

Der lange Weg bis zur Versuchsvorschrift

Eine Versuchsanleitung für ein Citizen-Science-Projekt entwerfen

Klassenstufe:	Sek. II
Thema:	Wasseranalyse; Entwicklung einer Versuchsvorschrift für ein Citizen-Science-Projekt
Kooperation:	Wissenschaftler:innen der Ruhr-Universität Bochum, Bürger:innen, Kommunale Partner:innen
Methode:	Colorimetrische und titrimetrische Bestimmung ausgewählter Parameter einer Probe aus der eigenen Wasserleitung

Sowohl im Chemieunterricht als auch in Citizen-Science-Projekten mit chemischen Fragestellungen sollen Personen, die (noch) keine umfangreiche chemische Ausbildung haben, mit chemischen Verfahren arbeiten und zuverlässige Ergebnisse erzielen. Dazu ist es notwendig, geeignete Verfahren auszuwählen und diese für den Einsatz mit den zukünftigen Nutzer:innen anzupassen. Im vorliegenden Artikel wird gezeigt, wie der lange, aber auch lohnenswerte Weg von bestehenden Verfahren zur Wasseranalyse

hin zu einer Versuchsvorschrift für Bürgerwissenschaftler:innen im Projekt CS:iDrop® umgesetzt wird. Hier lassen sich zum einen Parallelen und zum anderen Anregungen zur Weiterentwicklung von Versuchsvorschriften gemeinsam mit Schüler:innen für den Unterricht finden.

Trinkwasser auf dem letzten Meter

Trinkwasser ist das am besten kontrollierte Lebensmittel in Deutschland. Es wird von den kommunalen Wasserversorgern bis zu den Hausübergabestellen mit sehr hoher Qualität zur Verfügung gestellt. Die regelmäßige Analyse der Parameter wird umfangreich dokumentiert und deren Ergebnisse sind für Bürger:innen frei zugänglich.

Zwischen der Hausübergabestation und dem Wasserhahn (Abb. 1) können sich einige Parameter des Trinkwassers durch Wechselwirkungen mit Leitungen und Armaturen verändern.

Eine Gruppe veränderlicher Parameter sind die womöglich mobilisierten Metalle Blei, Kupfer und Eisen (Werkstoffe für Rohre) sowie Nickel (Oberflächenbehandlung für verchromte Stähle bei Armaturen) (z. B. [1, 2, 3]). Die dabei stattfindenden Reaktionen werden z. T. durch weitere Parameter (z. B. pH-Wert, Gesamthärte, Temperatur) beeinflusst [4]. Ein weiteres Paar gesundheitlich relevanter Parameter sind der Nitrat- und Nitritgehalt [1, 5]. So kann durch verzinkte Wasserleitungen eine Reaktion von Nitrat zu Nitrit erfolgen [1, S. 208].

Das tatsächliche Ausmaß der möglichen Veränderungen ist bislang weder der Wissenschaft noch den Bürger:innen bekannt. Wissenschaftler:innen allein fehlt beispielsweise der Zugang zu den Trinkwasser-Proben, Bürger:innen allein gegebenenfalls der Zugang zur Messmethodik. Ziel des bürgerwissenschaftlichen Forschungsprojektes „CS:iDrop – Citizen Science: investigation of Drinking water of and by the public“ ist es, gemeinsam mit Bürger:innen, Wissenschaftler:innen und kommunalen Partner:innen der Pilotregion Bochum zur Schließung dieser Forschungslücke beizutragen.

Das Forschungsprojekt (Abb. 2) beginnt zu Hause – am eigenen Wasserhahn. Die Bürger:innen entnehmen eine Wasserprobe, die über Nacht in der Wasserleitung gestanden hat, und analysieren sie mit überwiegend colorimetrischen Methoden (z. B. Bestimmung der Gesamthärte, des Eisen- und Nitratgehalts) aus der CS:iDrop-Waterbox. Anschließend untersuchen sie dieselbe Wasserprobe gemeinsam mit Wissenschaftler:innen in einem Messlokal, das im Alfred Krupp-Schülerlabor der Wissenschaften an der



1 | Vom Wasserwerk zum Wasserhahn

Zu Hause

Colorimetrische Verfahren
(Waterbox)

© Foto: Jan Kath

2 | Der Forschungsprozess bei CS:iDrop

Ruhr-Universität Bochum eingerichtet ist. Dabei nutzen sie klassische Labormethoden für die Untersuchung der Parameter (z. B. Kupfer und Gesamthärte). Im letzten Schritt wird diese Wasserprobe von Expert:innen im Labor der Technischen Beruflichen Schule 1 in Bochum auf definierte Parameter (z. B. Eisen, Kupfer, Blei) mithilfe instrumenteller Methoden analysiert. Die verschiedenen Messdaten werden auf der openSenseMap (eine Plattform für offene Sensordaten) eingetragen, der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt und in Dialogveranstaltungen gemeinsam diskutiert.

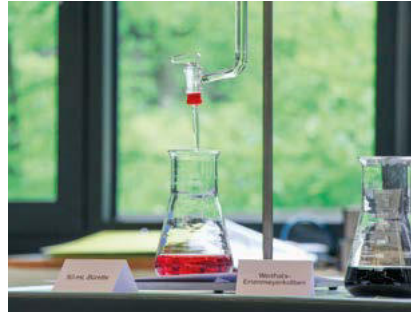
Der Weg vom ausgewählten Parameter bis zur Messung

Eine gute Versuchsvorschrift muss valide sein. Daher ist insbesondere in der Analytik die Validierung ein etablierter Begriff mit klar definierten Kriterien und Schritten zu deren Erreichung [6]. Grundsätzlich ist es erstrebenswert, dass auch eine Versuchsvorschrift für Bürgerwissenschaftler:innen valide ist. Allerdings müssen zur Erreichung dieses Ziels andere Schritte als in der Analytik gegangen werden [7]. In CS:iDrop wurde ein Konzept zur Entwicklung von Versuchsvorschriften für Bürgerwissenschaftler:innen entwickelt und erprobt (Abb. 3, S. 12).

In einem **ersten Schritt** (Abb. 3) wurden mit Bezug auf die analytische Fragestellung kriteriengeleitet chemisch geeignete Verfahren aus

Messlokal im

Nasschemische & instrumentelle Methoden



© Foto: Maren Funke

der Literatur sowie aus dem Angebot kommerzieller Hersteller ausgesucht.

Im **zweiten Schritt** wurde die grundsätzliche Durchführbarkeit der Verfahren im Labor von Expert:innen erprobt und eine erste Versuchsvorschrift für die zukünftigen Nutzer:innen geschrieben.

Im **dritten Schritt** wurde die Versuchsvorschrift in einem Entwicklungsworkshop mit Bürger:innen, den zukünftigen Nutzer:innen, erprobt.

Auf Grundlage der hier eingeholten Rückmeldungen wurden im **vierten Schritt** gezielte Laborexperimente durchgeführt, um die Vorschläge zur Optimierung der Verfahren zu erproben und wissenschaftlich abzusichern.

Im **fünften Schritt**, wurden die so entwickelten Versuchsvorschriften in einer Pilotierungsphase unter Feldbedingungen (Messung von Bürgerwissenschaftler:innen) erprobt und ausgewertet.

Nach Durchlaufen aller fünf Schritte sind die Versuchsvorschriften bereit zum Einsatz. Im Folgenden sollen die einzelnen Schritte exemplarisch an der Bestimmung der Gesamthärte bzw. der Bestimmung des Kupfers – beide Bestandteile der CS:iDrop-Waterbox, einem mobilen Analysekit – näher ausgeführt werden.

Erster Schritt: Auswahl einer originalen Vorschrift

Ziel ist es, dass die Bürgerwissenschaftler:innen im häuslichen Umfeld und ohne Hilfestellung ausgewählte chemische Parameter ihrer Trinkwasserprobe mittels eines mobilen



Labor der



Instrumentelle Methoden



© Foto: Susanne Buse

Analysekiters quantifizieren können. Hier gibt es bereits eine Vielfalt an publizierten Vorschriften (u. a. [8, 9]) sowie einige kommerzielle Verfahren von Fachanbietern (z. B. Macherey-Nagel und Lovibond). **Abbildung 4** (S. 12) zeigt, nach welchen Kriterien die Experimente ausgewählt wurden.

So wurden für die Bestimmung der Gesamthärte eine sogenannte Tropfenzahl-Titration (engl.: *drop-count titration*) ausgewählt. Es handelt sich um ein komplexometrisches Verfahren, das fachwissenschaftlich

D Differenzierung auf den Punkt gebracht**Differenzieren nach:**

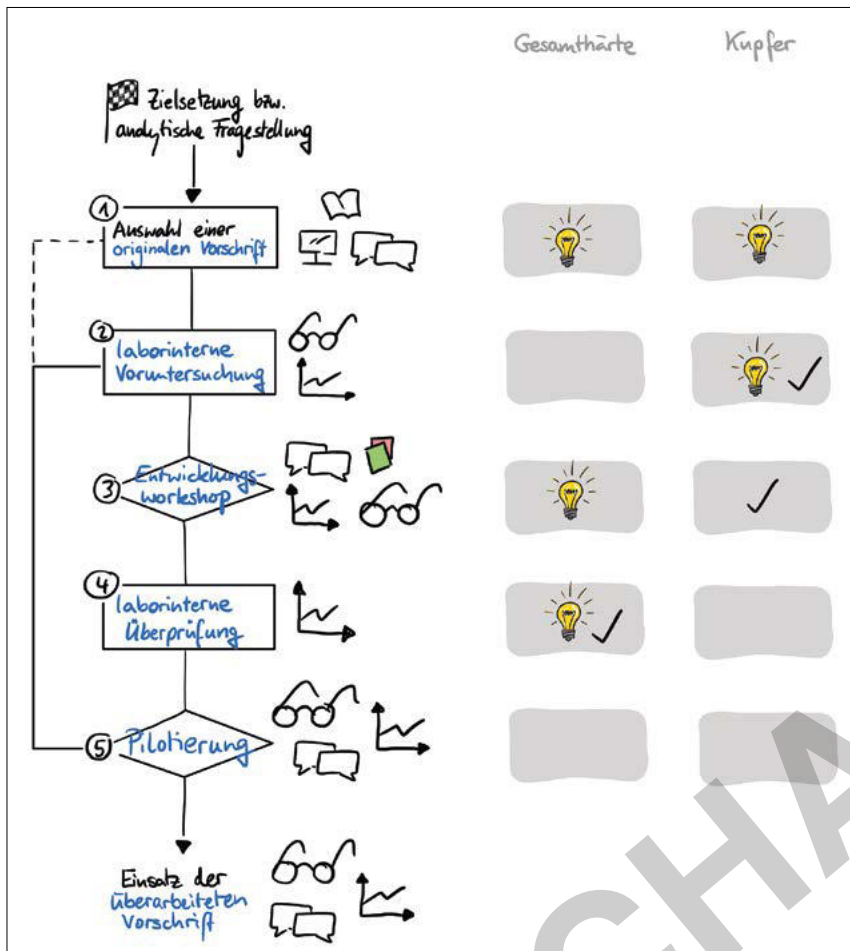
- experimentellen manuellen Fertigkeiten

Fördermöglichkeiten:

- Vergleich der Leistungsfähigkeit verschiedener Fachmethoden für die Bestimmung eines identischen Parameters

Praxistipp:

- Alle Schülergruppen untersuchen die Gesamthärte, aber mit unterschiedlichen Methoden. Eine Schülergruppe nutzt die „Tropfenzahl-Titration“, eine andere Schülergruppe verwendet die klassische Labormethode – die Titration mit einer Bürette. Anschließend tauschen die beiden Schülergruppen. Beim Vergleich der Ergebnisse ist es zum einen möglich, die Genauigkeit der Methoden zu vergleichen, und zum anderen die Genauigkeit, mit der die jeweilige Schülergruppe die Messmethode umgesetzt hat.



3 | Konzept zur schrittweisen Entwicklung einer Versuchsvorschrift für Bürgerwissenschaftler:innen

etabliert und umfassend beschrieben ist [11, 12]. Es wird die Anzahl an Tropfen einer EDTA-Lösung ermittelt, die bis zum Umschlagspunkt verbraucht wird. Die Methode ist so geeicht, dass ein verbrauchter Tropfen einem Grad deutscher Härte (°dH) entspricht. Im Vorfeld erschien diese Vorgehensweise für eine breite Nutzer:innengruppe gut umsetzbar, weshalb die Versuchsvorschrift annähernd unverändert im Entwicklungsworkshop eingesetzt wurde (Abb. 3 bzw. herstellerseitige

Versuchsvorschrift unter: <https://www.mn-net.com/de>).

Für den Parameter Kupfer zeigte sich, dass ein colorimetrisches Verfahren geeignet ist. Das Verfahren beruht auf der Komplexbildungsreaktion von Cuprizon (Oxalsäurebis[Cyclohexylidenedihydrazid]) mit zweiwertigem Kupfer [13]. Die Konzentrationsbestimmung erfolgt bei dieser Methode durch den Farbgleich der Probenlösung mit einer Farbkarte.

- Fachliche Richtigkeit
- Deutliche Effekte
- Erfolgreiche Durchführung
- Angemessenheit an die Altersstufe der Lernenden*
- Vorwissen der Lernenden
- Arbeitssicherheit und Gefährdungsbeurteilung
- Zeitlicher Rahmen
- Räumliche Gegebenheiten und Ausstattungen

4 | Anforderungen an ein Schulexperiment [10] können zur Auswahl von Experimenten in Citizen-Science-Projekten verwendet werden. (* Diesem Kriterium wurde keine Bedeutung beigemessen, da Erwachsene die Zielgruppe dieses Citizen-Science-Projektes sind.)

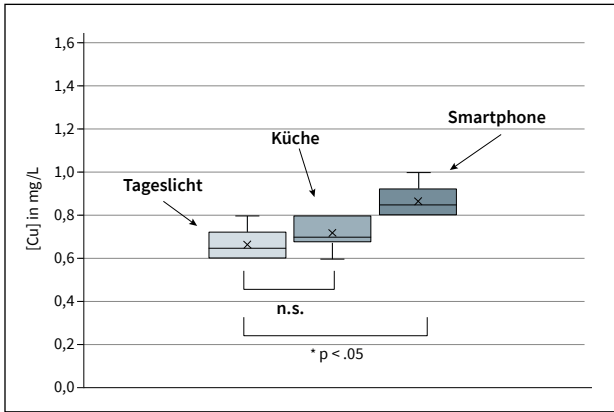
Zweiter Schritt: Erprobung im Labor

In diesem Schritt wird die ausgewählte, originale Versuchsvorschrift im Labor erprobt und erste laborseitig aufgetretene Fragestellungen bearbeitet. So stellte sich bei der Durchführung der colorimetrischen Bestimmung von Kupfer z. B. die Frage, ob die Lichtquelle einen Einfluss auf das Ergebnis hat. Hintergrund der Frage ist, dass die Bürgerwissenschaftler:innen mit unterschiedlichen Lichtquellen arbeiten könnten: Eine Person nutzt die normale Küchenlampe, eine andere Person könnte den Versuchsaufbau mit Smartphone-Licht bestrahlen, um eine sichere Entscheidung treffen zu können. Aus diesem Grund wurde eine kupferhaltige Leitungswasserprobe mit verschiedenen Lichtquellen (Tageslicht, herkömmliche Küchenbeleuchtung und die Taschenlampenfunktion eines handelsüblichen Smartphones) mit je sechs Messwiederholungen untersucht.

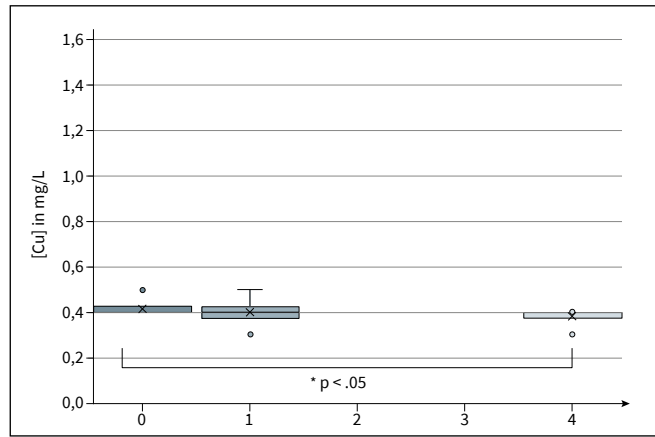
Die bei Tageslicht bestimmte Konzentration kann für dieses Experiment als „wahrer Wert“ angesehen werden. Entsprechende Untersuchungen zur Richtigkeit der Methode wurden im Vorfeld durchgeführt und erlauben diese Annahme. Die Daten (Abb. 5) legen nahe, dass die Messungen alternativ unter Nutzung einer herkömmlichen Küchenbeleuchtung durchgeführt werden können und hierbei vergleichbare Daten erzielt werden wie bei der Verwendung von Tageslicht. Die Nutzung einer Smartphone-Lampe würde jedoch zu einer Überbestimmung führen.

Eine weitere Frage betraf die Stabilität der Wasserproben. Diese Frage ist relevant, damit festgelegt werden kann, welcher zeitliche Rahmen den Bürgerwissenschaftler:innen für die Untersuchungen zur Verfügung steht. Eine kupferhaltige Leitungswasserprobe wurde mit der bestehenden Vorschrift an drei Messzeitpunkten mit je sechs Messwiederholungen untersucht.

Die Daten (Abb. 6) legen nahe, dass die Messungen innerhalb eines Tages erfolgen müssen. Ein mehrtägiger Abstand (z. B. vier Tage) zwischen Probenahme und Messung führt



5 | Colorimetrische Bestimmung von Kupfer mit verschiedenen Lichtquellen



6 | Colorimetrische Bestimmung von Kupfer am Tag der Probenahme, einen Tag sowie vier Tage nach der Probenahme

zu einer signifikanten Unterbestimmung.

Diese exemplarisch vorgestellten Erkenntnisse führten u. a. zu folgenden Entscheidungen: Die colorimetrisch durchgeführten Analysen müssen zeitnah nach der Entnahme der Wasserprobe durchgeführt werden; für spätere Untersuchungen im Labor werden die Proben anschließend im Labor durch Zugabe von konzentrierter Salpetersäure stabilisiert (siehe auch [14]). Des Weiteren werden die Analysen tagsüber durchgeführt, sodass mit normaler Beleuchtung oder einfallendem Tageslicht gearbeitet werden kann.

Dritter Schritt: Entwicklungsworkshop

Der Entwicklungsworkshop hat das Ziel, die entwickelten Versuchsvorschriften durch die zukünftigen Nutzer:innen erproben und evaluieren zu lassen. Damit sind die Bürgerwissenschaftler:innen aktiv in die Weiterentwicklung der Versuchsvorschriften eingebunden. Neben dem klassischen mündlichen Feedback während und im Anschluss an die praktische Arbeit erhielten die Bürgerwissenschaftler:innen verschiedenfarbige Karteikarten (rot = muss optimiert werden, grün = bitte beibehalten), auf denen sie ihre Gedanken, Ideen und Anregungen notieren konnten. Die Karteikarten lieferten wertvolle Hinweise, die im weiteren Prozess berücksichtigt wurden. So schrieb eine Bürgerwissenschaftler:in auf eine Karteikarte zur Tropfenzähl-Titration (Bestimmung der Gesamthärte) Folgendes: „[Das] Tropfen aus dem schwar-

zen Gefäß [ist] schwer zu kontrollieren.“ Tatsächlich ist die Puffer-Indikatorlösung „GH-1“ von geringer Viskosität. Eine Überdosierung der Lösung ist daher nicht gänzlich zu vermeiden und könnte auch unbemerkt geschehen. Hier wurde eine Problemstelle des Versuchs identifiziert. Deshalb musste geprüft werden, ob eine Überdosierung der Puffer-Indikatorlösung einen Einfluss auf die Validität des Verfahrens hat (vgl. **Schritt 4**).

Des Weiteren wurde durch nichtteilnehmende Beobachtung von Wissenschaftler:innen erkannt, dass für die Bürgerwissenschaftler:innen das Umschwenken der Lösung – ebenfalls bei der Tropfenzähl-Titration – eine große haptische Herausforderung darstellt. Anstatt die Titrationslösung durch Umschwenken zu vermischen, wurde daher im Entwicklungsworkshop durch die Bürgerwissenschaftler:innen vorgeschlagen, einen in der Waterbox enthaltenen Messlöffel zu nutzen und mit diesem die Lösung umzurühren.

Der Entwicklungsworkshop ermöglicht den Bürger:innen nicht nur aktive Teilhabe durch die Erprobung und Evaluation der Versuchsvorschriften. Durch das Offenlegen des Weges bis zur fertigen Versuchsvorschrift in einem Citizen-Science-Projekt (vgl. **Abb. 3**) erhalten die Bürger:innen auch einen Einblick in das forschungsmethodische Vorgehen und können ihren Beitrag im Forschungsprozess klar(er) erkennen.

Vierter Schritt: Gezielte Laborexperimente

Die Herausforderungen und Anregungen aus dem Entwicklungsworkshop

wurden im Anschluss gezielt im Labor untersucht. Zur Untersuchung des Einflusses einer Über- bzw. Underdosierung der Indikatorlösung wurden drei Lösungen, die Calcium- und Magnesiumionen bekannter Konzentrationen enthielten, analysiert. Den Lösungen wurden ein, zwei oder drei Tropfen Indikator-Pufferlösung hinzugegeben und anschließend die Titration durchgeführt. Die Ergebnisse stammen aus jeweils zehn Messwiederholungen (**Abb. 7**, S. 14).

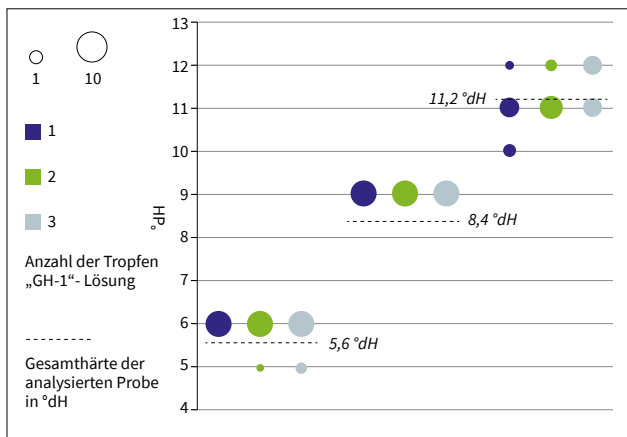
Die Ergebnisse zeigen, dass Einflüsse durch die falsche Dosierung der Indikator-Pufferlösung unproblematisch sind. Das Verfahren ist in dieser Hinsicht robust.

Es wurde auch geprüft, ob der Einsatz eines Messlöffels zum Umrühren einen Einfluss auf die Messwerte hat. Drei Lösungen, die Calcium- und Magnesiumionen bekannter Konzentrationen enthielten, wurden mit der ursprünglichen Methode (Schwenken) und mit der optimierten Methode (Umrühren) analysiert. Hierbei wurden die Messungen jeweils zehnfach wiederholt.

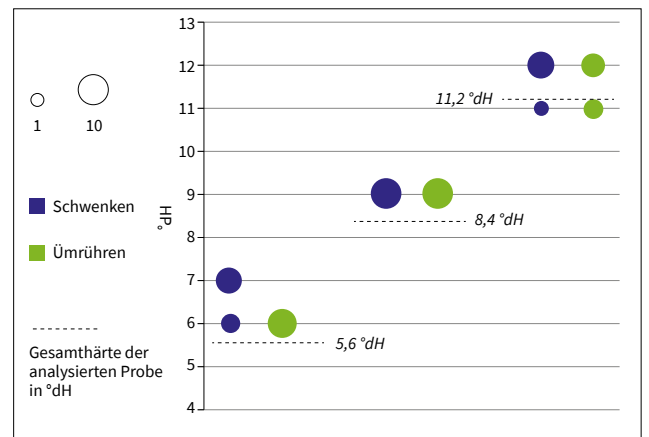
Die Ergebnisse (**Abb. 8**, S. 14) liegen in einem zufriedenstellenden Bereich. Das „Schwenken“ und das „Umrühren“ stellen gleichwertige Alternativen dar. Aufgrund der leichteren Handhabung wurde daher in der optimierten Versuchsvorschrift das Schwenken der Titrationslösung durch das Umrühren mit einem Messlöffel ersetzt.

Schritt 5: Pilotierung

Nach laborinterner Prüfung der optimierten Versuchsvorschriften konnten diese in der Pilotierung eingesetzt werden. Dabei liefern sowohl



7 | Einfluss der eingesetzten Menge an Indikator-Pufferlösung bei der Tropfenzahl-Titration



8 | Einfluss der Vorgehensweise beim Durchmischen der Lösungen bei der Tropfenzahl-Titration

die systematische Beobachtung der Nutzer:innen bei der Anwendung der Methoden als auch das Feedback der Nutzer:innen weitere Hinweise für mögliche Stolpersteine. Bei CS:iDrop umfasste dies in erster Linie gestalterische und redaktionelle Gesichtspunkte der Versuchsvorschriften. Am Beispiel der Versuchsvorschrift für die Tropfenzahl-Titration ist der Weg von der originalen Versuchsvorschrift zur finalen Versuchsvorschrift für Bürgerwissenschaftler:innen in **Abbildung 9** noch einmal nachgezeichnet. Jedoch ist es durchaus denkbar, dass auch in der Pilotierung weitere Aspekte beobachtet oder berichtet werden, die dann einen erneuten Durchlauf und ggf. sogar einen weiteren Entwicklungsworkshop anstoßen (**Abb. 3**, S. 12).

Anregungen für den Chemieunterricht

Der Weg zur Versuchsvorschrift für Bürgerwissenschaftler:innen bietet auch Ansatzpunkte für den Einsatz mit Schüler:innen. Es lassen sich drei zentrale Aspekte für den Chemieunterricht ableiten bzw. gewinnbringend umsetzen:

1. Das forschungsmethodische Vorgehen für die (Weiter-)Entwicklung von Schülerexperimenten

Lehrkräfte sind (Weiter-)Entwickler:innen von Versuchsvorschriften für ihre jeweiligen Schüler:innen – sei es durch die Erprobung neuer Experimente für den Chemieunterricht oder durch die Anpassung von Arbeitsblättern zu bekannten Experimenten.

Hier kann der vorgeschlagene Weg zur Entwicklung einer Versuchsvorschrift für Citizen-Science-Projekte (**Abb. 3**) dazu dienen, sich die eigene Praxis bewusst zu machen und die Versuchsvorschriften gemeinsam mit Schüler:innen weiterzuentwickeln. Die Auswahl eines geeigneten Verfahrens (**Schritt 1**) und die eigene Erprobung (**Schritt 2**) vollziehen sich in der Schule analog. Die Idee der „Entwicklungsworkshops“ (**Schritt 3**) benötigt eine Anpassung auf schulische Verhältnisse. Hier eignen sich Chemie-AGs oder auch der Regelunterricht. Die gezielten Labor-Experimente (**Schritt 4**) werden entweder durch die Lehrkraft selbst oder im Rahmen von Fach- oder Seminararbeiten durch fortgeschrittene Schüler:innen durchgeführt. Die Pilotierung (**Schritt 5**) erfolgt im Regelunterricht und wird idealerweise begleitet durch eine Reflexion des Weges zur Experiment(weiter)entwicklung, wodurch sich auch Bezüge zu *Nature of Science* und *Nature of Scientific Inquiry* herstellen lassen.

2. Die Methodenreflexion

Das Beispiel Trinkwasseranalytik eröffnet die Möglichkeit, einen identischen Parameter mit verschiedenen Fachmethoden zu untersuchen. Bei der anschließenden Methodenreflexion werden die genutzten Fachmethoden hinsichtlich der Aspekte Prinzip der Durchführung, Kontrolltechniken (u. a. Messwiederholung), Leistungsfähigkeit sowie Grenzen analysiert und bewertet. Auf dieser Basis lassen sich die verschiedenen Fachmethoden im Sinne des fachmethodischen Spiralcurriculums miteinander in Beziehung

setzung und es wird ein Beitrag zu einem vertieften Verständnis für Fachmethoden geleistet [15] (vgl. Differenzierungskasten).

3. Die Analytik & Zertifizierung

In dem bürgerwissenschaftlichen Forschungsprojekt CS:iDrop tragen die Bürger:innen durch ihre Mitwirkung zur Beantwortung der innerfachlichen Frage: „Wie verändern sich ausgewählte Parameter des Trinkwassers auf den letzten Metern?“ bei. Ihre Ergebnisse können trotz hoher wissenschaftlicher Genauigkeit nicht für gutachterliche Nachweise genutzt werden. Vor diesem Hintergrund lohnt es, sich im Themenfeld Analytik mit den gesetzlich verankerten Anforderungen auseinanderzusetzen. Die Aspekte reichen von der Probenahme über die Methoden der Datengewinnung bis zur Interpretation der Ergebnisse und den daraus resultierenden Schlussfolgerungen. Auch hier könnte die Methodenreflexion ansetzen, um die Fachmethoden von akkreditierten Laboren mit den möglichen Fachmethoden aus dem schulischen Kontext zu vergleichen.

Literatur

- [1] Kölle, W.: Wasseranalysen – richtig beurteilt – Grundlagen, Parameter, Wassertypen, Inhaltsstoffe (4. Aufl.). Wiley-VCH, Weinheim 2017
- [2] Hacke, W.: Neurologie (14. Aufl.). Springer, Berlin 2016
- [3] Umweltbundesamt (Hg.): Empfehlung des Umweltbundesamtes Beurteilung der Trinkwasserqualität hinsichtlich der Parameter Blei, Kupfer und Nickel („Probennahmeempfehlung“). Bad Elster 2018a
- [4] Umweltbundesamt (Hg.): Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit und des Umweltbundesamtes an die Verbraucherin-

nen und Verbraucher über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) in Deutschland 2014 – 2016. Dessau-Roßlau 2018b

- [5] Nowak, D.: Arbeitsmedizin und klinische Umweltmedizin. Elsevier, München 2010
- [6] Kromidas, S.: Validierung in der Analytik (2. überarbeitete Aufl.). Wiley-VCH, Weinheim 2011
- [7] Schröder, T. P.; Strippel, C. G.; Kath, J.; Sommer, K. (eingereicht): Validation of High School Experiments Using a Round Robin Test. J. Chem. Educ.
- [8] Hütter, L. A.: Wasser und Wasseruntersuchungen: Methodik, Theorie und Praxis chemischer, chemisch-physikalischer, biologischer und bakterieller Untersuchungsverfahren (6. erweiterte und aktualisierte Aufl.). Otto Salle Verlag & Verlag Sauerländer, Frankfurt a. M. 1994
- [9] Klee, O.: Wasser untersuchen: einfache Analysemethoden und Beurteilungskriterien (3. aktualisierte und erweiterte Aufl.). Quelle und Meyer, Wiesbaden 1998
- [10] Bader, H. J.; Lücken, A.: Anforderungen an ein Schulexperiment. In: Sommer, K.; Wambach-Laicher, J.; Pfeifer, P. (Hrsg.): Konkrete Fachdidaktik Chemie. Aulis Verlag in der Friedrich Verlag GmbH, Seelze 2018, S. 464 – 467
- [11] Schweda, E.: Jander/Blasius – Anorganische Chemie II – Quantitative Analyse und Präparate. Hirzel-Verlag, Stuttgart 2016
- [12] Nick, S.: Maßanalytische Bestimmungen. In: Glöckner, W.; Jansen, W.; Weissenhorn, R. G. (Hrsg.): Handbuch der Experimentellen Chemie Sekundarbereich II – Band 3/II: Analytische Chemie II: Quantitative Analyse. Aulis Verlag, Leipzig 2011, S. 46 – 114
- [13] Pohling, R.: Kupfer. In: Pöhlings, R. (Hrsg.): Chemische Reaktionen in der Wasseranalyse. Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg 2015, S. 175 – 184
- [14] DIN EN ISO 5667-3:2019-07. Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 3: Konservierung und Handhabung von Wasserproben (ISO 5667-3:2018)
- [15] Sommer, K.; Kleinhorst, H.; Russek, A.; Kakoschke, A.: Zur Konzeption eines fachmethodischen Spiralcurriculums. In: MNU 16(2012). Fachleitertagung Chemie, S. 7 – 13

visocolor® ECO Gesamthärte
total Hardness / Dureté totale / Durezza total

Messbereich / Range / Domaine de mesure / Rango
1 °d △ 1 °d

REF 931 029

1 5 mL Probe
Sample
Echantillon
Muestra

2 2 °GH-1

3 Umschwenken
Shake gently
Secouer légèrement
Mezclar volteándolo

4 °GH-2
bis Farbumschlag
till coloration
jusque inversion de couleur
hasta cambio de color

5 1 °d △ 1 °d
rot → grün
red → green
rouge → vert
rojo → verde

© MACHERY-NAGEL GmbH & Co. KG

Gesamthärte [GH]

Chemikalien / Gefahrenhinweise: GH-1, GH-2, Probe
Geräte: Becherglas, Spritze (5-mL), Titrationsgefäß (5-mL)

Durchführung:

Beobachtung:
Die Anzahl der Tropfen entspricht der Wasserhärte in „Grad deutscher Härte“.

Probe Nr.	(Anzahl an Tropfen)	°dH

Ergebnis:
Die Gesamthärte kann in verschiedene Härtebereiche eingeteilt werden.

Härtebereich	mmol/L	°dH
I weich	< 1,5	< 6,4
II mittel	1,5-2,5	6,4 - 14
III hart	> 2,5	> 14

© Jan Kath

Dank

Dieses Projekt wird gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Lehr-Lernforschung (Prof. Dr. Joachim Wirth) der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt. Wir danken unseren Projektpartnern Susanne Buse, Dr. Marco Gemmerich und Nicole Müller von der Technischen Beruflichen Schule 1 Bochum sowie allen partizipierenden Bochumer:innen für die engagierte Teilnahme am Projekt. Das Projekt wird finanziell gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Gesamthärte

Benötigte Chemikalien: „GH-1“, „GH-2“, Leitungswasserprobe (kurz: Probe)
Benötigte Geräte: Spritze (5-mL), Titrationsgefäß (5-mL), Messlöffel, Papiertücher
Durchführung: Bestimmen Sie die Gesamthärte Ihrer Probe zweimal nach folgender Anleitung.

1 Füllen Sie 5 mL Probe mithilfe der Spritze in das Titrationsgefäß.

2 Geben Sie 2 Tropfen „GH-1“ (schwarzes Gefäß) hinzu. Vorsicht! „GH-1“ ist sehr flüchtig und deshalb schwierig zu dosieren. Rühren Sie die Probe vorsichtig mit einem Messlöffel um. Ihre Probe sollte nun eine gleichmäßige rote Farbe besitzen.

3 Geben Sie 1 Tropfen „GH-2“ (weißes Gefäß, senkrecht halten) hinzu und rühren Sie mit dem Messlöffel vorsichtig um. Geben Sie einen zweiten Tropfen „GH-2“ hinzu und rühren Sie um. Geben Sie so weitere Tropfen „GH-2“ hinzu, bis sich die Farbe von rot nach grün verändert. Zählen Sie die insgesamt verbrauchten Tropfen „GH-2“. Tragen Sie die Anzahl der verbrauchten Tropfen „GH-2“ bei Messung 1 ein.

Am Ende:

© Jan Kath

! Entsorgen Sie die gefärbte Lösung bei laufendem Wasserhahn im Ausguss. Spülen Sie den Messlöffel und das Titrationsgefäß mit Wasser und trocken Sie beides mit einem Papiertuch vorsichtig ab.

! Wiederholen Sie die Schritte 1 bis 3. Tragen Sie die Anzahl der Tropfen „GH-2“ bei Messung 2 ein.

Beobachtung:
Messung 1: _____ Tropfen „GH-2“
Messung 2: _____ Tropfen „GH-2“

Ergebnisse:
Die Anzahl der verbrauchten Tropfen „GH-2“ entspricht der Gesamthärte in Grad deutscher Härter (°dH).
Welche Gesamthärte haben Sie gemessen?
Messwert 1: _____ (°dH)
Messwert 2: _____ (°dH)

© Jan Kath

9 | Originale/herstellereitige Vorschrift (oben); im Entwicklungsworkshop eingesetzte Vorschrift (Mitte); finale Versuchsvorschrift nach der Pilotierungsphase (unten)

Umweltsch(m)utz an der Ruhr

Ein Citizen-Science-Projekt zu Feinstaub

Klassenstufe:	Klasse 8/9 (alle Schulformen)
Fachwissen:	Entstehung von Feinstaub und potenzielle Auswirkungen auf Mensch und Umwelt
Lernziele:	individuelles, eigenständiges Arbeiten; naturwissenschaftliches Arbeiten; differenzierte Reflexion; nachhaltiges Denken und Handeln
Methoden:	Exkursionen; Experimentiertag im Schülerlabor; Durchführung von Feinstaubmessungen im Schulumfeld
Dauer des Projekts:	8 Wochen

Citizen-Science-Projekte, Schulunterricht und außerschulische Lernorte können sich gegenseitig verstärken. Citizen-Science-Projekten werden positive Wirkungen u. a. in den Bereichen Selbstwirksamkeit, Motivation und Interesse, aber auch in den Bereichen Fachwissen und Erkennt-

nisgewinnung zugeschrieben [1]. Der Schulunterricht liefert Strukturen, in denen bei geeigneter Passung zu den Kursinhalten kontinuierlich an einem Citizen-Science-Projekt gearbeitet werden kann. Außerschulische Lernorte können zusätzlichen Input liefern und/oder Austauschpunkte für unterschiedliche Gruppen innerhalb eines Projektes sein. Oftmals werden Citizen-Science-Projekte von Organisationen initiiert, die dann eine Teilnahme im Sinne einer Datensammlung und manchmal auch Auswertung der eigenen Daten ermöglichen. Ein Beispiel hierfür ist das Projekt „Plastikpiraten [2]. Diese Art von Projekten bietet ein hohes Maß an Struktur für die teilnehmenden Gruppen und ein hohes Maß an Sichtbarkeit, gleichzeitig sind die Schulen eingeschränkt in der eigenständigen Gestaltung der Projekte.

Im vorliegenden Beitrag wird als Kontrast zu dem zuvor beschriebenen Top-Down-Ansatz ein Bottom-Up-Ansatz vorgestellt. Beschrieben wird ein Ausschnitt aus einem Projekt, das ein hohes Maß an Eigenständigkeit ermöglicht. Das Projekt „Denkmalsch(m)utz an der Ruhr“ wurde vom Ruhr-Gymnasium Witten im Rahmen des denkmal aktiv-Programms der Deutschen Stiftung Denkmalschutz initiiert (im Rahmen des Sonderprogramms „Schädliche Einflüsse auf das Kulturerbe im Unterricht vermitteln“ gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt) [3]. Im Wahlpflichtkurs untersuchen die Lehrkräfte und Schüler:innen die Luftschadstoffbelastung im Umfeld zweier Baudenkmäler – der eigenen Schule und der Burgruine Hardenstein. Dabei kooperieren sie mit verschiedenen Partnern (u. a. Alfred Krupp-Schülerlabor, Denkmalschutzbehörde, Burgfreunde Hardenstein). Damit ist zwar keine Reichweite über

den lokalen Kontext hinaus verbunden wie bei anderen Projekten. Dafür ist durch den hohen lokalen Bezug eine erhöhte Sichtbarkeit für das beforschte Umfeld und die beteiligten Organisationen gegeben.

Ein untersuchter Luftschadstoff im Projekt ist der Feinstaub (s. **Kasten 1**) [4, 5]. Feinstaub wurde und wird bereits in verschiedenen Citizen-Science-Projekten untersucht (z. B. hackAIR, openseemap), weil es ein gesundheits- und umweltschutzrelevantes Thema ist [6–8]. Durch die Messungen aus solchen Projekten und Daten aus Messungen des Umweltbundesamtes liegen zum Luftschadstoff Feinstaub vielfältige Vergleichswerte für neue Projekte vor [4, 7, 8]. In diesem Beitrag wird die Untersuchung des Luftschadstoffes Feinstaub unter dem Gesichtspunkt der Erhaltung von Bauwerken beschrieben. Es wird gezeigt, wie die Untersuchung in den Unterrichtsgang eingebunden ist und wie die Schwerpunktsetzung zwischen naturwissenschaftlicher Vermittlung im Sinne eines forschenden Lernens und Citizen Science (s. **Kasten 2**) [9, 10] zwischen den einzelnen Unterrichtseinheiten und Exkursionen variiert.

Die Unterrichtsreihe Denkmalsch(m)utz an der Ruhr

Die im folgenden Abschnitt dargestellte Unterrichtsreihe „Denkmalsch(m)utz an der Ruhr – Untersuchung der Einflüsse des Straßenverkehrs auf die Bausubstanz von Denkmälern anhand des eigenen Schulgebäudes und der Burg Hardenstein“ ist für eine neunte Klasse des Wahlpflichtbereichs II im Fach Bionik ausgelegt. Die Reihe lässt sich den Inhaltsfeldern Chemische Reaktion (IF3), Verbrennung (IF4) und Organische Chemie (IF10) aus dem Lernlehrplan zuord-

Differenzierung auf den Punkt gebracht

Differenzierung nach:

- Erkenntnisgewinnungskompetenz zur Auswertung

Fördermöglichkeiten:

- Individuell abrufbares Scaffolding über QR-Codes (vier Tipps: 1. Überlege dir, wo die Grenzwerte für die Feinstaubkonzentrationen liegen. 2. Überlege dir, wie lange die Grenzwerte überschritten sein müssen. 3. Überlege dir, wofür die Zahlen 2.5 und 10 bei PM2.5 und PM10 stehen. 4. Überlege dir, warum die Feinstaubpartikelgrößen relevant sind.)

Praxistipps:

Etablieren Sie die Methode. Ermutigen Sie die Schüler:innen zur Nutzung. Ermöglichen Sie den Schüler:innen so, ihre Selbsteinschätzung zu verbessern.

Feinstaubmessung mit der senseBox

Stundenfrage: _____

Hypothese: _____

Material

transportable senseBox (mit Powerbank und Gummiband/Kabelbinder)

Durchführung

1. Untersuche an den verschiedenen Orten an der Schule die Feinstaubkonzentration.
2. Notiere die Feinstaubmesswerte und Besonderheiten in die vorgesehene Tabelle.

Beobachtungen

Trage die auf dem Schulgelände und die in der Umgebung des Schulgeländes gemessenen Feinstaubmesswerte in die Tabelle ein.

Ort	Uhrzeit	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Besonderheiten
runde Tischtennisplatte				
Sporthalle				
Eingang der Cafeteria				
Kletterwand				
Sportplatz				
unten am Klettergerüst				
oben am Klettergerüst				
Motorradstellplätze				
Eingang der Schule				
Toiletten				
Reifenabrieb beim Roller				
Reifenabrieb beim Fahrrad				
Auspuff vom Auto				

Aufgaben

1. Vergleiche die Ergebnisse mit deiner Vermutung.
2. Vergleiche die Ergebnisse mit den Ergebnissen der anderen Gruppen und beurteile die Ergebnisse.

Sprinter: Überprüfe die Oberflächenbeschaffenheit an den Orten, wo du gemessen hast, z.B. mit einer Lupe oder mit einem Rastmikroskop.