



# GewässerCampus

ein Projekt von desklab in Kooperation mit der RPTU

## Abschlussbericht

11/2020 - 06/2023

Im Projekt GewässerCampus wurden Messprotokolle, Unterrichtsmaterialien, ein tragbares Photometer und eine Webanwendung entwickelt um damit die Untersuchung der Gewässergüte durch Schüler:innen als Citizen Scientists zu ermöglichen.



### PROJEKTZIELE

Wir ermöglichen es Lehrkräften, **im Schulunterricht die ökologische Gewässergüte zu untersuchen**. Durch die Kombination praktischer Analysen in der Limnologie mit einem Citizen-Science Ansatz wenden die Schüler:innen **wissenschaftspropädeutische Methoden** an.

Die Verknüpfung der Eindrücke vor Ort mit den selbstständig erhobenen Messwerten erzeugt ein **nachhaltiges Umweltbewusstsein**.

### ERGEBNISSE



#### UNTERRICHTSMATERIALIEN

- Fachwissen zur Theorie der Ökologie und der Nachweisreaktionen
- Anleitungen zur Probenentnahme und Analyse
- Unterstützung bei der Formulierung und Überprüfung von Hypothesen



#### LABORPROTOKOLLE & PHOTOMETER

- an Einsatzgebiet (Feldarbeit) angepasst
- präzise Ergebnisse & einfache Bedienung
- günstiges aber vielseitiges Messgerät



#### WEBANWENDUNG

- Unterstützung bei der Verwaltung
- Daten teilen & auswerten
- Open Source - Programmcode

### GEMESSENE PARAMETER

CHEMISCH	PHYSIKALISCH	BIOLOGISCH
$\text{NO}_3^-$	$^{\circ}\text{C}$	$\text{Chl}_a$
$\text{NO}_2^-$	$d_s$	S
$\text{SO}_4^{2-}$		$\text{BSB}_5$
$\text{PO}_4^{3-}$		CSB
$\text{NH}_4^+$		
pH		

### CITIZEN SCIENCE x SCHULE

Die Verbindung eines Citizen Science - Projektes mit dem Schulunterricht erzeugt ein **realitätsnahes Lernumfeld zum Forschenden Lernen**.

### UNTERSTÜTZUNG DER FORSCHUNG & GESELLSCHAFT

Die **Methoden, Geräte und Software** steht zukünftigen Projekten zur Verfügung. Die erhobenen **Daten** werden von Wissenschaftler:innen und Bürger:innen analysiert.

Das Projekt GewässerCampus wird durch die **gemeinnützige desklab UG (haftungsbeschränkt)** in Zusammenarbeit mit dem **Lehrgebiet für Bioverfahrenstechnik der RPTU** durchgeführt und durch die **Deutsche Bundesstiftung Umwelt** unter dem Titel **"ECOLAB - Photometrie im Sinne der Umweltbildung verstehen und anwenden"** (Projektnummer 35811) gefördert. Weitere Informationen sind unter [www.gewaessercampus.de](http://www.gewaessercampus.de) verfügbar.

# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	1
2	Anlass und Zielsetzung des Projektes.....	3
3	Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden .....	5
3.1	Entwicklung der Experimente & Unterrichtsmaterialien (Arbeitspaket A) .....	5
3.2	Entwicklung des tragbaren Photometers (Arbeitspaket B) .....	6
3.3	Entwicklung der Webanwendung (Arbeitspaket C) .....	6
3.4	Entwicklung und Durchführung von Lehrerfortbildungen (Arbeitspaket D) .....	6
3.5	Evaluation (Arbeitspaket E).....	6
3.6	Leihsystem für Geräte & Materialien (Arbeitspaket F).....	7
3.7	Fachdidaktische Begleitung & Veröffentlichungen (Arbeitspaket G).....	7
4	Ergebnisse (vormals Umgesetzte Maßnahmen & Ergebnisse).....	8
4.1	Entwicklung der Experimente & Unterrichtsmaterialien (Arbeitspaket A) .....	8
4.1.1.	Nitrit-Nachweis .....	12
4.1.2.	Nitrat-Nachweis.....	12
4.1.3.	Ammonium-Nachweis .....	13
4.1.4.	Phosphat-Nachweis .....	14
4.1.5.	Sulfat-Nachweis .....	15
4.1.6.	pH-Wert.....	16
4.1.7.	Gelöstsauerstoffgehalt und BSB5 .....	17
4.1.8.	Chlorophyll-a-Gehalt .....	17
4.1.9.	Bebilderte Versuchsanleitungen.....	18
4.1.10.	Unterrichtskonzepte .....	19
4.2	Entwicklung des tragbaren Photometers (Arbeitspaket B) .....	21
4.3	Entwicklung der Webanwendung (Arbeitspaket C) .....	23
4.4	Entwicklung und Durchführung von Lehrerfortbildungen (Arbeitspaket D) .....	26
4.5	Projektelevaluation (Arbeitspaket E).....	28
4.6	Leihsystem für Geräte & Materialien (Arbeitspaket F).....	33
4.7	Fachdidaktische Begleitung & Veröffentlichungen (Arbeitspaket G).....	35
5	Diskussion.....	37
6	Öffentlichkeitsarbeit.....	41
7	Fazit .....	43
8	Erfüllung etwaiger Bewilligungsaufgaben .....	44
9	Danksagung und Kontaktinformation.....	44
10	Literaturangaben .....	45

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Graphische Darstellung der Ziele, Projektbausteine und Ergebnisse des GewässerCampus-Projekts. ....	1
<b>Abbildung 2: A:</b> Absorptionsspektrum des beim Nitrit-Nachweis gebildeten rosa Azofarbstoffs - die graue gestrichelte Linie markiert die Wellenlänge der verwendeten LED (530 nm); <b>B:</b> Absorptionswerte der Konzentrationsreihen mit steigender Nitrit-Konzentration, gemessen mit dem tragbaren Photometer (LED: 530 nm). ....	11
<b>Abbildung 3: A:</b> Schematisches Prinzip des Nitrit-Nachweises. Die dabei verwendeten Reagenzien werden als NO <sub>2</sub> I und NO <sub>2</sub> II bezeichnet; <b>B:</b> Konzentrationsreihe mit steigender Nitrit-Konzentration von 0 - 0,3 mg/L und nach Zugabe der Nitrit-Reagenzien.....	12
<b>Abbildung 4: A:</b> Schematisches Prinzip des Nitrat-Nachweises. Die dabei verwendeten Reagenzien werden als NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> I und NO <sub>2</sub> II bezeichnet; <b>B:</b> Konzentrationsreihe mit steigender Nitrat-Konzentration von 0 - 4 mg/L und nach Zugabe der Reagenzien.....	13
<b>Abbildung 5: A:</b> Schematisches Prinzip des Ammonium-Nachweises. Die dabei verwendeten Reagenzien werden als NH <sub>4</sub> I und NH <sub>4</sub> II bezeichnet; <b>B:</b> Konzentrationsreihe mit steigender Ammonium-Konzentration von 0 - 0,7 mg/L und nach Zugabe der Reagenzien.....	14
<b>Abbildung 6: A:</b> Schematisches Prinzip des Phosphat-Nachweises. Die dabei verwendeten Reagenzien werden als PO <sub>4</sub> I und PO <sub>4</sub> II bezeichnet; <b>B:</b> Konzentrationsreihe mit steigender Phosphat-Konzentration von 0 – 2 mg/L und nach Zugabe der Reagenzien. ....	15
<b>Abbildung 7: A:</b> Schematisches Prinzip des Sulfat-Nachweises. Das verwendete Reagenz wird als SO <sub>4</sub> bezeichnet.; <b>B:</b> Konzentrationsreihe mit steigender Sulfat-Konzentration von 0 - 100 mg/L und nach Zugabe des SO <sub>4</sub> -Reagenz. ....	15
<b>Abbildung 8: A:</b> Schematisches Prinzip der pH-Wert-Bestimmung im pH-Bereich zwischen 6 und 9. Das verwendete Reagenz pH I enthält eine PH-Indikatormischung; <b>B:</b> Reihe einer Pufferlösung mit steigendem pH-Wert im pH-Bereich von 6 bis 9. ....	16
<b>Abbildung 9: A:</b> Schematisches Prinzip der pH-Wert-Bestimmung im pH-Bereich zwischen 4,25 und 6,25. Das verwendete Reagenz pH I enthält eine pH-Indikatormischung; <b>B:</b> Reihe einer Pufferlösung mit steigendem pH-Wert im pH-Bereich von 4 bis 6. ....	16
<b>Abbildung 10: A:</b> Schematisches Prinzip der Bestimmung des Gelöstsauerstoffgehalts. Es werden dabei insgesamt 3 Reagenzien hinzugefügt; <b>B:</b> Reihe mit steigendem Gelöstsauerstoffgehalt von 0 - 14 mg/L und nach Zugabe der O <sub>2</sub> -Reagenzien. ....	17
<b>Abbildung 11: A:</b> Bebilderte Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Entnahme der Gewässerprobe; <b>B:</b> Bebilderte Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Bedienung des im Projekt entwickelten tragbaren Photometers.....	18

<b>Abbildung 12:</b> Bebilderte Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Bestimmung der Nitrat-Konzentration einer Gewässerprobe ( <b>A:</b> Vorderseite; <b>B:</b> Rückseite). Neben den Anweisungen zur Durchführung sind auch Hinweise zum Tragen von Schutzausrüstung, Entsorgung und Informationen zur Reaktion aufgeführt.....	19
<b>Abbildung 13:</b> Übersicht über die erstellten Unterrichtskonzepte für die Fächer Biologie und Chemie - *wahlweise auch Fächer mit ähnlichem Schwerpunkt, z.B. WPF Ökologie. Es wurden Varianten für einen fächerübergreifenden Projekttag sowie für Unterrichtsreihen (UR) mit bis zu 12 Unterrichtseinheiten (UE) und einer Exkursion ans Gewässer. Es ist außerdem der jeweilige Fokus des Unterrichtsentwurfs angegeben.....	20
<b>Abbildung 14:</b> Ausschnitte aus dem GewässerCampus - Praxisleitfaden: Dieses Dokument fasst Hintergrundinformation, praktische Tipps und Ideen zur Einbettung in den Unterricht für Lehrkräfte zusammen. ....	21
<b>Abbildung 15:</b> Fotos und schematische Darstellung des tragbaren GewässerCampus-Photometers.....	22
<b>Abbildung 16:</b> Übersicht der zentralen Funktionen der Webanwendung (Version 0.8.4). ....	23
<b>Abbildung 17:</b> Screenshots mit beispielhaften Ansichten der Webanwendung. ....	25
<b>Abbildung 18:</b> Kennzahlen zur Nutzung des Onlineportals (Stand der Daten: 01.09.2023). ....	25
<b>Abbildung 19:</b> Strukturelle Übersicht über die drei Phasen des GewässerCampus-Projekttags im Rahmen der Projektevaluation inklusive inhaltlichem Fokus und geplanten Zeitumfang der Phasen. Den Lehrkräften wurde für die Durchführung des Projekttags ein detaillierter Unterrichtsentwurf an die Hand gegeben.....	29
<b>Abbildung 20:</b> Schematische Darstellung des Ablaufs des GewässerCampus-Projekttags, der von den Kursen/Klassen im Rahmen der Projektevaluation durchgeführt wurde.....	31
<b>Abbildung 21:</b> Übersicht über den Inhalt der GewässerCampus-Experimentierkiste, wie sie im Forscherkistensystem der BioVT zur Ausleihe zur Verfügung steht. ....	34
<b>Abbildung 22:</b> Beispiele der öffentlich verfügbaren Infomaterialien zum GewässerCampus-Projekt (verfügbar in verschiedenen Formaten und für die verschiedenen Zielgruppen: Schüler:innen, Lehrkräfte, interessierte Bürger:innen). ....	41
<b>Abbildung 23:</b> Ausschnitte aus der GewässerCampus-Website ( <a href="http://www.gewaessercampus.de">www.gewaessercampus.de</a> ), abgerufen am 01.09.2023.....	42

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Nachweisgrenze (NWG), Erfassungsgrenze (EG) und Bestimmungsgrenze (BG) verschiedener Methoden zur Quantifizierung von Nitrit-, Nitrat-, Phosphat-, Sulfat- und Ammonium-Ionen in Gewässerproben mit dem Spektrophotometer und dem GewässerCampus-Photometer. ....	10
<b>Tabelle 2:</b> Liste aller durchgeführten Lehrkräftefortbildungen im Zusammenhang mit dem GewässerCampus-Projekt im Rahmen der Projektlaufzeit .....	28
<b>Tabelle 3:</b> Liste der an der GewässerCampus-Projektevaluation teilnehmenden Schulen mit Klassenstufe, Fach, Anzahl der Schüler:innen und Zeitraum der Durchführung.....	32
<b>Tabelle 4:</b> Tabellarische Übersicht zu den Konferenzbeiträgen des Projekts während der Projektlaufzeit. ....	36

# 1 Zusammenfassung

Die Beteiligung an gesellschaftlichen Diskussionen über die Notwendigkeit und die daraus folgenden Maßnahmen zum Schutz der Umwelt erfordert ein kritisches Verständnis wissenschaftlicher Prinzipien und die Kompetenz, evidenzbasierte Entscheidungen zu treffen. Die Grundlagen dieses Prozesses sollten fester Bestandteil des MINT-Unterrichts in den Schulen sein, die Umsetzung dieser Inhalte in motivierende und befähigende Unterrichtseinheiten stellt Lehrkräfte allerdings vor vielseitige Herausforderungen in der Schulpraxis. Dies zeigt sich auch bei der Beschäftigung mit aquatischen Ökosystemen. Die Ökologie von Gewässern ist zwar ein fester Bestandteil des naturwissenschaftlichen Unterrichts, doch aufgrund der aufwendigen Messverfahren und der benötigten kostenintensiven Laborausstattung wird der Themenkomplex dort fast ausschließlich theoretisch behandelt. Daher sind einfache experimentelle Methoden, die präzise, leicht zu erlernen und anzuwenden sind, sowie eine kostengünstige und robuste Ausrüstung notwendig, um Schüler:innen eine praktische Beschäftigung und das damit einhergehende nachhaltige Lernen zu ermöglichen und ein tiefgehendes Verständnis für den Zustand der Umwelt den Prozess der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung zu erreichen.

## GewässerCampus

Entwicklung eines Citizen Science - Werkzeugkastens zur Beurteilung der Gewässergüte im MINT-Unterricht

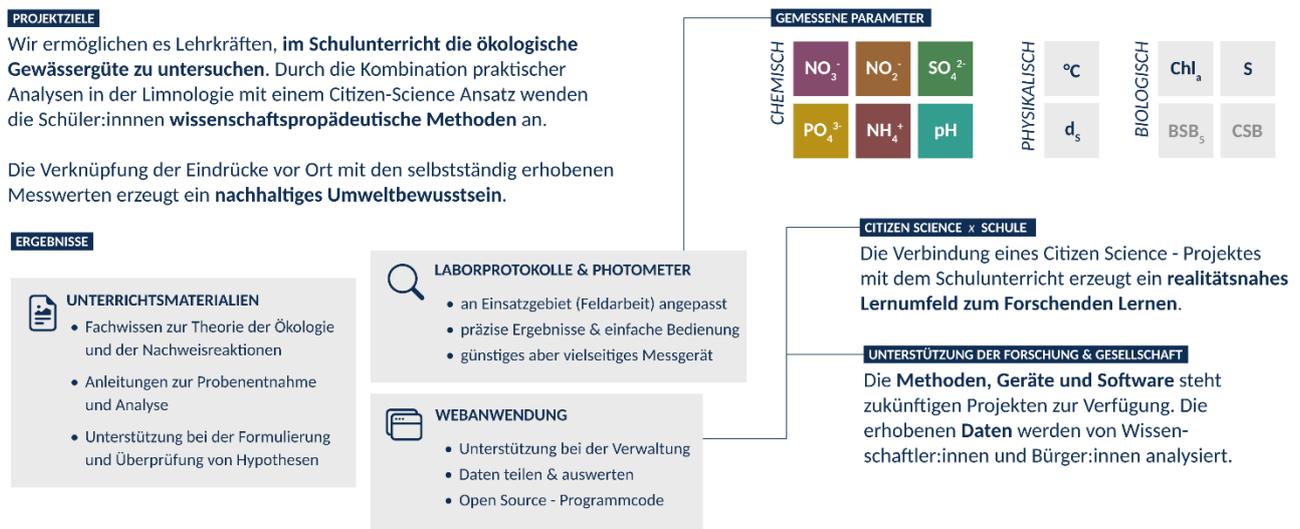


Abbildung 1: Graphische Darstellung der Ziele, Projektbausteine und Ergebnisse des GewässerCampus-Projekts.

Im Verlauf des Projekts "ECOLAB<sup>1</sup> - Photometrie im Sinne der Umweltbildung verstehen und anwenden" wurde ein Citizen Science-Werkzeugkasten (Abbildung 1) entwickelt, mit dem eine Untersuchung der ökologischen Gewässergüte im MINT-Unterricht ermöglicht wird. Die Projektergebnisse umfassen einfach durchzuführende Laborprotokolle, mit deren Hilfe, in Kombination mit dem didaktisch aufbereiteten und tragbaren Photometer, direkt am Untersuchungsort photometrische Experimente zur Quantifizierung der für den chemischen Gewässerzustand charakteristischen Parameter pH-Wert, Phosphat, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Sulfat, Gelöstsauerstoff- und Chlorophyll-a-Gehalt erfolgen kann. Ergänzend dazu vermitteln die begleitenden Unterrichtsmaterialien die wichtigsten theoretischen Hintergründe sowie zu den verwendeten Nachweisreaktionen. Die erarbeiteten Unterrichtsmaterialien beinhalten auch leicht verständliche, bebilderte Anleitungen zur Durchführung der Experimente und eine Erklärung und Anleitung für die Berechnung chemischer Gewässergüteindizes: den BACH-Index (Fließgewässer) und den Trophie-Index (stehender Gewässer). Die chemische Gewässergüte wird dabei auch im Kontext der Gewässerstrukturgüte und der biologischen Gewässergüte betrachtet, deren Bestimmung ebenfalls unterstützt wird. Alle entwickelten Materialien sind öffentlich einsehbar und können von interessierten Lehrkräften im Regelunterricht als auch in extracurricularen Projekten eingesetzt werden.

Die bei der Gewässeranalyse erhaltenen Messergebnisse können von den Schüler:innen in einer im Projekt entwickelten Open-Source-Webanwendung ([app.gewaessercampus.de](http://app.gewaessercampus.de)), ausgewertet und veröffentlicht werden. Durch die Datenerhebung tragen die Schüler:innen als Citizen Scientists zur Erstellung und Vervollständigung eines Gewässerprofils auf Grundlage einer realen Datenbasis bei und können alle Phasen des wissenschaftlichen Prozesses der Erkenntnisgewinnung an einem authentischen Projekt erleben und lernen.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Laborprotokolle wurde eine GewässerCampus-Experimentierkiste zusammengestellt, die in das bestehende Verleihsystem des Lehrgebiets der Bioverfahrenstechnik der Rheinland-Pfälzisch Technischen Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU) aufgenommen wurde. Über die Projektzeit hinaus können die für eine photometrischen Gewässeranalyse notwendigen Materialien kostenlos von Lehrkräften ausgeliehen werden. Des Weiteren wurden Lehrkräftefortbildungen unter Anwendung der im Projekt erarbeiteten Materialien sowohl im Online- als auch im Präsenzformat konzipiert und durchgeführt.

---

<sup>1</sup> Im Laufe des Projekts wurde das Projekt von "ECOLAB" in "GewässerCampus" umbenannt. Aus diesem Grund wird auch im weiteren Verlauf des Projektbericht die Bezeichnung "GewässerCampus" verwendet.

## 2 Anlass und Zielsetzung des Projektes

Viele Umweltprobleme sind nicht monokausal zu erklären und ihre Diskussion bedarf naturwissenschaftlichen Fachwissens. Aufgrund der Komplexität, der bei der naturwissenschaftlichen Datenerhebung und Auswertung zum Einsatz kommenden Methoden, können diese häufig aber nicht im naturwissenschaftlichen Unterricht in der Schule behandelt werden. In der Folge ist ein kritisches Auseinandersetzen mit den Ergebnissen und ein Ableiten von Entscheidungen und eigenen Handlungen nicht möglich.

In den aktuellen Debatten ist die Gewässerbelastung durch Schadstoffe sehr präsent. Trotzdem fällt es den Schüler:innen schwer, die Daten, die die Grundlage von gesellschaftlichen Entscheidungen bilden, mit den Erfahrungen aus ihrem Lebensumfeld zu verknüpfen. Gleichzeitig findet die Photometrie, die eine wichtige Analysemethode in der Umweltchemie darstellt, in der Schule nur wenig Beachtung. Dies liegt vor allem daran, dass Laborphotometer sich für Schulen als ungeeignet erweisen. Sie sind teuer, nicht transportabel und die Funktionsweise des Geräts ist für Schüler:innen nicht ersichtlich. Diese Umstände verhindern, dass sie zu einer datenbasierten Entscheidung befähigt und zu einem nachhaltigen und umweltbewussten Handeln bewegt werden können.

Im Zentrum dieses Projektes steht die Idee, dass Schüler:innen in direkt am Untersuchungsort durchgeführten Experimenten ein Gewässerprofil erstellen und auswerten. Parallel zu den experimentellen Protokollen soll ein didaktisch aufbereitetes, tragbares Photometer entwickelt werden, das sich für Feldversuche in diesem Kontext eignet. Durch diese affektive Verknüpfung mit kognitiven Inhalten bleibt die Umweltanalytik kein rein theoretisches Themenfeld mehr, sondern die Schüler:innen werden für äußere Einflüsse und deren Folgen in Ökosystemen sensibilisiert. Indem sie die einzelnen Schritte, die zur Beantwortung einer Forschungsfrage nötig sind, selbstständig durchführen, soll den Schüler:innen die zentrale Kompetenz des wissenschaftlichen Arbeitens vermittelt werden. Dabei sollen durch die Integration eines *Citizen Science* - Ansatzes wissenschaftspropädeutische Kompetenzen erworben werden.

Dieser Prozess wird durch eine im Rahmen des Projektes entwickelte Webanwendung unterstützt. Diese bietet den Schüler:innen die Möglichkeit, die eigenen Messergebnisse zu veröffentlichen und die Ergebnisse und Auswertungen anderer interaktiv darzustellen. Der dadurch entstehende Raum ermöglicht es den Schüler:innen, erste Erfahrungen mit dem Entstehungsprozess wissenschaftlicher Veröffentlichungen und Kollaborationen zu erlangen und senkt damit die Hürden zur Partizipation an weiteren *Citizen Science* - Projekten. Zusätzlich können aufbauend auf diesen Erkenntnissen von den Schüler:innen Ansätze zum Schutz von

Gewässern auf Grundlage einer realen Datenbasis erarbeitet werden. Die enge Verknüpfung mit curricularen Inhalten in mehreren Bundesländern und die Vernetzung der Projektpartner über alle Phasen der Ausbildung der Lehrkräfte hinweg wird mit einem Veranstaltungsangebot zur Implementierung der Projektergebnisse im Regelunterricht verbunden.

### 3 Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Inhalte des Projekts wurden in den im Antrag dargestellten Arbeitspaketen (A-G) von dem beteiligten Antragsteller (BioVT) sowie dem Kooperationspartner (desklab) bearbeitet. Dabei sind die Arbeitspakete A sowie D, E, F und G dem Antragsteller und die Arbeitspakete B und C dem Kooperationspartner zugeordnet. Im Folgenden werden alle Arbeitspakete beschrieben.

#### 3.1 Entwicklung der Experimente & Unterrichtsmaterialien (Arbeitspaket A)

Der Umfang der im Projekt entwickelten Versuchen besteht aus der photometrischen Bestimmung von Parametern, die wichtig für die Bestimmung der Qualität eines Gewässers sind. Zuerst wurde sich auf die Konzentrationsbestimmung der klassischen Parameter fokussiert, die zur Analyse des chemischen Gewässerzustands nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) [1] wichtig sind. Diese beinhaltet die Bestimmung des pH-Wertes, des Phosphat-, Nitrat-, Nitrit-, Sulfat- und Ammoniumgehalts. Die neu ausgearbeiteten Versuchsvorschriften wurden hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit in der Schulpraxis nach den von der Kultusministerkonferenz herausgegebenen Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht [2] und der Stoffliste zur DGUV Regel 113-018 „Unterricht in Schulen mit gefährlichen Stoffen“ [3] ausgewählt und geprüft. Gleichzeitig wurden die fachlichen Inhalte der Versuchsvorschriften didaktisch reduziert und zu besserer Verständlichkeit für die Schüler:innen in Form bebildeter Anleitung gestaltet. Zur praktischen Durchführung am Gewässer wurde eine GewässerCampus-Experimentierkiste für die praktische Durchführung der photometrischen Gewässeranalyse im Rahmen einer Exkursion in Anlehnung an bestehende Experimentierkisten, die sich bereits im Bestand des Lehrgebiets für Bioverfahrenstechnik der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität (RPTU) in Kaiserslautern befinden, zur Ausleihe konzipiert. Weiterhin wurden für eine Untersuchung am Gewässer im Rahmen einer Exkursion, angepasst an unterschiedliche Exkursionsdauern mehrere Ablaufszenarien und -pläne, erstellt. Dadurch wird die Vorbereitungszeit und Organisation einer Exkursion zur Gewässeranalyse für die Lehrkraft so gering wie möglich gehalten werden. Die Durchführung und Handhabbarkeit der Exkursion am Gewässer mit den entwickelten Materialien und Exkursionsabläufen wurden im Vorfeld im Labor und später in Zusammenarbeit mit Lehrkräften und ihren Schulklassen getestet. Im Anschluss daran wurden ausführliche Unterrichtsmaterialien für Schüler:innen sowie eine Handreichung für Lehrkräfte mit anpassbaren Unterrichtsreihen für die Fächer Biologie und Chemie der Sekundarstufe I/II nach dem rheinland-pfälzischen Lehrplan erarbeitet. Diese umfassen neben den Versuchsbeschreibungen auch die Kontextualisierung, Einführungen in die Themen „Umweltprobleme“, „Ökologie“ und „Photometrie“ sowie Erklärungen zur Nutzung der Webanwendung. Für Lehrkräfte wurden die

fachlichen Inhalte zur Zusammensetzung und Herstellung der verwendeten Reagenzien und Hintergründen zu den ablaufenden Reaktionen aufgearbeitet und bereitgestellt, um ein tiefergehendes Verständnis der Thematiken sicherzustellen.

### **3.2 Entwicklung des tragbaren Photometers (Arbeitspaket B)**

Parallel zu den Versuchen wurde ein didaktisch aufbereitetes, tragbares und kostengünstiges Photometer entwickelt, das sich für Feldversuche eignet. Im Fokus der didaktischen Aufbereitung des Photometers stand das Verstehen der Methode der Photometrie und den zugrundeliegenden physikalischen Prinzipien. Die Kalibrierung und Messung werden dabei durch die Schüler:innen aktiv und eigenständig durchgeführt, um sie für die Vergleichbarkeit und Aussagekraft von Messergebnissen zu sensibilisieren.

### **3.3 Entwicklung der Webanwendung (Arbeitspaket C)**

Die Veröffentlichung und der Vergleich mit anderen Ergebnissen sind ein wichtiger Teil der Wissenschaft. Daher sollte auch ein wissenschaftspropädeutisches Angebot diese Prozesse abbilden. Um den Schüler:innen diese Möglichkeit über ihre Klassengemeinschaft hinweg zu bieten, wurde im Rahmen dieses Projektes eine Webanwendung entwickelt, die eine interaktive Darstellung und Auswertung der von den verschiedenen Schüler:innengruppen erhobenen Daten ermöglicht.

### **3.4 Entwicklung und Durchführung von Lehrerfortbildungen (Arbeitspaket D)**

Um den Einsatz der im Projekt entwickelten Materialien im Schulalltag zu erleichtern, wurden im Laufe des Projekts Fortbildungsveranstaltungen zum Thema Gewässerökologie und Photometrie für Lehrkräfte und Referendar:innen geplant und durchgeführt. Im Zentrum steht der Einsatz der begleitenden Unterrichtsmaterialien und der Handreichung für die Lehrkräfte. Sowohl in der Fortbildung als auch in den Materialien wird die Handhabung des Photometers geschult, das Messprinzip der Photometrie sowie die grundlegenden Mechanismen der Nachweisreaktionen erklärt und die Einordnung in den Kontext vermittelt. Es wurde dabei auch die Möglichkeit geboten, alle Versuche betreut durchzuführen, auszuwerten und offene Fragen zu klären. Weiterhin wurden Nutzung und Auswertungsmöglichkeiten in der Webanwendung sowie die Einsatzmöglichkeiten in den unterschiedlichen Klassenstufen und Fächern gemäß der curricularen Vorgaben aufgezeigt.

### **3.5 Evaluation (Arbeitspaket E)**

Im Rahmen einer Projektevaluation wurden die Projektergebnisse und Materialien zu verschiedenen Zeitpunkten im Projektverlauf evaluiert und optimiert. In der letzten Projektphase

fand eine abschließende Projektevaluation in Zusammenarbeit mit verschiedenen Schulen in Rheinland-Pfalz statt, die eine fachdidaktische Begleitforschung beinhaltete. Die Untersuchungsschwerpunkte wurden anhand von Forschungsfragen formuliert und ein Studiendesign erstellt. Die Ergebnisse fließen in das Arbeitspaket G ein und werden außerdem in diesem Abschlussbericht dargestellt.

### **3.6 Leihsystem für Geräte & Materialien (Arbeitspaket F)**

Der Lehrstuhl für Bioverfahrenstechnik (BioVT) der RPTU besitzt ein bereits etabliertes Leihsystem für Schülerforscherkisten zu unterschiedlichsten Themenschwerpunkten im MINT-Bereich [4]. Die Forscherkisten bestehen aus den Unterrichtsleitungen, Versuchsbeschreibungen, Hintergrundwissen zu den entsprechenden Themen und dem benötigten Material. Über die Homepage der BioVT kann ein Bestellformular heruntergeladen werden, durch welches sich durch Ausfüllen eine Forscherkiste für den Einsatz im Unterricht anfordern lässt. In das Leihsystem der BioVT wurden auch die im Verlauf dieses Projekts entwickelten GewässerCampus-Experimentierkisten zur Gewässeruntersuchung aufgenommen. Die GewässerCampus-Experimentierkisten orientierte sich im Aufbau an den bereits existierenden Schülerforscherkisten und enthält alle für die Versuchsdurchführung nötigen Reagenzien, Versuchsleitungen und Verbrauchsmaterialien. Zusammen mit den portablen Photometern können die GewässerCampus-Experimentierkisten dann an interessierte Lehrkräfte zur Durchführung einer Gewässeranalyse im Klassenverband verliehen werden.

### **3.7 Fachdidaktische Begleitung & Veröffentlichungen (Arbeitspaket G)**

Dieses Arbeitspaket sieht neben der fachdidaktischen Begleitung der Entwicklung die Erarbeitung von wissenschaftlichen Beiträgen und Publikationen auf nationalen und internationalen Konferenzen vor. In der letzten Projektphase wurden Veröffentlichungen der Projektergebnisse vorbereitet.

## 4 Ergebnisse (vormals Umgesetzte Maßnahmen & Ergebnisse)

### 4.1 Entwicklung der Experimente & Unterrichtsmaterialien (Arbeitspaket A)

Zum Projektstart wurden im ersten Schritt die charakteristischen Parameter definiert, um eine chemische Gewässeranalyse durchzuführen. Es wurde sich dabei auf die Konzentrationsbestimmung der klassischen Parameter fokussiert, die zur Analyse des chemischen Gewässerzustands nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) [1] wichtig sind. Bei der Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) handelt es sich um eine Vereinheitlichung und Bündelung von aktuellen Ansätzen im Gewässerschutz und zahlreichen Einzelrichtlinien des Wasserrechts der EU. In Deutschland wird diese Richtlinie seit 2011 unter anderem in der "Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGSchV)" [5] realisiert. Die Oberflächengewässerverordnung regelt die Anforderungen und die Zielvorgaben zur Bestimmung des chemischen und ökologischen Zustands von Oberflächengewässern nach vier Hauptkriterien: die biologische Qualität, die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft beschreibt, die hydromorphologische Qualität, wie beispielsweise die Struktur und das Abflussverhalten eines Gewässers, die physiko-chemische Qualität, wie Temperatur, gelöster Sauerstoff und Nährstoffverhältnisse und die chemische Qualität, die spezifische chemische Schadstoffe benennt. Basierend auf einem chemischen Bewertungssystem werden in der Oberflächengewässerverordnung die klassischen Parameter mit Grenzwerten angegeben, anhand deren ein Gewässer einem von fünf ökologischen Zuständen - "sehr gut", "gut", "mäßig", "unbefriedigend" und "schlecht" - eingeordnet wird. Ziel ist ein "sehr guter" oder "guter" ökologischer Zustand aller deutscher Oberflächengewässer. Die klassischen Parameter zur Beurteilung des ökologischen Zustands in diesem Zusammenhang sind Nitrat, Nitrit, Ammonium, Phosphat, Sulfat und der pH-Wert. In Absprache mit den Projektpartnern wurde sich darauf geeinigt, aufgrund der Anschaulichkeit im Schulkontext statt eine Einordnung nach den Grenzwerten der OGSchV die Gewässergüteklasse anhand eines Gewässergüteindex zu bestimmen. Dafür wurden der Chemische Index (CI) nach BACH [6] zur Bestimmung der Gewässergüteklasse von Fließgewässern und die Bestimmung des Trophieindex (TI) bei stehenden Gewässern [7] ausgewählt. Es wurde daraufhin beschlossen, das Parameterspektrum, um die folgenden Parameter, die zur Bestimmung des CI und TI nötig sind, zu erweitern: Leitfähigkeit, Chlorophyll-a-Gehalt, aktueller Sauerstoffgehalt, Biochemischer Sauerstoffbedarf nach fünf Tagen (BSB<sub>5</sub>).

Für diese Parameter wurden im Anschluss passende Farbreaktionen recherchiert, die eine photometrische Messung ermöglichen. Viele wissenschaftliche Versuchsprotokolle zur

photometrischen Messung dieser Parameter sind aufgrund ihrer Komplexität oder der Nutzung gefährlicher Chemikalien nicht im schulischen Kontext anwendbar. Der recherchierten Farbreaktionsexperimente wurden anhand folgender Kriterien selektiert:

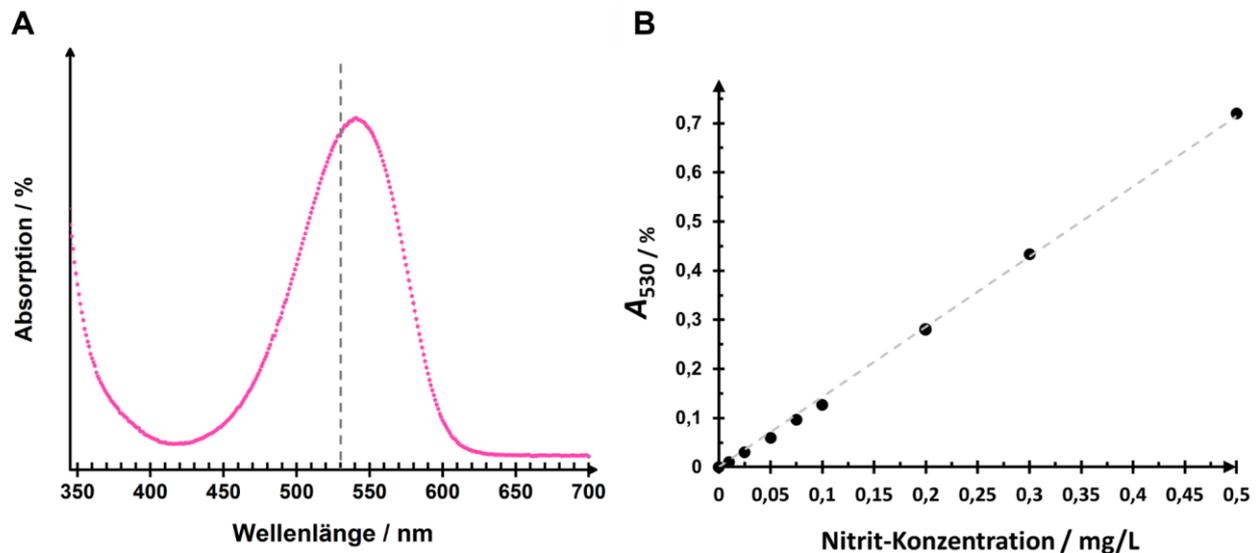
- Nutzung von Stoffen, die im Hinblick auf ihre Gefahrenklasse für die Durchführung von Experimenten von Schüler:innen zugelassen sind. Die Verwendbarkeit der verwendeten Chemikalien wurde unter Zuhilfenahme der "Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht" (RiSU, Stand 14.06.2019) sichergestellt.
- Einfachheit in der Durchführung der Experimente, zum Beispiel durch den Einsatz weniger Chemikalien oder möglichst geringer Zeitaufwand der Experimente.
- Chemische Hintergründe der ablaufenden Farbreaktion sollen bekannt sein.
- Handhabung der Chemikalien und Materialkosten.

Die ausgewählten parameterspezifischen Farbreaktionen und recherchierten Methoden wurden anhand von Konzentrationsreihen reiner Salzlösungen ausgetestet und mit dem von desklab entwickelten portablen Photometer (GewässerCampus-Photometer) vermessen. Um die Validität der mit dem portablen Photometer erfassten Messdaten festzustellen, wurden die Konzentrationsreihen auch mit einem Spektrophotometer (Cary 60 UV-Vis, Agilent Technologies, Santa Clara, USA) vermessen. In allen Testreihen zur Quantifizierung der Nitrit-, Nitrat-, Phosphat-, Sulfat- und Ammoniumkonzentration mit den ausgewählten analytischen Methoden wurde die Nachweisgrenze (NWG), die Erfassungsgrenze (EG) und Bestimmungsgrenze (BG) nach DIN 32645:2008-11 [8] rechnerisch bestimmt und sind in der folgenden Tabelle 1 angegeben.

**Tabelle 1:** Nachweisgrenze (NWG), Erfassungsgrenze (EG) und Bestimmungsgrenze (BG) verschiedener Methoden zur Quantifizierung von Nitrit-, Nitrat-, Phosphat-, Sulfat- und Ammonium-Ionen in Gewässerproben mit dem Spektrophotometer und dem GewässerCampus-Photometer.

Analyt	Spektrophotometer			GewässerCampus-Photometer		
	NWG (mg/L)	EG (mg/L)	BG (mg/L)	NWG (mg/L)	EG (mg/L)	BG (mg/L)
Nitrit	0,004	0,008	0,011	0,006	0,013	0,017
Nitrat 0-4 mg/L	0,073	0,163	0,212	0,132	0,296	0,371
Phosphat	0,034	0,077	0,097	0,039	0,087	0,113
Ammonium	0,038	0,085	0,109	0,028	0,063	0,082
Sulfat	2,392	5,357	6,726	3,923	8,788	10,662
Gelöstsauerstoff	0,049	0,088	0,107	0,096	0,110	0,126

Die Bestimmungsgrenzen zur Quantifizierung des jeweiligen Analyten zeigen, dass die Bestimmungsgrenzen der zu untersuchenden Parametern bei Messung mit dem Spektrophotometer zwar niedriger sind als die Messungen mit dem portablen GewässerCampus-Photometer. Jedoch sind die Bestimmungsgrenzen der Messungen mit dem GewässerCampus-Photometer niedrig genug, um die Konzentration der zu untersuchenden Parameter in Wasserproben mit genügender Genauigkeit zur Ermittlung des Bach-Indexes und des Trophiegrads bestimmen zu können. Über das Spektrophotometer wurden auch die Absorptionsmaxima der entstehenden Farbstoffe ermittelt. Bei den Messungen mit dem in diesem Projekt entwickelten portablen Photometer wird eine LED mit fester Wellenlänge als Lichtquelle verwendet. Die Auswahl der geeigneten LED orientierte sich am Absorptionsmaximum der bei den parameterspezifischen Farbreaktionen entstehende Farbstoffe. In der folgenden Abbildung 2 A ist exemplarisch das Absorptionsspektrum des beim Nitrit-Nachweis entstehenden pinken Farbstoffs zu sehen.

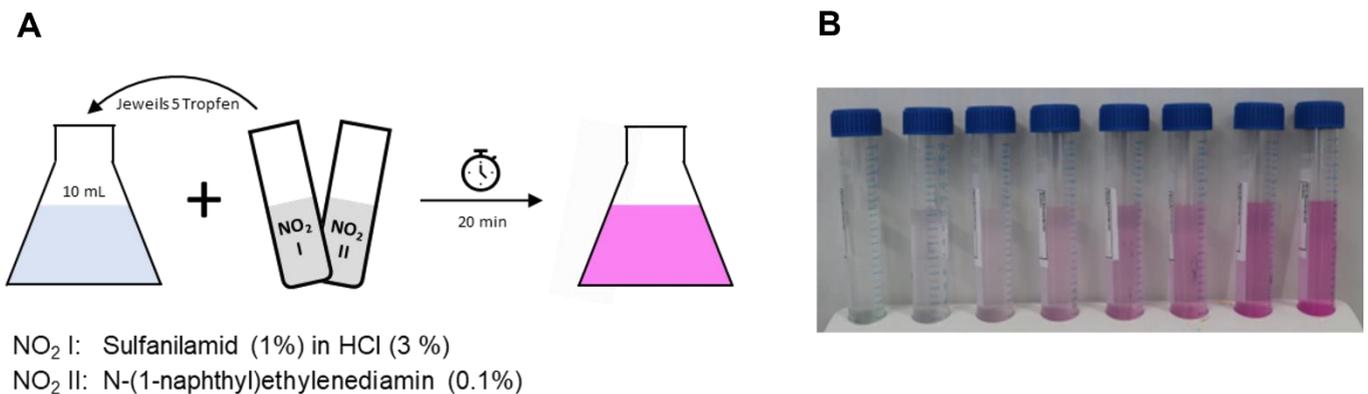


**Abbildung 2:** A: Absorptionsspektrum des beim Nitrit-Nachweis gebildeten rosa Azofarbstoffs - die graue gestrichelte Linie markiert die Wellenlänge der verwendeten LED (530 nm); B: Absorptionswerte der Konzentrationsreihen mit steigender Nitrit-Konzentration, gemessen mit dem tragbaren Photometer (LED: 530 nm).

Das Spektrum zeigt eine maximale Absorption des Farbstoffs bei ca. 540 nm. Für die Messungen mit dem portablen Photometer wurde aus diesem Grund die 530 nm-LED ausgewählt. Die Absorptionsspektren der bei allen Nachweis-Versuchen entstehenden Farbstoffen sind im Anhang zu finden. Der durch das Lambert-Beersche-Gesetz [9] beschriebene lineare Verlauf der Absorption bei einer Wellenlänge über die Konzentration des Analyten ist in der Abbildung 2 B gezeigt. Für die Durchführung der Experimente wurden Laborprotokolle erstellt und diese im Hinblick auf die Umsetzung im Feldversuch vereinfacht. Dabei wurden die Arbeitsschritte, die mit Laborgeräten durchgeführt wurden, wie beispielsweise Dosierung der Reagenzien unter Verwendung von Kolbenhubpipetten, durch den Einsatz von Tropfflaschen oder Einwegpipetten ersetzt. Die reale Anwendbarkeit wurde überprüft, indem Gewässerproben aus den heimischen Badeseen, kleinen Flüssen und Quellbrunnen rund um Kaiserslautern und in der Südpfalz entnommen und mittels der im Folgenden aufgeführten Nachweismethoden auf erhöhte Parameterkonzentrationen überprüft. Zur Validierung der entwickelten Experimente und Messmethoden wurden die Gewässerproben mit der Ionenchromatographie als Kontrolle vermessen. Die Messungen mit dem portablen Photometer zeigten gute Übereinstimmungen mit den Messungen, die mit einem Spektrophotometer durchgeführt wurden, sowie mit den Ergebnissen gemessen mit der Ionenchromatographie. Für alle Nachweis-Versuche wurden Gefährdungsbeurteilungen erstellt, die den Lehrkräften über das desklab-Lehrerportal zur Verfügung stehen.

### 4.1.1. Nitrit-Nachweis

Im ersten Anlauf wurden zum photometrischen Nachweis von Nitrit-Ionen in Wasserproben die sogenannten Lunge-Reagenzien getestet. Der etablierte Nachweis mit den Reagenzien Lunge I, Sulfanilaminsäure, und Lunge II,  $\alpha$ -Naphthylamin, induziert zwar die erwünschte Farbreaktion, jedoch ist das verwendete  $\alpha$ -Naphthylamin herstellungsseitig mit  $\beta$ -Naphthylamin verunreinigt, das durch seine kanzerogene Wirkung [10] im Schulkontext nicht verwendet werden kann. Als Alternative dienen die Griess-Reagenzien [11]. Die Farbreaktion folgt dem gleichen Reaktionsmechanismus, allerdings kommen bei den Griess-Reagenzien Chemikalien ohne kanzerogene oder giftige Wirkung zum Einsatz. Als Griess-Reagenz I wird dabei Sulfanilamid in saurer Lösung, und *N*-(1-Naphthyl)ethylenediamin als Griess-Reagenz II verwendet, das zwar etwas teurer, aber weniger gefährlich und für den Schuleinsatz zugelassen. Im für den Feldversuch vereinfachten Versuchsprotokoll werden zu 10 mL der Probe je 5 Tropfen der Reagenzien, die auf den Protokollen mit NO<sub>2</sub> I und NO<sub>2</sub> II benannt sind, zugegeben, wie in der folgenden Abbildung 3 A schematisch dargestellt. Eine Konzentrationsreihe mit ansteigenden Nitrit-Konzentrationen von 0 - 0,3 mg/L, nach der Zugabe der Nitrit-Reagenzien NO<sub>2</sub> I und NO<sub>2</sub> II, ist in Abbildung 3 B zu sehen.

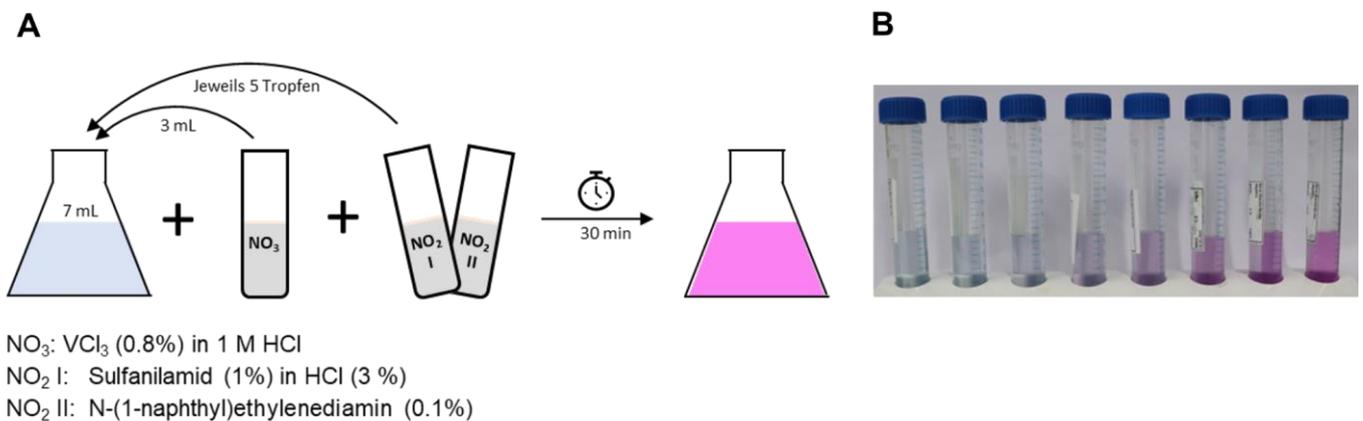


**Abbildung 3:** **A:** Schematisches Prinzip des Nitrit-Nachweises. Die dabei verwendeten Reagenzien werden als NO<sub>2</sub> I und NO<sub>2</sub> II bezeichnet; **B:** Konzentrationsreihe mit steigender Nitrit-Konzentration von 0 - 0,3 mg/L und nach Zugabe der Nitrit-Reagenzien.

### 4.1.2. Nitrat-Nachweis

Zur photometrischen Quantifizierung von Nitrat-Ionen wurden verschiedene Methoden getestet. Hierzu zählte beispielsweise das Dimethylphenol-Verfahren [12], die allerdings verworfen wurde, da für die Messung des entstehenden Komplexes eine LED mit einer Wellenlänge im UV-Bereich benötigt worden wäre. Der Einsatz einer Lichtquelle im UV-Bereich erfordert besondere und aufwendige Sicherheitsvorkehrungen am Messgerät, weshalb das Dimethylphenol-Verfahren nicht weiterverfolgt wurde. Auch das alternative Indol-Verfahren erwies sich als untauglich, da der

bei der Reaktion entstandene Farbstoff instabil war und damit keine reproduzierbaren Messergebnisse erhalten wurden. Als geeignete Alternative erwies sich ein Nitrat-Nachweis, bei dem die Nitrat-Ionen im ersten Schritt zu Nitrit-Ionen reduziert werden. Durch eine nachfolgende Zugabe der Griess- Reagenzien (siehe Nitrit-Nachweis) ist die Nitrat-Konzentration über die Entstehung eines pinken Azofarbstoffes photometrisch quantifizierbar. Als Reduktionsmittel wurde sich auf Vanadium(III)-chlorid mit der Methode nach Miranda et al. festgelegt [13]. Da die Nitratkonzentrationen in vielen Oberflächengewässern in Deutschland gering ist [14], wurde die Methode auf zwei Konzentrationsbereiche, 0 – 4 mg/L und 0 – 50 mg/L, angepasst. Im vereinfachten Versuchsprotokoll wird zu 7 mL der Probe zuerst die  $\text{NO}_3$ -Reagenz (Vanadium(III)-chlorid) hinzugegeben. Anschließend findet die Umsetzung der Nitrit-Ionen durch Zugabe der Reagenzien  $\text{NO}_2$  I und  $\text{NO}_2$  II statt. In der folgenden Abbildung 4 A ist die vereinfachte Versuchsvorschrift exemplarisch für den Nitrat-Nachweis im Konzentrationsbereich von 0 – 4 mg/L schematisch dargestellt. Eine Konzentrationsreihe mit ansteigender Nitrat-Konzentration von 0 - 4 mg/L ist in Abbildung 4 B zu sehen.

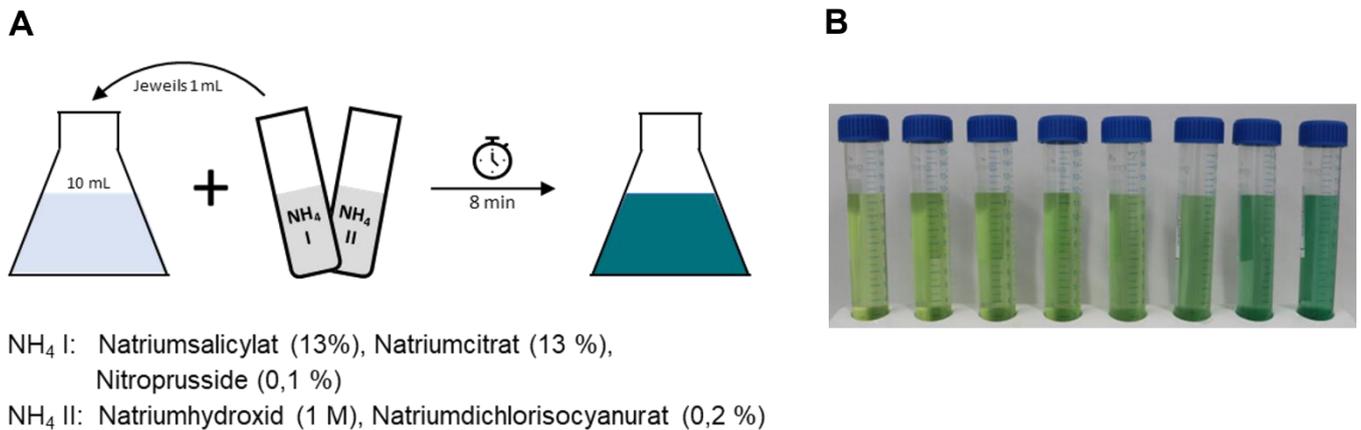


**Abbildung 4:** **A:** Schematisches Prinzip des Nitrat-Nachweises. Die dabei verwendeten Reagenzien werden als  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  I und  $\text{NO}_2$  II bezeichnet; **B:** Konzentrationsreihe mit steigender Nitrat-Konzentration von 0 - 4 mg/L und nach Zugabe der Reagenzien.

#### 4.1.3. Ammonium-Nachweis

Zur Bestimmung der Ammoniumkonzentration in Wasserproben wurde die Reaktion nach Berthelot et al. [15] verwendet. Diese Methode wurde dem alternativen Thymol-Verfahren [16] vorgezogen, da beim Thymol-Verfahren drei statt zwei Reagenzien benötigt werden, und zusätzlich die Wartezeit während der Durchführung des Nachweises höher ist. Bei der ausgewählten Methode reagiert das in der Probe vorhandene Ammonium mit Hypochlorit und Salicylat über einen Zwischenschritt zu einem blau-grünen Indophenolkomplex. In der vereinfachten Versuchsvorschrift werden die Reagenzien als  $\text{NH}_4$  I und  $\text{NH}_4$  II bezeichnet, wobei  $\text{NH}_4$  I Salicylat enthält und  $\text{NH}_4$  II mit verdünnter Natronlauge das für die Farbreaktion benötigte

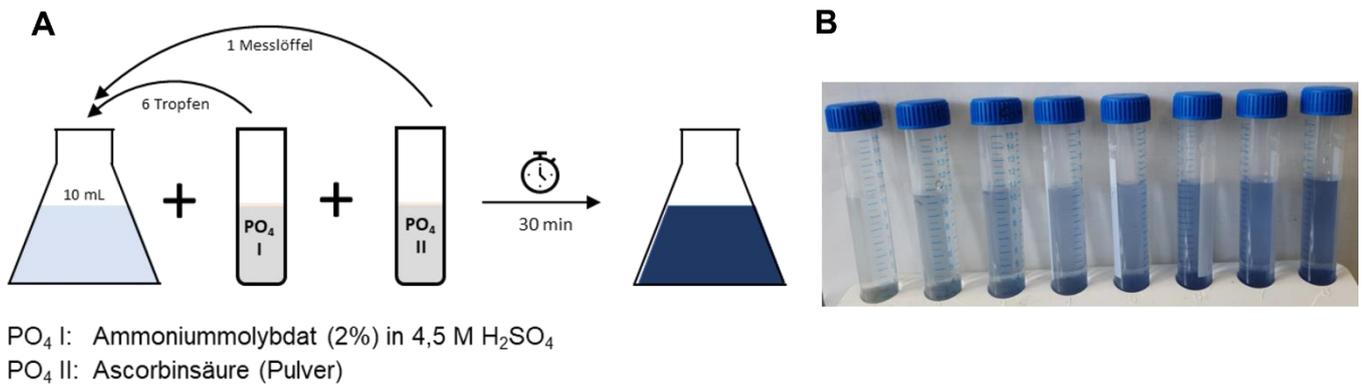
alkalische Milieu schafft. Der Indophenolkomplex weist im Spektrum ein Absorptionsmaximum bei 662 nm auf, sodass für die Messungen mit dem portablen Photometer eine 660 nm LED verwendet wurde. Das vereinfachte Versuchsprotokoll sowie die Konzentrationsreihe nach Zugabe der Reagenzien sind in der folgenden Abbildung 5 gezeigt.



**Abbildung 5:** **A:** Schematisches Prinzip des Ammonium-Nachweises. Die dabei verwendeten Reagenzien werden als NH<sub>4</sub> I und NH<sub>4</sub> II bezeichnet; **B:** Konzentrationsreihe mit steigender Ammonium-Konzentration von 0 - 0,7 mg/L und nach Zugabe der Reagenzien.

#### 4.1.4. Phosphat-Nachweis

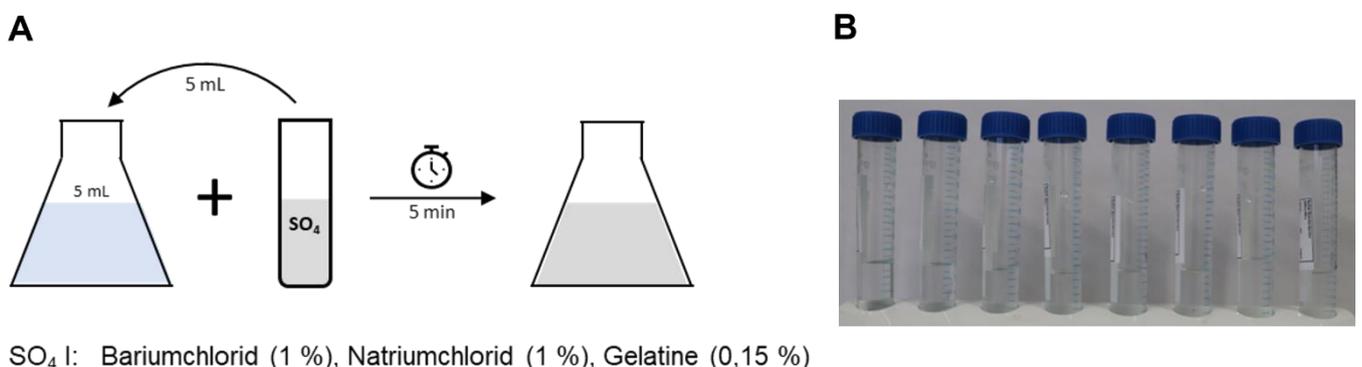
Zur Bestimmung des reaktiven Phosphats in Wasser wurden zwei verschiedene analytische Methoden betrachtet. Zum einen wurde eine Methode, basierend auf der Reaktion mit Molybdat und Malachitgrün nach Altmann [17], getestet. Der zweite getestete Phosphat-Nachweis beruht auf der Molybdänblaumethode [18]. Da der Stoff Malachitgrün in Verdacht steht, eine krebserzeugende Wirkung zu haben (KMR-Stoff Kat. 2), wurde der Phosphat-Nachweis nach der Molybdänblaumethode weiterverfolgt und für den Schuleinsatz modifiziert. Bei dieser Methode reagieren die ortho-Phosphat-Ionen in saurer Lösung mit Molybdat- und Antimon-Ionen zu einem Phosphormolybdat-Antimon-Komplex. Mit Ascorbinsäure wird dieser Komplex reduziert, sodass sich ein Molybdänblau-Komplex bildet. Das Absorptionsmaximum dieses Komplexes liegt mit 880 nm im Infrarot-Bereich, die Messung ist aber auch im sichtbaren Bereich möglich. Die photometrischen Messungen zur Quantifizierung von Phosphat mit dem portablen Photometer wurde mit der bereits im Set vorhandenen LED der Wellenlänge 660 nm durchgeführt. Das schematische Prinzip des Phosphat-Nachweises und eine Konzentrationsreihe sind in der folgenden Abbildung 6 gezeigt.



**Abbildung 6:** **A:** Schematisches Prinzip des Phosphat-Nachweises. Die dabei verwendeten Reagenzien werden als PO<sub>4</sub> I und PO<sub>4</sub> II bezeichnet; **B:** Konzentrationsreihe mit steigender Phosphat-Konzentration von 0 – 2 mg/L und nach Zugabe der Reagenzien.

#### 4.1.5. Sulfat-Nachweis

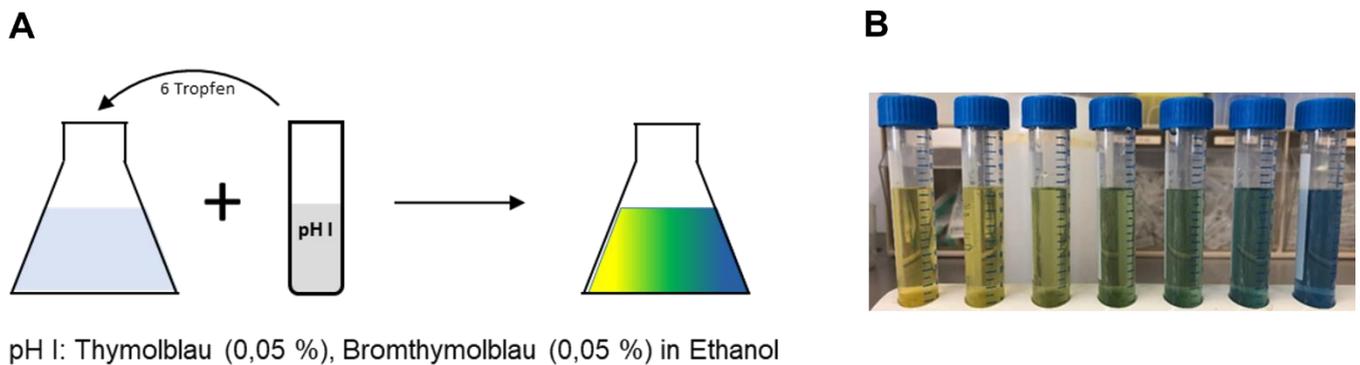
Für die photometrische Quantifizierung von Sulfat-Ionen wurde das Trübungsmessverfahren verwendet [19]. Bei dieser Methode handelt es sich also nicht um eine Farbreaktion. Bei diesem Verfahren wird Sulfat mit Bariumchlorid unter sauren Bedingungen zu Bariumsulfat umgesetzt, das die Lösung trübt. Das zusätzlich im Reagenz enthaltene Kochsalz und Gelatine sorgen für eine verbesserte Ausfällung von Bariumsulfat in die kolloidale Form und verhindern, dass sich das Bariumsulfat aufgrund von Ausflockung absetzt. Die folgende Abbildung 7 zeigt die Versuchsdurchführung, bei der lediglich SO<sub>4</sub>-Reagenz zu der Gewässerprobe zugegeben wird. Da es sich hier nicht um eine Reaktion handelt, bei der ein Farbstoff entsteht, ist im Absorptionsspektrum auch kein Absorptionsmaximum zu sehen. In der Literatur wird 530 nm als zu wählende Wellenlänge für die photometrische Messung angegeben [20], weshalb eine 530 nm LED für die Messungen mit dem portablen Photometer verwendet wurde.



**Abbildung 7:** **A:** Schematisches Prinzip des Sulfat-Nachweises. Das verwendete Reagenz wird als SO<sub>4</sub> bezeichnet.; **B:** Konzentrationsreihe mit steigender Sulfat-Konzentration von 0 - 100 mg/L und nach Zugabe des SO<sub>4</sub>-Reagenz.

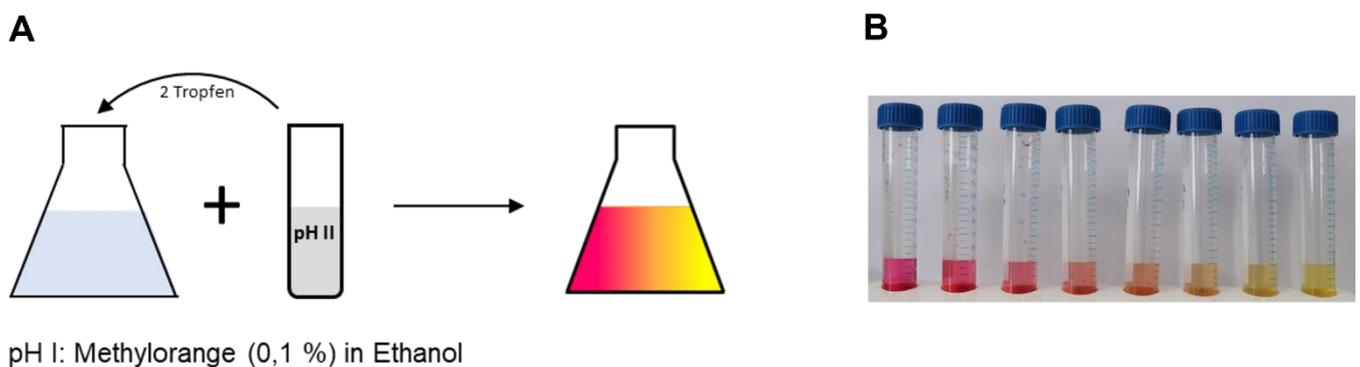
#### 4.1.6. pH-Wert

Zur photometrischen Ermittlung des pH-Werts von Gewässerproben wurden verschiedene pH-Indikatoren und Indikatorgemische getestet. Für die Bestimmung des pH-Werts im Bereich zwischen 6 und 9 hat sich die Verwendung eines Mischindikators aus Bromthymolblau und Thymolblau als zielführend herausgestellt, da der Farbumschlag des Gemischs in diesem pH-Bereich zu beobachten ist, wie in Abbildung 8 zu sehen ist. Für die Messungen des pH-Werts mit dem portablen Photometer wurde eine 620 nm LED eingesetzt.



**Abbildung 8:** **A:** Schematisches Prinzip der pH-Wert-Bestimmung im pH-Bereich zwischen 6 und 9. Das verwendete Reagenz pH I enthält eine PH-Indikatormischung; **B:** Reihe einer Pufferlösung mit steigendem pH-Wert im pH-Bereich von 6 bis 9.

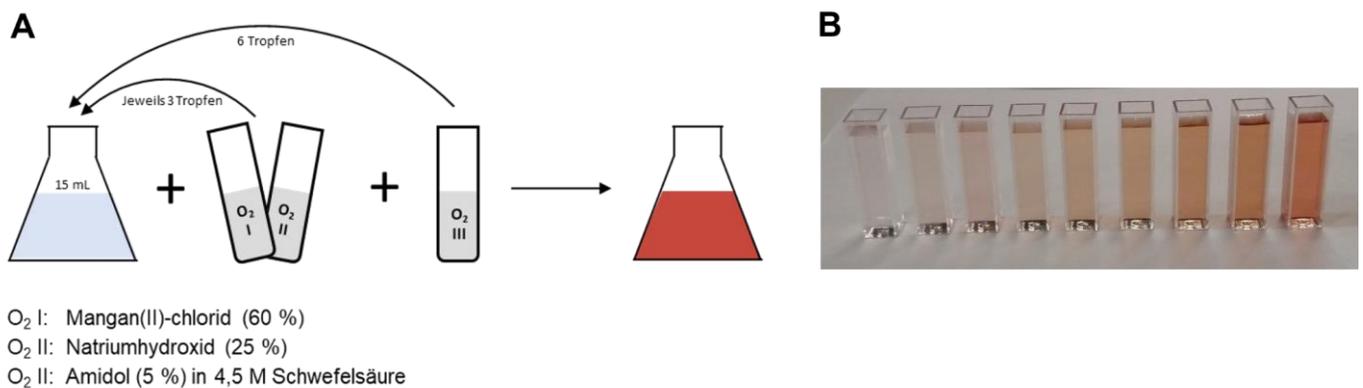
Da in Deutschland auch Gewässer mit niedrigen pH-Werten vorkommen, beispielsweise bei Quellen im Pfälzerwald oder in Mooregebieten [21], wurde auch eine pH-Wert-Bestimmung für den Bereich zwischen 4,25 und 6,25 entwickelt. Hierbei kommt der Indikator Methylorange zum Einsatz, der in diesem Bereich einen Farbumschlag zeigt, wie in Abbildung 9 zu sehen ist.



**Abbildung 9:** **A:** Schematisches Prinzip der pH-Wert-Bestimmung im pH-Bereich zwischen 4,25 und 6,25. Das verwendete Reagenz pH I enthält eine pH-Indikatormischung; **B:** Reihe einer Pufferlösung mit steigendem pH-Wert im pH-Bereich von 4 bis 6.

#### 4.1.7. Gelöstsauerstoffgehalt und BSB5

Zur Bestimmung des Sauerstoffgehalts einer Gewässerprobe wurde eine Modifikation der klassischen Methode nach Winkler [22] genutzt, bei der zusätzlich der Stoff Amidol zur Bildung eines photometrisch messbaren Farbstoffs verwendet wird [23]. Durch Zugabe von Mangan(II)-chlorid und Natronlauge zur Gewässerprobe wird der gelöste Sauerstoff in der Form von Mangan(IV)-oxid-hydroxid gebunden, was als brauner Niederschlag erkennbar ist. Dieser Niederschlag wird anschließend wieder durch Zugabe von Amidol in verdünnter Schwefelsäure aufgelöst und ein roter Farbstoff entsteht. Die Versuchsdurchführung mit den drei benötigten Reagenzien O<sub>2</sub> I, O<sub>2</sub> II und O<sub>2</sub> III ist im Schema in Abbildung 10 zu sehen, die außerdem eine Reihe von Lösungen mit steigendem Sauerstoffgehalt nach Behandlung mit den Reagenzien zeigt.



**Abbildung 10:** **A:** Schematisches Prinzip der Bestimmung des Gelöstsauerstoffgehalts. Es werden dabei insgesamt 3 Reagenzien hinzugefügt; **B:** Reihe mit steigendem Gelöstsauerstoffgehalt von 0 - 14 mg/L und nach Zugabe der O<sub>2</sub>-Reagenzien.

Diese Methode wird auch bei der Bestimmung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs nach fünf Tagen (BSB<sub>5</sub>) [24] angewandt, bei der der Sauerstoffgehalt nach Inkubation der Gewässerprobe nach fünf Tagen bei 20° C im Dunkeln gemessen wird. Der BSB<sub>5</sub> errechnet sich über die Differenz des Sauerstoffgehalts der Gewässerprobe zum Zeitpunkt der Probenentnahme und nach der fünftägigen Inkubation.

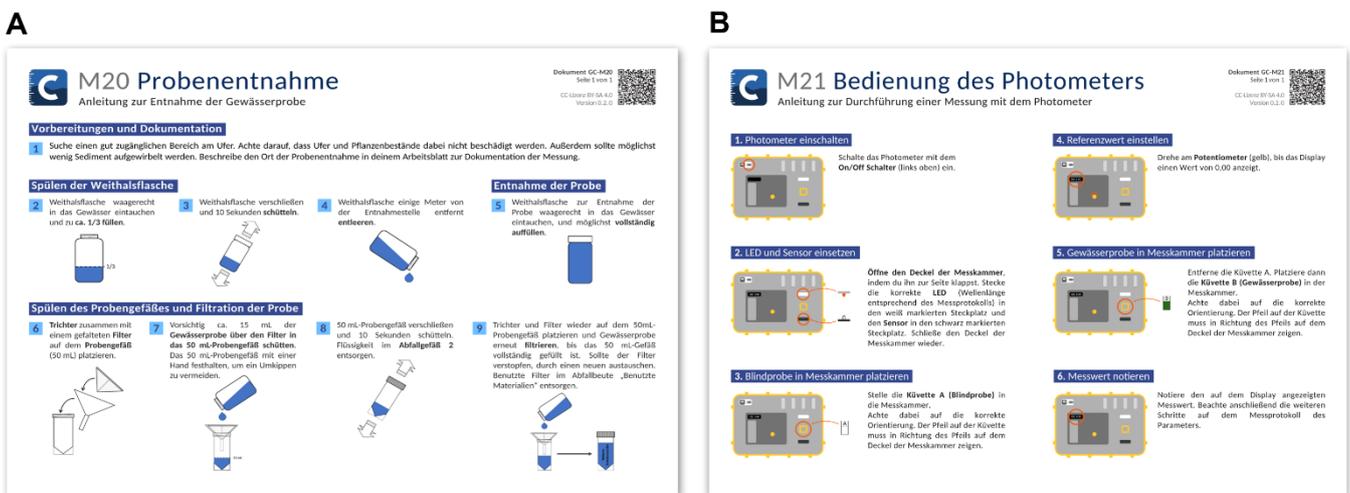
#### 4.1.8. Chlorophyll-a-Gehalt

Zur Bestimmung des Trophiegrads eines Gewässers, vor allem eines stehenden Gewässers, ist der Chlorophyll-a-Gehalt als Maß für die Algenmasse im Gewässer ein wichtiger Parameter. Allerdings erfordert die Bestimmung im Vergleich mit anderen im Projekt entwickelten Versuchsvorschriften einen hohen zeitlichen und materiellen Aufwand. Um die chlorophyllhaltigen Partikel der Gewässerprobe zu erhalten, muss eine größere Menge Gewässerprobe zuerst über einen Glasfaserfilter filtriert werden. Hierfür wird der Einsatz einer Wasserstrahlpumpe mit

angeschlossener Saugflasche benötigt. Anhand einer ethanolischen Extraktion wird Chlorophyll-a aus dem Filtrerrückstand über Nacht extrahiert. Nach einem Abtrennen der Glasfaserfilterreste wird eine Absorptionsmessung bei 660 nm durchgeführt. Durch Ansäuern des Extrakts mit verdünnter Salzsäure wird Chlorophyll-a in Phaeopigmente abgebaut. Nach 10 Minuten Wartezeit wird die Probe wieder bei 660 nm vermessen. Der Chlorophyll-a-Gehalt errechnet sich unter anderem über die Differenz der Absorption vor und nach Zugabe der Salzsäure.

### 4.1.9. Bebilderte Versuchsanleitungen

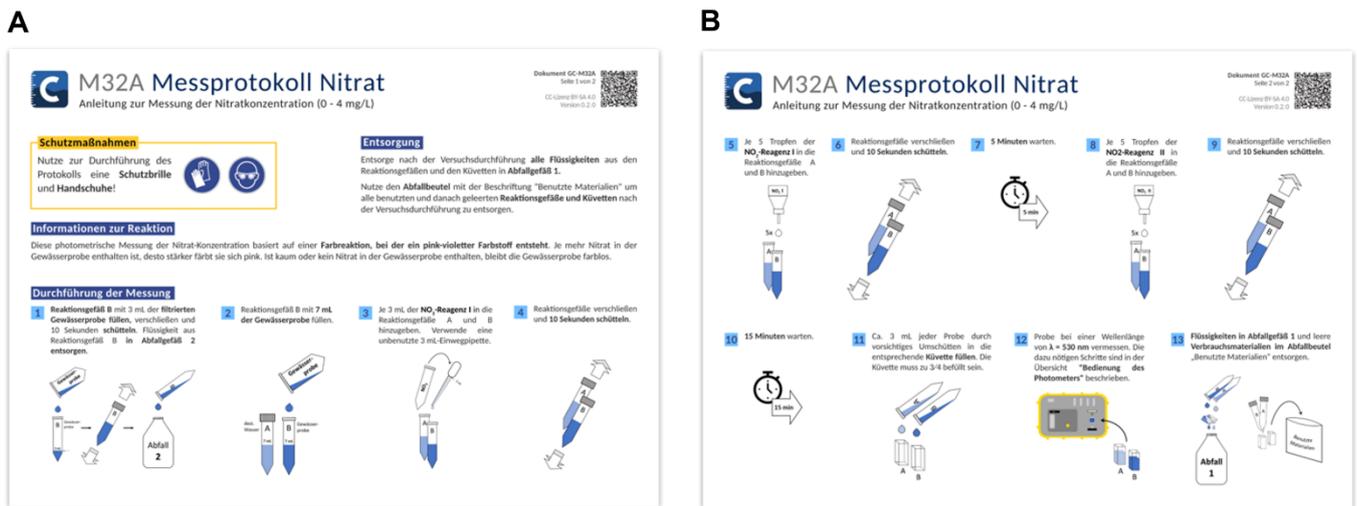
Die Versuchsanleitungen wurden nach der Entwicklung zum ersten Mal bei der Pilot-Fortbildung im Mai 2022 von sieben Lehrkräften außerhalb des Laborumfelds getestet. Zu diesem Zeitpunkt lagen die Versuchsanleitungen mit Schritt-für-Schritt-Anweisungen in reiner Textform vor. Durch das Feedback der Lehrkräfte wurden die Versuchsanleitungen dahin verändert, dass die schriftlichen Anweisungen der einzelnen Durchführungsschritte mit Piktogrammen erweitert wurden. Dadurch wird eine bessere Verständlichkeit und korrekte Durchführung durch die zusätzliche grafische Darstellung der Informationen und Anweisungen der Versuchsanleitung erreicht. Die Experimente wurden zusammen mit den angepassten Versuchsanleitungen durch zwei Schulklassen eingesetzt. Auch die Anmerkungen aus diesem Test wurden in die Weiterentwicklung der Versuchsanleitungen eingearbeitet. Die Versuchsanleitungen umfassen unter anderem eine detaillierte Anleitung zur Entnahme der Gewässerprobe und eine Anleitung zur Bedienung des Photometers, wie sie in Abbildung 11 A und B dargestellt sind.



**Abbildung 11:** A: Bebilderte Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Entnahme der Gewässerprobe; B: Bebilderte Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Bedienung des im Projekt entwickelten tragbaren Photometers.

Auch zu den Versuchsvorschriften der parameterspezifischen Farbreaktionen wurden bebilderte Anleitungen erstellt. Diese umfassen neben den Anweisungen zu den durchzuführenden Arbeitsschritten auch Hinweise zum Tragen einer Schutzausrüstung, wie Schutzbrille oder

Handschuhen, Entsorgungshinweise für die flüssigen und festen Verbrauchsmaterialien und Informationen zur ablaufenden Reaktion, wie die zu erwartende Farbentstehung. Exemplarisch ist hierzu die Versuchsanleitung des Nitrat-Nachweises in der folgenden Abbildung 12 gezeigt.



**Abbildung 12:** Bebilderte Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Bestimmung der Nitrat-Konzentration einer Gewässerprobe (**A:** Vorderseite; **B:** Rfckseite). Neben den Anweisungen zur Durchföhrung sind auch Hinweise zum Tragen von Schutzausrfistung, Entsorgung und Informationen zur Reaktion aufgeföhrt.

Alle Versuchsanleitungen sind über das [desklab-Lehrerportal](#) öffentlich zugänglich und können darüber von Lehrkräften heruntergeladen werden. Außerdem sind sie in der Experimentierkiste, die sich im Ausleihsystem der BioVT befindet, enthalten.

#### 4.1.10. Unterrichtskonzepte

Es wurden didaktisch und methodisch aufbereitete Unterrichtskonzepte mit Materialien für die Fächer Biologie und Chemie erstellt. Die Unterrichtsreihen wurden entsprechend den Inhalten und Kompetenzzielen des rheinland-pfälzischen Lehrplans für Naturwissenschaftliche Fächer für die weiterföhrnden Schulen der Sekundarstufe I gestaltet und in die Themenfelder „TF5: Ökosysteme im Wandel“ (für Biologie) und „TF9: Den Stoffen auf der Spur“ (für Chemie) verortet. Da es viele Überschneidungen mit den Lehrplänen anderer Bundesländer gibt, können die Materialien auch dort im Unterricht verwendet werden und sind nicht zwangsläufig abhängig vom rheinland-pfälzischen Lehrplan. Die erstellten Materialien umfassen einen Praxisleitfaden für Lehrkräfte, jeweils eine tabellarische Reihenplanung zu den Unterrichtskonzepten, sowie Unterrichtsmaterialien in Form von Arbeitsblättern, die Texte zur Wissensvermittlung und Arbeitsaufträgen zur Sicherung des erlernten Wissens enthalten. Eine Übersicht zu den erstellten Unterrichtskonzepten ist in der Abbildung 13 zu sehen.

Variante A	Variante B	Variante C	Variante D
<i>(fächerübergreifender) Projekttag</i>	<i>UR Biologie*: stehende Gewässer</i>	<i>UR Biologie*: Fließgewässer</i>	<i>UR Chemie*: Nachweisreaktionen und Photometrie</i>
🕒 1 Tag (5 Zeitstunden)	🕒 12 UE + Exkursion	🕒 12 UE + Exkursion	🕒 6 UE (+ Exkursion)
🎓 SEK I & II	🎓 SEK I	🎓 SEK I	🎓 SEK I
wissenschaftliches Arbeiten Messprinzipien & Auswertung Ökologie & Nachhaltigkeit	<b>Ökosystem See</b> mit Fokus auf Stoffkreisläufe und Einflussfaktoren wissenschaftliches Arbeiten	<b>Ökosystem Fließgewässer</b> mit Fokus auf Struktur, Merkmale und Funktionen wissenschaftliches Arbeiten	Analysemethoden Photometrie Nachweisreaktionen

**Abbildung 13:** Übersicht über die erstellten Unterrichtskonzepte für die Fächer Biologie und Chemie - \*wahlweise auch Fächer mit ähnlichem Schwerpunkt, z.B. WPF Ökologie. Es wurden Varianten für einen fächerübergreifenden Projekttag sowie für Unterrichtsreihen (UR) mit bis zu 12 Unterrichtseinheiten (UE) und einer Exkursion ans Gewässer. Es ist außerdem der jeweilige Fokus des Unterrichtsentwurfs angegeben.

Aquatische Ökosysteme und Photometrie als Analysemethode stehen bei den erarbeiteten Unterrichtsreihen mit 12 bzw. 6 Unterrichtseinheiten (UE) im Fokus. Ein Schwerpunkt der Unterrichtsreihen stellt zudem die Vermittlung der zentralen Kompetenz des wissenschaftlichen Arbeitens dar. Insbesondere durch den Citizen Science - Ansatz des Projekts sollen wissenschaftspropädeutische Kompetenzen erworben werden. Teil der Unterrichtsmaterialien bilden neben den Materialien für den Unterricht im Klassenverband damit abgestimmte Arbeitsblätter zum Eintragen der Messwerte am See mit zusätzlicher Anleitung zur Berechnung des Gewässergüteindex sowie verschiedene Versionen von gruppenspezifischen Ablaufplänen für die Exkursion am Gewässer.

Weitere Informationen und praktische Hinweise zur Planung, Durchführung und Auswertung der Untersuchung eines Gewässers unter Anwendung der GewässerCampus-Materialien können Lehrkräfte einem Praxisleitfaden (Abbildung 14) entnehmen. Damit dient dieses Dokument auch als Informationsquelle für Lehrkräfte, die nicht an den projektbezogenen Fortbildungen teilnehmen können und die dort gesammelten Tipps können über den Rahmen dieses Projektes hinaus genutzt werden.



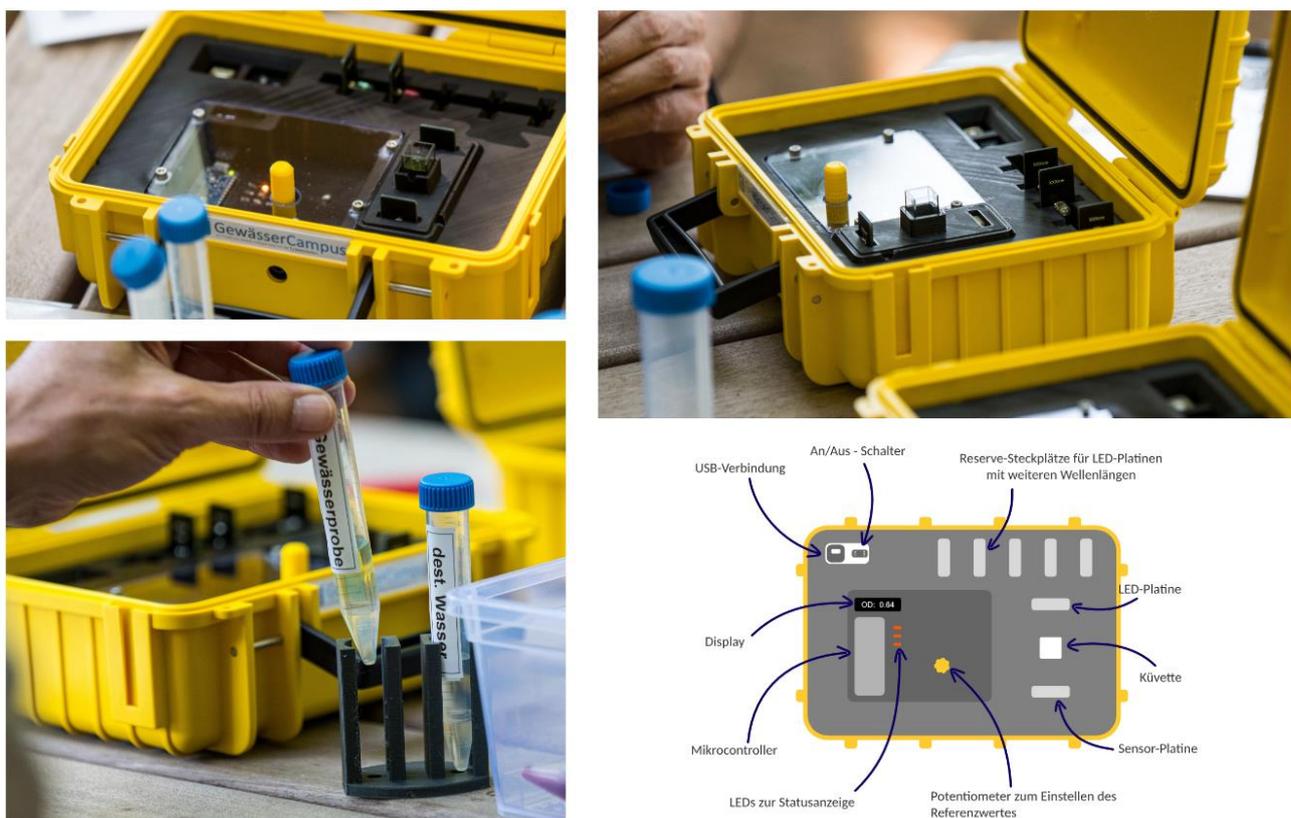
Abbildung 14: Ausschnitte aus dem GewässerCampus - Praxisleitfaden: Dieses Dokument fasst Hintergrundinformation, praktische Tipps und Ideen zur Einbettung in den Unterricht für Lehrkräfte zusammen.

### 4.2 Entwicklung des tragbaren Photometers (Arbeitspaket B)

Um die chemische Gewässeranalyse bereits während der Exkursion durchführen zu können, wurde im Rahmen dieses Projektes ein portables und robustes Photometer (Abbildung 15) entwickelt. Das Messprinzip basiert auf dem Photometer-Bausatz, der von desklab entwickelt wurde und bereits im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht eingesetzt wird. Durch die Reduktion auf die wesentlichen Komponenten wird das Verständnis der Messmethodik gefördert, dabei werden eine LED als Lichtquelle und ein Phototransistor als Sensor eingesetzt. Die Messung der Absorption (und damit der Optischen Dichte) ist bei verschiedenen Wellenlängen möglich, aktuell stehen dazu die folgenden Wellenlängen zur Verfügung: 470nm, 530nm, 590nm, 620nm und 660nm. Da die Messschaltung der Schaltung, die die Schüler:innen bei der Nutzung des Bausatzes selbst aufbauen, entspricht, ist ein paralleler Einsatz beider Geräte und die Verknüpfung in einer fächerübergreifenden Unterrichtsreihe möglich.

Im Verlauf dieses Projektes wurde die anfänglich geplante Konstruktion kontinuierlich weiterentwickelt und optimiert. Ziel war es, ein Gerät zu schaffen, das von Schüler:innen während Gewässeranalysen im Rahmen von Exkursionen genutzt werden konnte. Um die Robustheit für den Einsatz in realen Szenarien zu gewährleisten, wurden mehrere Anpassungen vorgenommen und das Messgerät in einen stabilen und wasserdichten Koffer integriert. Sensible Verbindungen wurden durch eine feste Platine ersetzt, und ein robustes Gehäuse wurde genutzt, um die empfindlichen Komponenten zu schützen. Zusätzlich wurden Steckplätze integriert, um die Lichtquellen (Platinen mit LEDs), die gerade nicht benötigt werden, sicher aufzubewahren und zu transportieren. Eine wichtige Voraussetzung für die Nutzbarkeit bei Exkursionen und der Analyse

der Gewässerproben vor Ort ist die portable Stromversorgung des Messgeräts. Nach der Evaluation verschiedener Optionen wurde ein fest eingebauter Akku und über die USB-Schnittstelle ladbarer Akku verwendet, der allerdings, um die nachhaltige und langfristige Nutzung des Geräts gewährleisten zu können, ausgetauscht werden kann. Gleichzeitig wurde jedoch darauf geachtet, den Aufbau so zu gestalten, dass er für die Benutzer verständlich bleibt. Durch die Nutzung des Arduino-Frameworks wird eine zukünftige eigenständige Programmierung oder Aktualisierung der Software auf dem Mikrocontroller (Arduino Nano Every) ermöglicht. Die Firmware basiert auf einer von desklab unter einer Open Source-Lizenz bereitgestellten Arduino-Bibliothek. Fotos und eine schematische Darstellung des tragbaren GewässerCampus-Photometers sind in der Abbildung 15 folgenden gezeigt.



**Abbildung 15:** Fotos und schematische Darstellung des tragbaren GewässerCampus-Photometers.

Mehrere Testgeräte wurden gefertigt und im Rahmen der verschiedenen Pilotveranstaltungen durch Schüler:innen und Lehrkräfte in realistischen Szenarien eingesetzt. Das angestrebte Ziel, Messgenauigkeit und Robustheit bei der Konstruktion zu vereinen, wurde durch das Feedback der Testnutzer:innen und durch ausführliche Überprüfungen der Messgenauigkeit durch die Projektpartner bei der Erarbeitung der Laborprotokolle bestätigt und unter Einsatz echter Gewässerproben validiert. Das Feedback dieser Testnutzer:innen floss in die Optimierung der

Konstruktion ein. Dabei wurden auch Rückmeldungen zur verbesserten Lagerung von Küvetten und Probengefäßen während der Durchführung der Nachweisreaktionen berücksichtigt und eine entsprechende Möglichkeit zur Aufbewahrung eingebaut.

Zum Abschluss des Projektes liegen bereits Anfragen von mehreren Schulen vor, die das entwickelte Photometer über die Projektpartner desklab beziehen möchten. Dies unterstreicht die Relevanz und den Nutzen dieser optimierten Konstruktion für den schulischen Einsatz bei Gewässeranalysen.

### 4.3 Entwicklung der Webanwendung (Arbeitspaket C)

In der im Rahmen dieses Projektes entwickelten Webanwendung wird den Teilnehmenden die Möglichkeit gegeben, ihre erhobenen Messdaten zu sammeln und zu veröffentlichen, die Ergebnisse und Auswertungen interaktiv einzusehen und so zur Erstellung eines flächendeckenden Netzes aus Messwerten zur Gewässergüte beizutragen. Die Webanwendung wurde auf Basis des Django-Frameworks im Rahmen dieses Projektes als Open Source-Projekt entwickelt. Im Zentrum der Webanwendung stehen die Funktionen zur Veröffentlichung und der Exploration der von den Teilnehmenden erhobenen Daten. Darüber hinaus gibt es weitere unterstützende Funktionen, die in Abbildung 16 dargestellt sind. Auf Basis der Messdaten werden in der Webanwendung für jede Messung verschiedene Gewässergüteindizes berechnet und grafisch dargestellt.

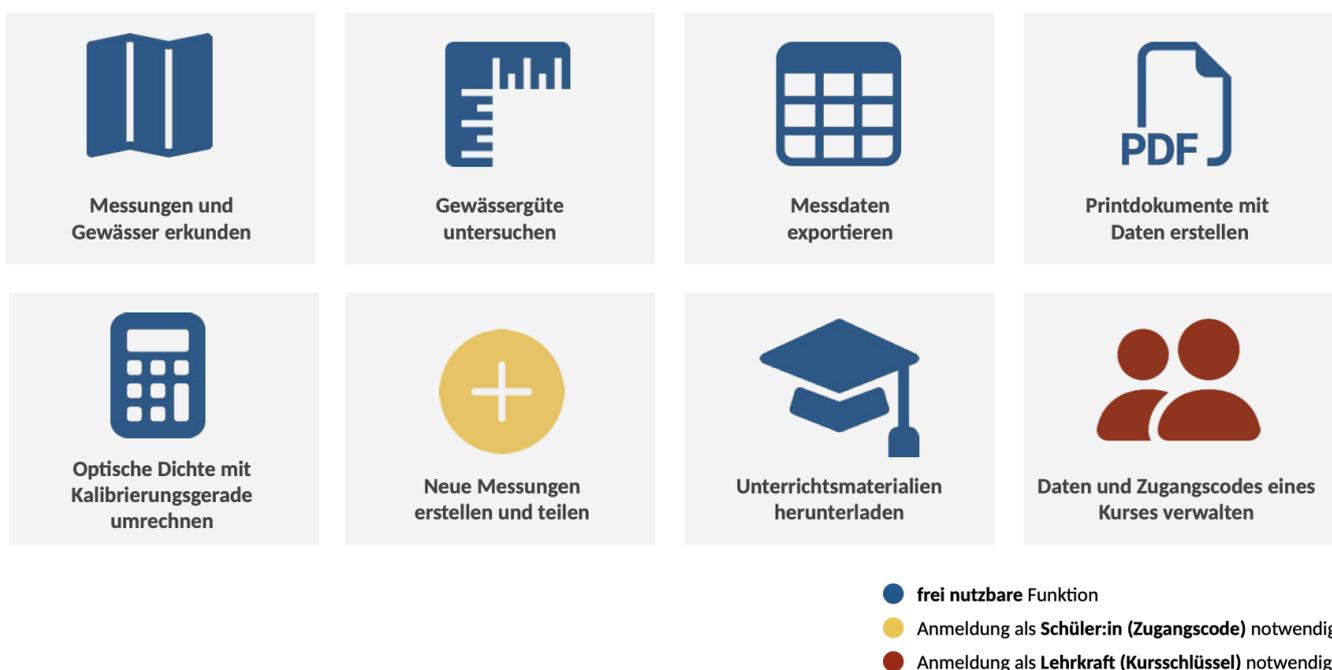


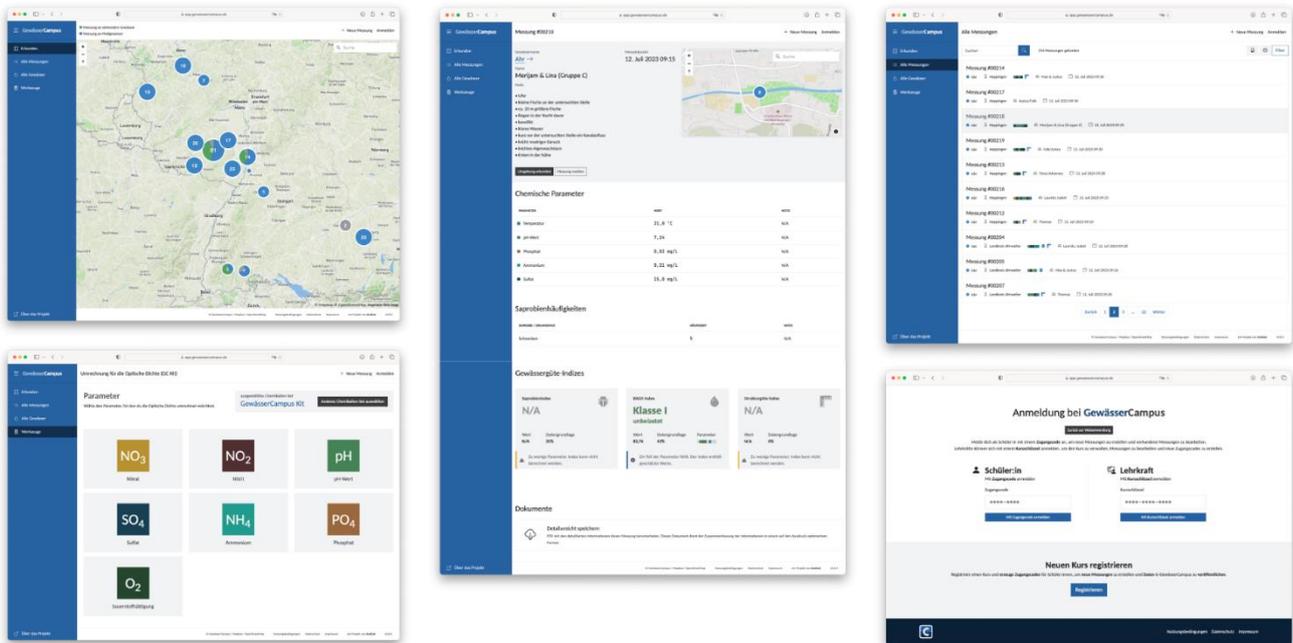
Abbildung 16: Übersicht der zentralen Funktionen der Webanwendung (Version 0.8.4).

Während die Daten ohne Anmeldung eingesehen und erkundet werden können, ist zum Erstellen einer neuen Messung eine Anmeldung notwendig. Dazu registriert die Lehrkraft einen Kurs und erhält anschließend Zugangscodes, die an die Schüler:innen weitergegeben werden. Zusätzlich wird ein Kursschlüssel erstellt, der die Anmeldung durch die Lehrkraft und damit die Verwaltung des Kurses ermöglicht. Mit diesem Konzept wird die Zuordnung der Messdaten zu den teilnehmenden Schüler:innen und Kursen gewährleistet, während gleichzeitig nur minimale Angaben von den Schüler:innen selbst benötigt werden.

Um die Zuordnung der Messstandorte zu einem Gewässer zu ermöglichen, werden Daten des OpenStreetMap-Projektes (OSM) eingebunden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Gewässer, die in der OSM-Datenbank nicht vorhanden sind, manuell hinzuzufügen. Außerdem sind in der Webanwendung Kalibrationen für die im Projekt entwickelten Messprotokolle und weitere kommerziell verfügbare Messkits hinterlegt, mit denen die mit dem Photometer gemessene optische Dichte in eine Konzentration umgerechnet werden kann.

Nach dem Launch der ersten öffentlich zugänglichen Version am 10. Mai 2022 wurde das GewässerCampus-Webanwendung iterativ unter Berücksichtigung des Feedbacks der im Rahmen des Projektes integrierten Testphasen und Veranstaltungen weiterentwickelt. Durch die Integration eines automatisierten Test- und Bereitstellungsverfahrens standen den Projektpartnern und im Rahmen des Projektes teilnehmenden Schüler:innen und Lehrkräften jeweils die neueste Version zur Verfügung.

Zum Zeitpunkt dieses Berichts ist die Entwicklung des ursprünglich geplanten Funktionsumfangs der Webanwendung mit der Version 0.8.4 (Screenshots einzelner Funktionen sind in Abbildung 17 dargestellt) abgeschlossen. Über die Planung hinaus wurde außerdem gewährleistet, dass die Integration verschiedener Gewässergüteindizes auch in der Webanwendung abgebildet ist und entsprechende Funktionen zur Verfügung stehen. In der letzten Entwicklungsphase wurde die Webanwendung im Hinblick auf einen stabilen Betrieb optimiert und ein vollständiger Review des Programmcodes vorgenommen, um durch eine gute Struktur und Dokumentation die zukünftige Wartbarkeit sicherzustellen.



**Abbildung 17:** Screenshots mit beispielhaften Ansichten der Webanwendung (Version 0.8.4).

Die Webanwendung ist unter [app.gewaessercampus.de](http://app.gewaessercampus.de) online erreichbar und wurde bereits aktiv im Rahmen der bisher durchgeführten Pilottests und Fortbildungen genutzt, um die dort erhobenen Daten zu dokumentieren (Abbildung 18). Diese Nutzung und der entstandene Datensatz zeigt die Praktikabilität der Webanwendung und ermöglichte den Test unter realistischen Bedingungen.

Messungen <b>244</b>	Parameter <b>923</b>	Kurse <b>56</b>	Website-Aufrufe <b>&gt;15.000</b>
Gewässer <b>54</b>	Kalibrierungen <b>21</b>	Zeitraum <b>Mai 2021 - August 2023</b>	

**Abbildung 18:** Kennzahlen zur Nutzung des Onlineportals (Stand der Daten: 01.09.2023).

Der Quellcode der Webanwendung und damit der aktuelle Stand der Entwicklung ist unter [github.com/desklab/gcampus](https://github.com/desklab/gcampus) einsehbar, eine technische Dokumentation ist unter [gcampus.readthedocs.io](https://gcampus.readthedocs.io) verfügbar. Die entwickelte Software wurde unter der AGPL-3.0 Lizenz veröffentlicht, um eine nachhaltige Nutzbarkeit durch Dritte der im Rahmen dieses Projektes entwickelten Komponenten sicherstellen zu können. Durch die Berücksichtigung einer möglichen Skalierung und der Anforderungen im produktiven Betrieb der Webanwendung kann diese nicht

nur im Kontext des durchgeführten Projekts eingesetzt werden, sondern bietet auch die Grundlage für mögliche Erweiterungen des GewässerCampus-Projektes.

#### **4.4 Entwicklung und Durchführung von Lehrerfortbildungen (Arbeitspaket D)**

Nachdem der Prototyp des tragbaren Photometers mit den entwickelten Versuchsprotokollen in Laborumgebung getestet wurde, wurde ein Konzept für die Durchführung einer Lehrkräftefortbildung erstellt. Dazu wurde eine erste "Pilot-Fortbildung" im Mai 2022 veranstaltet, die beim Pädagogischen Landesinstitut Rheinland-Pfalz (PL) angemeldet wurde (PL-Veranstaltungsnummer: 22KOV17054). An der Fortbildung haben sieben Lehrkräfte von Gymnasien und einer berufsbildenden Schule aus dem Umkreis von Kaiserslautern teilgenommen. Die Veranstaltung fand am 18. Mai 2022 im Reichswald-Gymnasium Ramstein-Miesenbach statt. Vorgestellt wurden das GewässerCampus-Projekt und die im Zuge des Projekts entwickelten Materialien, wie u.a. das tragbare Photometer, die Versuchsprotokolle, die Experimentierkiste und die Unterrichtsmaterialien für die Fächer Biologie und Chemie der Sekundarstufe I. Das Photometer, die Experimentierkiste und die Versuchsprotokolle wurden anhand einer Exkursion zum fußläufig erreichbaren Seewoog, bei der eine Gewässeruntersuchung durchgeführt wurde, praxisnah erprobt. Im Anschluss an die Exkursion wurde die Handhabung der Webanwendung und damit eine Registrierung, den Abruf eines Kursschlüssels und das Veröffentlichen der Messdaten durch die Lehrkräfte getestet. Zum Abschluss der Fortbildung wurde das Feedback der Lehrkräfte zum Projekt und den entwickelten Materialien diskutiert und festgehalten.

In der letzten Projektphase wurden weitere Lehrkräftefortbildungen in Kooperation mit dem Pädagogischen Landesinstitut veranstaltet. Im März wurden zwei Online-Fortbildungen von desklab in Zusammenarbeit mit dem Team der Bioverfahrenstechnik der RPTU in Kaiserslautern durchgeführt, jeweils mit einer Dauer von zwei Stunden. Zweck dieser Online-Veranstaltungen war ursprünglich die Vorbereitung der zur GewässerCampus-Projektevaluation angemeldeten Lehrkräfte auf den Projekttag. Über das Veranstaltungsportal des Pädagogischen Landesinstituts wurden aber auch Lehrkräfte auf die Veranstaltung aufmerksam, die sich nicht zur Teilnahme an der Projektevaluation angemeldet hatten. Es nahmen insgesamt 13 Lehrkräfte beim Termin am 20.03.2023 (Veranstaltungsnummer: 2317102003) und 8 Lehrkräfte beim Termin am 23.03.2023 (Veranstaltungsnummer: 2317102303) teil. Die Teilnehmerschaft setzte sich hauptsächlich aus Lehrkräften von Gymnasien und integrierten Gesamtschulen zusammen. Im zweiten Quartal 2023 wurden weitere ganztägige Fortbildungen vor Ort an verschiedenen Standorten durchgeführt. Folgende Aspekte waren Inhalt der ganztägigen Fortbildungen:

- Vorstellung des Projekts und des Teams

- Einführung in die Themen Photometrie und Gewässeranalyse
- Gewässeranalyse mit photometrischen Messungen an einem Gewässer vor Ort
- Auswertung der Ergebnisse und Eintragen in der Webanwendung
- Einordnung der Materialien in die Bildungspläne
- Besprechung organisatorischer Fragen zum Einsatz der Materialien

Am 29. März 2023 fand eine ganztägige GewässerCampus-Fortbildung am Eduard-Spranger-Gymnasium in Landau (PL-Veranstaltungs-Nr.: 23KOV17020) statt. Dabei wurde eine praktische Gewässeranalyse der Queich durchgeführt, die sich in unmittelbarer Nähe des Eduard-Spranger-Gymnasiums befindet. An der Veranstaltung nahmen 9 Lehrkräfte teil. An der RPTU in Kaiserslautern fand eine weitere ganztägige Fortbildungsveranstaltung zu GewässerCampus (PL-Veranstaltungs-Nr.: 23KOV17021) statt. Es wurde exemplarisch eine Gewässeranalyse des Uniteichs durchgeführt. Es nahmen 6 Lehrkräfte an der Fortbildung in Kaiserslautern teil. In Zusammenarbeit mit dem "Schülerforschungszentrum Prümer Land" in Prüm wurde eine weitere ganztägige GewässerCampus-Fortbildung (PL-Veranstaltungs-Nr.: 23KOV17022) realisiert. Die Einrichtung bietet durch ihre Labor- und Seminarräumlichkeiten Schüler:innen aus der Eifel-Region vielfältige Möglichkeiten zum naturwissenschaftlichen Experimentieren und Forschen sowie zum Veranstalten von AGs und Workshops. In unmittelbarer Nähe des "Schülerforschungszentrum Prümer Land" liegt das Gewässer Prüm, das im Juli 2021 in der umliegenden Region, ebenso die Ahr im Landkreis Ahrweiler, für Hochwasserereignisse sorgte. Die Prüm wurde in Absprache mit der Leitung des Schülerforschungszentrums als passendes Gewässer für die Durchführung der photometrischen Gewässeranalyse ausgewählt. An der GewässerCampus-Fortbildung in Prüm nahmen 12 Lehrkräfte teil, die sich für weitere Kooperationsmöglichkeiten aussprachen. Über die Anschaffung eines Klassensatzes an GewässerCampus-Photometern für das "Schülerforschungszentrum Prümer Land" wurde diskutiert. In Tabelle 2 sind zur Übersicht alle zum Projekt durchgeführten Lehrkräftefortbildungen aufgelistet.

**Tabelle 2:** Liste aller durchgeführten Lehrkräftefortbildungen im Zusammenhang mit dem GewässerCampus-Projekt im Rahmen der Projektlaufzeit

Datum	Veranstaltungsnummer	Veranstaltungsort	Format	Anzahl Lehrkräfte
18.05.2022	22KOV17054	Reichswald-Gymnasium Ramstein-Miesenbach	ganztägig	7
20.03.2023	2317102003	online	2 h	13
23.03.2023	2317102303	online	2 h	8
29.03.2023	23KOV17020	Eduard-Spranger-Gymnasium Landau	ganztägig	9
19.04.2023	23KOV17021	RPTU in Kaiserslautern	ganztägig	6
24.05.2023	2317102405	Reichswald-Gymnasium Ramstein-Miesenbach	ganztägig	14
29.06.2023	23KOV17022	Schülerforschungszentrum Prüm	ganztägig	12
15.07.2023	-	Pädagogische Hochschule Karlsruhe	1,5 h	8

#### 4.5 Projektevaluation (Arbeitspaket E)

Im Rahmen der Test-Fortbildung im Mai 2022 (siehe Abschnitt 3.4.) wurde eine erste Evaluation in Form von Gesprächen und Interviews durchgeführt. Das Feedback und die Verbesserungsvorschläge der Lehrkräfte wurden im Anschluss an die Fortbildung von den Projektpartnern besprochen, diskutiert und zur Anpassung der Materialien eingesetzt. Die teilnehmenden Lehrkräfte wurden außerdem dazu eingeladen, die entwickelten Unterrichtsreihen mit ihren Schüler:innen mit Begleitung durch die Projektpartner zu testen. Dieses Angebot wurde im Juli 2022 von Lehrkräften des Hans-Purmann-Gymnasiums Speyer und des Otto-Hahn-Gymnasiums Landau angenommen, sodass die Gewässeruntersuchung im Rahmen von Projekttagen erprobt wurde. Auf Basis des Feedbacks der Lehrkräfte sowie durch die Beobachtungen der Nutzung durch die Schüler:innen wurden die erstellten Versuchsprotokolle sowie auch das Messgerät und die Webanwendung im Anschluss angepasst und optimiert, so wurde beispielsweise die Verständlichkeit der Versuchsanleitungen verbessert.

In der Projektphase 3 wurde eine Projektevaluation durchgeführt. Es wurde ein Studienkonzept entwickelt, Fragebögen zusammengestellt, und mehrere Forschungsfragen für die Projektevaluation definiert, welche bei einem Projekttag zur photometrischen Gewässeruntersuchung im Citizen-Science-Kontext mit Schüler:innen der Klassenstufen 9-13 untersucht wurden. Zur Durchführung der Projektevaluation wurde Anfang 2023 zur Teilnahme

an der Projektevaluation aufgerufen. Dafür wurden Schulen in Rheinland-Pfalz Anfang 2023 durch ein Einladungsschreiben über das Projekt und die Projektevaluation informiert. Für Lehrkräfte, die sich für die Durchführung eines GewässerCampus-Projekttags und damit zur Teilnahme an der Projektevaluation angemeldet hatten, wurde eine verpflichtende Online-Infoveranstaltung an zwei möglichen Terminen am 20.03.2023 (PL-Veranstaltungs-Nr.: 2317102003) und am 23.03.2023 (PL-Veranstaltungs-Nr.: 2317102303) angeboten, bei der das eigentliche Projekt sowie die projektbegleitende Evaluation und das Konzept des Projekttags vorgestellt wurden. Der GewässerCampus-Projekttag umfasst einen Zeitrahmen von einem Vormittag (8-13 Uhr) und wurde in drei Phasen untergliedert: eine Vorbereitungsphase, in der die thematischen Hintergründe vermittelt werden, die Exkursionsphase, bei der am im Voraus von der Lehrkraft ausgewählten Gewässer die Experimente zur Gewässeranalyse mit der Schulklasse durchgeführt wurden, und eine Nachbereitungsphase, die die Auswertung der Messungen sowie das Eintragen der Messung im Online-Portal vorsieht. Eine strukturelle Übersicht des Projekttags ist auch in Abbildung 19 zu sehen.



**Abbildung 19:** Strukturelle Übersicht über die drei Phasen des GewässerCampus-Projekttags im Rahmen der Projektevaluation inklusive inhaltlichem Fokus und geplanten Zeitumfang der Phasen. Den Lehrkräften wurde für die Durchführung des Projekttags ein detaillierter Unterrichtsentwurf an die Hand gegeben.

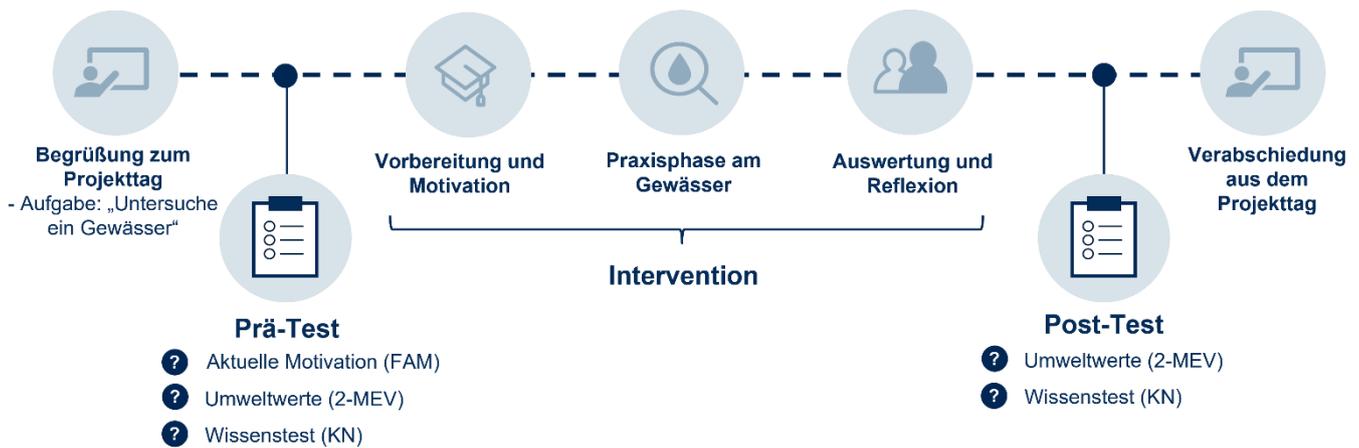
Auch der im Voraus konzipierte Unterrichtsentwurf zum Projekttag wurde detailliert besprochen. Dieser war zusammen mit allen benötigten Unterrichtsmaterialien, einem Praxisleitfaden und einem Dokument mit Tipps und Hilfen zur Durchführung des Projekttags direkt über das [desklab-Lehrerportal](#) online für die Lehrkräfte zugänglich. Alle benötigten Materialien für den GewässerCampus-Projekttag, das heißt die Unterrichtsmaterialien, die Fragebögen für die Projektevaluation sowie die Experimentierkiste für die Praxisphase am Gewässer, die neben den Reagenzien und Verbrauchsmaterialien auch die portablen Photometer enthält, wurden den Schulen im Vorfeld durch das Team der BioVT oder über dem Postweg geliefert. Am Projekttag

wurden die erstellten Fragebögen von den Schüler:innen der teilnehmenden Schulklassen bzw. -kurse ausgefüllt. In der durchgeführten projektbegleitenden Studie wurden

- der Wissenserwerb durch kurzfristige Intervention als Durchführung einer wissenschaftspropädeutischen Gewässeruntersuchung,
- Steigerung der Umweltwerte (Preservation; Utilization) bei der Durchführung einer wissenschaftspropädeutischen Gewässeruntersuchung,
- die Beziehung zwischen Wissen und Umweltwerten
- die Motivation zur Aufgabe „Erforsche ein Gewässer“
- und einen Zusammenhang zwischen den Umweltwerten und der aktuellen Motivation zur wissenschaftspropädeutischen Erforschung eines Gewässers

untersucht.

Hierfür wurden Prä-Post-Fragebögen auf Basis der standardisierten Fragebögen zu Umwelteinstellungen und das Umweltverhalten von Schüler:innen nach Bogner (2-MEV) [25] und zur aktuellen Motivation (FAM) nach Rheinberg et al. [26] entworfen. Außerdem wurde zur Beurteilung des Wissenserwerbs ein Wissenstest (KN, für Knowledge-Test) [27] erstellt. Die Items für den Wissenstest wurden aus allen Inhaltsbereichen formuliert, wobei auch eine Zuordnung zu allen Phasen des Projekttags (Vorbereitung; Exkursion; Nachbereitung) möglich sind. Zudem sind die Fragen mit den spezifischen Lernzielen des Projekttags sowie dem staatlichen Lehrplan konsistent. Die Fragebögen können dem Anhang dieses Berichts entnommen werden. In der folgenden Abbildung 20 ist der Ablauf des GewässerCampus-Projekttags gezeigt. Die Prä- und Post-Fragebögen wurden den Schüler:innen dabei jeweils zu Beginn und am Ende des Projekttags zum Ausfüllen gereicht. Im Prä-Fragebogen wurden die Aktuelle Motivation (FAM) und die Umweltwerte (2-MEV) der Schüler:innen erfasst sowie der Wissenstest (KN) durchgeführt. Die Umweltwerte (2-MEV) und der Wissensscore (KN) wurden erneut im Post-Fragebogen nach Intervention in Form des GewässerCampus-Projekttags gemessen.



**Abbildung 20:** Schematische Darstellung des Ablaufs des GewässerCampus-Projekttags, der von den Kursen/Klassen im Rahmen der Projektevaluation durchgeführt wurde.

Dieser Fragebogen wurde im Hinblick auf Verständlichkeit in Zusammenarbeit mit einem Biologie-Leistungskurs des Siebenpfeiffer-Gymnasiums Kusel im Zuge eines Projekttag zur Untersuchung der Gewässergüte am 08.11.2022 getestet. Die betreuende Lehrkraft dieses Kurses hatte bereits an der Pilot-Fortbildung im Mai 2022 teilgenommen und unter anderem auch die seit dieser Veranstaltung erarbeiteten Verbesserungen der Unterrichtsmaterialien bestätigt.

Für die Durchführung des GewässerCampus-Projekttags wurden die teilnehmenden Schulen in Absprache auf die Kalenderwochen (KW) zwischen den Oster- und Sommerferien aufgeteilt. Da mehrere der für die Projektevaluation angemeldeten Schulen die letzten beiden Wochen vor den Sommerferien favorisierten, wurde der GewässerCampus-Projekttag an der IGS Koblenz erst nach den Sommerferien 2023 durchgeführt. Der folgenden Tabelle 3 können die an der Projektevaluation teilnehmenden Schulen entnommen werden.

**Tabelle 3:** Liste der an der GewässerCampus-Projektevaluation teilnehmenden Schulen mit Klassenstufe, Fach, Anzahl der Schüler:innen und Zeitraum der Durchführung.

Teilnehmende Schule	Kurs / Klassenstufe	Fach	Anzahl Schüler:innen	KW der Durchführung Projekttag
Eduard-Spranger-Gymnasium Landau	11 - Leistungskurs	Biologie	15	28
Helmholtz-Gymnasium Zweibrücken	12 - Grundkurs	Biologie	19	25
	10	Chemie	25	26
Hohenstaufen-Gymnasium Kaiserslautern	10	Chemie	24	27
IGS Eisenberg (Pfalz)	11	Chemie	15	27
	11	Biologie	19	27
IGS Enkenbach-Alsenborn	10	Ökologie	19	21
	9	Ökologie	20	24
IGS Koblenz	12	Biologie	23	36
	12	Biologie	25	36
Peter-Joerres-Gymnasium Ahrweiler	9-11	-	12	28
Siebenpfeiffer-Gymnasium Kusel	12 - Grundkurs	Biologie	14	18
	8	Biologie	18	19

Die ausgefüllten Fragebögen wurden nach der Durchführung des GewässerCampus-Projekttags von den Lehrkräften zur Auswertung zurückgeschickt. Zusätzlich wurden in Feedback-Gesprächen mit den einzelnen Lehrkräften der Projekttag hinsichtlich zeitlichem Ablauf, Anforderungen an die Schüler:innen und Schwierigkeiten bei der Durchführung besprochen. Die Meinung der Lehrkräfte zu den entwickelten Materialien in ihrer Anwendung wurde ebenso abgefragt wie Verbesserungsvorschläge der Lehrkräfte zum didaktischen und methodischen Vorgehen beim Projekttag. Die Anmerkungen der Lehrkräfte wurden dokumentiert und werden für eine Anpassung der Materialien verwendet. Da die teilnehmenden Klassen der IGS Koblenz aus zeitlichen Gründen erst in den ersten Schulwochen nach den Sommerferien den

GewässerCampus-Projekttag durchführen konnte, liegt zum Zeitpunkt dieses Projektabschlussberichts noch keine vollständige Auswertung der Fragebögen vor. Eine Veröffentlichung der Studienergebnisse ist im Anschluss an die Auswertung geplant. Dafür vorgesehen ist die Open-Access-Fachzeitschrift *Educational Sciences* des Herausgebers MDPI.

#### **4.6 Leihsystem für Geräte & Materialien (Arbeitspaket F)**

Zur Aufnahme in das Forscherkisten-Verleihsystem des Lehrstuhls der Bioverfahrenstechnik der RPTU in Kaiserslautern-Landau wurde auch eine GewässerCampus-Experimentierkiste, die im Aufbau an bereits bestehende Schülerforscherkisten angelehnt sind, erstellt. Sie enthalten außer einem Klassensatz an portablen GewässerCampus-Photometern auch alle zur Versuchsdurchführung notwendigen Materialien. Hierzu zählen die notwendigen Reagenzien sowie die anfallenden Verbrauchsmaterialien und Abfallgefäße. Pro zu untersuchenden Parameter sind die benötigten Materialien in farbigen beschrifteten Boxen zusammengestellt, um eine Übersichtlichkeit der Materialien in der Experimentierkiste zu gewährleisten. Jede dieser Parameterboxen ist in mehrfacher Ausführung vorhanden und enthält ausreichend Verbrauchsmaterialien und Reagenzien, um eine Analyse des Parameters mehrfach durchführen zu können. Außerdem enthalten die Experimentierkisten bebilderte Anleitungen zur Durchführung der einzelnen Experimente, sowie Arbeitsblätter, auf denen die Schüler:innen im Lauf des Feldversuchs am Gewässer ihre Messdaten eintragen können. Zudem können auf dem Arbeitsblatt, die mithilfe des Umrechnungstools im Online-Portal errechneten Parameterkonzentrationen, eingetragen und der Gewässergüte-Index nach BACH berechnet werden. Eine Übersicht, über die in der GewässerCampus-Experimentierkiste enthaltenen Materialien ist in Abbildung 21 zu sehen.



**Abbildung 21:** Übersicht über den Inhalt der GewässerCampus-Experimentierkiste, wie sie im Forscherkistensystem der BioVT zur Ausleihe zur Verfügung steht.

Über ein Bestellformular auf der [Homepage der BioVT](#) können die GewässerCampus-Experimentierkisten ausgeliehen werden. Zum Zeitpunkt des Projektendes befanden sich zwei Ausführungen der GewässerCampus-Experimentierkiste im Bestand der BioVT. Für die Pflege der Experimentierkiste, das Ansetzen der Reagenzien und das Nachfüllen der Verbrauchsmaterialien wurde eine studentische Hilfskraft eingesetzt. Die GewässerCampus-Experimentierkisten wurden auch in der dritten Projektphase, vor allem durch das Feedback der Lehrkräfte im Verlauf der Projektevaluation (siehe Kapitel 4.6), weiter verbessert. Im Zuge der Projektevaluation waren die Experimentierkisten besonders zwischen den Oster- und Sommerferien für den GewässerCampus-Projekttag fast jede Woche ausgeliehen und in Benutzung. Aber auch außerhalb der Projektevaluation wurde die Experimentierkiste angefragt. Beispielsweise an Herrn Maaß des Gymnasiums Weierhof in Bolanden, der die Photometrie als Analysemethode mit seinem Chemie-Leistungskurs im letzten Schuljahr als Wiederholung und Vorbereitung auf das Abitur auch praktisch im Unterricht behandeln wollte. Herr Brunner der St.-Franziskus-Gymnasium und -Realschule lieh die Experimentierkiste für die traditionelle "Wutach-Exkursion" der Schule, bei der die Chemiekurse der Sekundarstufe II der Schule in der Woche vor Pfingsten jährlich die Wutach, einem Nebenfluss des Rheins im Schwarzwald, von der Quelle entlang des Flusslaufs untersucht wird.

## 4.7 Fachdidaktische Begleitung & Veröffentlichungen (Arbeitspaket G)

Das Projekt, die entwickelten Methoden und die Ergebnisse wurden mit unterschiedlichen Themenschwerpunkten während der Projektlaufzeit auf verschiedenen Konferenzen präsentiert. Am 15. September 2022 wurde das Projekt auf der Jahrestagung 2022 der ProcessNET und DECHEMA-BioTechNet mit dem Leitthema “(Bio)Process Engineering - a Key to Sustainable Development” in der Session “Education 4.0 - Devices for training and learning” in Form eines Vortrags mit anschließender Diskussion unter dem Titel “GewässerCampus - development of a Citizen Science toolset to assess water quality in STEM Education” vorgestellt. Der Beitrag ist im Rahmen dieser Konferenz zusätzlich im Konferenzband des Journals “Chemie Ingenieur Technik (CIT)” erschienen [28]. Das Projekt wurde am 30. September 2022 auf einer weiteren Konferenz, der Jahrestagung des Hochschulnetzwerks “Bildung durch Verantwortung” e.V. zum Thema “Zukunftspartnerschaften zwischen Hochschule und Gesellschaft. Campus Community-Partnerships revisited“ an der Pädagogischen Hochschule Oberösterreich in Linz (Österreich) vorgestellt. Unter dem Titel “GewässerCampus: Analyse der Gewässergüte durch Schüler:innen als Citizen Scientists” wurde das Projekt als Praxisbeispiel im Panel “Citizen Science in der Umsetzung” in Form eines Vortrags präsentiert. Im September 2023 wurde das Projekt auf dem Wissenschaftsforum (WiFo) 2023 der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) in Form einer Posterpräsentation (“GewässerCampus – a citizen science toolset for comprehensible photometric water quality measurements in chemistry education”) in der Kategorie “Chemieunterricht” vorgestellt. Im selben Monat wurde das Projekt mit einem Vortrag auf der Tagung “14th European Congress of Chemical Engineering and 7th European Congress of Applied Biotechnology” (ECCE&ECAB2023) im Thema “Education-Motivating high school students for STEM course” unter dem Titel “GewässerCampus – motivating high school students by implementing inquiry-based learning in STEM” präsentiert und diskutiert. Eine Übersicht über alle Konferenzbeiträge finden Sie in der folgenden Tabelle 4.

**Tabelle 4:** Tabellarische Übersicht zu den Konferenzbeiträgen des Projekts während der Projektlaufzeit.

Datum	Konferenz	Session / Thema	Titel des Beitrags
15.09.2022 (Vortrag)	ProcessNet und DECHEMA- BioTechNet Jahrestagung 2022	Education 4.0 - Devices for training and learning	GewässerCampus - development of a Citizen Science toolset to assess water quality in STEM Education
30.09.2022 (Vortrag)	Jahrestagung des Hochschul- netzwerks "Bildung durch Verantwortung" e.V.	Zukunfts- partnerschaften zwischen Hochschule und Gesellschaft	GewässerCampus: Analyse der Gewässergüte durch Schüler:innen als Citizen Scientists
04.09.2023 (Poster)	WiFo 2023	Chemieunterricht	GewässerCampus – a citizen science toolset for comprehensible photometric water quality measurements in chemistry education
18.09.2023 (Vortrag)	14th ECCE & ECAB 2023	Education - Motivating high school students for STEM course	GewässerCampus – motivating high school students by implementing inquiry-based learning in STEM

## 5 Diskussion

Ein Ziel des Projekts war es, Vorschriften zur photometrischen Bestimmung des pH-Wertes, des Phosphat-, Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumgehalts auszuarbeiten. Im Laufe des Projektes hat sich es aufgrund der Rückmeldung der beteiligten Lehrkräfte als vorteilhaft erwiesen, den Bach- und den Trophie-Index zur Ermittlung des Gewässerzustands zu verwenden. Daher wurden zusätzlich Versuchsvorschriften für die Bestimmung des aktuellen Sauerstoffgehalts, des biochemischen Sauerstoffbedarfs und des Chlorophyll-a-Gehalts entwickelt. Ursprünglich war auch die Messung der Trübung von Gewässerproben angestrebt, was aber mit dem GewässerCampus-Photometer aufgrund des 180° Strahlungswinkel nicht möglich ist. Die Trübung in Wasserproben liegt in der Regel im Bereich unter 40 Formazin-Nephelometrie-Einheiten (FNU), die nephelometrisch, das heißt über die Lichtstreuung im 90°-Winkel, bestimmt werden. Eine Integration dieser Messung hätte den Entwicklungsaufwand wesentlich vergrößert und das Verständnis des Messaufbaus durch die Schüler:innen erschwert, dieser Ansatz wurde daher verworfen.

Im Projektverlauf wurde die Auswahl der zu untersuchenden Parametern in Absprache um die Parameter Chlorophyll-a-Gehalt, aktueller Sauerstoffgehalt sowie Biochemischer Sauerstoffbedarf nach fünf Tagen (BSB<sub>5</sub>) ergänzt, um die Berechnung eines Gewässergüteindex - Chemische Index (CI) nach BACH oder Trophieindex (TI) - zu bestimmen.

Bei der Entwicklung der Versuchsprotokolle wurden wissenschaftlich verwendete Protokolle angepasst, Chemikalien wenn nötig ausgetauscht und fachliche Inhalte didaktisch reduziert. In Verbindung mit dem Einsatz der Experimente in der Schulpraxis sollten die Materialien und Reagenzien so günstig wie möglich und die Vorbereitung für die Lehrkraft so einfach wie möglich gehalten werden. Viele der in den Reagenzien enthaltenen Chemikalien sind für die Haltbarkeit und Stabilität der Reagenzien und die Reproduzierbarkeit der Versuche erforderlich, allerdings in der Regel nicht in der Chemikaliensammlung von vielen Schulen vorhanden. Für die Herstellung der Reagenzien wird jeweils nur eine geringe Menge der Chemikalien benötigt, diese werden im Handel aber teilweise nur in größeren Gebinden verkauft, wodurch eine Anschaffung für Schulen nicht rentabel ist. In diesem Spannungsfeld musste für jedes Protokoll eine Abwägung getroffen werden und es zeigte sich, dass eine Umsetzung der angestrebten Vereinfachungen in den meisten Fällen weitere Herausforderungen bewirkt.

Eine kostengünstige Alternative, die auch einen geringen Aufwand für die Lehrkraft darstellt, ist kostenlose Ausleihe der GewässerCampus-Experimentierkiste aus dem Leihsystem des

Lehrstuhls Bioverfahrenstechnik der RPTU in Kaiserslautern. Mit der Erstellung der Experimentierkiste und der damit einhergehenden Bereitstellung aller für eine Gewässeruntersuchung benötigten Materialien wurde ein weiteres Projektziel erreicht. Das Angebot zur Ausleihe der GewässerCampus-Experimentierkiste, das seit dem Schuljahr 2022/2023 besteht, wurde von einigen Lehrkräften in Anspruch genommen. Es liegen zum Zeitpunkt des Abschlussberichts bereits Anfragen für eine Ausleihe im Schuljahr 2023/2024 vor. In der GewässerCampus-Experimentierkiste sind neben den Reagenzien und Verbrauchsmaterialien auch die tragbaren Photometer enthalten, die im Projektverlauf entwickelt wurden.

Das geplante Konzept, den bisher auf den Unterricht im Klassenzimmer beschränkten Photometer-Bausatz, in ein portables und robustes Gerät weiterzuentwickeln, wurde von den beteiligten Lehrkräften durchgehend positiv bewertet und bei der Entwicklung das Feedback aus den Tests erster Prototypen in späteren Versionen mit umgesetzt. Damit steht als ein weiteres Ergebnis des Projekts ein tragbares, robustes und didaktisch aufbereitetes Photometer zur Verfügung, das aufgrund der integrierten Stromversorgung für den Einsatz von Feldversuchen geeignet ist. Die Vorerfahrungen aus anderen Projekten und die Zusammenarbeit der Projektpartner ermöglichte eine zielgerichtete und effektive Entwicklung, um die Anforderungen aus der Schulpraxis mit der benötigten Messgenauigkeit zu vereinen.

Parallel zu den Versuchsprotokollen wurde eine Webanwendung konzipiert und umgesetzt, die das Sammeln und Veröffentlichen der erhobenen Messwerte ermöglicht und damit die ursprünglich geplanten Funktionen umfasst. Im Projektverlauf wurde die Webanwendung um ein Umrechnungstool erweitert, mit dessen Hilfe die Messwerte aus den photometrischen Messwerten über hinterlegte Kalibriergeraden unkompliziert umgerechnet werden können. Die Webanwendung wurde bereits im Projektverlauf von Lehrkräften und Schüler:innen zum Eintragen ihrer Ergebnisse der Gewässeruntersuchung verwendet und bietet daher für zukünftige Nutzer:innen bereits einen umfassenden Datensatz zur Exploration an. Mit diesen beiden Projektbausteinen stehen Lehrkräften zwei elementare Komponenten zur Umsetzung von Citizen Science in der Schule sowie der praktischen Durchführung von Experimenten in der Umweltanalytik zur Verfügung. Insbesondere der Einsatz des Photometers ist dabei nicht auf die im Projekt erarbeiteten Versuchsprotokolle beschränkt.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Experimente sollten außerdem Unterrichtsmaterialien für die Kontextualisierung und Einführung der Schüler:innen in die Themen "Umweltprobleme" und "Photometrie" erstellt werden. Es wurden in Anknüpfung an die

curricularen Vorgaben durch den Lehrplan in Rheinland-Pfalz Unterrichtsreihen für die Fächer Biologie und Chemie in verschiedenen Varianten sowie ein Praxisleitfaden für Lehrkräfte als Handreichung erarbeitet. Die Unterrichtsmaterialien stehen über das desklab-Lehrerportal frei zur Verfügung und wurden Lehrkräften in den durchgeführten Fortbildungsveranstaltungen vorgestellt. Es wurde gelobt, dass die "Praxis und die Unterrichtsmaterialien gut [mit]einander abgestimmt" und flexibel im Unterricht integrierbar sind. Durch das Feedback der Lehrkräfte wird aber auch ersichtlich, dass eine Differenzierung der Unterrichtsmaterialien an weitere Klassenstufen und Schulformen nötig ist.

Entsprechend des Projektantrags wurden Fortbildungsveranstaltungen für Lehrkräfte zur photometrischen Gewässeranalyse mit den entwickelten Gewässer Campus-Materialien geplant und durchgeführt. Ganztägige Fortbildungen fanden an verschiedenen Standorten in Rheinland-Pfalz statt, um eine möglichst großen Multiplikatoreffekt zu erreichen. Außerdem wurden zwei Online-Fortbildungen als besonders niedrigschwellige Angebote veranstaltet. Insgesamt wurden im Projektzeitraum 77 Lehrkräfte auf acht Veranstaltungen fortgebildet. Das Feedback der Lehrkräfte nach den Veranstaltungen wurde kontinuierlich festgehalten und zur Optimierung der entwickelten Materialien verwendet. Im Allgemeinen wurden die entwickelten Materialien von den Lehrkräften als gewinnbringend für den naturwissenschaftlichen Unterricht bewertet, was sich auch in den gehäuften Anfragen zur Ausleihe und Einsatz der GewässerCampus-Materialien von Lehrkräften, die an den Fortbildungen teilgenommen haben, zeigt.

Auch die angestrebte Evaluation und fachdidaktische Begleitforschung zum Projekt wurde umgesetzt. In der letzten Projektphase wurden 250 Schüler:innen anhand von Fragebögen im Design einer Prä-Post-Studie zu ihren Umweltwerten, ihrer Motivation und ihrem Umweltwissen befragt. Als Intervention diente ein Projekttag, bei dem die teilnehmenden Lehrkräfte mit ihren Klassen eine photometrische Gewässeranalyse unter Anwendung der im Projekt entwickelten Materialien durchgeführt haben. Die vollständige Auswertung ist zum Zeitpunkt dieses Berichts noch nicht abgeschlossen und an der Veröffentlichung dieser Ergebnisse in einer Fachzeitschrift wird weiterhin gearbeitet.

Die erarbeiteten Möglichkeiten sollen auch über die Projektlaufzeit weitergeführt werden, dazu stehen die entwickelten Unterrichtsmaterialien im desklab-Lehrerportal zur Verfügung. Auch die erstellte GewässerCampus-Experimentierkiste bleibt im Angebot des Ausleihsystems des Lehrgebiets für Bioverfahrenstechnik der RPTU in Kaiserslautern bestehen. Dort werden die GewässerCampus-Experimentierkiste und das Projekt darüber hinaus auch beworben. Es liegen bereits Bestellungen der GewässerCampus-Experimentierkiste für das kommende Schuljahr

2023/2024 vor, die unter anderem von Lehrkräften, die an den durchgeführten Lehrkräftefortbildungen teilgenommen haben, getätigt wurden. Neben den GewässerCampus-Experimentierkisten haben die Lehrkräfte bei den Fortbildungsveranstaltungen zudem Interesse an der Anschaffung oder Möglichkeit zur lokalen Ausleihe der Photometer geäußert. Auch die Lehrkräftefortbildungen zur photometrischen Gewässeranalyse werden fortgeführt und weitere Termine sind für das kommende Schuljahr in Planung.

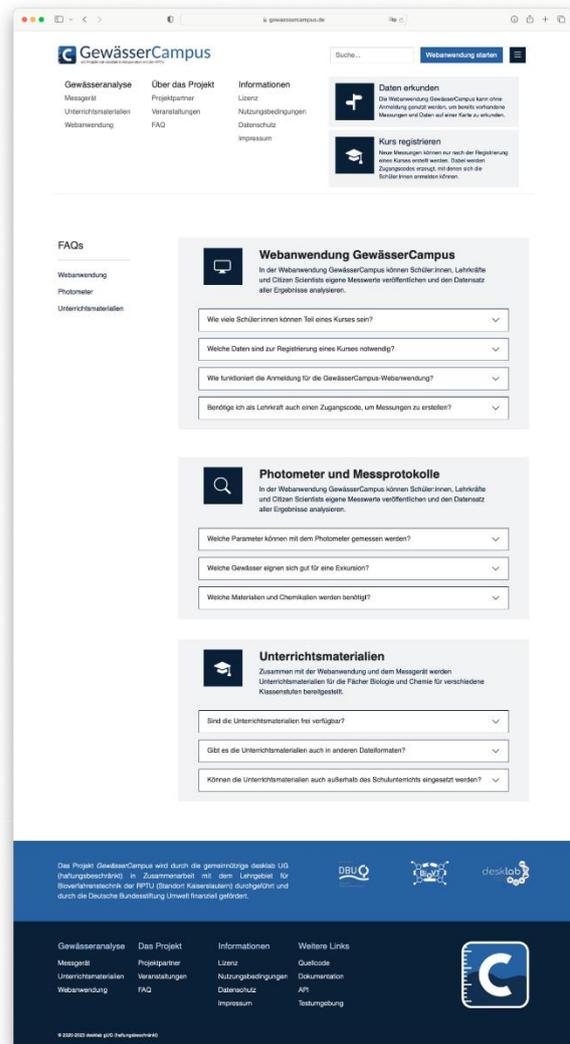
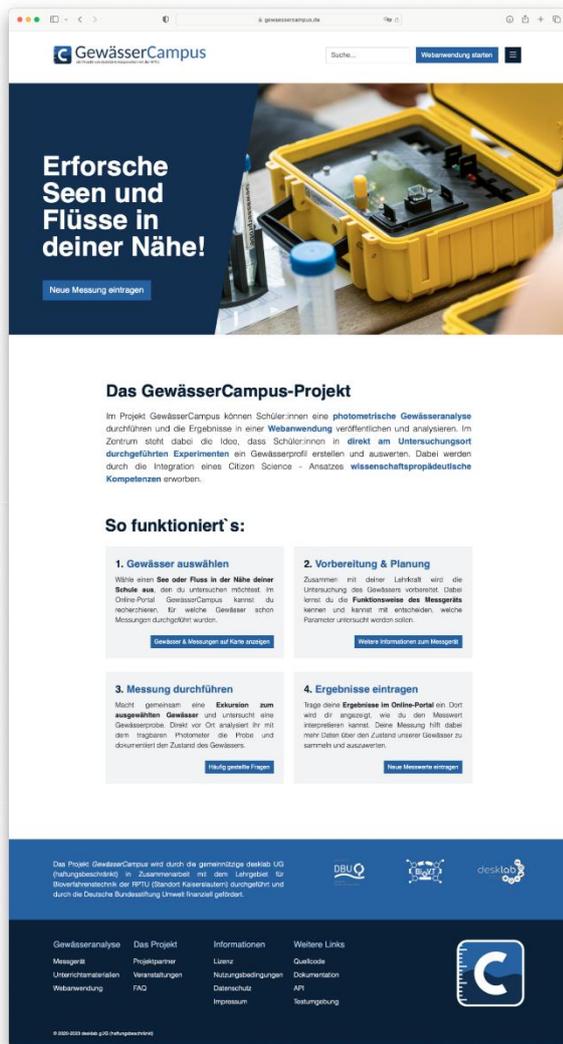
# 6 Öffentlichkeitsarbeit

Das Projekt wurde, wie im Kapitel 4.7 bereits erwähnt, bei verschiedenen Konferenzen vorgestellt und diskutiert. Neben den bereits genannten Publikationen ist ein weiterer Artikel in der Zeitschrift *Chemie in unserer Zeit/ Biologie in unserer Zeit* in Arbeit. Des Weiteren ist eine Veröffentlichung der Ergebnisse der projektbegleitenden Studie, die in Kapitel 4.5 vorgestellt wurde, in der Open-Access-Fachzeitschrift *Educational Sciences* des Herausgebers MDPI vorgesehen. Einige der an der Projektevaluation und der projektbegleitenden Studie teilnehmenden Schulen haben zum GewässerCampus-Projekttag einen Bericht auf ihrer Schulhomepage oder in Zusammenarbeit mit einer lokalen Zeitung einen Artikel dazu veröffentlicht [29-32].

Insgesamt wurden während der Projektlaufzeit allein über die Fortbildungen und die projektbegleitende Evaluation ca. 80 Lehrkräfte und über 300 Schüler:innen erreicht. Um auch nach Abschluss des Förderzeitraums die Projektergebnisse zu bewerben, stehen die zur Teilnahme notwendigen Informationen sowohl auf der Projektwebsite ([www.gewaessercampus.de](http://www.gewaessercampus.de)) als auch in Form verschiedener Printmaterialien zur Verfügung (Abbildung 22 und Abbildung 23).



**Abbildung 22:** Beispiele der öffentlich verfügbaren Infomaterialien zum GewässerCampus-Projekt (verfügbar in verschiedenen Formaten und für die verschiedenen Zielgruppen: Schüler:innen, Lehrkräfte, interessierte Bürger:innen).



**Abbildung 23:** Ausschnitte aus der GewässerCampus-Website ([www.gewaessercampus.de](http://www.gewaessercampus.de)), abgerufen am 01.09.2023.

Um eine zukünftige Vernetzung mit weiteren Citizen Science-Projekten zu ermöglichen, wird das Projekt auch bei der Citizen Science Plattform *Bürger schaffen Wissen* (<https://www.buergerschaffenwissen.de/>) registriert werden und das Projekt wurde zur Teilnahme an der Woche der Umwelt 2024 der DBU eingereicht.

Darüber hinaus wird in zukünftigen Fortbildungen für Lehrkräfte, durchgeführt von beiden Projektpartnern, die photometrische Gewässeranalyse und das GewässerCampus-Projekt vorgestellt und die Möglichkeiten zur Teilnahme aufgezeigt.

## 7 Fazit

Zum Projektende steht ein Citizen Science-Werkzeugkasten zur Beurteilung der Gewässergüte im MINT-Unterricht zur Verfügung. Durch die frühe Einbindung und Expertise der Lehrkräfte, deren Feedback beispielsweise an den durchgeführten Lehrkräfteveranstaltungen erfasst wurde, konnten die Materialien bei der Entwicklung für den Schulunterricht und die Bedürfnisse der Lehrkräfte und Schüler:innen angepasst werden. Dass die begleitenden Unterrichtsmaterialien für die Fächer Biologie und Chemie inhaltlich an den Lehrplänen orientiert sind, wurde von den Lehrkräften positiv hervorgehoben. Die im Projektantrag beschriebene Vorgehensweise hat sich damit bewährt.

Die in den Fokus gestellte praktische Umsetzbarkeit und die speziell an die Rahmenbedingungen des naturwissenschaftlichen Unterrichts angepassten Materialien haben sich als entscheidend für die Akzeptanz und damit die mögliche Skalierung der Projektergebnisse gezeigt. Die Integration eines Citizen Science-Ansatzes zur Vermittlung wissenschaftspropädeutischer Kompetenzen trifft auf ein starkes Interesse der Lehrkräfte und Schüler:innen. Die Flexibilität durch die vielseitigen Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Inhalte sowie die Kombination bereits vorhandener Materialien mit der Nutzung der praktischen Angebote ermöglicht ein nachhaltiges Lernen auf der Grundlage der Motivation der Schüler:innen, eigene Fragestellungen aus ihrem lokalen Umfeld beantworten zu können.

Im Anschluss an den Förderzeitraum stehen die Projektergebnisse Lehrkräften, Schüler:innen und anderen Projekten in verschiedenen Zusammenhängen zur Verfügung. Darüber hinaus befinden sich die Projektpartner im Austausch mit den verschiedenen in der Projektlaufzeit involvierten Akteuren, um weitergehende Maßnahmen umzusetzen, z.B. die Möglichkeit zur lokalen Ausleihe von Photometer-Klassensätzen angefragt oder die Etablierung als Dauer-Projektangebot im Rahmen des Schülerforschungszentrums in Prüm. In diesem Zusammenhang wäre auch eine Dauerleihgabe der Materialien in Kooperation mit dem Pädagogischen Landesinstitut denkbar. Des Weiteren besteht die Idee zur Gestaltung eines Schülersymposiums, bei dem sich Schulen an einem koordinierten GewässerCampus-Aktionstag beteiligen können und die Ergebnisse der Untersuchungen durch die Schüler:innen dann interessierten Bürger:innen vorgestellt und gemeinsam mit Wissenschaftler:innen diskutiert werden.

## 8 Erfüllung etwaiger Bewilligungsaufgaben

Das Projekt wurde ohne besondere Bewilligungsaufgaben bewilligt. Entsprechend der mündlichen Vorstellung und wie im Antrag beschrieben wurde der Unterauftrag zur Bearbeitung der Arbeitspakete B und C an die bereits an der Planung und Antragstellung des Projekts beteiligte desklab gUG (haftungsbeschränkt) vergeben. Die desklab gUG (haftungsbeschränkt) ist ein gemeinnütziges Unternehmen, das 2018 von Studierenden gegründet wurde und die Auftragsvergabe erfüllt, damit das Ziel der DBU, mit Förderungen explizit KMUs zu unterstützen.

## 9 Danksagung und Kontaktinformation

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die finanzielle Unterstützung dieses Projekts. Ein besonderer Dank gilt den Lehrkräften und Schüler:innen, die sich an diesem Projekt beteiligt haben und uns mit ihrem Feedback bei der Optimierung unserer Materialien weiter geholfen haben. Des Weiteren bedanken wir uns bei allen, die im Rahmen des Projekts mitgearbeitet haben, sowie allen interessierten Zuhörern auf den Konferenzen für die gewinnbringenden Diskussionen und Rückmeldungen. Bei Fragen und Anregungen sowie für Informationen zu Kooperationsmöglichkeiten stehen wir gerne zur Verfügung.



Prof. Roland Ulber

Lehrgebiet für Bioverfahrenstechnik,  
Rheinland-Pfälzische Technische Universität  
[roland.ulber@mv.rptu.de](mailto:roland.ulber@mv.rptu.de)



Axel Schlindwein

desklab gemeinnützige UG (haftungsbeschränkt)  
[a.schlindwein@desk-lab.de](mailto:a.schlindwein@desk-lab.de)

## 10 Literaturangaben

- [1] EU-Richtlinie 2000/60/EG vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, L 327, S. 1 - 73.
- [2] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU), Empfehlung der Kultusministerkonferenz, Stand 14.06.2019.
- [3] DGUV Information 213-098 - Stoffliste zur DGUV Regel 113-018 „Unterricht in Schulen mit gefährlichen Stoffen“.
- [4] <https://mv.rptu.de/fgs/biovt/lehre/lehrkraefte-und-schuelerinnen/ilab-forscherkisten>, abgerufen am 15.09.2023.
- [5] Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist.
- [6] E. Bach, Ein chemischer Index zur Überwachung der Wasserqualität von Fließgewässern, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 24, S. 102-106, 1980.
- [7] LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Gewässerbewertung stehende Gewässer, Kulturbuch-Verlag Berlin, 1998, S.12-13.
- [8] DIN 32645:2008-11, Chemische Analytik\_- Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen\_- Begriffe, Verfahren, Auswertung.
- [9] D. F. Swinehart, „The Beer-Lambert Law“, J. Chem. Educ., Bd. 39, Nr. 7, S. 333, Juli 1962, doi: 10.1021/ed039p333.
- [10] E. Schweda, Jander/Blasius - Anorganische Chemie. 1: Theoretische Grundlagen und qualitative Analyse, 18., Völlig neu bearbeitete Auflage. Stuttgart: Hirzel Verlag, 2016.
- [11] „Griess Diazotization: (Knoevenagel Method, Witt Method)“, in Comprehensive Organic Name Reactions and Reagents, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2010, S. 280. doi: 10.1002/9780470638859.
- [12] DIN 38405 Nitrat, DIN 38405-29:1994-11, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung\_- Anionen (Gruppe\_D)\_- Teil\_29: Photometrische Bestimmung von Nitrat mit Sulfosalizylsäure (D\_29); ISO\_7890-3:1988, modifiziert.
- [13] J. C. Miranda, M. Y. Kamogawa, und B. F. Reis, “Development of a portable setup and a multicommuted flow analysis procedure for the photometric determination of Fe(III) and Fe(II) in fresh water”, Sensors and Actuators B: Chemical, Bd. 207, S. 811–818, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.snb.2014.10.122.
- [14] Katrin Blondzik, Antje Ullrich, Falk Hilliges: Nitratbericht 2020, [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Binnengewaeser/nitratbericht\\_2016\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewaeser/nitratbericht_2016_bf.pdf), abgerufen am: 10.06.2021.

- [15] T. Tsuboi, Y. Hirano, Y. Shibata, und S. Motomizu, „Sensitivity Improvement of Ammonia Determination Based on Flow-Injection Indophenol Spectrophotometry with Manganese(II) Ion as a Catalyst and Analysis of Exhaust Gas of Thermal Power Plant“, *ANAL. SCI.*, Bd. 18, Nr. 10, S. 1141–1144, Okt. 2002, doi: 10.2116/analsci.18.1141.
- [16] M. C. Prieto-Blanco u. a., „Development of a polydimethylsiloxane–thymol/nitroprusside composite based sensor involving thymol derivatization for ammonium monitoring in water samples“, *Science of The Total Environment*, Bd. 503–504, S. 105–112, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.07.077.
- [17] H. J. Altmann, E. Fürstenau, A. Gielewski, und L. Scholz, „Photometrische Bestimmung kleiner Phosphatmengen mit Malachitgrün“, *Z. Anal. Chem.*, Bd. 256, Nr. 4, S. 274–276, Aug. 1971, doi: 10.1007/BF00537892.
- [18] E. A. Nagul, I. D. McKelvie, P. Worsfold, und S. D. Kolev, „The molybdenum blue reaction for the determination of orthophosphate revisited: Opening the black box“, *Analytica Chimica Acta*, Bd. 890, S. 60–82, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.aca.2015.07.030.
- [19] N. Zárate, R. Pérez-Olmos, und B. F. dos Reis, „Turbidimetric determination of sulfate in rainwater employing a LED based photometer and multicommutated flow analysis system with in-line preconcentration“, *J. Braz. Chem. Soc.*, Bd. 22, Nr. 6, S. 1009–1014, Juni 2011, doi: 10.1590/S0103-50532011000600002.
- [20] „DIN EN ISO 7027:2000-04:2016-11. Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Trübung. Teil 1: Quantitative Verfahren (ISO 7027-1:2016); abgerufen am: 18.01.2020“.
- [21] K. Dierßen und B. Dierßen, Moore, Neuausg. in *Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht*. Stuttgart: Ulmer, 2008.
- [22] H. A. C. Montgomery, N. S. Thom, und A. Cockburn, „Determination of dissolved oxygen by the winkler method and the solubility of oxygen in pure water and sea water“, *J. Appl. Chem.*, Bd. 14, Nr. 7, S. 280–296, Mai 2007, doi: 10.1002/jctb.5010140704.
- [23] A. Shriwastav, G. Sudarsan, P. Bose, und V. Tare, „Modification of Winkler’s method for determination of dissolved oxygen concentration in small sample volumes“, *Anal. Methods*, Bd. 2, Nr. 10, S. 1618, 2010, doi: 10.1039/c0ay00110d.
- [24] DIN EN 1899-2; Bestimmung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs nach n Tagen (BSB<sup>n</sup>) Teil 2: Verfahren für unverdünnte Proben (ISO 5815 : 1989, modifiziert).
- [25] F. Bogner, „Environmental Values (2-MEV) and Appreciation of Nature“, *Sustainability*, Bd. 10, Nr. 2, S. 350, Jan. 2018, doi: 10.3390/su10020350.
- [26] F. Rheinberg, R. Vollmeyer, und B. D. Burns, „FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen“, *Diagnostica*, Bd. 47, Nr. 2, S. 57–66, Apr. 2001, doi: 10.1026//0012-1924.47.2.57.

- [27] F. X. Bogner und M. Wiseman, „Adolescents’ attitudes towards nature and environment: Quantifying the 2-MEV model“, *Environmentalist*, Bd. 26, Nr. 4, S. 247–254, Dez. 2006, doi: 10.1007/s10669-006-8660-9.
- [28] E. Könnel u. a., „GewässerCampus – Development of a citizen science toolset to assess water quality in STEM education“, *Chemie Ingenieur Technik*, Bd. 94, Nr. 9, S. 1378–1379, Sep. 2022, doi: 10.1002/cite.202255174.
- [29] [https://igs-enkenbach-alsenborn.de/aktuelles/top-news-detailansicht?tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=85&cHash=0f8020bc54b540c098467661d1531d23](https://igs-enkenbach-alsenborn.de/aktuelles/top-news-detailansicht?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=85&cHash=0f8020bc54b540c098467661d1531d23), abgerufen am 15.09.2023.
- [30] <https://siebenpfeiffer-gymnasium.de/schuelerinnen-des-siebenpfeiffer-gymnasium-kusel-nehmen-an-pilotstudie-zum-projekt-gewaessercampus-teil/>, abgerufen am 02.09.2023.
- [31] <https://www.helmholtz-zweibruecken.de/news.html?start=16>, abgerufen am 13.09.2023.
- [32] [https://www.rheinpfalz.de/lokal/zweibruecken\\_artikel,-wie-gesund-wie-krank-ist-der-bleicherbach-wirklich-\\_arid,5521879.html](https://www.rheinpfalz.de/lokal/zweibruecken_artikel,-wie-gesund-wie-krank-ist-der-bleicherbach-wirklich-_arid,5521879.html), abgerufen am 05.09.2023.