

SONDERDRUCK

aus

3 | 2023

VBio

Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland



MIKROBIOLOGIE

Geschichte
der Bierhefe



BIOCHEMIE

Kein Leben
ohne Molybdän!



**MOLEKULARE
ZOOLOGIE**

Multitasking in
Epithelmuskelzellen

BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT



**Evolution
des Neokortex**

Biodiversität und Ökologie von Süßwasserbakterien

Wissen schaffen mit Citizen Scientists

ALEXANDRA PITT | MARTIN HAHN



ABB. 1 Schüler/-innen beim Auftragen von Wasserproben auf Agarplatten bei einem Workshop im Klassenzimmer. Foto: Sabrina Pitt.

Obwohl Citizen Science inzwischen recht populär geworden ist, stellt es für Forschende immer noch eine Herausforderung dar, Bürger/-innen ohne wissenschaftliche Vorbildung in aktuelle Forschung konsequent einzubeziehen. Wie schafft man es, diese am Prozess des Wissen-Schaffens aktiv zu beteiligen und dabei wissenschaftliche Ergebnisse zu erzielen, die in Form von Publikationen und Daten verfügbar sind? Wir wollen hier mit einem Beispiel aus der Umweltmikrobiologie einen möglichen Weg aufzeigen. Im Fokus eines abgeschlossenen und eines laufenden Citizen-Science-Forschungsprojektes stehen dabei die Biodiversität und Ökologie von Süßwasserbakterien.

Das Phänomen, dass sich einzelne Bürger/-innen ohne akademische Ausbildung als Forscher/-innen betätigen und dabei wichtige Beiträge leisten, gibt es schon seit Jahrhunderten [1]. In den vergangenen Jahren hat sich mit *Citizen Science* eine neue Art der Beteiligung von Bürger/-innen an Forschung entwickelt, bei der eine größere Anzahl von Personen ohne spezifische Vorkenntnisse mitwirkt [1]. Während in den Anfängen die an der Forschung beteiligten Bürger/-innen vorrangig als Mittel zum Datensammeln angesehen wurden, hat sich das Bild inzwischen gewandelt. Die Ansprüche an *Citizen-Science*-Projekte sind mittlerweile recht hoch. Im Idealfall sollten bei der Zusammenarbeit zwischen der Gruppe der Forschenden und der *Citizen Scientists* beide Seiten profitieren. So ist zum Beispiel in den *Ten Principles of Citizen Science* [2] der *European Citizen Science Association* erläutert, was man bei einem *Citizen-Science*-Projekt beachten sollte. Diese Prinzipien sind inzwischen in 35 Sprachen übersetzt worden (<https://www.ecsa.ngo/ecsa-guidelines>

and-policies/) und lauten auf Deutsch *Zehn Prinzipien von Citizen Science - Bürgerwissenschaften*. Gemäß diesen Prinzipien sollte ein *Citizen-Science*-Projekt zu „neuem Wissen und Verstehen“ sowie „echten wissenschaftlichen Ergebnissen“ führen; „alle Teilnehmenden, die institutionell beschäftigten Wissenschaftler/-innen als auch die ehrenamtlich Beteiligten“ sollten profitieren. Die *Citizen Scientists* sollten an „verschiedenen Phasen des wissenschaftlichen Prozesses“ beteiligt sein, dabei „Feedback, Dank und Wertschätzung“ bekommen. Im Projekt generierte Daten sollten unter Würdigung der *Citizen Scientists* „öffentlich zugänglich“ und in „Open-Access-Formaten publiziert“ werden. Die Projektverantwortlichen sollten „bei sämtlichen Aktivitäten legale und ethische Aspekte, die Urheberrechte, Rechte des geistigen Eigentums, Datenprotokolle, Vertraulichkeit, Verantwortlichkeiten oder Auswirkungen auf die Umwelt betreffen, berücksichtigen“ (<https://www.ecsa.ngo/ecsa-guidelines-and-policies/>).

Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 278 erklärt.

In dem hier vorliegenden Artikel möchten wir anhand von zwei *Citizen-Science*-Forschungsprojekten zum Thema „Ökologie von Gewässerbakterien“ einen möglichen Weg aufzeigen, wie man den heutigen Anforderungen an *Citizen-Science*-Projekte möglichst gerecht werden kann. Die beiden Projekte werden bzw. wurden an der Universität Innsbruck, Forschungsinstitut für Limnologie, Mondsee, von der Forschungsgruppe Umweltmikrobiologie durchgeführt und innerhalb des Programmes *Sparkling Science* vom österreichischen Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung gefördert. Ziel des Programmes ist qualitativ hochwertige *Citizen-Science*-Forschungsprojekte zu fördern, in welchen wissenschaftliche Einrichtungen mit Bildungseinrichtungen und wenn möglich Partnern aus Wirtschaft und Gesellschaft zusammenarbeiten. Die Abwicklung erfolgt durch die Agentur für Bildung und Internationalisierung (OeAD); aus den eingereichten Projektvorschlägen werden in einem mehrstufigen Verfahren unter Beteiligung internationaler Gutachter Projekte zur Förderung ausgewählt. Bis 2019 wurden insgesamt 299 Forschungsprojekte gefördert. Seit 2021 gibt es eine Neuauflage von *Sparkling Science* mit einigen Neuerungen. Die maximale Projektlaufzeit wurde von 2 auf 3 Jahre erweitert und die *Citizen-Science*-Aktivitäten beschränken sich nicht wie zuvor auf Schüler/-innen, sondern es können auch weitere *Citizen Scientists* einbezogen werden.

An der Universität Innsbruck, Forschungsinstitut für Limnologie als projektleitende Einrichtung, lief von 2017 bis 2019 ein solches Projekt [3]; im September 2022 wurde ein zweites gestartet. Übergeordnetes Thema beider Projekte sind die Biodiversität und Ökologie von Bakterien im Süßwasser. Erklärtes Ziel beider Projekte ist es, dass *Citizen Scientists* – hier insbesondere Schüler/-innen – am gesamten Prozess des Generierens von neuem Wissen bis hin zur wissenschaftlichen Publikation teilnehmen und aktiv mitwirken. Im ersten Projekt (näheres siehe unten) hatte sich herausgestellt, dass sich Bereiche aus der Umweltmikrobiologie sehr gut eignen, um dieses Ziel zu erreichen. Mit entsprechender Anleitung sind Oberstufenschüler/-innen gut in der Lage, im Klassenzimmer (Abbildung 1) und im Forschungslabor (Abbildung 2) bestimmte mikrobiologische Arbeiten auszuführen. Es bieten sich außerdem vielfältige Möglichkeiten für die Beteiligten, einen kreativen und selbständigen Beitrag zum Forschungsvorhaben zu leisten. Das Thema „Bakterien in Ökosystemen bzw. Gewässern“ eignet sich außerdem sehr gut für die Bewusstseinsbildung. So ist Schüler/-innen und der breiten Bevölkerung meist wenig über diese verborgene Welt und die Bedeutung für unsere Ökosphäre bekannt. Ohne Bakterien würden die natürlichen Stoffkreisläufe in allen Ökosystemen der Erde zum Erliegen kommen; sie sind damit im Gegensatz zu vielen anderen Organismengruppen für die Existenz der Ökosysteme unbedingt notwendig. So kann ein See durchaus ohne Fische bestehen, ohne die Stoffwechselaktivität der Bakterien wäre er recht schnell kein See mehr. Noch weniger im Bewusstsein ist



ABB. 2 Eine Schülerin arbeitet als Sommerpraktikantin im Labor.
Foto: Alexandra Pitt.



ABB. 3 Eine Sommerpraktikantin bei der Probenahme am Mondsee.
Foto: Alexandra Pitt.

IN KÜRZE

- *Citizen-Science*-Projekte sollten zu neuem Wissen und Verstehen sowie **echten wissenschaftlichen Ergebnissen** führen.
- In zwei *Citizen-Science*-Forschungsprojekten wurden bzw. werden die **Biodiversität und Ökologie von Gewässerbakterien** erforscht.
- **Schüler/-innen und weitere Bevölkerungsgruppen** sind dabei in den gesamten Prozess des Wissen-Schaffens einbezogen.
- *Citizen Scientists* sammeln **Proben aus selbst gewählten Gewässern**, bearbeiten diese, kreieren Artnamen und arbeiten im Labor und Freiland mit.
- Aus dem ersten Projekt gingen **sieben wissenschaftliche Publikationen** sowie frei verfügbare Daten (z. B. Genomsequenzen) und mehrere in Stammsammlungen erhältliche Bakterienstämme hervor.

die Tatsache, dass im Bereich der Mikroorganismen ein enormer Forschungsbedarf besteht. Es existieren vermutlich viele Millionen Bakterienarten, aber nur ein Bruchteil davon ist wissenschaftlich benannt und beschrieben. Selbst über Vorkommen, Verbreitung und Ökologie der bekannten Bakterienarten sind wenige Daten verfügbar. So verfolgen die beiden Projekte das wissenschaftliche Ziel, zur Erforschung der Ökologie und Biodiversität von Gewässerbakterien beizutragen, haben aber auch zum Ziel, den Blick auf die Bedeutung der Bakterien für unsere Ökosysteme und damit unser Leben zu lenken.

Das erste Projekt

Einen Überblick über das Konzept des ersten Projekts „Verborgene Welt der Bakterien: Der Artenvielfalt der Bakterien in heimischen Gewässern auf der Spur: Isolierung und Beschreibung neuer Arten“ gibt ein früherer BiUZ-Artikel [3], der damals nach der Hälfte der Projektlaufzeit unter dem Titel „Erforschung unbekannter Gewässerbakterien – Mikrobiologie in der Schule“ verfasst wurde. Das Ziel des damaligen Projektes war es, mit Schüler/-innen aus selbst gewählten und beprobten Gewässern Bakterienstämme zu isolieren und diese, falls möglich, als neue Arten oder Gattungen zu beschreiben. Ca. 125 Schüler/-innen hatten in Workshops unter Anleitung des Projektleitungsteams mitgearbeitet und Wasserproben aus den unterschiedlichsten Gewässern mitgebracht. 13 Schüler/-innen waren in vierwöchigen Sommerpraktika an der Charakterisierung der Bakterienstämme im Labor (Abbildung 2) und an weiteren Probenahmen (Abbildung 3) beteiligt. Das Projekt war insgesamt und insbesondere hinsichtlich der gesetzten wissenschaftlichen Ziele sehr erfolgreich; einen Überblick dazu gibt Tabelle 1. Es konnten über 90 interessante ▶ Bakterienstämme isoliert und von fast 50 Stämmen die gesamten Genome sequenziert werden. Insgesamt gingen sieben wissenschaftliche Publikationen aus dem Projekt hervor, in denen vier Gattungen und elf Arten wissenschaftlich beschrieben wurden. Einige Schüler/-innen zeigten großes Engagement bei der Suche nach wissenschaftlichen Namen für die zu beschreibenden Gattungen und Arten. Dies ist gar nicht so einfach: Es sind Lateinkenntnisse nötig und der nomenklatorische

Code muss genau beachtet werden. Die Schüler/-innen wurden dabei von einem Experten beraten, der ihre Namensvorschläge auf Einhaltung der Regeln überprüfte. Ein großes Erfolgserlebnis war, dass ein von Schülerinnen kreierter Artname (*Aquirufa nivalisilvae*, Typstamm aus einem **Waldtümpel** bei **Schneegattern**) von unabhängiger Seite in einer Publikation als Beispiel für einen kreativen und schönen Namen gewürdigt wurde [4]. Wesentlich zum Erfolg des Projektes hatte beigetragen, dass die Schüler/-innen bei handlungsorientiertem Lernen aktiv in den gesamten Forschungsprozess einbezogen wurden – und zwar von Beginn an durch die Beprobung von selbstgewählten Gewässern, das mikrobiologische Arbeiten im Klassenzimmer und Labor bis hin zur Publikation der neuen Gattungen und Arten durch das Projektleitungsteam. Dort konnten die Schüler/-innen den von ihnen geleisteten Beitrag schwarz auf weiß sehen und wurden in Danksagungen erwähnt. Innerhalb des Projekts entstanden außerdem drei Filme, die auf verschiedenen Plattformen für den Unterricht zur Verfügung stehen und im zweiten Projekt genutzt werden (<https://sparklingbacteria.com/videos/>).

Gattung *Aquirufa*

Die im ersten Projekt entdeckten und beschriebenen neuen Gattungen und Arten von Gewässerbakterien waren unter verschiedenen Aspekten von Bedeutung und Interesse. Eine Gattung stellte sich als besonders bemerkenswert heraus: Die von Schüler/-innen aufgrund der roten Pigmentierung der Stämme *Aquirufa* getaufte Gattung ist in stehenden und fließenden Süßgewässern auf der ganzen Welt zu finden [5]. Zudem zeigen neuere Publikationen, dass Arten dieser Gattung einen bedeutenden Anteil des Bakterioplanktons stellen können [6]. Von Bakterienstämmen, die aus dem ersten Projekt hervorgingen, wurden sechs Arten beschrieben [5–7]; von einer taiwanesischen Arbeitsgruppe kam eine weitere Art hinzu [8]. Abbildung 4 zeigt einen auf genomischen Sequenzdaten basierenden Stammbaum der Gattung *Aquirufa* und ihrer Arten sowie verwandter Gattungen. Die im Stammbaum enthaltenen Bakterienstämme wurden alle aus Süßgewässern oder von ihren Bewohnern isoliert. Interessant dabei ist, dass *Aquirufa*-Arten sowie die nahverwandte Gattung *Sandaracinomonas* mit der einzigen beschriebenen Art *S. limnophila* mit ca. 3 Millionen Basenpaaren relativ kleine Genome besitzen, die nur halb so groß sind wie die der Gattungen *Arcicella*, *Flectobacillus* und *Pseudarcicella* (Abbildung 4). Interessante Merkmale einiger Vertreter der Gattung *Aquirufa* sind das Vorhandensein von Genen für das ▶ Rhodopsinsystem, das den Bakterien die Nutzung von Sonnenlicht als Energiequelle ermöglicht, sowie das Vorhandensein von Genen für die Verwertung von Distickstoffoxid (Lachgas), das auch als Treibhausgas eine Rolle spielt. Insgesamt erscheint es sehr lohnend, die Verbreitung, Ökologie und Biodiversität von *Aquirufa* aufzuzeigen und zu studieren, um so einen Mosaikstein zum

TAB 1. WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE AUS DEM ERSTEN PROJEKT

	Anzahl
Bakterienstämme als Reinkulturen	92
Genomsequenzen (zum Teil in Datenbanken verfügbar)	46
Bakterienstämme, die bei je zwei internationalen Stammsammlungen deponiert wurden	22
Publikationen <i>peer-reviewed</i>	7
darin wissenschaftlich beschriebene Gattungen	4
darin wissenschaftlich beschriebene Arten	11
weitere Publikationen	2



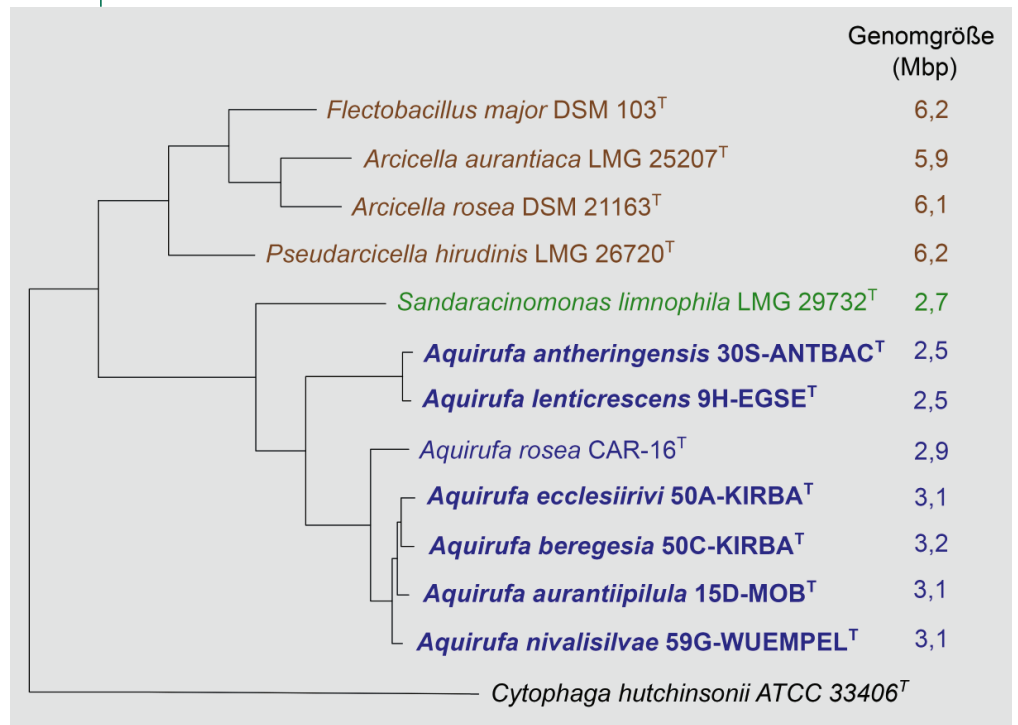
Wissen bezüglich mikrobieller Gewässerökologie beizutragen.

Eine genomische Eigenschaft der zur Gattung *Aquirufa* gehörenden Arten macht das Erfassen der Diversität dieser Bakterien recht schwierig. Bei Biodiversitätsstudien, die ohne Kultivierung der Bakterien direkt mit Wasserproben erfolgen (kultivierungsunabhängig), wird in der Regel das ▶ 16S-rRNA-Gen als ▶ Markergen benutzt. Es weist bei vielen Bakteriengattungen genügend Sequenzunterschiede auf, um die einzelnen Arten unterscheiden zu können; dies ist jedoch nicht bei allen Verwandtschaftsgruppen möglich [9]. So haben unterschiedliche Arten der Gattung *Aquirufa* zum Teil identische oder fast identische 16S-rRNA-Sequenzen. Durch diese Eigenheit ermöglichen entsprechende Diversitätsstudien, die zwischenzeitlich für zahlreiche Gewässer vorliegen, keine Rückschlüsse auf die vorhandenen *Aquirufa*-Arten, sondern nur auf das Vorkommen der Gattung. Innerhalb einer Gruppe der Gattung *Polynucleobacter*, an der in unserer Forschungsgruppe ebenfalls intensiv gearbeitet wird, sind die 16S-rRNA-Sequenzähnlichkeiten ebenfalls sehr hoch. In einer Studie mit Umweltproben von 99 europäischen Süßwassersystemen konnte auf der Basis eines proteinkodierenden Markergens gezeigt werden, dass sich hier ca. 600 ▶ *operational taxonomic units* (OTU) verbergen, die vermutlich unterschiedliche *Polynucleobacter*-Arten repräsentieren [10]. Diese enorme und unerwartete Diversität wäre mit der sonst üblichen, auf dem 16S-rRNA-Gen basierenden Methode, nicht erkennbar.

Das zweite Projekt

Um das wissenschaftliche Ziel des zweiten Projektes – die Erforschung der Biodiversität und Ökologie der Gattung *Aquirufa* – zu erreichen, werden deshalb zwei Ansätze verfolgt. Zum einen sollen möglichst viele zur Gattung gehörende Bakterienstämme gewonnen werden und deren Genome sequenziert werden. Wo möglich, sollen dabei auch neue Arten beschrieben werden. Zum anderen ist geplant, kultivierungsunabhängig (siehe oben) ▶ Amplikonsequenzierungen durchzuführen. Dabei wird aus Wasserproben DNA gewonnen und daraus werden Abschnitte von zwei Genen sequenziert. Verwendet wird das 16S-rRNA-Gen, um das Vorkommen der Gattung insgesamt zu untersuchen sowie ein proteinkodierendes Markergen zur Erforschung der Biodiversität der Gattung. Für letzteres sind noch einige Vorarbeiten nötig, um für ein

ABB. 4 | STAMMBAUM DER GATTUNG AQUIRUF A UND VERWANDTER GATTUNGEN

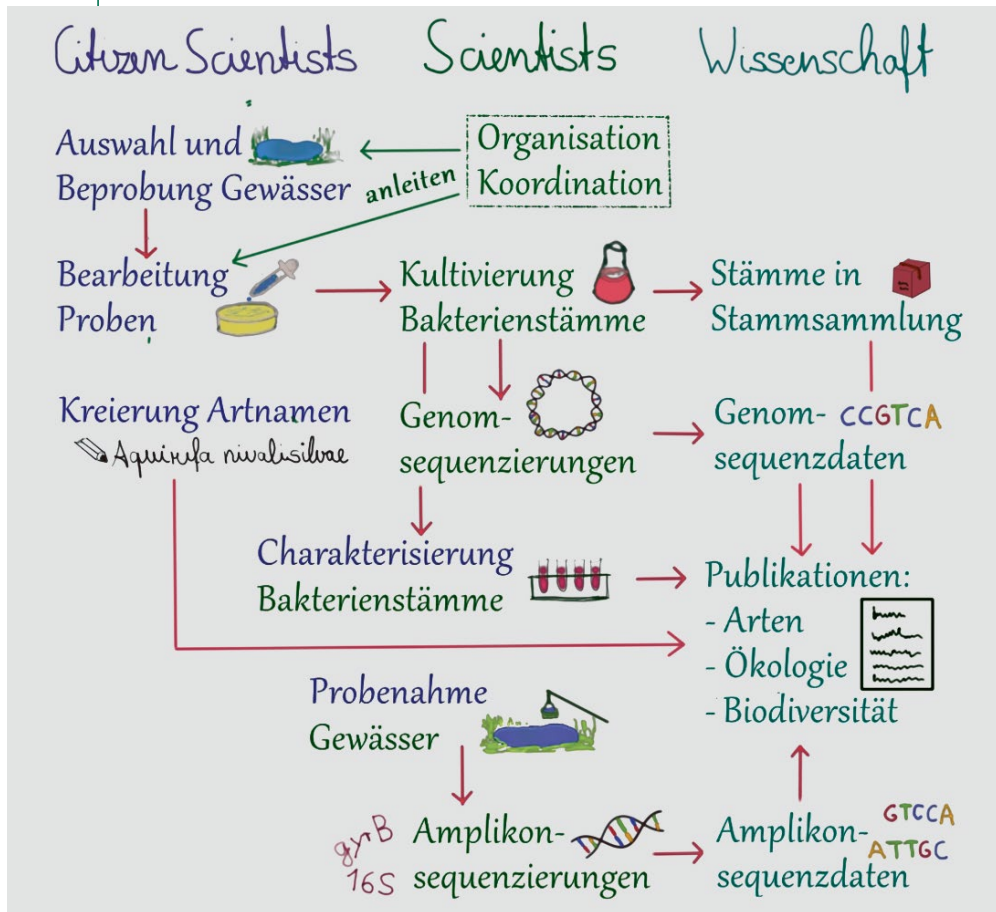


Verwendet wurden auf der Basis von Genomsequenzen jeweils die Aminosäuresequenzen von 119 Genen. Details dazu sind in [6] zu finden. Hinter dem Artnamen ist die Stammbezeichnung angeführt. Das hochgestellte T bedeutet, dass es sich um den Typstamm der Art handelt. Die mit Citizen Scientists entdeckten und beschriebenen Arten sind fett gedruckt. Mbp: Basenpaare in Millionen.

geeignetes Markergen passende ▶ PCR-Primer zu entwickeln und die Methode so zu etablieren, dass sie auf eine größere Anzahl Wasserproben angewendet und mit Hilfe von ▶ *Next-Generation-Sequencing* durchgeführt werden kann. Mit Hilfe dieser Ansätze können hoffentlich einige Fragen beantwortet werden wie zum Beispiel: Wie viele Arten lassen sich in den Gewässern der Umgebung mit Kultivierung von Bakterienstämmen und kultivierungsunabhängig abgrenzen? In welchen Gewässern und mit welcher Abundanz kommt die Gattung bzw. kommen die einzelnen Arten vor? Gibt es regionale, saisonale oder in Bezug auf Umweltparameter Unterschiede? Lassen sich die Diversitätsmuster mit der Genauigkeit der Bakterienstämme in Verbindung bringen? Welche Aussagen zur Ökologie der einzelnen Arten lassen sich treffen?

Im zweiten Projekt arbeitet dazu ein Projektleitungsteam der Universität Innsbruck, Forschungsinstitut für Limnologie, Mondsee, mit verschiedenen *Citizen-Scientist*-Gruppen zusammen. Kooperationspartner sind dabei das Leibniz-Institut Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ) und das Museum Haus der Natur in Salzburg. Abbildung 5 zeigt einen Überblick über den geplanten Ablauf. Die *Citizen Scientists* sollen unter Anleitung und Koordination durch das Projektleitungsteam in verschiedenen Schritten des Forschungsprozesses einbezogen werden und einen wesentlichen und erkenn-

ABB. 5 | ÜBERSICHT ÜBER DEN VERLAUF DES 2. PROJEKTES



Dargestellt ist der Beitrag der *Citizen Scientists* (blau, 6 Oberstufenschulklassen, Teilnehmer/-innen an Workshops in Mondsee und der Weitwörther Au) sowie der *Scientists* (grün, Projektleitungsteam Universität Innsbruck und der Limnologie, Forschungsinstitut für Limnologie, Mondsee, Kooperationspartner Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen, Braunschweig und Museum Haus der Natur, Salzburg) sowie der wissenschaftliche Ertrag (blaugrün).

baren Beitrag zum Fortschritt der Forschung leisten. Sechs Oberstufenklassen von Schulen mit zum Teil naturwissenschaftlichem Schwerpunkt aus den Bundesländern Salzburg und Oberösterreich werden dabei mitarbeiten und

eigentliche Bearbeitung der mitgebrachten Gewässerproben statt. Eine besondere Herausforderung ist dabei, im Klassenzimmer so zu arbeiten, dass auf den Agarplatten weitestgehend Bakterien aus den Wasserproben wachsen und nicht aus der Luft oder anderen Quellen im Klassenzimmer. Die *Citizen Scientists* sind dazu angehalten, die Agarplatten bzw. Petrischalen nur ganz kurz zu öffnen. Diese gezielten Handgriffe lassen sich am besten in Teamarbeit bewerkstelligen (Abbildung 1 und 7). Zusätzlich werden in den Räumen, in denen gearbeitet wird, Agarplatten für einige Zeit geöffnet ausgelegt. Anhand der auf diesen Agarplatten wachsenden Kolonien (Abbildung 8a) kann beurteilt werden, welche Mikroorganismen aus der Raumluft auf den Platten wachsen können. Da es sich bei den



ABB. 6 Schüler/-innen in Workshops beim Erlernen und Ausprobieren der Methoden und beim Begutachten ihrer Agarplatten. Fotos: Alexandra Pitt.

gesuchten Bakterien um Gewässerbakterien handelt, die später eindeutig identifiziert werden können, lässt sich die Herkunft der ausgewählten Bakterienkolonien verifizieren. Diese initialen Kultivierungen bilden den ersten Schritt des Projektes. Anschließend arbeitet das Projektleitungsteam mit den Bakterienkulturen im Labor weiter. Dabei werden die Agarplatten aus den Workshops (Abbildung 8b) unter Berücksichtigung der typischen roten Pigmentierung der *Aquirufa*-Stämme auf vielversprechende Kolonien gescreent und diese dann weiter kultiviert (Abbildung 8c). Mit Hilfe von ▶ Sanger-Sequenzierungen werden zur Gattung gehörende Kulturen ausgewählt, diese werden anschließend aufgereinigt, so dass sie am Ende als ▶ Reinkultur des Bakterienstammes vorliegen.

Das Projekt ist so angelegt, dass die *Citizen Scientists* einerseits auf einer Webseite (www.sparklingbacteria.com) und Instagram ([sparklingbacteria](https://www.instagram.com/sparklingbacteria)) den Fortschritt der Forschung für „ihre“ Proben verfolgen können, und andererseits insbesondere die Schüler/-innen immer wieder durch Mitarbeit in das Projekt einbezogen werden (Abbildung 5): Unter den von den Schüler/-innen beprobten Gewässern werden einige ausgewählt, die für weitere Untersuchungen bezüglich der Gattung *Aquirufa* interessant sind, insbesondere wenn daraus zur Gattung gehörende Bakterienstämme gewonnen werden konnten. Letztere werden dann mit Hilfe der Schüler/-innen ein zweites Mal beprobt, um Material für spätere Amplikonsequenzierungen zu erhalten. Die Schüler/-innen werden außerdem die lateinischen Namen für die neu zu beschreibenden Arten kreieren und im Rahmen von Sommerpraktika im Labor (Abbildung 2) an Experimenten mit den Bakterienstämmen mitarbeiten. Wissenschaftler/-innen der DSMZ werden als Kooperationspartner/-innen die chemotaxonomische Charakterisierung dieser Bakterienstämme vornehmen. Im Laufe des Projektes sollten mehrere wissenschaftliche Publikationen entstehen, zum einen mit Beschreibungen der neu entdeckten Arten und zum anderen zur Ökologie und Biodiversität der Gattung *Aquirufa*. Dabei soll für jede *Citizen-Scientist*-Gruppe der geleistete Beitrag in den Publikationen klar erkennbar sein, zum Beispiel in der



ABB. 7 Schüler beim Auftragen von Wasserproben auf Agarplatten bei einem Workshop im Klassenzimmer. Foto: Alexandra Pitt.

Nennung der Gewässer sowie den zugehörigen Begleitdaten, in den Stammbezeichnungen und Artnamen oder den Ergebnissen aus der Laborarbeit.

Nicht zuletzt soll das Projekt auf die dem bloßen Auge verborgene Welt der Mikroorganismen aufmerksam machen. Es soll verdeutlicht werden, dass unsere Ökosysteme ohne Bakterien nicht existieren würden, die Wissenschaft aber hier bei der Erforschung noch ziemlich am Anfang steht. Nur ein ganz kleiner Teil dieser Mikroorganismen ist identifiziert bzw. wissenschaftlich beschrieben; über die wirkliche Diversität kann nur spekuliert werden. Unklar ist, welche Funktion die einzelnen Arten in den Ökosystemen ausüben und ob diese dort durch andere Arten jederzeit ersetzbar sind. Auch wenn es angesichts dieser enormen Artenvielfalt unwahrscheinlich ist, dass Bakterienarten in Zukunft auf der Roten Liste erscheinen, ist es doch wünschenswert, dass die mikrobielle Diversität ins allgemeine Bewusstsein rückt. Die Veränderungen, die die Ökosysteme aktuell durch den Einfluss des Menschen erfahren, wirken sich auch auf die Bakteriengemein-

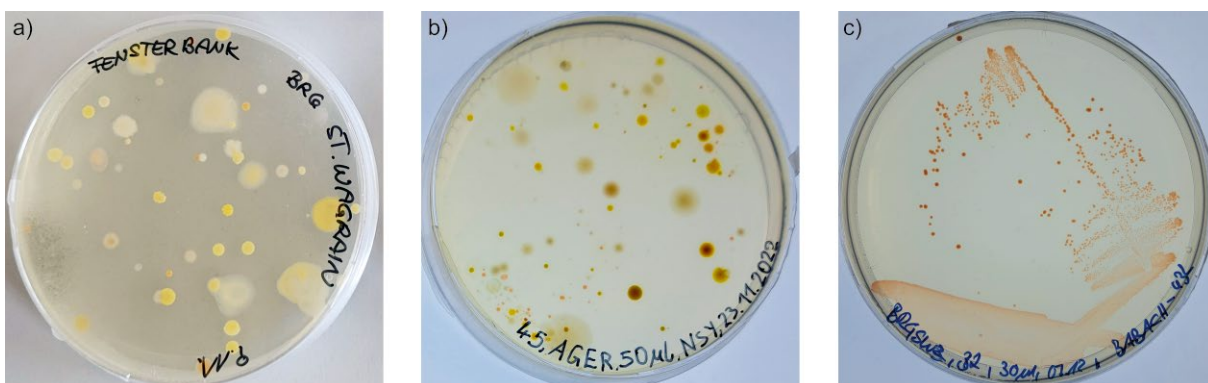


ABB. 8 Agarplatten: a) Im Klassenzimmer 1 h geöffnet ausgelegt, b) von einem Schüler mit eigener Wasserprobe beimpft, c) erhaltene *Aquirufa*-Kultur. Fotos: Stefan Lienbacher.

schaften aus, wobei gänzlich unklar ist, in welcher Weise und mit welchen Konsequenzen.

Durch begleitende Öffentlichkeitsarbeit soll das Projekt dabei auch über die beteiligten *Citizen Scientists* hinauswirken und insbesondere durch Artikel in regionalen Zeitungen Interesse an den Mikroorganismen in den heimischen Gewässern wecken. Außerdem sollen wie im ersten Projekt Kurzfilme zum Thema Biodiversität entstehen, die allgemein verfügbar sein werden.

Kann man mit *Citizen Scientists* erfolgreich Wissenschaft machen?

Der wichtigste und wahrscheinlich auch schwierigste Aspekt bei einem *Citizen-Science*-Projekt besteht darin, „echte“ Wissenschaft zu machen, also neues Wissen zu generieren, das für weitere Forschungen zur Verfügung steht. Vorrangig erfolgt dies durch wissenschaftliche Publikationen, kann aber auch auf andere Weise geschehen – zum Beispiel durch frei zur Verfügung stehende Daten. Eine Studie an 490 *Citizen-Science*-Projekten ergab, dass nur 78 davon einen wissenschaftlichen Output in Form von Publikationen (*peer-reviewed*) vorweisen konnten [11]. Zu oft werden die erhobenen Daten nicht für wissenschaftliche Zwecke genutzt, zum Beispiel weil sie

unzuverlässig oder ungeeignet sind, was auch das Interesse der Teilnehmenden an den Projekten schmälert [12].

Die hier vorgestellten Ansätze zeigen, dass es durchaus möglich ist, Bürger/-innen an publizierbarer Forschung mitwirken zu lassen, so dass deren Beteiligung sichtbar wird. Geeignete Mittel, um den Kontakt zu halten, sind dabei die Kommunikation über eine Webseite oder soziale Medien, die jedem *Citizen Scientist* ermöglicht, den Fortschritt des Forschungsprojektes individuell zu verfolgen. Als besonders geeignete *Citizen-Scientist*-Gruppen haben sich dabei Schüler/-innen bzw. Schulklassen herausgestellt. Die Vermittlerrolle der beteiligten Lehrer/-innen ist dabei äußerst hilfreich, sei es in organisatorischen Belangen, beim Kontakthalten mit dem Projektteam und dem Verfolgen des Projektverlaufes gemeinsam mit den Schüler/-innen. Insbesondere das praktische Arbeiten gefällt den Schüler/-innen sehr gut und bietet eine gute Ergänzung und Bereicherung zum Schulunterricht.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass es durchaus möglich ist, den heutigen hohen Ansprüchen an *Citizen-Science*-Projekte zu genügen. Allerdings ist eine sorgfältige Planung nötig, um die *Citizen Scientists* bestmöglich mit validierbaren Ergebnissen in den Ablauf eines Forschungsprojektes zu integrieren.

Zusammenfassung

Die Erforschung der Biodiversität und Ökologie von Gewässerbakterien ist Gegenstand von zwei *Citizen-Science*-Forschungsprojekten des Programmes Sparkling Science, finanziert vom österreichischen Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. Ein Team der Forschungsgruppe Umweltmikrobiologie der Universität Innsbruck, Forschungsinstitut für Limnologie, Mondsee, arbeitet dabei mit Schulklassen und weiteren Gruppen aus der Bevölkerung zusammen. Ziel ist es, die *Citizen Scientists* in den gesamten Prozess des Wissen-Schaffens einzubeziehen. Insbesondere an der Entdeckung und Beschreibung neuer Bakteriengattungen und Arten sind die *Citizen Scientists* auf verschiedene Weise beteiligt; ihre Leistung wird in den daraus entstehenden Publikationen sichtbar. Die Projekte sollen dabei auch auf die dem bloßen Auge verborgene Welt der Mikroorganismen, deren wichtige Funktion für unsere Ökosysteme sowie die dort bestehende immense und größtenteils unerforschte Biodiversität aufmerksam machen.

Summary Generating knowledge with the help of citizen scientists

The exploration of the biodiversity and ecology of freshwater bacteria is the topic of two *Citizen Science* research projects of the program “Sparkling Science”, funded by the Austrian Federal Ministry of Education, Science and Research. A research group of the University of Innsbruck, Research Department for Limnology, Mondsee, works together with school classes and other groups of citizens. The aim is to involve citizen scientists in the whole process of creat-

GLOSSAR

16S-rRNA-Gen: Gen, das für die Nukleinsäuren der kleinen Untereinheit der Ribosomen bei Prokaryoten kodiert.

Amplikonsequenzierung: Vervielfältigung mittels Polymerasekettenreaktion (PCR) und Sequenzierung eines (oder mehrerer) kleinerer Abschnitte der DNA zum Beispiel eines Markergens.

Bakterienstamm: Bakterienkultur, bei der alle Zellen auf eine einzige Zelle zurückgehen.

Markergen: Gen, dessen Sequenz bzw. Teilsequenz zur Identifizierung von Organismen (hier Arten) verwendet werden kann.

Next Generation Sequencing (NGS): Sequenzierungsmethode, die einen hohen Durchsatz erlaubt. Kurze Fragmente werden in hoher Anzahl parallel sequenziert und später bioinformatisch zusammengefügt.

Operational Taxonomic Unit (OTU): Gruppe von Organismen, die über die Sequenzähnlichkeit eines Markergens definiert werden.

PCR-Primer: Oligonukleotid, das als Startsequenz für eine DNA-Vervielfältigung mittels PCR dient.

Reinkultur: Kultur, die nur aus den Zellen des Bakterienstammes besteht.

Rhodopsinsystem: Bei manchen Prokaryoten vorkommendes System zur lichtgetriebenen Energiegewinnung durch Aufbau eines Protonengradienten an der Zellmembran.

Sanger-Sequenzierung: Klassische Methode zur DNA-Sequenzierung auf Basis einer Elektrophorese.



ing scientific knowledge. Citizen scientists are especially involved in the discovery and description of new bacterial genera and species. Their efforts are visible in the resulting scientific publications. These projects are supposed to aim at attracting attention to the invisible world of microorganisms, their crucial role for our ecosystems as well as their huge and largely unexplored biodiversity.

Schlagworte:

Bakterien, Gewässer, Biodiversität, Citizen Science

Danksagung

Die vorgestellten Projekte wurden und werden vom österreichischen Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung gefördert. Zum Gelingen der Projekte trägt eine Vielzahl von Personen bei, die nicht alle namentlich erwähnt werden können. Unser Dank gilt insbesondere Johanna Schmidt, Ulrike Koll und Stefan Lienbacher (Mondsee, Universität Innsbruck), unseren Kooperationspartnerinnen Meina Neumann-Schaal und Jaqueline Wolf (DSMZ, Braunschweig) und dem Haus der Natur, Salzburg. Nicht zuletzt danken wir den vielen engagierten Lehrer/-innen sowie über 300 Schüler/-innen und weiteren Citizen Scientists, die in die Projekte involviert waren oder es noch sind.

Literatur

- [1] G. Zizka (2017). Citizen Science. *Biologie in unserer Zeit* 47(1), 40–45.
- [2] ECSA (European Citizen Science Association) (2015). Ten Principles of Citizen Science. <http://doi.org/10.17605/OSF.IO/XPR2N>
- [3] A. Pitt, M. W. Hahn (2019). Mikrobiologie in der Schule. *Biologie in unserer Zeit* 49 (2), 131–137.
- [4] A. Oren (2020). Prokaryotic names: the bold and the beautiful. *FEMS Microbiol Lett* 367 (17), fnaa096.
- [5] A. Pitt et al. (2019). *Aquirufa antheringensis* gen. nov., sp. nov. and *Aquirufa nivalisilvae* sp. nov., representing a new genus of widespread freshwater bacteria. *Int J Syst Evol Microbiol* 69 (9), 2739–2749.
- [6] A. Pitt et al. (2022). *Aquirufa lenticrescens* sp. nov. and *Aquirufa aurantiipilula* sp. nov.: two new species of a lineage of widespread freshwater bacteria. *Arch Microbiol* 204 (6), 356.
- [7] A. Pitt et al. (2020). *Aquirufa ecclesiirivi* sp. nov. and *Aquirufa beregesia* sp. nov., isolated from a small creek and classification of *Allopseudarcicella aquatilis* as a later heterotypic synonym of *Aquirufa nivalisilvae*. *Int J Syst Evol Microbiol* 70 (8), 4602–4609.
- [8] S.-Y. Sheu et al. (2020). *Aquirufa rosea* sp. nov., isolated from a freshwater lake. *Int J Syst Evol Microbiol* 70 (5), 3145–3153.
- [9] E. Stackebrandt, J. Ebers (2006). Taxonomic parameters revisited: Tarnished gold standards. *Microbiol Today* 8, 6–9.
- [10] M. W. Hahn et al. (2021). Opening a next-generation black box: Ecological trends for hundreds of species-like taxa uncovered within a single bacterial >99% 16S rRNA operational taxonomic unit. *Mol Ecol Resour* 7, 2471–2485.
- [11] C. Kullenberg, D. Kasperowski (2016). What Is Citizen Science? – A Scientometric Meta-Analysis. *Plos One* 11 (1), 16.
- [12] L. D. Robinson et al. (2018). Ten principles of citizen science, in: *Citizen Science*, A. Bonn et al. Editors, UCL Press, 27–40.

Webseiten zum Weiterlesen:

- www.sparklingbacteria.com
- www.instagram.com/sparklingbacteria/
- www.sparklingscience.at
- www.citizen-science.at

Verfasst von:



Alexandra Pitt studierte Biologie mit Schwerpunkt Limnologie an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. Seit 2004 ist sie als Technische Assistentin an der Universität Salzburg im Fachbereich Umwelt und Biodiversität beschäftigt. Daneben arbeitete sie dort bei einem Sparkling Science-Projekt zum Thema Feuer- und Alpensalamander in Österreich mit. Seit 2014 ist sie außerdem als wissenschaftliche Projektmitarbeiterin an der Universität Innsbruck am Forschungsinstitut für Limnologie in Mondsee in der Arbeitsgruppe Umweltmikrobiologie beschäftigt. Nach dem Projekt „Mikroevolution eines Süßwasserbakteriums“ und dem Sparkling Science-Projekt „Verborgene Welt der Bakterien“ widmet sie sich derzeit dem Sparkling Science-Projekt „Aquirufa“. In Mondsee verbindet sie ihr Interesse an der Wissenschaftsvermittlung und der Zusammenarbeit mit Schülerinnen und Schülern mit dem an der Taxonomie, Biodiversität und Ökologie von Süßwasserbakterien.



Martin Hahn studierte Biologie an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. und forschte als Doktorand an der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (heute Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung) in Braunschweig über Räuber-Beute-Wechselwirkungen zwischen Protisten und Bakterien sowie Fraßabwehrstrategien von Bakterien. Er promovierte 1997 mit diesem Thema an der Technischen Universität Braunschweig. 1997–1998 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter (PostDoc) am Max-Planck-Institut für Limnologie (heute MPI für Evolutionsbiologie) in Plön. Seit 1999 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am vormaligen Institut für Limnologie der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, das 2012 als Forschungsinstitut für Limnologie, Mondsee an die Universität Innsbruck angegliedert wurde. Von 2017 bis 2021 leitete er das Forschungsinstitut. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Diversität und Evolutionsökologie von Süßwasserbakterien.

Korrespondenz

Alexandra Pitt
 Universität Innsbruck
 Forschungsinstitut für Limnologie, Mondsee
 Mondseestraße 9
 5310 Mondsee
 E-Mail: Alexandra.Pitt@uibk.ac.at



Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

