auch nicht schützen.

B Literaturverzeichnis

CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B.: *Biologie*. 6. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2003.

CYPIONKA, H.: *Grundlagen der Mikrobiologie*. 4. Auflage. Berlin: Springer-Verlag 2002.

FUCHS, G.; SCHLEGEL, H. G.; EITINGER, T.: *Allgemeine Mikrobiologie*. 8. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

HÜTTER, L. A.: *Wasser und Wasseruntersuchung. Methodik, Theorie und Praxis chemischer, chemisch-physikalischer, biologischer und bakteriologischer Untersuchungsverfahren*. 6. Auflage. Frankfurt a. M. und Aarau: Otto Salle Verlag und Sauerländer Verlag 1998.

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten des Bundeslandes Rheinland-Pfalz (Hrsg.): *Landschaftsinformationssystem (LANIS) der Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz*. Mainz: (o. J.).

Internet: http://map1.naturschutz.rlp.de/mapservers_lanis/
(Stand: 13.09.2016)

RICHTER, G.: *Stoffwechselphysiologie der Pflanzen. Physiologie und Biochemie des Primär- und Sekundärstoffwechsels*. Auflage 6. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 1998.

RIEDEL, E.: *Anorganische Chemie*. 6. Auflage. Berlin: Walter de Gruyter Verlag 2004.

SITTE, P.; WEILER, E. W.; KADEREIT, J. W. et al.: *Strasburger. Lehrbuch der Botanik*. 35. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2002.

STREBLE, H.; KRAUTER, D.: *Das Leben im Wassertropfen: Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers Ein Bestimmungsbuch*. Stuttgart: Kosmos Verlag 2006.

VNR Verlag für die deutsche Wirtschaft AG (Hrsg.): www.zitate.de. Bonn (o. J.).
Internet: <http://www.zitate.de/autor/Sihler%2C+Helmut>
(Stand: 13.09.2016)