

BMBF Verbundprojekt

Bridging in Biodiversity Science – BIBS II

Bridging in
Biodiversity
Science -
BIBS

VERBUNDPROJEKT



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Teilprojekt 6: LakeScapeLabs, Kopplung in Metaökosystemen“

Schlussbericht

Leibniz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)



Förderkennzeichen 16LC1501G1

Hans-Peter Grossart

Sabine Wollrab

...

Berlin, 28. Februar 2022

Zuwendungsempfänger:

Leibniz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) im
Forschungsverbund Berlin e.V.

Förderkennzeichen:

16LC1501G1

Vorhabenbezeichnung:

BIBS-Verbund: Bridging in Biodiversity Science (BIBS) – Teilprojekt 6: LakeScapeLabs,
Kopplung in Metaökosystemen”.

*Der Bericht für das Leibniz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) umfasst die
Darstellung folgender Arbeitspakete:*

AP1 „ScapeLabs Experimentelle Plattform“

AP2 „Aquatisch-terrestrische Kopplung“

AP5 „Übergänge von natürlicher zu domestizierter Umwelt und neuartige
Lebensgemeinschaften“

Laufzeit des Vorhabens:

01.03.2019 – 31.08.2021

Inhalt

I.	Kurzdarstellung	4
1.	<i>Aufgabenstellung</i>	4
2.	<i>Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde</i>	5
3.	<i>Planung und Ablauf des Vorhabens</i>	6
4.	<i>Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde</i>	8
5.	<i>Zusammenarbeit mit anderen Stellen</i>	11
II.	Eingehende Darstellung.....	13
1.	<i>Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele</i>	13
2.	<i>Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises</i>	27
3.	<i>Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit</i>	27
4.	<i>Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans</i>	28
5.	<i>Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen</i>	28
6.	<i>Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses</i>	29

I. Kurzdarstellung

Das IGB betrieb mit dem LakeScapeLabs (Seelabor) einen Teil der benötigten experimentellen Infrastruktur, um die Effekte der aquatisch-terrestrischen Kopplung und anthropogene Stressoren, insbesondere von Licht und Nährstoffen zu untersuchen. Das IGB hat sowohl die Untersuchungen zu den terrestrischen Einflüssen auf die Biodiversität in aquatischen Systemen als auch die Modellierungen zur aquatisch-terrestrischen Kopplung in AP2 geleitet. Auch in der 2. Phase beteiligte sich das IGB an der Synthese in AP5.

Trotz der vielen mit der Corona-Pandemie verbundenen Einschränkungen konnten die meisten Arbeiten fortgeführt werden, Proben analysiert und Daten statistisch ausgewertet werden, die nun zum größten Teil als Manuskripte publiziert sind bzw. eingereicht sind. Die Metaanalyse der in BIBS I+II gewonnenen Daten ist noch nicht abgeschlossen und wird seitens des IGBs zur Publikation vorbereitet. Die Arbeitsleistungen waren jedoch aufgrund der vielen Corona-Beschränkungen im Laborbetrieb und etwas verlangsamt. Auch musste das Mikroplastik-Experiment seitens der FU und die damit verbundene Datenauswertung seitens des IGB gestrichen werden.

1. Aufgabenstellung

Arbeitspaket 1: LakeScapeLab

Das LakeScapeLab (Seelabor) sollte als wichtige Infrastruktur für AP2 und AP5 betrieben werden, um großskalige Ökosystemversuche durchzuführen. Mit dieser einzigartigen Anlage, sollte der Einfluss der aquatisch-terrestrischen Kopplung sowie anthropogener Faktoren auf die aquatische Biodiversität und die damit verbundenen ökologischen Prozesse bestimmt werden. Dabei sollte der Fokus auf dem Umsatz von organischem Material sowie auf den Umweltfaktoren Licht und Nährstoffen liegen, um den Einfluss der Urbanisierung, insbesondere von anthropogenen Stressoren, zu untersuchen. Durch die permanente Bestrahlung mit künstlichem Licht (Skyglow) sowie Zugabe von Nährstoffen sollten Effekte auf die Primärproduktion getrennt und in Kombination miteinander ermittelt werden. Es sollten die Konsequenzen von sich schnell verändernden Umweltbedingungen in der urbanisierten Welt auf (a) die trophischen Interaktionen innerhalb und zwischen den trophischen Ebenen, (b) die Biodiversitätsmuster, und (c) die ökologischen Prozesse auf der Populations-, Gemeinschafts- und Ökosystemebenen abgeschätzt werden.

Arbeitspaket 2: Aquatisch-terrestrische Kopplung mit verstärktem Fokus auf Urbanisierung

Ziel des AP2 war es, die ökologische Bedeutung der aquatisch-terrestrischen Kopplung in einer zusehends urbanisierten Welt zu verstehen; insbesondere sollten die Effekte von anthropogenen Faktoren wie Landnutzung, Versiegelung, Lichtverschmutzung, etc. auf die aquatische Biodiversität und die damit verbundenen Ökosystemprozesse untersucht werden. Im 2. Teil des Projektes sollte daher die Wissenslücke in der Bedeutung der aquatisch-terrestrischen Kopplung - insbesondere in der urbanisierten Welt - für die Biodiversität, die ökologischen Prozesse und die Stoffflüsse auf der Landschaftsebene ermittelt werden. AP2 sollte darüber hinaus abschätzen, inwieweit Faktoren der Urbanisierung und der veränderten räumlichen Anordnungen von individuellen Ökosystemtypen für ein nachhaltiges Biodiversitäts- und Ökosystem Management berücksichtigt werden müssen. AP2 sollte damit eine Grundlage für eine Priorisierung für den Erhalt und Restaurierungsmaßnahmen von Seen und Kleinstgewässern entlang des Urbanisierungsgradienten liefern.

Daher sollte der Fokus auf die Erfassung der Beziehung zwischen Umweltfaktoren insbesondere von anthropogenen Stressoren und der Zusammensetzung sowie Diversität von Benthos- und Plankton-Gemeinschaften, Nahrungsnetzstruktur und zentralen Ökosystemprozessen gelegt werden. Weiterhin sollte die Bedeutung der Urbanisierung für die Biodiversität und den damit verbundenen ökologischen Prozessen auf der Landschaftsebene evaluiert werden. Das Konzept des Meta-Ökosystems sollte für die spezifischen Ökosystemtypen, insbesondere für Kleingewässer entlang des Stadt-Land-Gradienten, angepasst werden. Es sollte sowohl empirisch als auch experimentell getestet werden, wie sich die Eigenschaften der einzelnen Landschaftselemente entlang des Stadt-Land-Gradienten auf die Artenvielfalt und Ökosystemprozesse auf der Landschaftsebenen auswirken.

Die zwei zentralen Fragen von AP2 waren: (1) Wie bestimmen anthropogene Stressoren die Struktur der Artengemeinschaft und der Nahrungsnetze und damit die Ökosystemfunktion? (2) Welchen zusätzlichen Einfluss hat die räumliche Anordnung der Sölle entlang des Urbanisierungsgradienten auf die Biodiversität auf der Landschaftsebene?

Arbeitspaket 5: Übergänge von natürlicher zu domestizierter Umwelt und neuartige Lebensgemeinschaften

Das IGB sollte sich an der Synthese des Wissensstands zum Zusammenhang zwischen Landnutzungsänderung und anthropogenen Stressoren in Form eines Hypothesenpapers beteiligen. Weiterhin sollte ein konzeptioneller Rahmen erstellt werden, um die Entscheidungsfindungen und politischen Maßnahmen zum Management neuartiger Ökosysteme zu unterstützen. Der Zusammenhang zwischen Ökosystemfunktionen und -leistungen in Verbindung mit schnellen Übergängen zu neuartigen Ökosystemen sollte in einem "Opinion Paper" dargestellt werden.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Wie bereits in der Kurzdarstellung erwähnt, beeinträchtigten die vielen mit der Corona-Pandemie verbundenen Einschränkungen die meisten Arbeiten, die jedoch weitestgehend fortgeführt werden konnten. Proben und Daten aus BIBS Phase 1&2 konnten weitestgehend analysiert und statistisch ausgewertet werden. Diese sind nun zum großen Teil als Manuskripte publiziert bzw. eingereicht. Alle Arbeitsleistungen waren jedoch aufgrund der vielen Corona-bedingten Beschränkungen im Laborbetrieb eingeschränkt. Leider musste das Mikroplastik-Experiment (M2.2) unter Führung der FU vollständig gestrichen werden, da dies in der 6-monatigen ("Corona-bedingten") Verlängerung des BIBS-Projektes nicht möglich war. Daher musste auch die damit verbundene Datenauswertung (M2.7) gestrichen werden.

Die LakeScapeLabs vervollständigen den traditionellen Ansatz in der Süßgewässerökologie, der auf Zeitreihenanalysen von wichtigen Umwelt-, biogeochemischen und Biodiversitätsdaten aufbaut. Dabei ermöglichen die LakeScapeLabs, kontrollierte Experimente zu den Faktoren der Urbanisierung, z.B. den Stressoren Licht und Nährstoffe durchzuführen. Die Mesokosmenanlage im Stechlinsee ist besonders gut geeignet, da der Ort als eine der 3 nationalen Luftqualitätsmonitoring-Referenzstellen des Umweltbundesamtes (UBA) dient und es für den Stechlinsee zahlreiche physikalische, chemische und biologische Langzeitdaten, z.T. schon seit den 1959er Jahren gibt. Die Kernanlage wurde 2012 fertiggestellt und besteht aus 24 Mesokosmen mit je 9 m Durchmesser und ca. 20 m Tiefe (~1250 m³ Wasservolumen), die es ermöglichen, verschiedenste experimentelle Ansätze für ökosystemare Forschungen anzuwenden, was bereits in BIBS Phase 1 erfolgreich gezeigt wurde.

Unter der Führung des IGBs und in enger Zusammenarbeit mit Partnern des ZALF, der UP und FU wurde die wissenschaftliche Fragestellung von AP2 basierend auf BIBS Phase 1 weiterentwickelt. Dabei lag der Fokus auf der ökologischen Bedeutung der aquatisch-terrestrischen Kopplung in einer urbanisierten Welt; insbesondere wurden die Effekte von den stetig zunehmenden anthropogenen Faktoren wie Landnutzung, Versiegelung, Lichtverschmutzung, etc. auf die aquatische Biodiversität und die damit verbundenen Ökosystemprozesse untersucht. In der 2. Phase des BIBS Projektes wurde

die Wissenslücke in der Bedeutung der Urbanisierung für die aquatische Biodiversität, die ökologischen Prozesse und die Stoffflüsse auf der Landschaftsebene ermittelt. Die Arbeiten gliederten sich in die beiden IGB-Forschungsschwerpunkte: "Aquatische Biodiversität" und "Aquatische Grenzzonen" ein. Schon in der Phase 1 des BIBS-Projektes gab es eine enge Zusammenarbeit zwischen dem IGB und dem ZALF (Gunnar Lischeid und Gabriela Onandia), der FU (Jonathan Jeschke und Camille Musseau) sowie der UP über den DFG-SPP 1704: „Dynatrait“ (Ursula Gaedke und Toni Klauschies). Zudem leitet das IGB das "Berlin Center for Genomics in Biodiversity Research (BeGenDiv)", bei dem sowohl FU, IZW, MfN als auch UP Partner sind.

Für AP5 gab es aus der BIBS Phase 1 fundierte Kenntnisse zu "Novel Ecosystems", die aus einer Mischung von heimischen und nicht-heimischen Arten bestehen und als stabile Systeme gelten, da sie einen neuen stabilen Zustand erreicht haben, der ein Zurückkehren zum früheren, pre-urbanen Ökosystemzustand verhindert. Basierend auf den in BIBS Phase 1 durchgeführten Untersuchungen zu "Thresholds" für "Novel Ecosystems" und anderen urbanen Ökosystemtypen wurden die Entstehung, Ökologie und evolutionären Konsequenzen von urbanisierten Gewässern, insbesondere ihre Rolle für das Gewässermanagement, als wichtige Themen für das IGB identifiziert.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Arbeitspaket Dachprojekt

Es waren keine expliziten Meilensteine für das IGB definiert.

Die Postdocs für Empirie und Theorie am IGB (AP2) haben sich an der Weiterentwicklung des gemeinsamen Synthesemanuskripts zu "rate-induced transitions" (Synodinos et al., in Überarbeitung) beteiligt. Das Manuskript wurde 2021 bei einem Fachjournal eingereicht und wird derzeit überarbeitet, bevor es erneut eingereicht werden soll. Ein zugehöriger preprint ist bereits im Netz zugänglich.

Arbeitspaket 1

Es waren keine expliziten Meilensteine für das IGB definiert.

Innerhalb der Projektlaufzeit wurden die LakeScapeLabs in den urbanen Raum erweitert und mit den CityScapeLabs verbunden, indem 2019 in enger Zusammenarbeit mit den anderen APs Wasserkörper in das CityScapeLab Beprobungsnetzwerk aufgenommen wurden. Dadurch konnten im Vergleich zu Phase I in Phase II Veränderungen in der Biodiversität von Organismen aus Kleinstgewässern entlang des Stadt-Land Gradienten unter Ausnutzung der verschiedenen Labs (CityScapeLab, AgroScapeLab, LakeScapeLab) untersucht werden. Es wurden insgesamt 43 Kleingewässer ausgewählt und für unterschiedliche Biodiversitätsstudien genutzt. Die Datenaufnahme wurde unter den Projektpartnern koordiniert und der Austausch von Daten vereinbart. Die Gewässerauswahl beruhte auf Kriterien, welche die Vergleichbarkeit mit den Kleingewässern der AgroScapeLabs gewährleisten und die Standortheterogenität durch natürliche Ausgangsbedingungen begrenzen sollten. So sind alle Gewässer kleiner als ein Hektar, perennierend, weitestgehend unbeschattet und haben unbefestigte, weitgehend naturnahe Ufer. Zudem sind die Gewässer gleichmäßig entlang eines Urbanisierungsgradienten (Versiegelung im Umkreis von 500 m) verteilt gewesen, um den Urbanisierungseinfluss auf die verschiedenen Biodiversitäts- und Umweltaspekte untersuchen zu können.

Für die Trockenrasen und Kleingewässer der CityScapeLabs wurden 2020 komplexe Indikatoren zur urbanen Konnektivität berechnet, die durch verschiedene APs für die Auswertung von Biodiversitätsdaten verwendet wurden. Die Grundlage dafür bildet der Hanski Index der Habitat-Konnektivität, welcher die Entfernung zu geeigneten Habitaten sowie deren Größe berücksichtigt. Neben der Berechnung der aktuellen und historischen Habitat-Konnektivität, wurde durch eine Weiterentwicklung dieses bekannten Index ein dreidimensionaler (3D-) Konnektivitätsindex entwickelt, der die speziellen urbanen Widerstände für Ausbreitungs- und Wanderungsprozesse mit einem 3D-Faktor - basierend auf Gebäudehöhen - gewichtet.

Des Weiteren wurden die ScapeLabs als experimentelle Plattform in Phase 2 für die Untersuchung der Forschungsschwerpunkte Übergangszonen (*transition zones*) und Konnektivität von aquatischen Ökosystemen und Lichtverschmutzung (*novel stressors*) im Rahmen von AP2 erweitert und angepasst.

Das IGB hat auch in der Projektphase 2 weiterhin die Beprobung und Auswertung der Kleinstgewässer sowie der experimentellen Versuche in den LakeScapeLabs koordiniert und bei der Auswertung unterstützt. Neben der wissenschaftlichen Koordination und Supervision der LakeScapeLabs, sowie Koordination und Unterstützung bei der Auswertung der Wasserproben, speziell der bildbasierten Analyse der Planktongemeinschaften aus den Kleinstgewässern, wurden innerhalb der Projektlaufzeit zwei Großexperimente im Seelabor zur Konnektivität und aquatisch-terrestrischen Kopplung durchgeführt (CONNECT 2019, JOMEX-CONNECT 2021). Dabei musste das Experiment JOMEX-CONNECT anstatt wie ursprünglich geplant in 2020, pandemiebedingt auf 2021 verschoben werden. In der Zwischenzeit wurden die Analysen und Auswertung von Daten vorheriger Großversuche weitergeführt und entsprechende Publikationen auf den Weg gebracht.

Im Wesentlichen wurden **zwei Hauptbereiche** erfüllt:

- i) Der konzeptionelle Rahmen des Projekts wurde weiterentwickelt und mündete in einer Verfeinerung der Theorie rascher Biodiversitätsübergänge. Hierbei wurde insbesondere die Bedeutung der Geschwindigkeit bzw. Rate der Umweltveränderungen als wichtiger Faktor für die ökologische Antwort des Systems herausgearbeitet (Dacharbeitspaket, Synodinos et al., in Überarbeitung). Ein Monitoringkonzept zur Erfassung von Biodiversität in Übergangszonen (*transition zones*) wurde implementiert und wird zukünftig weiter fortgeführt. Hierbei wurden Sölle im AgroScapeLab als Modellsystem gewählt, deren räumlich-zeitliche Heterogenität komplexe Übergangszonen darstellen.
- ii) Im LakeScapeLab wurden experimentell Mechanismen und Prozesse untersucht, die der strukturellen und funktionellen Biodiversität unterschiedlicher aquatischer Ökosysteme entlang von Stadt-Land-Gradienten, Fluss-See-Konnektivität und weiteren graduellen und neuartigen Stressoren und Umwelteinflüssen (Eutrophierung, Huminstoffeintrag, Lichtverschmutzung, etc.) zugrunde liegen. Dazu wurden mehrere Großexperimente zum Einfluss von Nährstoffen und Braunstoffen, sowie neue Stressoren wie nächtliche Lichtverschmutzung als auch Konnektivität von Seesystemen auf aquatische Organismen erfolgreich durchgeführt. Die umfangreichen Datensätze wurden weitgehend analysiert, die Ergebnisse in Treffen mit anderen APs vorgestellt und diskutiert, sowie in wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert und auch über die Medien verbreitet.

Arbeitspaket 2

- **Aktivität 1.3**, M2.2 – Die Aufarbeitung und Sequenzierung aller DNA-Proben sowie Analyse der Sequenz- und chemischen Daten entlang des Stadt-Land Gradienten, um den Einfluss der Urbanisierung auf die Mikrobiota zu bestimmen, wurde abgeschlossen. Eine entsprechende Publikation ist in Vorbereitung (Ionescu et al., in Vorbereitung). Die Analysen der in der ersten Phase erhobenen Daten in den Söllen (AgroScapeLab) sowie die Analyse der Sequenz- und chemischen Daten, der in der Projektphase 2 beprobten Wasserkörper entlang des Stadt-Land Gradienten, konnte abgeschlossen werden. M2.2 wurde somit erreicht.
- **Aktivität 2b**, M2.7 - Das Mikroplastik-Experiment unter Führung der FU hätte nur mit einer 9-monatigen (“Corona-bedingten”) Verlängerung des BIBS-Projektes durchgeführt werden können. Dies war so im Verlängerungsantrag der FU angegeben. Somit konnte auch die damit verbundene Datenauswertung (M2.7) seitens des IGBs nicht durchgeführt werden.
- **Aktivität 3**, M2.9 – (LakeLab Exp) Ein für 2020 geplantes Experiment zur Bewertung der Effekte

multipler Stressoren (JOMEX) musste pandemiebedingt verschoben werden und konnte im Sommer 2021 nachgeholt werden. Allerdings konnte die Auswertung dieses Experiments nicht mehr innerhalb der Projektlaufzeit abgeschlossen werden. Anstatt dessen wurden die Analysen vorangegangener LakeScapeLab Experimente und entsprechende Publikationen vorangetrieben. M2.9 wurde somit erreicht.

- **Aktivität 4**, M2.11 – Das in Phase I entwickelte räumlich explizite Artenverteilungsmodell wurde erfolgreich veröffentlicht (Karnatak & Wollrab 2020). Das Modell wurde weiterentwickelt, um neben der Populationsdynamik auch die räumliche Verteilung von Gemeinschaften zu untersuchen. Ein entsprechendes Manuskript ist in Vorbereitung (Karnatak et al. [a], in Vorbereitung). Des Weiteren wurde ein Manuskript verfasst, das die Modellergebnisse mit den in Phase I und II gesammelten Daten zu räumlichen Biodiversitätsmustern vergleicht. Hierzu dienen speziell die Sequenzdaten, aber auch Zählraten zu Phytoplankton, Zooplankton und Makroinvertebraten (Karnatak et al. [b], in Vorbereitung). M2.11 wurde deshalb wie im Verlängerungsantrag angegeben überwiegend erreicht.

Arbeitspaket 5

Es gab keine definierte Aktivität oder Meilensteine. Das IGB war an zwei Syntheseartikeln beteiligt die in der Projektlaufzeit veröffentlicht wurden (Heger et al. 2019, Heger et al. 2020). Ein weiteres Synthesemanuskript zu dem Hypothesennetzwerk zu „urban ecology“ wurde unter Beteiligung des IGBs erstellt (Lokatis et al., fertiges Manuskript).

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

AP 1: In der BIBS-Phase I wurde die Arbeitsstruktur der ScapeLabs, die Regeln und Leitlinien für die Qualitätskontrolle, wissenschaftliche Standards für die Forschung an den ScapeLab-Standorten sowie eine gemeinsame Datenbank entwickelt. Aus theoretischer Sicht lieferte der auf den ScapeLabs basierende Ansatz eine abgerundete Perspektive der Übergänge in ökologischen Systemen verschiedener Konfigurationen, Größen und Merkmale, was zur Entwicklung des Rahmens für schnelle Übergänge führte. Da die drei Komponenten der ScapeLabs-Plattform in unterschiedlichen sozio-ökologischen Systemen angesiedelt sind, werden im Folgenden der Stand der Technik, die wichtigsten Ergebnisse der BIBS-Phase I und die spezifischen Ziele der BIBS-Phase II beschrieben.

LakeScapeLabs

Aktueller Stand der Technik und Ergebnisse der Phase 1

Die LakeScapeLabs sind eine experimentelle Plattform zur Erforschung der Auswirkungen von Umweltveränderungen auf die aquatische Biodiversität und das Funktionieren von Ökosystemen. Die LakeScapeLabs befinden sich im Stechlinsee, einem Klarwassersee in Nordbrandenburg, der seit den späten 50er Jahren vom IGB überwacht wird. Ein großer Vorteil der LakeScapeLabs ist die Nähe zur 200 m entfernten Abteilung für Experimentelle Limnologie des IGB am Ufer des Sees. Die LakeScapeLabs wurden in den letzten Jahren in verschiedenen Projekten auf nationaler (z.B. Leibniz SAW-Projekte TemBI, ILES und CONNECT) und europäischer (LakeBase, AQUACOSM, MANTEL) Ebene eingesetzt. Diese haben den Zugang zu und den Wissensaustausch mit Wissenschaftlern aus Europa und der ganzen Welt erleichtert. Als Teil des Global Lake Observatory Network (GLEON) sind die LakeScapeLabs gut mit einem hochaktiven weltweiten Netzwerk verbunden, das auf hochmodernen Hochfrequenz-Seeprofilierungsstationen basiert.

In WP 1 haben wir während der BIBS-Phase I eine Reihe neuer und einzigartiger technischer Merkmale entwickelt und zusätzlich zwei verwandte Experimente durchgeführt, bei denen experimentelle

Gradienten von Nährstoffen und gelöster organischer Substanz (DOM) terrestrischen Ursprungs eingerichtet wurden. HuminFeed (HuminTech GmbH, Grevenbroich, Deutschland) wurde als Standardquelle für DOM verwendet, um die Auswirkungen einer kontinuierlichen Belastung und von Impulsen der Verbraunung und Nährstoffanreicherung zu testen, die sich aus einer verstärkten aquatisch-terrestrischen Kopplung aufgrund verstärkter Niederschläge ergeben. Diese Experimente wurden mit ergänzenden Projekten koordiniert, insbesondere mit dem EU-Projekt MARS, das darauf abzielte, die Verschiebung der Schwellenwerte des trophischen Zustands für das Auftreten von Cyanobakterienblüten in Seen, die einer Verbraunung unterliegen, zu bewerten. Dieses Wissen ist von entscheidender Bedeutung, um angesichts des globalen Wandels wirksame Strategien für die Bewirtschaftung von Seen zu entwickeln, denn es wird vorhergesagt, dass Seen stark und schnell auf den Klimawandel reagieren werden.

Zahlreiche methodische Verbesserungen, darunter die Installation neuer, schonend arbeitender Impellerpumpen, die Einführung einer wirksamen Methode zur Vermeidung unerwünschten Wandwachstums, der Bau von Barrieren zur Kontrolle der Fischbewegungen und die Einrichtung von Hochdurchsatzanalysen von lebendem Phyto- und Zooplankton wurden etabliert.

Die LakeScapeLabs boten eine offene Forschungsinfrastruktur für alle BIBS-WPs, zusätzlich zu WP2, dass diese Infrastruktur in Phase I hauptsächlich genutzt hatte. In Phase II zielte WP2 daher darauf ab, seinen Fokus auf die Kopplung zwischen Land und Wasser über den Eintrag von terrestrisch gewonnenem DOM in Seen zu erweitern, um neue Stressfaktoren wie Lichtverschmutzung einzubeziehen und so eine Brücke zu den CityScapeLabs zu schlagen, wo Lichtverschmutzung am wichtigsten ist. Ein Experiment sollte die Folgen der Wechselwirkungen zwischen dem neuartigen Stressor "künstliches Licht in der Nacht" und der Verbraunung durch den Eintrag von organischem Material terrestrischen Ursprungs in die Ökosysteme von Seen untersuchen. Das IGB hatte bereits ein gut funktionierendes Beleuchtungssystem installiert und getestet, dass das System eine künstliche nächtliche Stadtbeleuchtung realistisch imitieren kann (Kyba et al. 2017). Lichtintensitäten konnten somit leicht manipuliert werden, um Unterschiede in der Beleuchtung entlang des Gradienten Stadt-Land-Land-Landwirtschaft zu untersuchen, was eine der Hauptaufgaben in den Arbeitsgruppen 2, 3 und 5 war. Die LakeScapeLabs werden in Zusammenarbeit sollten mit den CityScapeLabs weiter ausgebaut werden. Dies schloss die Einbeziehung von städtischen Teichen sowie von Mikrokosmen (siehe AP 2) ein, um die Muster der Ausbreitung und Etablierung neuartiger Organismen, die Rolle von Mikroplastik als Vektor für potenziell pathogene oder invasive Arten sowie die Auswirkungen von Hitze- und Trockenstress auf die aquatische Biodiversität zu erforschen (siehe auch AP 2 und 5). Außerdem sollten die Übergangszonen zwischen aquatischen und anderen Systemen (z. B. Wasser-Luft, Wasser-Sediment, Wasser-Land) untersucht werden.

AP2:

In Phase I des Projekts konzentrierten wir uns auf die Charakterisierung der biologischen Vielfalt eines ausgewählten Netzwerks von Kleingewässern (Kettle Holes; KH) im AgroScapeLab im Hinblick auf ihre Umweltbedingungen, ihre aquatisch-terrestrische Kopplung und ihre Konnektivität zueinander. Zu diesem Zweck wurden komplementäre Ansätze angewandt, die die zeitliche und räumliche Variabilität berücksichtigen.

eDNA und traditionelle Biodiversitätsanalysen

In Phase I von BIBS haben wir zu vier verschiedenen Zeitpunkten in den Jahren 2016-2017 insgesamt 65 Teiche im AgroScapeLab beprobt, das durch intensive Landwirtschaft gekennzeichnet ist. Zusätzlich zur Wasserchemie und Mikroskopie wurde ein molekularer Ansatz verwendet, bei dem die Deep-Amplicon-Sequenzierung mit der Möglichkeit zur Sammlung von Umwelt-DNA (eDNA) gekoppelt wurde. Letztere umfasst sowohl lebende Mikroorganismen als auch Spuren von entweder dauerhaften oder vorübergehenden größeren Organismen. Parallel dazu gewonnene Transkriptomdaten lieferten Informationen über Organismen, die zum Zeitpunkt der Probenahme aktiv waren, und über die Stoffwechselwege, die die Biogeochemie der KHs beeinflussen. Letztere umfassen organismische

Reaktionen auf terrestrische Einträge, z. B. Huminstoffe, Antibiotika, Düngemittel und Pestizide, aber auch interorganismische Reaktionen wie die Abwehr von Räubern, die Produktion von Toxinen und virale Aktivitäten. Vorläufige Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Auswirkungen der Landnutzung durch die interne Dynamik innerhalb der KHs verdeckt werden. Darüber hinaus konnten wir zeigen, dass die tiefe Amplikon-Sequenzierung von eDNA gut für den Nachweis großer Säugetier-Verbreitungsvektoren geeignet ist. Dies steht im Gegensatz zu früheren Annahmen, dass solche Organismen, die nicht im KH leben, nur durch artspezifische, gezielte Methoden nachgewiesen werden können.

Makroinvertebratengemeinschaften wurden 2017 zweimal in 42 fischlosen Teichen beprobt. Die funktionalen Merkmale wurden nach Häufigkeit gewichtet. Wir haben Teiche beprobt, die eine große Bandbreite an Überdachungen aufwiesen (von 0 % bis 95 %), als Indikator für Subventionen, die in den Wasserkörper fließen. Insgesamt trockneten 37 % der Teiche aus und wurden zwischen den beiden Probenahmekampagnen wieder befeuchtet. Vorläufige Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Vielfalt und Abundanz von Makroinvertebraten von Juni bis Oktober abnehmen. Das Spektrum der funktionellen Merkmale der Makroinvertebratengemeinschaften wurde nach der Trockenheit kleiner, vor allem in Teichen ohne Ufervegetation. Darüber hinaus kam es zu einer Verschiebung der funktionellen Vielfalt von Gemeinschaften, die von Raubtieren dominiert wurden, hin zu Gemeinschaften mit Weidegängern als wichtigster funktioneller Gruppe, was erhebliche Auswirkungen auf die Struktur der Nahrungsnetze hatte.

Unsere Ergebnisse verdeutlichen die Rolle der terrestrischen Umgebung und der Ufervegetation bei der Strukturierung der funktionellen Veränderungen von Makroinvertebratengemeinschaften in Kleinstgewässern und werden dazu beitragen, Prioritäten bei der Erhaltung und Wiederherstellung dieser zahlreichen und wichtigen Süßwassersystemen zu ermitteln. Wir arbeiten nun an den Gemeinschaften, um die wichtigsten Treiber für den Aufbau von Makroinvertebraten-gemeinschaften zu identifizieren.

Die Analyse der Biodiversität, der Struktur des Nahrungsnetzes und der Metabolomdynamik des Ökosystems ermöglichte es, die Auswirkungen der Zugabe von Huminstoffen und Nährstoffen (als Modell für terrestrische Subventionen) zu einem Klarwassersee zu bewerten und den Ursprung und das Schicksal organischer Moleküle nach einem kombinierten Impuls von braunem cDOM und Nährstoffen zu unterscheiden. Die Zugabe von Huminstoffen und Nährstoffen führte zu ausgeprägten Auswirkungen auf die Artenvielfalt, die Struktur des Nahrungsnetzes und das Gesamtmetabolom des Ökosystems. Die drei beobachteten Ökosystem-Metabolome (ohne, mit mittlerem und hohem Huminstoffzusatz) zeigten eine gut unterscheidbare funktionelle Dynamik der mikrobiellen Gemeinschaft. Lediglich das Ökosystem-Metabolom des Klarwasser-Ökosystems (ohne Huminstoff-Futterzusatz) spiegelte die Ökosystemfunktionalität nicht gut wider, möglicherweise aufgrund des sehr hohen Umsatzes und der geringen Stabilität der Verbindungen mit geringem Molekulargewicht. Unser LakeLab-Experiment unterstreicht die Verwendung von Metabolomen aquatischer Ökosysteme zur Untersuchung und Entflechtung der Auswirkungen verschiedener Stressfaktoren (und anderer Umweltveränderungen) auf aquatische Ökosysteme und bietet somit neue Möglichkeiten zur Untersuchung der Auswirkungen des globalen Wandels und anthropogener Aktivitäten auf die biologische Vielfalt und das Funktionieren von Ökosystemen, sowohl kurz- als auch langfristig.

Räumlich explizites Meta-Gemeinschaftsmodell

Auf der Grundlage des konzeptionellen Rahmens einer Meta-Gemeinschaft, die das Sölle-System als Knotenpunkte in der Landschaft beschreibt, die durch die Ausbreitung von Arten miteinander verbunden sind, wurde in Phase I der BIBS ein räumlich explizites Meta-Gemeinschaftsmodell entwickelt, um die Verteilungsmuster der Arten und die daraus resultierenden Biodiversitätsniveaus auf der Landschaftsebene zu untersuchen, basierend auf dem Modell von Ovaskainen & Hanski (2001). Die Hauptvorteile dieses Modells bestehen darin, dass es die räumliche Verteilung des Kettle-Hole-Systems abbildet, was einen direkten Vergleich mit den beobachteten Biodiversitätsmustern aus der

Feldstudie ermöglicht, und dass es gerichtete Ausbreitungsfaktoren (wie die vorherrschende Windrichtung) und andere lokale Faktoren berücksichtigen kann. Erste Erkenntnisse aus diesem Modell sind, dass die Heterogenität der Wasserkörper (d. h. die Größe) und eine dynamische Konnektivität zwischen Wasserlöchern - aufgrund von probabilistischen Ausbreitungsereignissen - die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens einer Art in Wasserlöchern im gesamten System erhöhen kann. Diese Erhöhung der Besetzungswahrscheinlichkeit kann das System zunehmend widerstandsfähiger gegenüber Umweltschwankungen machen. Darüber hinaus führt eine Erhöhung der Dichte von Knotenpunkten (Sölle), was nicht überrascht, auch zu einer Erhöhung der Besetzungswahrscheinlichkeit. Darüber hinaus ermöglicht eine höhere Habitat-Dichte auch einer Art mit einer schwächeren Ausbreitungsfähigkeit, das System zu besetzen, die ansonsten bei niedrigeren Habitat-Dichten aus der Metagemeinschaft aussterben würde - was die Bedeutung aller vorhandenen Sölle über die in der Feldstudie berücksichtigten hinaus unterstreicht. Das Modell bietet eine hervorragende Grundlage, um die Konnektivität zwischen Gewässern auch im Kontext städtischer Landschaften zu untersuchen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Generell, gab es enge Verbindungen zu komplementären Projekten von BIBS Partnern auch außerhalb des BIBS Projektes, i.e. AquaLink, LandScales, Loss of the Night, TemBi, CONNECT, Tereno, Terralac, SPP-Dynatrait I & II auf der regionalen Ebenen sowie ALTER-Net, BioFresh, GLEON, LTER, MARS, Netlake, Aquacosm und Aquacosm plus auf der internationalen Ebene.

Die LakeScapeLabs (AP1) stellen eine flexible experimentelle Plattform dar, die für Untersuchungen insbesondere im Rahmen von AP2 genutzt wurden. Wie oben beschrieben wurden 2 große Mesokosmosexperimente mit BIBS, nationalen und europäischen Partnern durchgeführt. Auch gab es einen regen Austausch mit dem Netlake Konsortium (COST Netzwerk zur automatischen Datenerhebung in Seen) bzgl. der Messinfrastruktur und dem Leibniz-SAW Projekt CONNECT (Connectivity and synchronisation of lake ecosystems in space and time) bzgl. der experimentellen Planung. AP1 stellte dabei die Logistik und Infrastruktur sowie den methodischen Rahmen für die Experimente auf der Ökosystem- und Landschaftsebene. Daher diente AP1 als ein wichtiger Schnittpunkt für Experimente und Untersuchungen in BIBS, insbesondere für AP 2. Es gab einen direkten Austausch mit Wissenschaftlern des iDiv, z.B. Darren Gilling, Thomas Hornick, als auch mit Wissenschaftlern der DFG-Biodiversity Exploratories (gemeinsame PIs). Der Austausch mit den BIBS BiPoLabs diente als Schlüsselstelle für einen transdisziplinären Dialog mit Entscheidungsträger und Stakeholdern. Insbesondere wurde versucht, die wissenschaftlichen Fragestellungen den Management Szenarien (z.B. projizierte Veränderungen der Landnutzung) anzupassen und entsprechende experimentelle Manipulationen durchzuführen. Zudem sind alle Monitoringdaten für die Allgemeinheit zugänglich, insbesondere den entsprechenden Umweltbehörden und NGOs. Diese dienen als Grundlage für zukünftige Managementempfehlungen zur Biodiversität auf der Landschaftsebenen.

Ein Teil der in AP2 untersuchten Sölle waren ein Teil der AgroScapeLabs (Quillow), die in TERENO Initiative (Terreno Environmental Observations, d.h. Observatorium im Nordostdeutschen Tiefland) der Helmholtz Gemeinschaft sind. Historische und aktuelle Daten zur Landnutzung und möglichen Effekten auf die Hydrologie und Biogeochemie wurden über das ZALF ausgetauscht. Ebenso gab es einen sehr aktiven Austausch zur Biodiversität und Landnutzungsdynamik mit der DFG-Graduiertenschule "BioMove" (Integrating Biodiversity Research with Movement Ecology in Dynamic Agricultural Landscapes'; speaker: F. Jeltsch). Durch die verstärkte Einbindung der CityScapeLabs in der BIBS Phase 2, war AP2 gut in das gesamte BIBS Projekt eingebettet und es gab einen intensiven Austausch mit allen anderen APs, insbesondere APs 4 und 5. So wurde die Trait-basierte Analyse von Organismengemeinschaften und Ökosystemtypen in enger Zusammenarbeit mit AP4 in den AgroScapeLabs durchgeführt. AP2 war auch intensiv an der AP 5 Analyse von "Rapid Transitions" in gekoppelten terrestrisch-aquatischen Ökosystemen beteiligt.

Unter Leitung von AP5 wurde auch unter Beteiligung von AP2 in zahlreichen Treffen das Konzept des Review Papers diskutiert, sowie die Struktur des Opinion Papers zum Thema „novel“ Ökosysteme erarbeitet. Alle Postdocs und Doktoranden haben sich regelmäßig getroffen, um im Projekt über die Instituts- und AP-Grenzen hinaus Analysen durchzuführen und so die gewünschte Synthese zum besseren Verständnis von Mechanismen und Konsequenzen neuer Ökosysteme auf vielen trophischen Ebenen. Die Stakeholder wurden aktiv eingebunden, um die Aufmerksamkeit für "novel" und domestizierte Ökosysteme für die öffentliche Gesundheit und Lebensqualität zu erhöhen. Es wurden geeignete Indikatoren identifiziert, um Veränderungen und insbesondere "Tipping Points" für die Biodiversität sowie Ökosystemfunktionen frühzeitig zu erkennen. Diese dienen zur Entwicklung gezielter Managementmaßnahmen zur Verhinderung der Ausbreitung invasiver Arten und dem Verlust von Ökosystemfunktionen.

II. Eingehende Darstellung

IGB-Aufgaben und Meilensteine des IGBs in der Phase 2 und der Corona-bedingten Verlängerung

AP 2 Verknüpfung aquatisch/terrestrisch						
IGB	Aktivität 1.3: Datenaufnahme im Feld entlang des städtisch-ländlichen Gradienten: Auswertung molekularer Daten und Modellierung	M 2.2				M 2.2 erreicht
IGB	Aktivität 2: Neuartige Umweltstressoren: Aktivität 2b: Einfluss von Mikroplastik auf die mikrobielle Besiedlung (eDNA Sequenzierung & Bioinformatik)					M 2.7 gestrichen, da kein FU Experiment
IGB	Aktivität 3: Groß angelegtes Mesokosmen-Experiment zur Bewertung der Effekte neuartiger Stressoren (Licht, Connectivity, etc.)					M 2.9 erreicht
IGB	Aktivität 4.2: Räumlich explizite Modellierung von Netzwerken					M 2.11 erreicht

1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Dachprojekt:

Hier wurde AP-übergreifend daran gearbeitet einen konzeptionellen Rahmen zur Untersuchung von schnellen Übergängen (rate-induced transitions) zu erarbeiten. Während kritische Regimewechsel (regime shift) ein zentrales Thema der ökologischen Forschung zur Reaktion von Populationen oder Artengemeinschaften auf Umweltveränderungen ist, wurde hierbei bisher ein starker Fokus auf die absolute Veränderung in den Umweltparametern wie Temperatur oder Nährstoffverfügbarkeit gelegt, dabei ist die Rate der Veränderung ebenso entscheidend für das Auftreten von Regimewechseln. Ist die Rate der Veränderung zu hoch, kann dies die Anpassung der Population/Gemeinschaft an die neuen Umweltbedingungen verhindern. Dies kann zu einer drastischen Umstrukturierung von Artengemeinschaften und zum Verlust von Arten führen. Die rasante Zunahme der Temperatur als Folge des globalen Klimawandels, aber auch die globale Zunahme des Flächenverbrauchs und andere anthropogene Einflüsse bergen das Risiko die Anpassungsfähigkeit von Artengemeinschaften zu überfordern. Es ist wichtig, dieses Risiko abschätzen zu können und geeignete Puffermaßnahmen zum Artenschutz zu entwickeln. Im Dachprojekt wurde hierzu im Rahmen eines Synthesepapiers ein konzeptioneller Rahmen entwickelt, der Handlungsanweisungen für Studien zur rateninduzierten Regimewechsel gibt (Synodinos et al., in Überarbeitung). Der Artikel gibt außerdem einen Überblick zu Hinweisen aus empirischen Studien zur Relevanz von rateninduzierten Regimewechseln in der Ökologie. Hier ist dringender Bedarf an Studien, um kritische Raten herauszuarbeiten und über ein verbessertes Verständnis Handlungsempfehlungen, z.B. zur Landschaftsplanung, zu Gegenmaßnahmen (Puffermaßnahmen) zu entwickeln mit dem Ziel des Erhalts von Artenreichtum und der Sicherung zentraler Ökosystemleistungen.

Arbeitspaket 1: Lake Scape Labs

Schwerpunkt von Phase II des Projekts war es, die vielfältigen Ergebnisse der LakeScapeLab-Großexperimente vor allem aus Phase I zusammenzustellen, zu analysieren und zu publizieren. Das Experiment zum Einfluss terrestrischer Nähr- und Huminstoffeinträge (MARS-2015) infolge extremer Niederschlagsereignisse führte zu einer sehr umfangreichen Datenerfassung und die erzielten Ergebnisse wurden in mehreren Publikationen und Manuskripten dargestellt: Fonvielle et al. (2021) charakterisieren die gelöste organische Substanz (DOM) und ihre Umwandlung. Ein fertig vorliegendes Manuskript von Stephan et al. befasst sich mit der Reaktion der Primärproduzenten auf die Braunfärbung des Seewassers und Nährstoffzugaben. Drei weitere Manuskripte von Guislain et al. beschreiben den Artenverlust der Phytoplanktongemeinschaften infolge von Huminstoffeinträgen, die Multimodalität der Größenverteilung und einhergehende Koexistenz von Phytoplankton nach sturmbedingter Verbraunung, sowie die Auswirkungen von Nähr- und Huminstoffen auf die Biodiversität und Ökophysiologie des Phytoplanktons. Ein Manuskript von Lyche Solheim et al. zeigt darüber hinaus eine deutliche Abnahme von Cyanobakterien mit zunehmender Braunfärbung des Seewassers. Die Braunfärbung wirkt dabei dem stimulierenden Effekt der Nährstoffeinträge auf Cyanobakterien entgegen, wobei die Veränderung der Lichtqualität wegen der starken Absorption von blauem Licht in dystrophen Seen ein wichtiger Mechanismus zu sein scheint. Eine Studie von Stratmann et al., die ebenfalls als Manuskript vorliegt, stellt Ergebnisse exoenzymatischer Aktivitäten als Folge von Eutrophierung und Braunfärbung vor, da die exoenzymatische Umwandlung von organischem Material in leicht verwertbare Substrate für Mikroorganismen ein wichtiger Prozessschritt im P-, N- und C-Kreislauf ist. Die Ergebnisse zeigen, dass pulsartige Zugaben von Humin- und Nährstoffen einen interaktiven Effekt auf die Produktivität in der oberen gemischten Wasserschicht haben. Nährstoffzugaben stimulierten die Primärproduktion nur in Versuchszylindern ohne Huminstoffe, in denen ausreichend Licht verfügbar war. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Zunahme der Stärke oder Häufigkeit extremer Stürme den Kohlenstoffkreislauf von Seen wesentlich verändern kann. Einige Ergebnisse des Versuchs sind in ein breiteres Synthesepapier zu den Auswirkungen multipler Stressoren auf Gewässer in unterschiedlichen Situationen eingeflossen (Birk et al. 2020).

Für die Großversuche im *LakeScapeLab* zu den Auswirkungen von Lichtverschmutzung auf Seen (ILES 2016 und 2018, **Abbildung 1**) wurde speziell ein experimentelles, äußerst schwaches Beleuchtungssystem zur Untersuchung der Auswirkungen von nächtlichem Himmelsleuchten entwickelt und realisiert (Jechow et al. 2021) basierend auf einer Studie zur Leuchtdichte des Sommernachtshimmels (Jechow et al. 2016^[1]), die als Voraussetzung für Versuche zu den Auswirkungen von Lichtverschmutzung auf Seen diente. Weitere Manuskripte zum Einfluss von Himmelsleuchten auf die Produktion der Phytoplanktongemeinschaften im *LakeScapeLab* (Stephan et al. in Vorbereitung) und auf die Tag-Nacht Dynamik von mikrobiellen Lebensgemeinschaften (Fonvielle et al. in Vorbereitung) liegen vor. Auch Manuskripte zum Einfluss von Himmelsleuchten in Kombination mit Huminstoffeintrag auf benthische Primärproduzenten (Grubisic et al. in Vorbereitung) und Treibhausgasemissionen (Hanson et al. in Vorbereitung) stehen kurz vor der Einreichung.

Im Jahr 2019 wurde im LakeScapeLab ein Großexperiment zu Konnektivität und Synchronisation von Seeökosystemen, d.h. die Manipulation der Retentionszeit zur Simulation von stark und schwach verbundenen Seen, durchgeführt (CONNECT-2019, Abbildung3). In Kooperation mit dem ZALF (G. Lischeid) und AP2 wurden konzeptionelle Ansätze zu Meta-Gemeinschaften und der Konnektivität von aquatischen und terrestrischen Ökosystemen entwickelt. Ein Workshop zum Thema „Zeitliche und räumliche Konnektivität und Synchronisation von aquatischen Ökosystemen“ am IGB in Neuglobsow

^[1] Jechow, A., Hölker, F., Kolláth, Z., Gessner, M. O., & Kyba, C. C. (2016). Evaluating the summer night sky brightness at a research field site on Lake Stechlin in northeastern Germany. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 181, 24-32.

mit ca. 50 Teilnehmern und Beteiligung von FU, ZALF, UP und internationalen Gästen, wurde im November 2020 durchgeführt. Ein weiterer geplanter Datenworkshop in Zusammenarbeit mit dem ZALF sollte 2021 in Müncheberg stattfinden, musste aber aufgrund der Covid-19-Situation im November 2021 virtuell durchgeführt werden.

Die LakeScapeLab Großexperimente 2019 und 2021 wurden durch das „Transnational Access“ Programm des EU-H2020 Infrastruktur-Netzwerk-Projekts AQUACOSM unterstützt, das Wissenschaftlern, Studenten und Mitarbeitern von kleinen und mittelgroßen Unternehmen (KMU) den Zugang zu Forschungsanlagen wie dem LakeScapeLab ermöglicht. Das für den Sommer 2020 geplante Experiment im *LakeScapeLab* (JOMEX-CONNECT-2021) musste aufgrund der Corona-Pandemie und den sich daraus ergebenden Restriktionen für Arbeiten am Institut (IGB) um ein Jahr verschoben werden. Es wurde vom 12. Juli bis 12. August 2021 erfolgreich durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Experiments werden im vorliegenden Bericht nicht näher beschrieben, da die Auswertung noch aussteht. Stattdessen wurde während der akuten Corona-Einschränkungen vorrangig die Auswertung von Proben aus den *LakeScapeLab*-Versuchen zum Einfluss von Nährstoff- und Huminstoffeinträgen sowie von nächtlicher Lichtverschmutzung durch Himmelsleuchten vorangebracht.

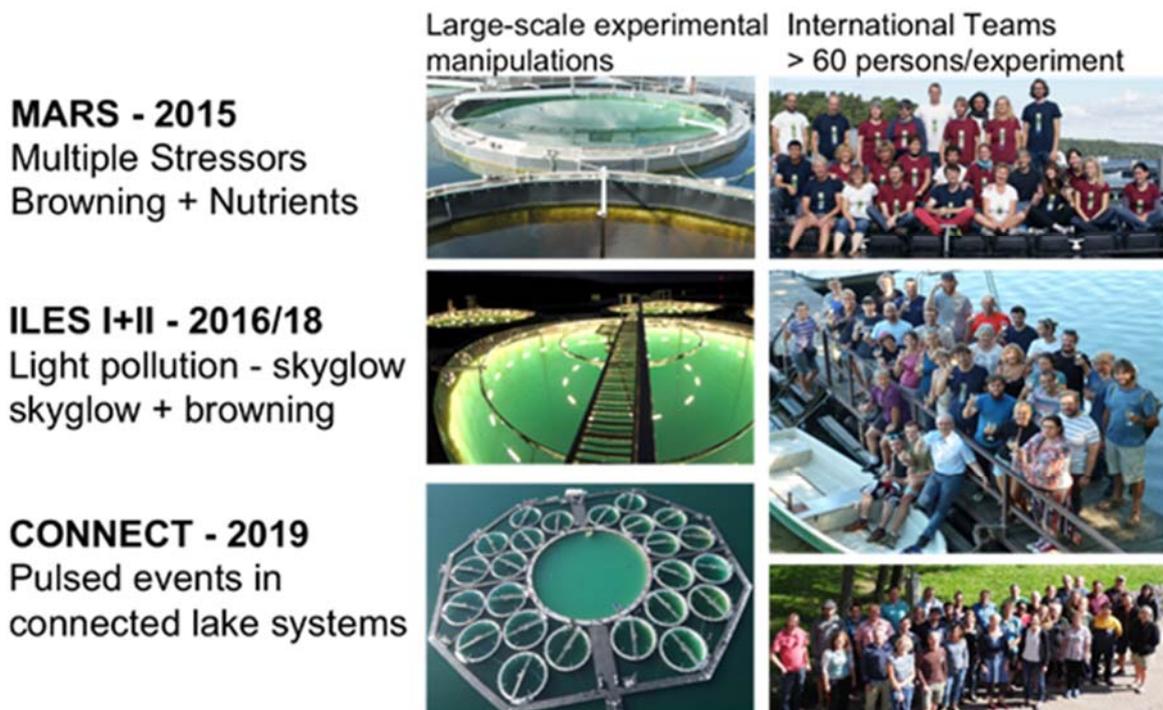


Abbildung 1. Übersicht über die im LakeScapeLab durchgeführten Großversuche während der BIBS-Phasen I & II zu multiplen Stressoren (Eutrophierung und Huminstoffeintrag MARS-2015, Lichtverschmutzung ILES-2016, und Lichtverschmutzung in Kombination mit Huminstoffeintrag ILES-2018, sowie Konnektivität von Seesystemen CONNECT-2019). Die Großversuche wurden in Teams mit bis zu 60 Personen durchgeführt und durch das Transnational Access Programm des EU-H2020 Projekts AQUACOSM unterstützt (www.aquacosm.eu).

Die Auswertung der umfangreichen physikalischen, chemischen und biologischen Messgrößen erfolgte im Rahmen von AP2. Ein besonderes Augenmerk galt dabei der Analyse umfangreicher Bilddaten, die für die Charakterisierung der Planktongemeinschaften in den Großversuchen erhoben wurden. Ferner wurde die Planktonanalyse von Proben aus urbanen Kleingewässern und Söllen in der Agrarlandschaft methodisch weiterentwickelt und fortgeführt (Onandia et al. 2021). Zwei Manuskripte zur automatisierten Bildanalyse von Mesozooplankton (Wallis et al. in Begutachtung) und zur technischen

Umsetzung und Auswertung automatischer bildgebender Analyseverfahren (Walles et al. in Begutachtung) wurden eingereicht. Diese neuartige Methode ermöglicht eine schnellere Planktonanalyse und weitgehend automatisierte Prozesse unter Verwendung künstlicher Intelligenz. Erst dadurch wurde es möglich, die umfangreichen Planktondaten aus mehreren LakeScapeLab-Experimenten der vergangenen Jahre zu analysieren. Die Automatisierung der Phytoplanktonanalyse gestaltet sich jedoch schwieriger und wird derzeit noch weiterentwickelt, um den umfangreichen Datensatz mehrerer Großexperimente bezüglich Biodiversität, Charaktereigenschaften (traits) und Biomasse des Phytoplanktons zumindest teilweise automatisiert auszuwerten.

Arbeitspaket 2: Aquatisch-terrestrische Kopplung

Im AP2 wurden die Effekte der aquatisch-terrestrischen Kopplung für landschaftsweite Biodiversitätsmuster und die damit verbundenen Prozesse in 65 Söllen in den AgroScapeLabs sowie in der BIBS-Phase II auch anhand von 19 Kleingewässern entlang eines Urbanisierungsgradienten untersucht. Die Sequenzierungsanalysen für die in Phase II erhobenen Proben entlang des Stadt-Land Gradienten wurden abgeschlossen. Die Laboranalysen wurden fortgeführt, allerdings konnte die Analyse der bildbasierten Planktondaten sowie die statistische Analyse der im Projekt erhobenen Labor- und Felddaten in der Projektlaufzeit nicht abgeschlossen werden. Daher sind die dazugehörigen Analysen noch nicht vollständig abgeschlossen und weitere Manuskripte noch in Vorbereitung. Die Kooperation zwischen Kolleginnen und Kollegen im AP2 sowie weiterer APs, vor allem AP1 und AP5 war sehr intensiv. Ausgenommen von M2.7 (Mikroplastikexperiment, das Corona-bedingt durch die FU nicht durchgeführt werden konnte) wurden alle Meilensteine erreicht.

Die Lebensgemeinschaften in 19 Söllen und anderen Teichen in Berlin und seinem Umland sowie in 18 weiteren Söllen im *AgroScapeLab* wurden entlang eines Stadt-Land-Gradienten beprobt, um den Einfluss der Urbanisierung (1) auf die Diversität und Lebensgemeinschaftsstruktur sowie (2) auf den Energietransfer in aquatischen Nahrungsnetzen zu untersuchen („Field Survey Urban Ponds“). Pandemie-bedingt haben sich die Extraktionen und Sequenzierungen der DNA-Proben bis zum Ende Februar 2021 verzögert (**Aktivität 1.3**, M2.2). Die Untersuchungsstellen und das Untersuchungsschema zur Beprobung der urbanen Teiche zur Untersuchung der Auswirkungen der Urbanisierung auf die Struktur aquatischer Nahrungsnetze wurden in Zusammenarbeit mit dem MfN festgelegt und durchgeführt. Die Untersuchung der Sölle und Kleingewässer basierte auf Wasserproben, die zur Bestimmung der eDNA sowie eRNA genutzt wurden (IGB). Außerdem wurde mittels bildgebender Analyseverfahren die Phyto- und Zooplankton-Zusammensetzung bestimmt (IGB, ZALF), sowie das Makrozoobenthos beprobt (FU) und die chemische Zusammensetzung der Wasserproben untersucht. Die empirische Datenerhebung wurde durch die Modelluntersuchungen mit Meta-Gemeinschaftsmodellen (IGB) und biogeochemischen Modellen (ZALF) komplementiert.

In Zusammenarbeit mit den Empirie-Postdocs am ZALF und an der FU wurden die Proben der urbanen Kleingewässer entlang eines Stadt-Land-Gradienten weiter analysiert. Durch die Kooperation mit dem ZALF im Rahmen eines Studentenaustauschs (Eveline Düker) und mit technischer Unterstützung durch das IGB (Christian Dilewski, IGB) war es trotz Corona-bedingter Einschränkungen möglich, bildbasierte Analysemethoden (FlowCam, ZooplanktonScanner) zur Auswertung von Phytoplankton-, Mikro- und Mesozooplanktonbildern an den urbanen Teichen und Söllen im *AgroScapeLab* durchzuführen. Zunächst wurde auf eine wichtige Gruppe des Mikrozooplanktons, die Rädertiere, fokussiert. Die Analyse der FlowCam Bilddaten und die weitere Datenanalyse wurden komplett im Homeoffice geleistet. Ein Manuskript zu „Key drivers structuring rotifer communities in ponds: Insights from an agricultural landscape“ (Onandia et al. 2021) wurde in Zusammenarbeit mit AP1 und AP5 veröffentlicht. Ein weiteres Manuskript, das die gesamte Zooplankton-Gemeinschaft in Söllen und kleinen Stadtgewässern behandelt und dabei Bilddaten mit genetischen Daten kombiniert, ist jedoch noch in Bearbeitung.

Bei der Analyse der Phytoplanktondaten wurde eine invasive, potentiell toxische marine (salzliebende)

Art (*Shatoneella* spec.) festgestellt. Dies ist der erste dokumentierte Fund dieser Alge in Binnengewässern. Eine zunehmende Versalzung der Sölle, vor allem durch Düngesalze und Salze auf Straßen in der Nähe der Sölle, scheint die Einwanderung dieser Art zu begünstigen. Die Art wurde durch einen Abgleich von Bilddaten mit Ergebnissen der Sequenzierung (18S rRNA und eDNA) identifiziert. Eine Genomsequenzierung wurde begonnen, konnte aber noch nicht vollständig abgeschlossen werden. Vor allem bei einer von dieser Art dominierten Phytoplanktonblüte, wie sie in einzelnen Söllen beobachtet wurde, könnte bei weiterer Ausbreitung eine Gefahr für Wild- und Weidetiere darstellen. Eine entsprechende Publikation ist in Vorbereitung (Onandia et al., in Vorbereitung).

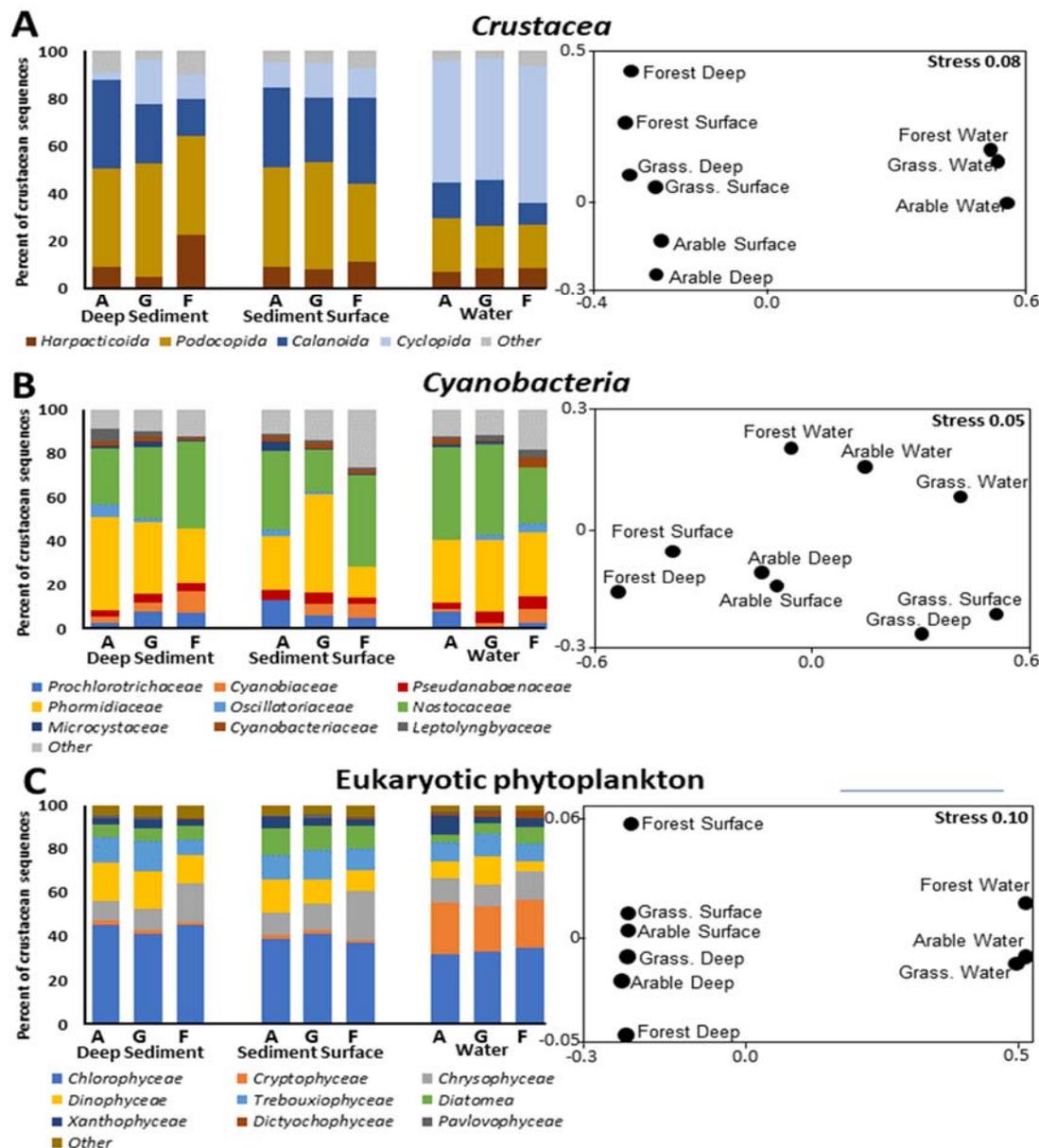


Abbildung 2. Allgemeine Gemeinschaftszusammensetzung von Krebstieren (A), Cyanobakterien (B) und eukaryotischem Phytoplankton (C) in Tiefensedimenten (5-15 cm), Oberflächensedimenten (0-5 cm) und Wasserproben. Die NMDS-Abbildungen für jede Gruppe zeigen Projektionen von Ähnlichkeiten zwischen den verschiedenen Probenarten. Landnutzungsarten: A = Ackerland, G = Grünland, F = Wald

Die bioinformatischen und statistische Analysen der Sequenzierdaten der Sölle im Quillow-Einzugsgebiet (*AgroScapeLabs*) wurden in Verbindung mit den chemischen Daten vom ZALF durchgeführt. Der Schwerpunkt wurde dabei auf die Analyse der bereits vorhandenen Daten gelegt,

um zwei Manuskripte zur eDNA-basierten Diversitätserfassung (Ionescu et al. 2022, im Druck) und zur RNA-basierten funktionellen Analyse der Lebensgemeinschaften in den Söllen (Bizic et al. 2022) in Abhängigkeit von der Landnutzung zu untersuchen. Um Schwierigkeiten bei der taxonomischen Annotation der kurzen eDNA-Sequenzabschnitte zu überwinden, wurde ein neues bioinformatisches Analyseverfahren („Pipeline“) erstellt, das es erlaubt, längere RNA-Sequenzabschnitte effizient auszuwerten und akkurat zu annotieren. Dazu wurden neue Datenbanken als bioinformatische Instrumente in Zusammenarbeit mit dem Leibniz Institut für Ostseeforschung (IOW) erstellt. Dieses Analyseverfahren wurde auf Sequenzdaten aus BIBS-Phase I angewendet.

Die entsprechenden Ergebnisse der Untersuchungen der Sölle im AgroScapeLab zeigen, dass die generell starke Eutrophierung der kleinen Standgewässer (Sölle) auf eine starke Kopplung mit dem umgebenden terrestrischen Bereich hinweist, was durch das MARS-Experiment bestätigt wurde. Die Biodiversitätsanalysen des IGBs zu den Söllen zeigen, dass sich die Art der Landnutzung insbesondere auf die Biodiversität der Mikroorganismen nur in den Sedimenten widerspiegelt. Diese können daher als ein Archiv für Veränderungen in der Landnutzung und somit der Biodiversitätsveränderungen benutzt werden (**Abbildung 2**). Diese Abbildung zeigt, dass sich die Landnutzung nur in den Sedimenten nicht aber im Wasser widerspiegelt. Sedimente dienen daher als Archiv für die biologische Vielfalt im Wasser, denn viele der Organismen, die wir dort finden, sind planktonisch.

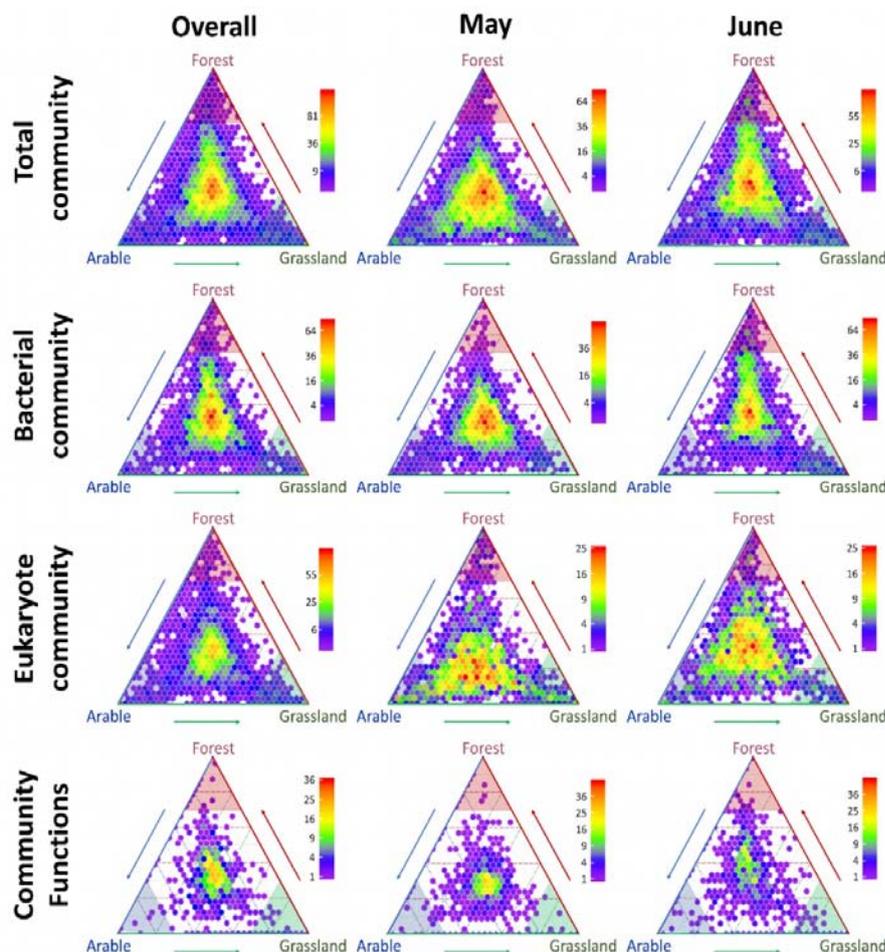


Abbildung 3. Die Indikatorartenanalyse der Planktongemeinschaften zeigt, dass es kaum spezifische Arten für einen bestimmten Landnutzungstyp gibt und zeigt eine starke Homogenisierung der gesamten Organismengemeinschaft, aber auch der bakteriellen sowie der eukaryontischen Gemeinschaften. Dies gilt auch für die Funktionen der untersuchten Organismengemeinschaften.

Dagegen deuten die geringen Unterschiede in der Artenzusammensetzung in den rezenten Wasserproben zwischen den Söllen mit unterschiedlicher Landnutzung auf eine starke Homogenisierung der Mikroorganismengemeinschaften in der seit >70 Jahren intensiv genutzten (industriellen) Agrarlandschaft hin (Ionescu et al. 2022, akzeptiert). Landnutzungseffekte der aktiven Gemeinschaft waren auch nicht sichtbar, wenn die Gesamtheit der exprimierten Gene (metabolische

Stoffwechselwege) auf eRNA Ebene betrachtet wurde (Bizic et al. 2022). Siehe auch **Abbildung 3**. Dies lässt vermuten, dass ähnliche Funktionen von unterschiedlichen Organismen in unterschiedlichen Habitaten durchgeführt werden (funktionelle Redundanz). Bei der Inspektion der eRNA-Daten ist neben der zeitlichen Trennung zu erkennen, dass unabhängig von den verschiedenen Definitionen der Landnutzungsart nur im Mai 2017 ein Landnutzungseffekt zu beobachten ist. Dies fällt mit dem Zeitraum der Felddüngung zusammen (**Abbildung 4 A-D**).

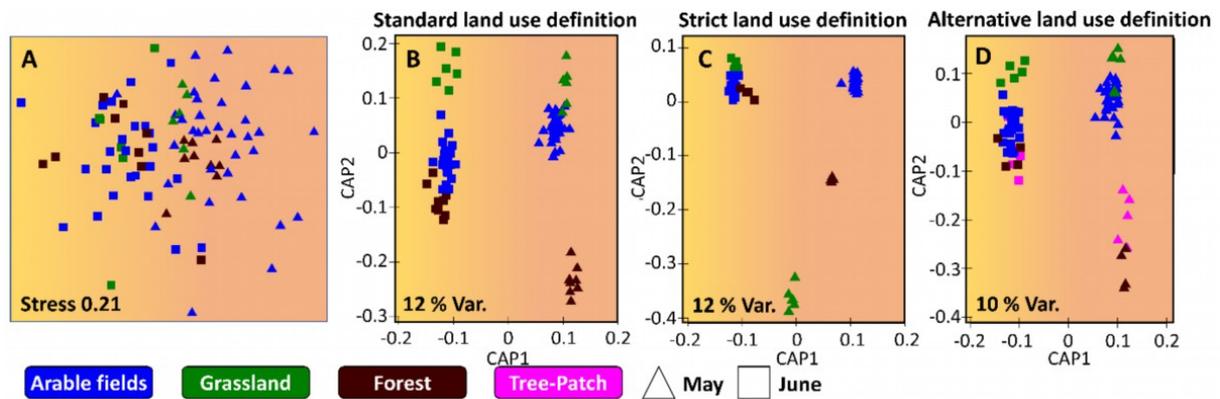


Abbildung 4. Nichtmetrische multidimensionale Skalierung (NMDS) der aktiven bakteriellen und eukaryotischen Gemeinschaften (A) zeigt eine zeitliche Trennung zwischen den Proben (Dreiecke - Mai vs. Quadrate - Juni), wie durch die orange-pfirsichfarbene Schattierung hervorgehoben, aber keine Trennung basierend auf Landnutzungstypen (3D-Stress 0,13). Kanonische Analyse der Hauptkomponenten (B, C, D), die das Verteilungsmuster der aktiven bakteriellen und eukaryotischen Gemeinschaften nach Probenahmezeitraum (CAP1) und Landnutzungstyp (CAP2) hervorhebt, basierend nur auf den Arten, die zur Signifikanz dieser Parameter beitragen, wie mit PERMANOVA getestet. Die Felder B, C und D unterscheiden sich durch ihre Definition von Wäldern. In Feld B werden KH in großen Wäldern und Baumgruppen inmitten von Ackerflächen als Wald-KH eingestuft. In Panel C werden die letztgenannten Baumflächen als Ackerflächen klassifiziert, während sie in D einer eigenen Gruppe zugeordnet werden.

Die in der BIBS-Phase II aufgenommenen Phyto-, Zooplankton und eDNA Daten aus 9 Söllen der Agrarlandschaft und 19 städtischen Kleingewässern zeigen einen deutlichen Unterschied in der Zusammensetzung der Organismengemeinschaften der Agrarlandschaft im Gegensatz zur urbanen Umgebung. Die diesem Muster zugrunde liegenden Umweltfaktoren bzw. Treiber werden zurzeit noch untersucht. Ein Manuskript zur Zooplanktongemeinschaft sowie der eDNA basierten Organismengemeinschaften entlang des Urbanisierungsgradienten sind in Bearbeitung (Onandia et al. und Inoescu et al., beide in Vorbereitung).

Diese empirischen Daten sind eine kritische Voraussetzung für die Anwendung und Weiterentwicklung von Meta-Ökosystem- und Landschaftsmodellen. Außerdem ist der Vergleich der Modellvorhersagen mit den empirischen Daten zentral für die beabsichtigte Datensynthese (M2.11). Wegen der pandemiebedingten Verzögerungen (M2.2) konnte diese Synthese jedoch nicht innerhalb des vorgesehenen Zeitrahmens abgeschlossen werden. Besonders die Synthese der entlang des Stadt-Land-Gradienten aufgenommen Daten hängt von der Verarbeitung, Auswertung und Zusammenführung der verfügbaren Daten ab (eDNA-Sequenzdaten, Bildanalysen sowie mikroskopische Auszählung und Bestimmung von Phytoplankton, Zooplankton und Makroinvertebraten) und wurde erheblich verzögert.

Das in AP2 entwickelte räumlich explizite Meta-Populations-/Gemeinschaftsmodell (Karnatak & Wollrab 2020) ermöglichte es, den Einfluss der räumlichen Verteilung und Dichte von Kleinstgewässern

auf die zu erwartende Biodiversität für unterschiedlichste Organismengruppen zu untersuchen. Eine Neuerung zu bestehenden Meta-Gemeinschaftsmodellen ist die räumlich explizite Habitatverteilung und ein wahrscheinlichkeitsbasiertes Verteilungsnetzwerk, das eine realistischere Abbildung der Artenverteilung in Abhängigkeit der Mobilität einzelner Arten und der Lage und Größe einzelner Habitate ermöglicht (**Abbildung 5**). Die Modellergebnisse zeigen, dass kleinräumige Unterschiede zwischen Söllen (räumliche Heterogenität) die Biodiversität fördern und auf der Landschaftsebene zu einer höheren Resilienz gegen Umweltveränderungen führen können. Des Weiteren zeigt das Modell einen positiven Zusammenhang zwischen der Dichte der Sölle in der Landschaft und der Biodiversität.

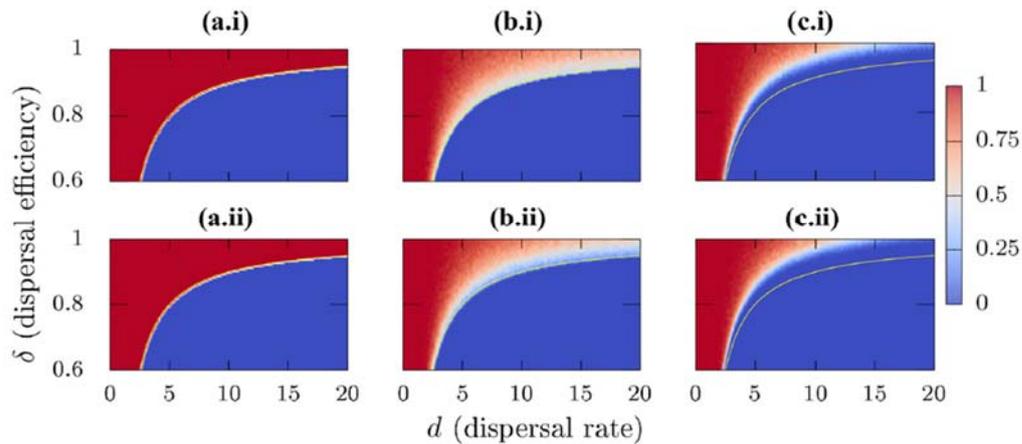


Abbildung 5. Wahrscheinlichkeit der Persistenz einer Meta-Population in Abhängigkeit von der Verteilungseffizienz und der Verteilungseffizienz für räumlich implizite Modelle (all-to-all coupling) (a.i, a.ii), ein räumlich explizites Netzwerk mit festgelegtem Verteilungsmuster (b.i, b.ii) und für ein räumlich explizites Netzwerk mit flexiblem Verteilungsmuster (c.i, c.ii). Die Farbe zeigt die Wahrscheinlichkeit für die Persistenz der Population in der Landschaft an, rot – Persistenz, dunkelblau – Aussterben der Population. Unter realistischen Modellannahmen (c.i, c.ii) ist der Parameterbereich über den Persistenz möglich ist deutlich eingeschränkt.

Eine hohe Dichte an Söllen ist vor allem für die Erhaltung von Arten mit geringem Verbreitungsradius wichtig und betont somit den Erhaltungswert der Sölle für die Erhaltung der Artenvielfalt in der Landschaft. Der Erhalt dieser Lebensräume hat einen unmittelbar positiven Effekt auf die Biodiversität der Nordostdeutschen Tiefebene. Das netzwerkbasierte, probabilistisches Konnektivitätsmodell (NPK) wurde weiterentwickelt um die räumliche Verteilung von Arten unter Einbezug ökologischer Interaktionen wie Wettbewerb und trophische Interaktionen (Räuber-Beute) zu simulieren (Karnatak et al. [a], in Vorbereitung). Modellvorhersagen zur Korrelation in der Artenvielfalt zwischen Habitaten wurden mit den Sequenz- und Zählraten die in den Söllen und Kleinstgewässern aufgenommen wurden verglichen, ein entsprechendes Manuskript ist in Vorbereitung (Karnatak et al. [b], in Vorbereitung). Die Modellergebnisse zur globalen und lokalen Autokorrelation für Arten mit hoher versus niedriger Verteilungsreichweite (starke versus schwache Konnektivität) (**Abbildung 6**) zeigen eine positive Autokorrelation wenn nur wenige Habitate zur Verfügung stehen, was für eine Destabilisierung der Meta-Gemeinschaft bei zu starkem Habitatverlust spricht. Mit steigender Habitatverfügbarkeit nimmt die positive Autokorrelation ab, bis sie ganz verschwindet (Überlappung der bunten Linien mit der schwarzen Linie die die Abwesenheit von Autokorrelation anzeigt). Dies gilt für den Fall einer festgelegten Konnektivitätsmatrix (türkis) als auch für den Fall einer flexiblen

Konnektivitätsmatrix (orange). Für den Fall einer starken Konnektivität sind die Abweichungen von der Nullhypothese (schwarze Linie) nicht sehr signifikant, das bedeutet, dass Arten mit großer Reichweite auch niedrigere Habitatdichten kompensieren können, was die Meta-Population stabilisiert.

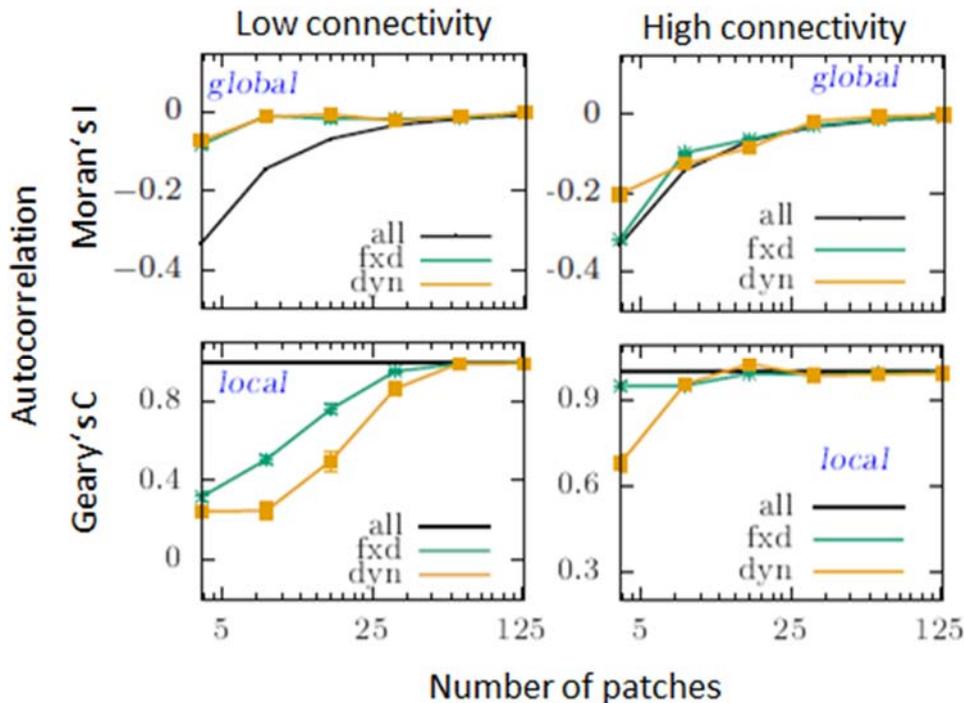


Abbildung 6. Globale und lokale Autokorrelation der Meta-Gemeinschaft für den Fall von stark verbundenen (hohe Verteilungsreichweite) versus schwach verbundenen (niedrige Verteilungsreichweite) Habitaten, in Abhängigkeit von der Anzahl der verfügbaren Habitats. Für die globale Autokorrelation (Moran's I) entspricht die schwarze Linie der Nullhypothese der Abwesenheit einer globalen räumlichen Autokorrelation. Werte über (unter) dieser Linie zeigen positive (negative) räumliche Autokorrelation an. Für die lokale Autokorrelation (Geary's C) entspricht die schwarze Linie ($C=1$) dem lokal nicht korrelierten Fall. Für den lokalen Fall zeigen Werte kleiner (größer) eins eine positive (negative) räumliche Autokorrelation an. Für beide Fälle (global, lokal) hat eine positive (negative) Autokorrelation eine destabilisierende (stabilisierende) Wirkung auf die Meta-Gemeinschaft.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt der BIBS Phase 2 und der 6-monatigen Verlängerung lag auf der Auswertung von Proben aus dem LakeScapeLab-Versuch zu den Effekten von Lichtverschmutzung durch Himmelsleuchten (M2.9). Die Proben waren bereits im Labor verarbeitet und lagen digital vor. Vor allem die Annotation von Phyto- und Mikrozooplankton in den Proben aus dem LakeScapeLab-Versuch 2018, die durch bildgebende Verfahren (FlowCam, ZooplanktonScanner) aufgenommen wurden, konnten aus dem Homeoffice weiterbearbeitet und ausgewertet werden. Die Ergebnisse des Experiments im LakeScapeLab zum Einfluss terrestrischer Nähr- und Huminstoffeinträge infolge extremer Niederschlagsereignisse wurden ebenfalls in mehreren Manuskripten zur Publikation zusammengestellt: 1. Stephan et al. (in Vorbereitung) befasst sich mit der Reaktion der Primärproduzenten auf Braunfärbung des Seewassers und gleichzeitige Nährstoffzugaben. 2. Fonvielle et al. (2021) charakterisieren die gelöste organische Substanz (DOM) und ihre Umwandlung. 3. Guislain et al. (in Vorbereitung) beschreiben den Artenverlust des Phytoplanktons durch Huminstoffeinträge, wobei der Anteil des Phytoplanktons mit hoher maximaler Wachstumsrate und hoher Toleranz gegenüber Lichthemmung mit der DOC-Konzentration abnahm. Unsere Ergebnisse deuten daher auf

eine Sortierung des Phytoplanktons entlang des DOC-Gradienten hin, basierend auf ihrer Fähigkeit niedrige Lichtintensitäten zu nutzen (Guislain et al. in Vorbereitung). 4. Lyche Solheim et al. (in Vorbereitung) zeigen eine deutliche Abnahme der Cyanobakterien mit zunehmender Braunfärbung des Seewassers. Die Braunfärbung wirkt dabei dem stimulierenden Effekt der Nährstoffeinträge auf Cyanobakterien entgegen, wobei die Veränderung der Lichtqualität wegen der starken Absorption von blauem Licht in dystrophen Seen ein wichtiger Mechanismus zu sein scheint. 5. Aus einer mit BIBS assoziierten Masterarbeit hat sich ein Manuskript zur Beeinflussung der Exoenzymaktivitäten von Plankton durch Nährstoff- und Huminstoffzugabe entwickelt, das in Kürze eingereicht wird (Stratmann et al., in Vorbereitung). Ferner sind Ergebnisse aus dem Versuch in einen Syntheseartikel zu den Auswirkungen multipler Stressoren auf Seen und Fließgewässer (Birk et al. 2020) eingeflossen. (6) Ein weiteres Manuskript zum Einfluss von künstlichem Licht (Himmelsleuchten) auf die Produktion der Phytoplanktongemeinschaft im LakeScapeLab liegt vor (Stephan et al., eingereicht).

Auch die Daten des im Sommer 2019 im LakeScapeLab durchgeführten Experiments zur Bedeutung der Konnektivität (Verbindung) von Seeökosystemen in Seenketten wurden weiter analysiert. In diesem Experiment wurde die Retentionszeit in den Versuchseinheiten des LakeScapeLab experimentell variiert, um stark bzw. schwach verbundene Seen zu simulieren. Zur Beschreibung des Systems wurden physikalische, chemische und biologische Messgrößen erhoben, einschließlich Bilddaten des Phyto- und Zooplanktons. Allerdings konnten diese Bilddaten aufgrund der Corona-bedingten Laborbeschränkungen noch nicht abschließend analysiert werden (mehrere Manuskripte in Vorbereitung).

Highlights aus der Analyse der Kleinstgewässer und Sölle entlang des Stadt-Land Gradienten:

- 1) Ein auf künstlicher Intelligenz (KI) basierender Ansatz zur automatischen Identifizierung von Plankton wurde weiterentwickelt (IGB). Phytoplankton und Zooplankton wird meist nicht permanent beprobt, da die Kapazitäten zur Analyse des großen Probenumfangs bei weitem nicht ausreichen. Das Fehlen solcher Daten für diese Schlüsselorganismen in aquatischen Ökosystemen erschwert es erheblich, hochauflösende Modelle zu parametrisieren und Zusammenhänge in aquatischen Ökosysteme zu verstehen und vorherzusagen, sowie die Ökosysteme zu managen. Mit der Entwicklung eines neuartigen KI-Ansatzes, der die schnelle und automatische Erkennung von Plankton in ihrer natürlichen Umgebung mit hoher Bestimmungsgenauigkeit ermöglicht, haben wir einen bedeutenden Schritt nach vorn gemacht und KI-basierte Systeme und Erkennungsalgorithmen zur Identifizierung und zur taxonomischen Bewertung von FlowCam-Bildern aus ILES Großversuchen 2016, 2018 und 2019 einzusetzen. Dies ermöglicht es, den Einfluss multipler und neuartiger Stressoren auf die Biodiversität des Planktons in Seen, Mesokosmen und auch Kleingewässern zu erforschen.
- 2) Im Rahmen der statistischen Bewertung der Beziehungen zwischen biogeochemischen Prozessen, Landnutzung und Biodiversität wurden die Auswirkungen der Landnutzung sowie die Hauptfaktoren für die Strukturierung von Rädertiergemeinschaften (Mikrozooplankton) in Teichen in einer Agrarlandschaft (AgroScapeLabs) bestimmt (Onandia et al. 2021; ZALF, IGB, FU). Durch einen Vergleich von bildgebenden Phytoplanktonanalysen und Sequenzierdaten konnte das Vorkommen einer marinen (halophilen) potentiell toxischen Art der Gattung *Chattonella* (Raphidophyceae) in Söllen des AgroScapeLabs nachgewiesen werden. Ein Manuskript zu diesem Thema ist in Vorbereitung (Onandia et al., in Vorbereitung).
- 3) Die Beprobung der Makroinvertebratengemeinschaften in 19 Berliner Teichen entlang eines Urbanisierungsgradienten deutet auf Effekte der Urbanisierung auf (1) die Süßwasserdiversität und die Gemeinschaftsstruktur sowie (2) den Energietransfer in aquatischen Nahrungsnetzen hin. Eine Studie zu nichtlinearen Effekten von Umweltfaktoren und auf Lebensgemeinschaften der Makroinvertebraten in einem Teichverbund einer landwirtschaftlich geprägten Landschaft (Musseau et al. eingereicht) zeigt die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten (Landwirtschaft) auf die Artenvielfalt von Makroinvertebraten in Söllen (α -, β - und γ -Diversität). Dabei waren 11 verschiedene

Faktoren von Bedeutung. Ackerlandflächen in der Umgebung der Sölle verringerten die β -Diversität (d.h. die Ungleichheit in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften). Dabei war die β -Diversität primär durch den Artenaustausch (species turnover) bestimmt. Die Sölle auf den Ackerflächen fördern die regionale Vielfalt (γ -Diversität), jedoch ist die Anzahl der Taxa, welche in den Söllen der Uckermark vorkommen, geringer als in anderen ländlichen Gebieten Europas.

4) eDNA Analysen in den Söllen und Kleingewässern entlang des rural-urbanen Gradienten zeigen, dass die bakteriellen Gemeinschaften in den ländlichen Söllen sich von den städtischen Teichen deutlich unterscheiden. Obwohl die städtischen Kleingewässer mehrere separate Cluster zeigen, konnte keiner der gemessenen Umweltparameter oder der berechneten GIS-basierten Geodaten die Clusterbildung erklären. Daraus folgern wir, dass andere Faktoren, die nicht zu den üblicherweise bestimmten Faktoren gehören, die biologische Vielfalt der städtischen Kleinstgewässer bestimmen (Ionescu et al., in Vorbereitung).

5) Anders als beim Metabarcoding können metatranskriptomische Rohdaten bei der Zusammenstellung (assembly) von Metatranskriptomen in längere Sequenzen umgewandelt werden, was die Identifizierung der gefundenen Taxa verbessert. Aus dem Vergleich der aus den rRNA-Transkripten identifizierten Taxa mit den zusammengesetzten Sequenzdaten geht hervor, dass bestimmte Taxa sowohl mit kurzen als auch mit langen „Reads“ zuverlässig identifiziert werden können. Anhand dieser Informationen kann bestimmt werden, welche Taxa mit Hilfe von Short-Read-Amplikon-Metabarcoding überwacht werden können und welche Taxa nur mit Hilfe von längeren Reads der 18S rRNA identifiziert werden können.

6) Trotz des Unterschieds von zwei Jahren zwischen den Kampagnen der ersten Phase und der zweiten Projektphase liegen die ländlichen KH immer noch näher beieinander als die städtischen. Dies zeigt, dass die Landnutzung, wenn sie in den AgroScapeLabs eine Rolle spielen würde, erkannt worden wäre (**Abbildung 7**).

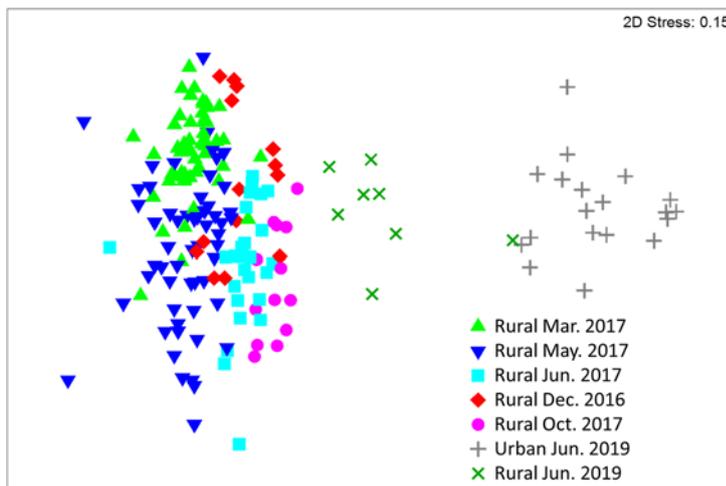


Abbildung 7. Nichtmetrische multidimensionale Skalierung (NMDS) der aktiven bakteriellen und eukaryotischen Gemeinschaften zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen den urbanen vs. ländlichen Gewässern und trotz der unterschiedlichen Beprobungszeitpunkte liegen die ländlichen Gewässer immer noch näher beieinander als die städtischen.

7) Ein neu entwickeltes netzwerkbasierendes, probabilistisches Konnektivitätsmodell (NPK) zur Simulation des Verbreitungsprozesses (dispersal) von Arten in der Landschaft (Karnatak & Wollrab, 2020) beinhaltet im Unterschied zu bestehenden Modellen keinen deterministischen oder gleichförmigen Verteilungsprozess, sondern einen wahrscheinlichkeitsbasierten Verteilungsprozess. Die Ergebnisse zeigen, dass der probabilistische Ansatz eine realistische Beziehung zwischen der Ausbreitungsrate und der erfolgreichen Besiedlung durch Arten abbildet. Darüber hinaus kann das NPK verwendet werden, um den Einfluss der Habitatdichte auf die Persistenz von Meta-Populationen/Gemeinschaften zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Arbeit bilden eine Basis zur Evaluierung der Zusammenhänge zwischen räumlicher Heterogenität, artspezifischen Verbreitungseigenschaften und der Stabilität von Meta-Gemeinschaften. Ein Manuskript zum Vergleich der Ergebnisse des Meta-Gemeinschaftsmodells mit den beobachteten empirischen

Autokorrelationsmustern aus den in AP2 erhobenen Felddaten aus Söllen des AgroScapeLabs sowie der Kleingewässer entlang des Urbanisierungsgradienten ist in Vorbereitung (Karnatak et al. [b]).

Arbeitspaket 5:

Gemeinsames Ziel aller Projekte im AP 5 war die Untersuchung ökologischer Neuartigkeit. Diese wird nach Heger et al. (2019; Ergebnis der ersten Projektphase) als übergreifendes Konzept zur Erfassung verschiedener ökologischer Dimensionen des globalen Wandels verstanden. Entsprechende Forschung kann sich entweder auf Transformationen im ökologischen Umfeld ganzer Gebiete (standortbezogene Perspektive) oder auf Veränderungen in der Umwelt von Organismen (organismenzentrierte Perspektive) konzentrieren. Beide Aspekte spielten im Arbeitspaket 5 eine zentrale Rolle.

Die Diskussionen zum Synthesepaper zur ökologischen Neuartigkeit wurden weiterdurchgeführt sowie eine intensive Literaturliteraturarbeit zum Thema begonnen. Ziel ist es, die wichtigsten Treiber von ökologisch neuartigen Lebensgemeinschaften zu beschreiben und mit der vorhandenen Literatur sowie verschiedensten theoretischen Ansätzen zu vergleichen, um ein neues Konzept zu entwickeln. Für die Stadtökologie wurde daher mit Expertinnen und Experten aus dem BIBS-Projekt zusammen eine umfangreiche Sammlung von Hypothesen erstellt. Die 62 erfassten Hypothesen wurden nach gemeinsam erarbeiteten Kriterien klassifiziert. In Form eines Netzwerkes werden die konzeptionellen Verbindungen zwischen den Hypothesen visualisiert; Cluster ermöglichen das Erkennen von übergeordneten Themen. Auf diese Weise vermittelt die Arbeit einen Überblick über Forschung zu neuartigen Ökosystemen in der Stadt. Das entsprechende Manuskript ist in Bearbeitung (Lokatis et al., in Vorbereitung; Zusammenarbeit mit AP2 und 3; FU, UP, TU, IGB, IZW).

Auflistung der Arbeiten und Ergebnisse:

Arbeitspaket Dachprojekt

- Koordination LakeScapeLabs (WP1)
- Beteiligung an Synthesemanuskript zu “rate-induced transitions“

Arbeitspaket 1

- Alle Meilensteine des AP1, für die das IGB verantwortlich zeichnet, wurden erreicht.
- Wissenschaftliche, technische und administrative Betreuung aller LakeLab-Experimente, wissenschaftliche und technische Koordination, Unterhalt der Versuchsanlage, Eichung der Messtechnik, wissenschaftliche Versuchsplanung, Vor-Ort Betreuung externer Versuchsteilnehmer, Durchführung von Experimenten zur aquatisch-terrestrischen Kopplung (s.o.).
- Wissenschaftliche Planung und Betreuung der Datenauswertung durch J. Nejstgaard, S. Berger, M. Gessner, H.-P. Grossart, S. Wollrab, u.a.
- Ferner Einsatz der IGB-Techniker A. Penske, M. Bodenlos, M. Sachtleben, M. Lentz, U. Mallok u.a. für Unterhalt der Versuchsanlage, Wartung und Messungen*.
- Die Postdocs A. Guislain, und T. Walles haben die bildbasierte Auswertung der Planktongemeinschaft der Sölle sowie der am LakeLab durchgeführten Experimente unterstützt, entsprechende Publikationen sind bereits eingereicht oder in Vorbereitung.
- Laboranalysen des Versuchs zur aquatisch-terrestrische Kopplung (d.h. Einfluss von Humin- und Nährstoffeinträgen in Seen) abgeschlossen (MARS-LakeLab-Experiment); Analysen für den Versuch im Rahmen des ILES-Projektes dauern noch an.
- Vorbereitung einer Reihe von Publikationen, von denen einige (s.u.) eingereicht sind oder als Manuskriptentwürfe zur baldigen Einreichung vorliegen.

- Erfolgreiche Durchführung eines Experiments zum Einfluss der Konnektivität (im Rahmen des Leibniz geförderten Projekts CONNECT 2019) sowie zum Einfluss multipler Stressoren (Huminstoffeintrag und Nährstoffanreicherung) (im Rahmen des durch AQUACOSM, AQUACOSMplus und Leibniz geförderte Großexperiment JOMEX-CONNECT 2021) auf die Artenverteilung und -zusammensetzung.
- Analyse der Ergebnisse u.a. im Hinblick auf die aquatische Diversität und Funktionalität der Mikrobiota, Vertikalwanderung des Zooplanktons, Biodiversität des Zooplanktons mittels neu entwickelter Methoden (Unterwasser Video und Zooplanktonscanner).
- Veröffentlichung eines Artikels zur technischen Umsetzung der Lichtquelle (Jechow et al. 2021), weitere Manuskripte zur Methodenentwicklung bzgl. der tagesperiodischen Zooplanktonwanderung wurden eingereicht (2 Publikationen Walles et al., eingereicht). Präsentation der Ergebnisse aus ILES und CONNECT auf internationalen Konferenzen (s.u.).
- Diskussionen und intensiver Austausch zu Methoden, Konzepten und Modellansätzen für Syntheseansätze mit anderen ScapeLabs, insbesondere gemeinsame Planung mit den CityScapeLabs (WP3+5) zur Einbeziehung von Kleingewässern in der zweiten Bewilligungsphase von BIBS.
- Regelmäßige Arbeitstreffen zur Synthese und zum Austausch von methodischer Expertise sowie zur Versuchsplanung.
- Einbindung des Seelabors in nationale (neben BIBS: Mycolink, ILES, Metaqua, CONNECT) und europäische (MARS, AQUACOSM, AQUACOSMplus) Verbundprojekte.
- Präsentation des Seelabors auf einer eigenen Webseite (<https://www.seelabor.de/index.php/News.html>); Betreuung durch M. Bauchrowitz (IGB) und N. Neumann (IGB).
- Intensive Öffentlichkeits- und Medienarbeit am Seelabor zur Versuchsanlage und zu laufenden Projekten; Koordination durch M. Bauchrowitz (IGB) und N. Neumann (IGB).
- Regelmäßige Treffen mit regionalen Stakeholdern aus dem Naturpark Stechlin-Ruppiner Land, Ämtern (Gemeinde und Landkreis), Naturschutzverbänden (z.B. NABU Brandenburg) sowie Natur- und Gewässerschutzprojekten.
- Diskussion über verschiedene konzeptionelle Modelle zur Auswirkung multipler Stressfaktoren auf Biodiversität und Ökosystemfunktion.

*Wartung und Betrieb des LakeScapeLabs wurde ausschließlich aus Haushaltsmitteln des IGBs bestritten. Diese beinhalteten auch die Personalkosten von 2 Technikern.

Veranstaltungen:

- Zwei Workshops zu CONNECT LakeScapeLab Experiment (Juli 2019, Nov 2020 (virtuell))
- Verschiedenste Projekttreffen im Rahmen der ILES und AQUACOSM, AQUACOSMplus Projekte

Arbeitspaket 2

Wissenschaftliche und technische Ergebnisse:

- Alle Meilensteine des AP2, für die das IGB verantwortlich zeichnet, wurden erreicht.
- Auswahl von Kleinstgewässern und Söllen entlang des Stadt-Land Gradienten (gemeinsam mit AP1, 3, 5) Weiterentwicklung der Methoden zur Bestimmung der Biodiversität (eDNA).
- Beprobung von 19 Kleinstgewässern in Berlin und 18 Söllen im AgroScapeLab 2019 und 2020.
- Weiterentwicklung des räumlich expliziten Modells zur Artenverteilung in der Landschaft, Vergleich von Modellvorhersagen zur räumlichen Verteilung und der Auto-Korrelation zwischen Kleinstgewässern und Söllen mit erhobenen Daten.

- AP und institutsübergreifende Treffen
- Organisation und Durchführung von Projekttreffen und Datenworkshops
- *Ergebnisse aus Datenanalysen: M2.4* Probenahmen und Analysen (u.a. Nährstoffe, Kohlenstoff, Chlorophyll a) in ausgewählten Söllen entlang eines Landnutzungsgradienten wurden fortgeführt (Meilenstein M4; tw. QBG ZALF). Verschiedene Plankton-Größenfraktionen wurden mit Hilfe von Partikel Imaging (Flow-Cam) untersucht (in Zusammenarbeit mit WP1, Stella Berger, IGB). Rotiferen-Arten wurden bestimmt. Die Ergebnisse der DNA und RNA Sequenzierungen standen ab Frühjahr 2018 zur Verfügung, da für die Annotierung der Gensequenzen mehrere Stufen der Qualitätskontrolle inklusive manueller Nachbearbeitung notwendig waren. Die statistische Datenanalyse von Nährstoffen, Kohlenstoff, Chlorophyll a, Bedeckungsgrad von Makrophyten, der Biomasse und Diversität von Phyto- und Zooplankton, inklusive eDNA und eRNA Sequenzen in den Söllen (Wasser- und Sedimentproben) wurden durchgeführt. Die Analyse der Amplicon-Sequenzdaten ergab, dass Sedimentproben eine höhere Richness (Vielfalt) als die Wasserproben besitzen.

Eine detaillierte Analyse von Diversitätsmustern in Abhängigkeit der 3 Landnutzungstypen (Acker, Grünfläche, Wald) ergab, dass die α -Diversität der Rädertierchen (Rotiferen) in den Grünland-Söllen am höchsten war. Die lokale taxonomische Diversität der Makroinvertebraten (Insekten, Anneliden, Mollusken) in den Söllen veränderte sich mit dem Bedeckungsgrad und -typ der Ufervegetation. Eine erste Analyse der β -Diversität der Makroinvertebraten zeigte, dass gelöster Sauerstoff und Baumbedeckung die wichtigsten Faktoren sind, die die Diversität der Makroinvertebraten-Gemeinschaften bedingen.

Übergreifend zeigen die Analysen aus den unterschiedlichen Daten ein stark saisonal geprägtes Muster. Es konnten keine räumlichen Korrelationen gefunden werden (größere Unterschiede in der Artenzusammensetzung weiter entfernter Sölle). Auch die eDNA-Daten zeigten, dass die Beta-Diversität vor allem ein stark saisonal geprägtes Muster aufweisen. Landnutzungseffekte, definiert durch die Umgebung der Sölle durch Wald, Feld oder Wiese, waren vor allem in den Sedimentproben sichtbar, nicht aber in den Wasserproben. Es konnten keine Indikator-Arten für spezifische Landnutzungstypen gefunden werden, allerdings stehen die Analysen bestimmter Arten innerhalb der Eukaryota, wie z.B. der Makroinvertebraten, aus. Hier müssen noch die Datenbanken (Primer) optimiert werden.

Die β -Diversität der aktiven Mikrobengemeinschaften zeigt, dass Landnutzungseffekte saisonal getrennt betrachtet werden sollten, denn der Effekt war im Mai stärker als im Juni, wobei er am stärksten für die Mikroeukeyonten Gemeinschaft war. Landnutzungseffekte der aktiven Gemeinschaft waren allerdings nicht sichtbar, wenn **die Gesamtheit der exprimierten Gene (metabolische Stoffwechselwege) betrachtet wird. Dies lässt vermuten, dass ähnliche Funktionen von unterschiedlichen Organismen in unterschiedlichen Habitaten durchgeführt werden.**

- *M2.7* Die Analysen des MARS-LakeLab-Experiments zu den Effekten von Huminstoff- und Nährstoffeintrag in Seen (als Modell für terrestrische Einträge) sind abgeschlossen und eine Reihe von Publikationen sind eingereicht oder in Vorbereitung (s.u., teilweise zusammen mit AP 1).

Eine Reihe weiterer Publikationen ist in Planung, z.B. zur ökologischen Reaktion einer pelagischen Gemeinschaft auf extreme Wetterereignisse, die kurz vor der Einreichung steht.

- *M2.13* *Der Abgleich der Vorhersagen des Biodiversitätsmodells zur Nahrungsnetzzusammensetzung erfolgte anders als ursprünglich geplant nicht durch das IGB und die UP, sondern durch das ZALF und führte zu einer gemeinsamen Publikation (Onandia et al. 2018).*

- *M2.15* *Eine Publikation über die Modellierung der Wechselwirkungen zwischen dem Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphor-Haushalt, dem Sauerstoffgehalt und Phytoplankton sowie schwimmender Makrophyten wurde veröffentlicht (Onandia et al. 2018), auf die Untersuchungen in BIBS aufbauen (ZALF).*

- *Das in 2017 entwickelte räumlich explizite Meta-Ökosystemmodell, dessen erste Version Wahrscheinlichkeiten für das Vorhandensein von Arten in unterschiedlichen Söllen angab, wurde in 2018 zu einem dynamischen Biomasse-basierten Meta-Ökosystem Modell ausgebaut. Es ermöglicht nicht nur qualitative, sondern auch quantitative Angaben zum Vorhandensein und der räumlichen Verteilung von Arten. Diese Modellvariante ermöglicht auch, die zu erwartenden α -, β -, und γ -Diversität vorherzusagen und mit der empirischen α -, β -, und γ -Diversität zu vergleichen.*
- Analysen zur funktionellen Zusammensetzung der Artengemeinschaft wurden in Zusammenarbeit mit AP4 (IGB, FU, ZALF) durchgeführt.
- Datensammlung und Analyse wurde in Zusammenarbeit mit AP5 (IGB, FU, ZALF) durchgeführt.
- Regelmäßige Teilnahme an BIBS-Synthese-Postdoc-Treffen
- Teilnahme an Synthese-Workshop zur Identifizierung übergreifender Konzepte zwischen Einzeldisziplinen innerhalb der ökologischen Forschung (AP1-5, alle BIBS Institutionen)
- Teilnahme an AP5 Treffen (IGB, FU, TU, UP, IZW, MfN, ZALF)
- Die Arbeitsstunden der Wissenschaftler S. Wollrab & H.-P. Grossart sowie der Technikerinnen E. Mach & S. Pinnow zur eDNA/eRNA Analyse sowie der bioinformatischen Auswertung und Modellierung wurden über das IGB finanziert.
- Für Konferenzpräsentationen und -beiträge, bitte siehe Liste unten.

Arbeitspaket 5

Die Brückenfunktion für das IGB wurde von Prof. Hans-Peter Grossart, Prof. Jonathan Jeschke sowie Camille Musseau (Postdoc) übernommen. Es gab keine Meilensteine für das IGB.

- Beteiligung an Erstellung von zwei konzeptionellen Artikeln zur „Ecological Novelty“ und zu Effekten auf Ökosystemleistungen bei BioScience unter Leitung von AP5 (Heger et al. 2019, Heger et al. 2020), sowie eines Manuskripts.
- Teilnahme an Synthese-Workshop zur Identifizierung übergreifender Konzepte zwischen Einzeldisziplinen innerhalb der ökologischen Forschung (AP1-5, alle BIBS Institutionen)
- Teilnahme an AP5 Treffen (IGB, FU, TU, UP, IZW, MfN, ZALF)

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Förderung des IGB im BIBS-Projekt umfasste fast überwiegend Personalmittel. Daneben wurden auch Verbrauchsmittel und Dienstreisemittel bewilligt, die überwiegend für die Sequenzierungen (eDNA) und Messungen in AP1&2 verwendet wurden. Die im Jahr 2017 an das IGB zusätzlich gezahlten Mittel für die Sequenzierung aller genommen eDNA sowie Transkriptom (eRNA)-Proben wurden schon in der Phase I eingesetzt und alle Analysen in Phase II erfolgreich abgeschlossen. Das IGB beteiligte sich mit einer eigenen Finanzierung für Arbeitsstunden der Wissenschaftler S. Wollrab, S. Berger, J. Nejtgaard, M. Gessner & H.-P. Grossart, der Technikerinnen E. Mach & S. Pinnow (eDNA/eRNA Probenaufbereitung), sowie der Techniker A. Penske und M. Bodelos (Wartung der LakeScapeLabs). Das IGB stellte auch Investitionen für den Unterhalt der LakeScapeLabs sowie zum Aufbau der Bioinformatik für die bioinformatische Auswertung und Modellierung zur Verfügung.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Aus den im Projekt „Landscape“ vorangegangenen Untersuchungen erwarteten wir, dass in der Regel keine einfachen Beziehungen zwischen Landnutzung in der terrestrischen Umgebung sowie der Konnektivität der Sölle mit der Biodiversität und der Struktur der Organismengemeinschaft in den

Kleingewässern besteht. Dies hat sich im Laufe der Untersuchungen bestätigt. Auch ließ die Zugaben von terrestrischem organischem Material in den Experimenten in den LakeScapeLabs keine einfachen linearen in der Biodiversität, der Nahrungsnetzstruktur und den Ökosystemfunktionen der Gewässer erwarten. Daher war die Anwendung vielfältiger statistischer Verfahren sowie die Entwicklung eines räumlich expliziten Modellansatzes notwendig. Der in dem Verbundvorhaben verfolgte zentrale Ansatz des „Bridging“ erforderte deshalb ein umfangreiches Monitoring an einer möglichst großen Zahl von Untersuchungsflächen (>50 Sölle). Mit dem eDNA und eRNA Ansatz konnte so eine möglichst große Zahl taxonomischer Gruppen (Archaea, Prokaryonten und Eukarya) und ihrer Funktionen untersucht werden. Die Auswahl der Untersuchungsflächen entlang eines Landnutzungsgradienten ermöglichte darüber hinaus, die Effekte der Landnutzung sowie einer Vielzahl potentieller Steuerungsgrößen zu untersuchen. Diese Arbeiten wurden zwischen den BIBS-Partnern aufgeteilt. Die direkte Bestimmung des Phyto- und Zooplanktons in den Söllen (Zusammenarbeit mit dem ZALF) ermöglichte den direkten Vergleich unserer Sequenzdaten, zur besseren taxonomischen Validierung beider Methoden. Die über die einzelnen Teilprojekte hinausgehenden Analysen und deren Publikation konnten jedoch in der ersten Phase des BIBS-Projektes nur teilweise abgeschlossen werden und dauern in der 2. Phase des Projektes an. Alle Daten dienen als Grundlage eines nachhaltigen Gewässermanagements, z.B. um zukünftige Effekte von DOM- und Nährstoffeinträgen auf die Biodiversität einer Landschaft abzuschätzen und "Catchment Restoration Measures" zu bestimmen.

4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Der Schwerpunkt der Arbeiten des IGBs innerhalb des BIBS-Verbundvorhabens liegt auf der Erstellung und Publikation hochrangiger wissenschaftlicher Ergebnisse. Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte waren weder geplant noch sind erfolgt. Die im IGB durchgeführten Arbeiten leisten keinen eigenständigen Beitrag zu möglichen wirtschaftlichen Verwendungen. Sie tragen jedoch in vielfältiger Weise zu den entsprechenden Arbeiten des Konsortiums bei. Sie tragen zu einem besseren Verständnis der vielfältigen Wechselwirkungen bei, die die Biodiversität in stark vom Menschen geprägten Landschaften bestimmen. Damit legen sie die Grundlagen zu ihrem Schutz und Erhalt und damit für ein nachhaltiges Gewässermanagement. Die im Rahmen des BIBS-Projektes anfallenden Daten werden in dem am ZALF angesiedelten zertifizierten Repositorium erfasst, mit einem Digital Object Identifier (DOI) versehen und publiziert. Die Daten stehen somit auch nach Beendigung des BIBS-Projektes für weitergehende Analysen uneingeschränkt und weltweit zur Verfügung. Die Datenrecherche und das Herunterladen der Daten kann dann direkt über den DOI, über das Daten-Portal des ZALF (<http://open-research-data-zalf.ext.zalf.de>) oder über das DataCite-Portal (<https://www.datacite.org/>) erfolgen. Alle Sequenzdaten werden über öffentliche Server wie die NCBI oder ENA-EBI Datenbanken (<https://www.ebi.ac.uk/ena/browser/home>) öffentlich zur Verfügung gestellt.

5. Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Der aktuelle Stand der Forschung wurde permanent verfolgt und wird in den erstellten Publikationen entsprechend dargestellt und bei den eigenen Analysen aufgegriffen. Während der Projektlaufzeit wurden keine Ergebnisse bekannt, die eine prinzipielle Neuausrichtung der eigenen Arbeiten erfordern.

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Veröffentlichungen:

2019

1. Günthel, M., Donis, D., Kirillin, G., Ionescu, D., Bižić, M., McGinnis, D. F., ... & Tang, K. W. (2019). Contribution of oxic methane production to surface methane emission in lakes and its global importance. *Nature Communications*, 10(1), 1-10.
2. Heger, T., Bernard-Verdier, M., Gessler, A., Greenwood, A. D., Grossart, H. P., Hilker, M., ... & Müller, J. (2019). Towards an integrative, eco-evolutionary understanding of ecological novelty: Studying and communicating interlinked effects of global change. *BioScience*, 69(11), 888-899. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz095>
3. Minguez, L., Sperfeld, E., Berger, S. A., Nejstgaard, J. C., & Gessner, M. O. (2019). Changes in food characteristics reveal indirect effects of lake browning on zooplankton performance. *Limnology and Oceanography* 65, 1028-1040.

2020

4. Bižić*, M., Klintzsch*, T., Ionescu*, D., Hindiyeh, M. Y., Günthel, M., Muro-Pastor, A. M., ... & Grossart, H.-P. (2020). Aquatic and terrestrial cyanobacteria produce methane. *Science Advances*, 6(3), eaax5343. *Authors contributed equally to the manuscript.
5. Fasching, C., Akotoye, C., Bižić, M., Fonvielle, J., Ionescu, D., Mathavarajah, S., ... & Xenopoulos, M. A. (2020). Linking stream microbial community function to dissolved organic matter and inorganic nutrients. *Limnology and Oceanography*, 65(1), 71–87.
6. Grossart, H. P., Massana, R., McMahon, K. D., & Walsh, D. A. (2020). Linking metagenomics to aquatic microbial ecology and biogeochemical cycles. *Limnology and Oceanography*, 65, S2-S20.
7. Günthel, M., Klawonn, I., Woodhouse, J., Bižić, M., Ionescu, D., Ganzert, L., ... & Tang, K. W. (2020). Photosynthesis-driven methane production in oxic lake water as an important contributor to methane emission. *Limnology and Oceanography*, 65(12), 2853–2865.
8. Heger, T., Bernard-Verdier, M., Gessler, A., Greenwood, A., Grossart, H.-P., Hilker, M., ... & Jeschke, J. M. (2020). Clear language for ecosystem management in the Anthropocene: A reply to Bridgewater and Hemming. *BioScience*, 70(5), 374–376.
9. Karnatak, R. & Wollrab, S. (2020). A probabilistic approach to dispersal in spatially explicit meta-populations. *Scientific Reports*, 10, 22234.

2021

10. Fonvielle, J. A., Giling, D. P., Dittmar, T., Berger, S. A., Nejstgaard, J. C., Lyche Solheim, A., Gessner M.O., Grossart, H-P., & Singer, G. (2021). Exploring the suitability of ecosystem metabolomes to assess imprints of brownification and nutrient enrichment on lakes. *Biogeosciences*, 126, e2021JG006266.
11. Ionescu, D., Zoccarato, L., Zaduryan, A., Schorn, S., Bižić, M., Pinnow, S., ... & Grossart, H. P. (2021). Heterozygous, polyploid, giant bacterium, *Achromatium*, possesses an identical functional inventory worldwide across drastically different ecosystems. *Molecular Biology and Evolution*, 38(3), 1040-1059.
12. Jechow, A., Schreck, G., Kyba, C.C.M., Berger, S.A., Thuile Bistarelli, L., Bodenlos, M., Gessner,

M.O., Grossart, H-P., Kupprat, F., Nejtgaard, J.C., Pansch, A., Penske, A., Sachtleben, M., Shatwell, T., Singer, G.A., Stephan, S., Walles, T.J., Wollrab, S., Zielinska-Dabkowska, K.M. & Hölker, F. (2021). Design and implementation of an illumination system to mimic skyglow at ecosystem level in a large-scale lake enclosure facility. *Scientific Reports* 11, 23478, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02772-4>.

13. Keinath, S., Hölker, F., Müller, J., & Rödel, M.-O. (2021). Impact of light pollution on moth morphology – a 137-year study in Germany. *Basic and Applied Ecology*, 56, 1–10.
14. Onandia, G., Maassen, S., Musseau, C. L., Berger, S. A., Olmo, C., Jeschke, J. M., & Lischeid, G. (2021). Key drivers structuring rotifer communities in ponds: insights into an agricultural landscape. *Journal of Plankton Research*, 43, 396-412.

2022

15. Bižić, M., Ionescu, D., Karnatak, R., Musseau, C. L., Onandia, G., Berger S. A., Neistgaard, J., Lischeid, G., Gessner, M. O., Wollrab, S., & Grossart, H-P. (2022). Land use temporarily affects active pond-community structure but not gene expression patterns. *Molecular Ecology* 31, 1716-1734. (<https://doi.org/10.1111/mec.16348>)
16. Ionescu, D., Bižić, M., Karnatak, R., Musseau, C. L., Onandia, G., Berger S. A., Neistgaard, J., Lischeid, G., Gessner, M. O., Wollrab, S., & Grossart, H-P. (im Druck). From microbes to mammals: pond biodiversity homogenization across different land-use types in an agricultural landscape. *Ecological Monographs*. (<https://doi.org/10.1002/ecm.1523>)
17. Scherer-Lorenzen, M., Gessner, M.O., Beisner, B.E., Messier, C., Paquette, A., Petermann, J.S., Soininen, J., & Nock, C.A. (2022) Pathways for cross-boundary effects of biodiversity on ecosystem functioning. *Trends in Ecology & Evolution* (<https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.12.009>)

In Begutachtung und Preprints:

1. Synodinos, A. D., Karnatak, R., Aguilar-Trigueros, C. A., Gras, P., Heger, T., Ionescu, D., Maaß, S., Musseau, C. L., Onandia, G., Planillo, A., Weiss, L., Wollrab, S., & Ryo, M. The rate of environmental change as an important driver across scales in ecology. (in Überarbeitung) preprint available on EcoEvoRxiv, doi: 10.32942/osf.io/ajeyz
2. Walles et al. (in Begutachtung für L & O Methods) Using a hand-operated imager, hose sampler, laboratory imager and deep-learning data processing for robust automated determination of zooplankton composition, size and fine-scale vertical distribution of freshwater mesozooplankton.
3. Fonvielle et al. (in Begutachtung für Freshwater Biology). Artificial light at night affects diel dynamics of a lake's microbial loop.
4. Numberger, D., Zoccarato, L., Woodhouse, J., Ganzert, L., Sauer, S., Grossart, H. P., & Greenwood, A. (Preprint). Urbanization promotes specific bacteria in freshwater microbiomes including potential pathogens. BioRxiv, 173328.

Geplante Veröffentlichungen:

Zeitschriften mit Peer-Review:

1. Giling, D.P., Berger, S.A., Nejtgaard J.C., ..., Lyche-Solheim, A., & Gessner, M.O. (In prep) Multiple stressors interactively affect coupled metabolic processes in experimental lakes.

2. Grubisic M., Trbojevic I., Hölker F., Monaghan, T.M., Funke E., Berger, S.A., Gessner, M.O., Jechow A., Kyba, C.C.M., Nejstgaard, J.C., Singer, G.A., & Hilt, S. (In prep) Light in the dark? Globally increasing stress by skyglow modifies browning effects on freshwater ecosystems.
3. Guislain, A.L.N., Nejstgaard, J.C., Lyche Solheim A., Mischke U., Skjelbred B., Grossart H-P, Gessner M.O., ... & Berger S.A. (In prep). Storm-induced brownification increases species evenness in phytoplankton communities.
4. Guislain, A.L.N., et al. Multimodality of species size distribution maintains phytoplankton coexistence after storm-induced brownification.
5. Guislain, A.L.N., et al. Eco-physiological response of phytoplankton to a storm-induced browning: a large-scale enclosure experiment
6. Hanson T.H. et al. (in prep) The bright side of brownification: implications for CH₄ concentrations in illuminated surface waters.
7. Karnatak, R. et al. [a] (in prep) Meta-community dynamics in a spatial explicit model with probabilistic dispersal taking into account competitive and trophic interactions.
8. Karnatak, R. et al. [b] (In prep) Auto-correlation patterns based on a spatial explicit meta-community model with probabilistic dispersal.
9. Lokatis, S., Heger, T., Bernard-Verdier, M., Kowarik, I., Buchholz, S., H-P Grossart, ...& Jeschke, J. M. (In prep) Hypothesis in urban ecology: towards a community-curated knowledge base.
10. Lyche Solheim, A. et al. (In prep) Impacts of multiple stressors on phytoplankton in stratified lakes with focus on Cyanobacteria using experimental and empirical datasets.
11. Nejstgaard et al. (In prep) Effect of artificial night at light on migration patterns of crustacean lake zooplankton in a large-scale experimental facility.
12. Onandia, G.*, Bižić, M*, Ionescu*, ... Grossart, H.P., & Berger, S.A (In prep) First report of the marine harmful bloom forming genus *Chattonella* (Raphidophyceae) occurrence in freshwater ponds.
13. Stephan et al. (In prep) Skyglow has minor impacts on lake phytoplankton in an ecosystem-scale enclosure experiment.
14. Stephan, S., Berger, S. A., Sperfeld, E., Nejstgaard, J. C., Roßberg, R., Mischke, U., Skjelbred, B., Giling, D. P., Lentz, M., Gundersen, H., Grossart, H. P., Lyche Solheim, A., & Gessner, M.-O. (In prep) Collapse and recovery of phytoplankton primary production and biomass in large-scale enclosures following an experimental browning and nutrient pulse.
15. Stratmann et al. (In prep) Exoenzymatic activities of lake microplankton exposed to browning and nutrient enrichment in an ecosystem-scale experiment.

Vorträge:

1. Berger SA, Ogashawara I, Wollrab S: Organizers of special session: Connecting in-situ sensor networks and remote sensing to understand the complex ecology of aquatic landscapes. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting (virtual)
2. Berger SA*, Wollrab S*, Nejstgaard JC, Grossart H-P, Hölker F, Jechow A, Kiel C, Kohnert K, Ogashawara I, Singer GA, Fischer J, Ruhtz T, Gege P, Plattner S, Sachs T, Lischeid G, Röttgers R, Hieronymi M, Schneider T. A META-ECOSYSTEM PERSPECTIVE ON RESPONSE PATTERNS TO LOCALIZED IMPACTS IN RIVER-CONNECTED LAKES. ASLO 2021 Aquatic Sciences Meeting

(virtual), *presenter

3. Ogashawara I, Jechow A, Kiel C, Kohnert K, Nejstgaard JC, Grossart H-P, Singer, Gabriel A, Hölker F, Fischer J, Gege P, Röttgers R, Schneider T, Lischeid G, Sachs, T, Wollrab S, Berger SA. Using Sentinel 2 images for monitoring chlorophyll-a in river-connected lakes. ASLO Aquatic Sciences Meeting 2021 (virtual), Mallorca, Spain
4. Jechow A, Kiel C, Kohnert K, Ogashawara I, Archer B, Schreck G, Bumberger J, Palm B, Remmler P, Fischer J, Gege P, Lischeid G, Röttgers R, Ruhtz, Thomas, Sachs, T., Grossart H-P, Hölker F, Nejstgaard, Jens C., Singer, Gabriel A., Wollrab S, Berger SA. Dynamics of river-connected lakes observed by high-frequency in-situ probes on low-cost buoy systems. ASLO Aquatic Sciences Meeting 2021 (virtual), Mallorca, Spain
5. Kiel C, Jechow A, Ogashawara I, Kohnert K, Nejstgaard, Jens C., Grossart H-P, Hölker F, Singer, Gabriel A., Lischeid G, Fischer, J., Ruhtz, Thomas, Gege P, Plattner, Stefan, Sachs, T., Röttgers R, Hieronymi M, Schneider, T., Wollrab S, Berger SA. Connectivity of lakes: Advanced monitoring of river-connected inland waters by combined in-situ and lab analyses. ASLO Aquatic Sciences Meeting 2021 (virtual), Mallorca, Spain
6. Kohnert K, Dämpfling H, Hintze T, Ogashawara I, Jechow A, Kiel C, Lischeid G, Nejstgaard, Jens C., Hölker F, Fischer J, Gege P, Röttgers R, Schneider T, Sachs T, Grossart H-P, Singer, Gabriel A., Berger SA., Wollrab S. Temporal variability and spatial heterogeneity in CO₂ and CH₄ fluxes derived from automated flux chamber measurements on lakes in Germany. ASLO Aquatic Sciences Meeting 2021 (virtual), Mallorca, Spain
7. Ionescu D, Bizic-Ionescu M, Karnatak R, Musseau C, Onandia G, Berger SA., Nejstgaard JC, Lischeid G, Gessner, Mark O., Wollrab S, Grossart H-P. From microbes to mammals: agriculture homogenizes pond biodiversity across different land-use types. ASLO Aquatic Sciences Meeting 2021 (virtual), Mallorca, Spain.
8. Jechow A, ..., Wollrab S & Berger SA. Remote sensing and in-situ monitoring of river-connected German lowland lakes, 5th Water resources and wetlands 2021, Tulcea, Romania
9. Jechow A, ..., Wollrab S & Berger SA. Dynamics of river-connected inland waters observed by high frequency in-situ probes on low-cost buoy systems. ASLO Virtual Meeting 2021, Mallorca, Spain
10. Ionescu D, Bizic-Ionescu M, Karnatak R, Musseau C, Onandia G, Berger SA., Nejstgaard JC, Lischeid G, Gessner, Mark O., Wollrab S, Grossart H-P. From microbes to mammals: agriculture homogenizes pond biodiversity across different land-use types. The DNAQUA International Conference 2021, Evian, France
11. Ogashawara I, Jechow A, Kiel C, Kohnert K, Berger SA., Wollrab S, Nejstgaard JC, Grossart H-P, Singer, Gabriel A., Hölker F, Ruthz T, Fischer J, Brell M, Gege P, Röttgers R, Schneider T, Lischeid G, Sachs T. Using multi-platform remote sensing measurements for monitoring chlorophyll-a concentration in river connected lakes, GLEON 21.5 Virtual Meeting 2021,
12. Günther K, Kasprzak P, Padisak J, Mehner T, Kiel C, Berger SA, Bižić M, Ionescu D, Grossart H-P, Wollrab S. From empirical data to food web models - investigation of dynamic features of freshwater communities based on major energy pathways. Symposium on Aquatic Microbial Ecology (SAME) 2019, Potsdam, Germany

Poster:

1. Bižić M., Klintzsch T., Ionescu D., Hindiyeh, M. Y, Günthel, M., Muro-Pastor A.M, Eckert W., Urich T., Keppler F., Grossart H.-P.: Aquatic and terrestrial Cyanobacteria produce methane. Society of Aquatic Microbial Ecology (SAME 16), Potsdam Germany, 1-6.9.2019.
2. Ionescu, D., Bizic-Ionescu, M., Karnatak, R., Musseau, C., Onandia, G., Berger, S.A., Nejstgaard, J.C., Jeschke, J.M., Lischeid, G., Gessner, M.O., Wollrab, S., Grossart, H.-P.: Kettle holes as model meta-ecosystems to study land-use effects on aquatic biodiversity. Society of Aquatic Microbial Ecology (SAME 16), Potsdam Germany, 1-6.9.2019.
3. Wollrab S, Berger SA, Nejstgaard JC, Grossart H-P, Hölker F, Jechow A, Kiel C, Kohnert K, Ogashawara I, Singer GA, Fischer J, Ruhtz T, Gege P, Plattner S, Sachs T, Lischeid G, Röttgers R, Hieronymi M, Schneider T. Signal transport along river-connected lake systems – theoretical predictions and empirical patterns. British Ecological Society: Ecology across borders 2021. Annual Meeting with the French Society for Ecology and Evolution (SFE), Liverpool, UK

Dissertationen:

1. Stephan, S. (2020). Effects of artificial light at night, browning and eutrophication on freshwater phytoplankton. Doctoral Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin.
2. Walles, T.J.W. (2020). Mesozooplankton studies through automation and machine learning. Doctoral Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin.

Medienprodukte (Interviews, Fernsehbeiträge, Podcast usw.)

Ab April 2019

Allgemein

- Präsentation des Seelabors auf einer eigenen Webseite (www.seelabor.de); Betreuung durch N. Neumann (IGB)
- Intensive Öffentlichkeits- und Medienarbeit am Seelabor zur Versuchsanlage und zu laufenden Projekten; Koordination durch N. Neumann (IGB)
- Regelmäßige Treffen mit regionalen Stakeholdern aus dem Naturpark Stechlin-Ruppiner Land, Ämtern (Gemeinde und Landkreis), Naturschutzverbänden (z.B. NABU Brandenburg) sowie Natur- und Gewässerschutzprojekten

Medienmitteilungen

2022

21. März 2022. [IGB Webseite: Fokus "Warum auch ganz kleine Gewässer schützenswert sind" zum #Weltwassertag | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

18. Januar 2022. [IGB Website: Fokus: „Dünnes Eis für Seen weltweit“ | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

2021

02.12.2021 - [Der Süßwasser-Biodiversität einen Platz am Tisch einräumen | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

29.11.2021 - [Wie der Klimawandel unsere Gewässer verändert | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

29.10.2021 - [COP26: Binnengewässer besser in der Klimapolitik berücksichtigen | IGB \(igb-berlin.de\)](#) dazu auch Statement der Fachgesellschaften: [200914 Statement Wasseroekosysteme-Klima_DE.pdf \(dgl-ev.de\)](#)

25.10.2021 - [Phytoplankton bildet Methan | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

09.09.2021 - [Bundestagswahl: Forschung empfiehlt eine nachhaltigere Gewässerpolitik | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

22.09.2021 - [Insekten unter Wasser reagieren empfindlich auf Lichtverschmutzung | IGB \(igb-berlin.de\)](#) (bin nicht sicher, ob auch im Rahmen von ILES geschehen)

09.07.2021 - [Leibniz-Forschungsnetzwerk zum Anthropozän | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

18.06.2021 - [Deutsche Wasserforschung veröffentlicht Position zur Nationalen Wasserstrategie | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

01.02.2021 - [Kleingewässer trotzen den Stürmen | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

2020

IGB Jahresforschungsbericht 2020 „Ein neues Modell, um die räumliche Verteilung von Arten besser zu verstehen“

19.11.2020 - [Aquatisches Riesenbakterium ist ein Anpassungsgenie | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

12.10.2020 - [14 Empfehlungen für den Schutz der Süßwasser-Biodiversität nach 2020 | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

05.10.2020 - [Fernerkundungsdaten könnten zukünftig Monitoring und Schutz von Seen erleichtern | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

15.06.2020 - [1+1=3 | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

01.05.2020 - [Unterschätzt: CO2-Emissionen trockengefallener Gewässerbereiche | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

03.04.2020 - [Schlafen Stadt-Fische schlechter? | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

24.01.2020 - [Die hohe Relevanz von Binnengewässern und ihrer Biodiversität | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

15.01.2020 - [Cyanobakterien im Wasser und an Land als Quelle für Methan identifiziert | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

2019

IGB Jahresforschungsbericht 2019 „Fernerkundungsdaten könnten zukünftig Monitoring und Schutz von Seen erleichtern“

05.12.2019 - [Sauerstoffreiche Seen als Quelle für Methan identifiziert | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

14.05.2019 - [Lebendiges Wasser | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

25.04.2019 - [Messbojen auf Seenketten | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

12.04.2019 - [Nicht mehr nur „mikrobielle schwarze Materie“ | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

Medienbeiträge

[21.09.2020 - IGB-Forscherin Mina Bizic im Marthe-Vogt-Podcast | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

Berichte in de und eng auf den Websites www.seelabor.de und www.lake-lab.de

CONNECT twitter account <https://twitter.com/connectigb?lang=de>

Veranstaltungen:

- 30.11.2019 - „Dialog am Stechlinsee: Fische, Fischerei und Seen im Wandel“, 40 Teilnehmer
- 06.10.2021 - „Dialog am Müggelsee: Massenentwicklung von Wasserpflanzen: Ursachen, ökologische Bedeutung und nachhaltiges Management“, 50 Teilnehmer
- 01.09.2019-~~06.09.2019~~ - [„Ein gutes Treffen: Das 16. Symposium für aquatische mikrobielle Ökologie“ | IGB \(igb-berlin.de\)](#), 250 Forschende aus 30 Ländern

Wichtige Besuchergruppen:

05.08.2021 - [„Der Stechlin liegt den Leuten am Herzen“ | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

24.08.2020 - [Staatssekretärin Silvia Bender zu Gast am IGB | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

[11.06.2019 - Artists in Residence am IGB | IGB \(igb-berlin.de\)](#)

Preise

[04.11.2021 - DGL-Nachwuchspreis für zwei IGB-Forscher | IGB \(igb-berlin.de\)](#)