

Universität Duisburg-Essen (UDE)
 Fakultät für Biologie
 Abteilung Aquatische Ökologie
 Universitätsstr. 5, 45117 Essen



Zuwendungsempfänger: Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Biologie, Abteilung Aquatische Ökologie, Prof. Dr. Daniel Hering	Förderkennzeichen: 01DH19018
Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Zustand und Bewirtschaftung temporärer Gewässer im Mittelmeerraum (INWAT); Teilvorhaben: Ökologische Bewertung	Akronym: INWAT
Laufzeit: 01.08.2019 - 30.06.2023	Berichtszeitraum: 01.08.2019-30.06.2023
Dokument: Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil I Kurzbericht	

Einleitung

Der Mittelmeerraum ist besonders in den Sommermonaten klimatisch bedingt durch Wasserknappheit geprägt. Viele Fließgewässer trocknen deswegen zwischen Mai und Oktober aus und sind somit nur temporär wasserführend. Anthropogen bedingte Stressoren, wie Einleitungen von Abwässern, Begradigungen, Wasserentnahmen für Bewässerung oder Sediment-, Pestizid- und Nährstoffzufuhr aus landwirtschaftlichen Flächen, wirken zudem auf diese temporären Gewässer genauso wie auf permanente. Historisch bedingt werden aber Forschungen zu Auswirkungen von Stressoren und deren ökologische Bewertung hauptsächlich an permanenten Gewässern durchgeführt. Eine einfache Übertragung und Anwendung dieser Bewertung auf temporäre Gewässer ist nicht direkt möglich, da temporäre Gewässer von einer spezialisierten Biozönose besiedelt sind. Allerdings ist eine ökologische Bewertung auch der temporären Gewässer für das Monitoring der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie notwendig. Hierbei sind Daten zur Stressorenintensität notwendig als auch zu den Auswirkungen der verschiedenen Stressoren auf die Bewohner der temporären Gewässer. Beide Themen sind bis dato noch nicht vollständig verstanden. Bewertungssysteme auf der Basis von Gewässerbewohnenden Organismen gibt es für die temporären Fließgewässer nicht. Darüber hinaus wird eine Bewirtschaftung wegen der durch den Klimawandel weiter verstärkte Wasserknappheit immer wichtiger.

Das Verbundprojekt INWAT (<https://inwatproject.eu>) hatte zum Anspruch, genau diese Schnittstellen zu untersuchen und hatte somit als übergeordnetes Ziel neue Methoden zur Bewertung und zur Bewirtschaftung temporärer Fließgewässer im Mittelmeerraum zu entwi-

ckeln. Zusammen mit sechs Partnern in verschiedenen Ländern rund um das Mittelmeer (Spanien, Frankreich, Italien, Jordanien, Tunesien, Algerien) wurden diese Themen in einem dreijährigen Projektzeitraum untersucht. Die Arbeiten der Universität Duisburg-Essen konzentrierten sich dabei auf die Erforschung des ökologischen Zustandes temporärer Gewässer rund um das Mittelmeer und der Entwicklung biologischer Bewertungsverfahren basierend auf dem Makrozoobenthos (Kleintiere, die auf der Gewässersohle leben) und auf Diatomeen (Kieselalgen).

Methoden

Die Arbeiten der Abteilung Aquatische Ökologie der Universität Duisburg-Essen gliederten sich in drei aufeinanderfolgende Arbeitspakete. In der ersten Phase wurde eine Literaturrecherche zu temporären Gewässern im Mittelmeerraum, ihrer Besiedlung, möglicher Besammlungsmethoden, und Ansätzen von Bewertungen in mediterranen Ländern durchgeführt. Auf dieser Basis wurde eine standardisierte Besammlungsmethodik entwickelt, die im zweiten Arbeitspaket angewendet wurde. Des Weiteren wurden Daten der EU-Datenbank zur Gewässerbewertung in Europa in Hinsicht auf Vorkommen von temporären Gewässern im Mittelmeerraum und ihre aktuelle Bewertung und deren Stressoren analysiert. Diese Daten wurden in einer multivariaten Analyse mit Landnutzungsdaten aus dem EU-Projekt MARS (<http://www.mars-project.eu/>) verschnitten, um die Hauptstressoren für temporäre Gewässer herauszuarbeiten. Im zweiten Arbeitspaket wurden in den Partnerländern in Kooperation mit den jeweiligen Partnern biologische Probenahmen von Kieselalgen und Makrozoobenthos an temporären Fließgewässern durchgeführt und dann mit wasserchemischen und stellenspezifischen morphologischen Daten verschnitten um die Hauptstressoren der Gewässer mit Hilfe der beiden biologischen Komponenten abzubilden. Im dritten Arbeitspaket wurden auf Grundlage dieser Daten biologische Metriken berechnet und Indikatoren herausgearbeitet, die die Stressoren der temporären Gewässer abbilden und zur Bewertung herangezogen werden können.

Ergebnisse

Auf der Grundlage der an die EU gemeldeten WRRL-Daten und der Daten des MARS-Projektes wurden landwirtschaftliche Nutzung und urbane Punktquellen als Hauptstressoren für die Lebensgemeinschaften in temporären mediterranen Gewässern identifiziert. Hierbei zeigten Fische und Makrozoobenthos im Vergleich eine deutlich schlechtere Bewertung als die pflanzlichen Komponenten (Makrophyten, Kieselalgen). Die bis dato angewendeten Bewertungssysteme decken besonders die hydrologischen Stressoren nicht adäquat ab und somit sind neue Bewertungssysteme dringend erforderlich.

Die Analyse der selbst erhobenen biologischen Daten der beiden Gruppen Kieselalgen und Makrozoobenthos zeigte, dass beide Gruppen sich in ihrer Indikation von Belastung komplementär ergänzen. Die Kieselalgen indizierten vornehmlich die stoffliche Belastung und die Salzbelastung der untersuchten Gewässer während das Makrozoobenthos vornehmlich die organische Belastung anzeigte. Für beide Organismengruppen wurden Vorschläge erarbeitet, wie sie zur Bewertung von temporären Gewässern und ihrer Stressoren genutzt werden können.

Die Ergebnisse wurden auf einem Workshop aller Projektteilnehmer und Vertretern der Wasserwirtschaft in Tunesien vorgestellt und diskutiert.

Universität Duisburg-Essen (UDE)
 Fakultät für Biologie
 Abteilung Aquatische Ökologie
 Universitätsstr. 5, 45117 Essen



<p>Zuwendungsempfänger: Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Biologie, Abteilung Aquatische Ökologie, Prof. Dr. Daniel Hering</p>	<p>Förderkennzeichen: 01DH19018</p>
<p>Vorhabensbezeichnung: Verbundvorhaben: Zustand und Bewirtschaftung temporärer Gewässer im Mittelmeerraum (INWAT); Teilvorhaben: Ökologische Bewertung</p>	<p>Akronym: INWAT</p>
<p>Laufzeit: 01.08.2019 - 30.06.2023</p>	<p>Berichtszeitraum: 01.08.2019-30.06.2023</p>
<p>Dokument: Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II Eingehende Darstellung</p>	

Teil II: Eingehende Darstellung

1. Arbeitsplan des Projektes

Das Verbundprojekt INWAT (<https://inwatproject.eu>) hatte als übergeordnetes Ziel, neue Methoden zur Analyse, Bewertung und Vorhersage der Hydrologie, des chemischen und ökologischen Zustandes und zur Bewirtschaftung temporärer Fließgewässer im Mittelmeerraum zu entwickeln. Zusammen mit sechs Partnern in verschiedenen Ländern rund ums Mittelmeer (Spanien, Frankreich, Italien, Jordanien, Tunesien, Algerien) wurden diese Themen in einem dreijährigen Projektzeitraum bearbeitet.

Die Abteilung Aquatische Ökologie der Universität Duisburg-Essen führte das Arbeitspaket 3 durch, das sich mit ökologischer Bewertung temporärer Gewässer beschäftigte. Die Arbeiten Essen konzentrierten sich auf die Untersuchung des ökologischen Zustandes temporärer Gewässer rund um das Mittelmeer und der Entwicklung biologischer Bewertungsverfahren basierend auf dem Makrozoobenthos (Kleintiere, die auf der Gewässersohle leben) und auf Diatomeen (Kieselalgen).

2. Aufgabenstellung des Teilprojektes und Untersuchungsansatz

Die Arbeiten der Abteilung Aquatische Ökologie der Universität Duisburg-Essen gliederten sich in drei aufeinanderfolgende und aufeinander aufbauende Teilarbeitspakete. Teilprojekt 3.1 gliederte sich dabei in zwei Unterpakete. Einerseits wurden vorhandene Daten der EU mit wissenschaftlichen Erkenntnissen zu Stressoren in den Einzugsgebieten von temporären Gewässern im Mittelmeerraum verschnitten. Dazu wurden Daten der EU-Datenbank zur Gewässerbewertung in Europa (WFD WISE database) in Hinsicht auf Vorkommen von temporären Gewässern im Mittelmeerraum und ihre aktuelle Bewertung und deren Stressoren analysiert. Diese Daten wurden in einer multivariaten Analyse mit Landnutzungsdaten aus dem EU-Projekt MARS (<http://www.mars-project.eu/>) verschnitten, um die Hauptstressoren für temporäre Gewässer herauszuarbeiten. Zudem wurde eine Literaturrecherche zu temporären Gewässern im Mittelmeerraum, ihrer Besiedlung, möglicher Besammlungsmethoden, und Ansätzen von Bewertungen in mediterranen Ländern, durchgeführt. Auf dieser Basis wurde eine standardisierte Besammlungsmethodik entwickelt, die im zweiten Teilprojekt angewandt wurde.

Im Teilprojekt 3.2 wurden in den Partnerländern in Kooperation mit den lokalen Partnern biologische Probenahmen von Kieselalgen und Makrozoobenthos an temporären Fließgewässern durchgeführt und dann mit wasserchemischen und stellenspezifischen morphologischen Daten verschnitten, um die Hauptstressoren der Gewässer mit Hilfe der beiden biologischen Komponenten abzubilden.

Im Teilprojekt 3.3 wurden diese selbst erhobenen Daten dann verschiedenen Auswerteschritten und Analysen unterzogen. Es wurden auf Grundlage der Taxalisten biologische Metriks berechnet und Indikatoren herausgearbeitet, die Stressoren der temporären Gewässer abbilden. Diese Berechnungen wurden sowohl für das Makrozoobenthos als auch für die Kieselalgen durchgeführt. Die Metrik-Ergebnisse wurden dann, unter Hinzuziehung von abiotischen Stellenparametern, Korrelationsanalysen und Redundanzanalysen unterzogen, um Metriks herauszufiltern, die die Degradationen der Stellen am besten beschreiben. Diese Metriks und Indikatoren wurden schließlich zur Bewertung von Degradation in temporären Gewässern vorgeschlagen.

3. Anpassungen des Arbeitsplans aufgrund der Corona-Pandemie

Die Corona-Pandemie beeinträchtigte und veränderte den Arbeitsplan des INWAT-Projektes erheblich. Die für das erste Projektjahr (2020) geplanten Probenahmen in Jordanien und Spanien musste abgesagt bzw. verschoben werden. Auch die für das Folgejahr geplanten Probenahmen in den Partnerländern mussten wegen der Pandemie verschoben werden.

Das Jahr 2020 und 2021 wurde dazu genutzt, das Teilprojekt 3.1 deutlich intensiver zu bearbeiten. Die Datenbasis der EU-weiten Daten von temporären Gewässern wurde durch viele zusätzliche Konsultationen von europäischen Experten erheblich aufbereitet, erweitert und verbessert. Diese Experten konnten dann auch als Co-Autoren des aus den Arbeiten resultierenden Artikels gewonnen werden. Des Weiteren konnte die Literaturstudie zu den bereits vorhandenen Besammlungs- und Bewertungsverfahren für temporäre Gewässer deutlich ausgeweitet werden. Darüber hinaus wurden Trainings-Videos gedreht um den spanischen und französischen Partnern die Besammlungsmethodiken für die Beprobung von Diatomeen und Makrozoobenthos zu erklären. Auf Grundlage dieser Videos konnten die Projektpartner in ihren beiden Ländern Proben bereits im Jahr 2021 nehmen. Diese Proben wurden zur Bearbeitung an die Universität Duisburg-Essen geschickt, so dass das Teilprojekt 3.2 doch bereits 2021 beginnen konnte.

Die PRIMA-Verwaltung stimmte zusammen mit dem für die Universität Duisburg-Essen zuständigen deutschen Auftraggeber, dem Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (PT-DLR), auf Grund dieser Verzögerungen einer kostenneutralen Verlängerung des Projektes bis zum 30.6.2023 zu.

Die im Arbeitspaket 3.2 durchzuführenden Probenahmen in den Partnerländern wurden, ausgenommen der in Spanien und an einem Fluss in Frankreich genommenen Proben, somit um zwei Jahre verschoben und starteten erst Anfang 2022 und nicht wie geplant Anfang 2020. Im Jahr 2022 konnten trotz immer noch herrschender Corona-Einschränkungen zumindest in Jordanien, Frankreich und teilweise in Tunesien Probenahmen durchgeführt werden. Ende Januar/Anfang Februar 2023 und Mitte März wurden dann die noch verbliebenen Probenahmen in Italien und in Tunesien durchgeführt. Letztere konnte direkt mit einem Projekttreffen und einem Workshop des Gesamtprojektes verknüpft werden. Die ausstehenden Analysen der Daten wurden im Vorhinein soweit vorbereitet und automatisiert, dass sie noch alle im Projektzeitraum durchgeführt werden konnten.

4. Ergebnisse

4.1 Großräumiger Überblick über die Verbreitung und den ökologischen Zustand von temporären Fließgewässern im Mittelmeerraum

Temporäre Fließgewässer sind im Mittelmeerraum weit verbreitet und stellen eine Herausforderung für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und anderer Umweltvorschriften dar. Überraschenderweise fehlt bisher eine übergreifende Analyse ihres ökologischen Zustands und der Belastungen, die sie beeinflussen. Wir haben Daten zum ökologischen Zustand von 1504 temporären Flüssen (Abb. 1) in sieben europäischen Mittelmeerländern zusammengestellt und ihren ökologischen Zustand (1) mit öffentlich zugänglichen Daten über Belastungen aus dem europäischen WISE-WFD-Datensatz und (2) mit sieben spezifischeren Stressfaktoren, die auf der Ebene von Teileinzugsgebieten modelliert wurden, in Beziehung gesetzt.

Mehr als 50 % der temporären Wasserkörper in den Mittelmeerländern erreichten einen guten oder sogar sehr guten ökologischen Zustand. Im Allgemeinen waren die aus der Bewertung von Phytobenthos und Makrophyten abgeleiteten Zustandsklassen höher als die Zustandsklassen, die mit benthischen Wirbellosen oder Fischen berechnet wurden. Von den allgemeineren Belastungen, die an die WISE-WFD-Datenbank gemeldet wurden, waren die wichtigsten für temporäre Flüsse „diffuse landwirtschaftliche Belastungen“ und „punktueller kommunale Abwässer“. Von den modellierten spezifischeren Stressoren erklärte die landwirtschaftliche Flächennutzung den ökologischen Gesamtzustand am besten, gefolgt von der Gesamtstickstoffbelastung und der urbanen Flächennutzung, während toxische Stoffe, die Gesamtposphorbelastung und hydrologische Stressoren weniger relevant waren. Die Stressoren waren jedoch unterschiedlich relevant, wobei der Gesamtstickstoff für Makrophyten am wichtigsten war und die landwirtschaftliche Flächennutzung für Phytobenthos, benthische Wirbellose und Fische. Bei den Makrophyten nimmt die ökologische Qualität mit der Intensität der Stressoren zu. Die Ergebnisse unterstreichen die übergeordnete Wirkung der Landnutzungsintensität auf den ökologischen Zustand von temporären Wasserkörpern.

Allerdings spiegeln die Bewertungsergebnisse den hydrologischen Stress nicht ausreichend wider, was höchstwahrscheinlich daran liegt, dass die biologischen Indikatoren, die zur Bewertung dieser Systeme verwendet werden, für perennierende Wasserkörper konzipiert wur-

den. Wir kommen zu dem Schluss, dass Biomonitoring-Systeme angepasst oder neu entwickelt werden müssen, um der besonderen Situation von temporären Wasserkörpern besser Rechnung zu tragen.

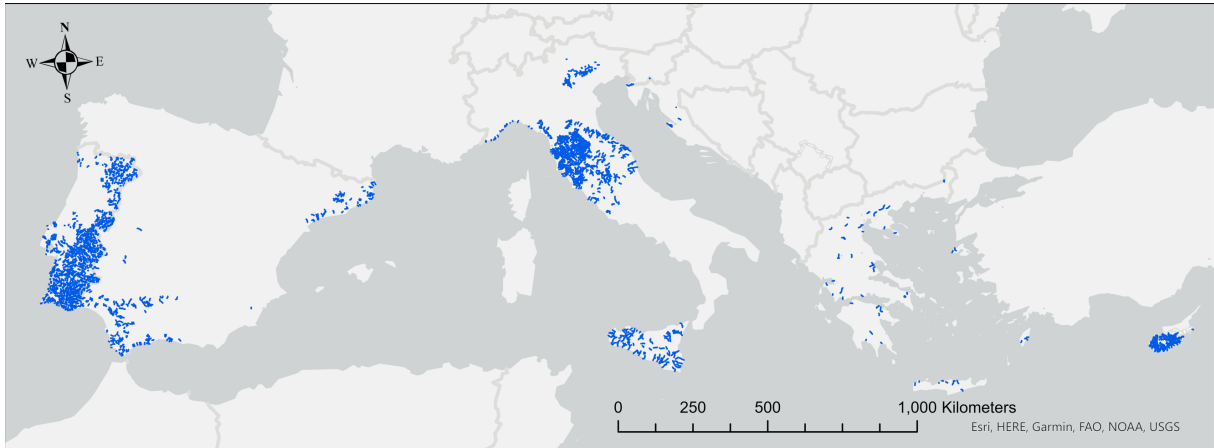


Abbildung 1: Verteilung temporärer Wasserkörper im Mittelmeerraum auf Grundlage des zweiten Bewirtschaftungsplans für Flusseinzugsgebiete, wie von den EU-Mitgliedstaaten an die WISE-WFD-Datenbank gemeldet.

Übersicht über die ökologischen Zustandsklassen

Insgesamt befanden sich 46,1 % aller temporären Wasserkörper in einem *guten* oder *sehr guten* ökologischen Zustand und weitere 34,1 % in einem *mäßigen* Zustand. Spanien und Griechenland meldeten die meisten Wasserkörper mit einem *schlechten* oder *unbefriedigenden* Zustand, während Zypern und Portugal ihre Wasserkörper überwiegend entweder als *gut* oder *mäßig* bewerteten (Abb. 2). Slowenien und Kroatien meldeten Bewertungsergebnisse für nur fünf temporäre Wasserkörper. In Kroatien wurde der ökologische Gesamtzustand für 197 temporäre Wasserkörper gemeldet, der Zustand für die einzelnen Organismengruppen jedoch nur für vier von ihnen; wir beschränkten unsere Analyse auf Letztere. Der für benthische Wirbellose und Fische gemeldete ökologische Zustand ist im Allgemeinen niedriger als der des Phytobenthos und der Makrophyten und somit entscheidend für den gesamten ökologischen Zustand (Abb. 2). Die Bewertungsergebnisse für Phytobenthos und Makrophyten waren in der überwiegenden Mehrheit der Wasserkörper und in allen Mitgliedstaaten im Durchschnitt *gut* oder sogar *sehr gut*, mit Ausnahme der Makrophytenbewertung in Italien und der Phytobenthosbewertung in Spanien. Im Gegensatz dazu war die Bewertung der Fische im Durchschnitt *mäßig* bis *schlecht*, insbesondere in Portugal, Spanien und Griechenland.

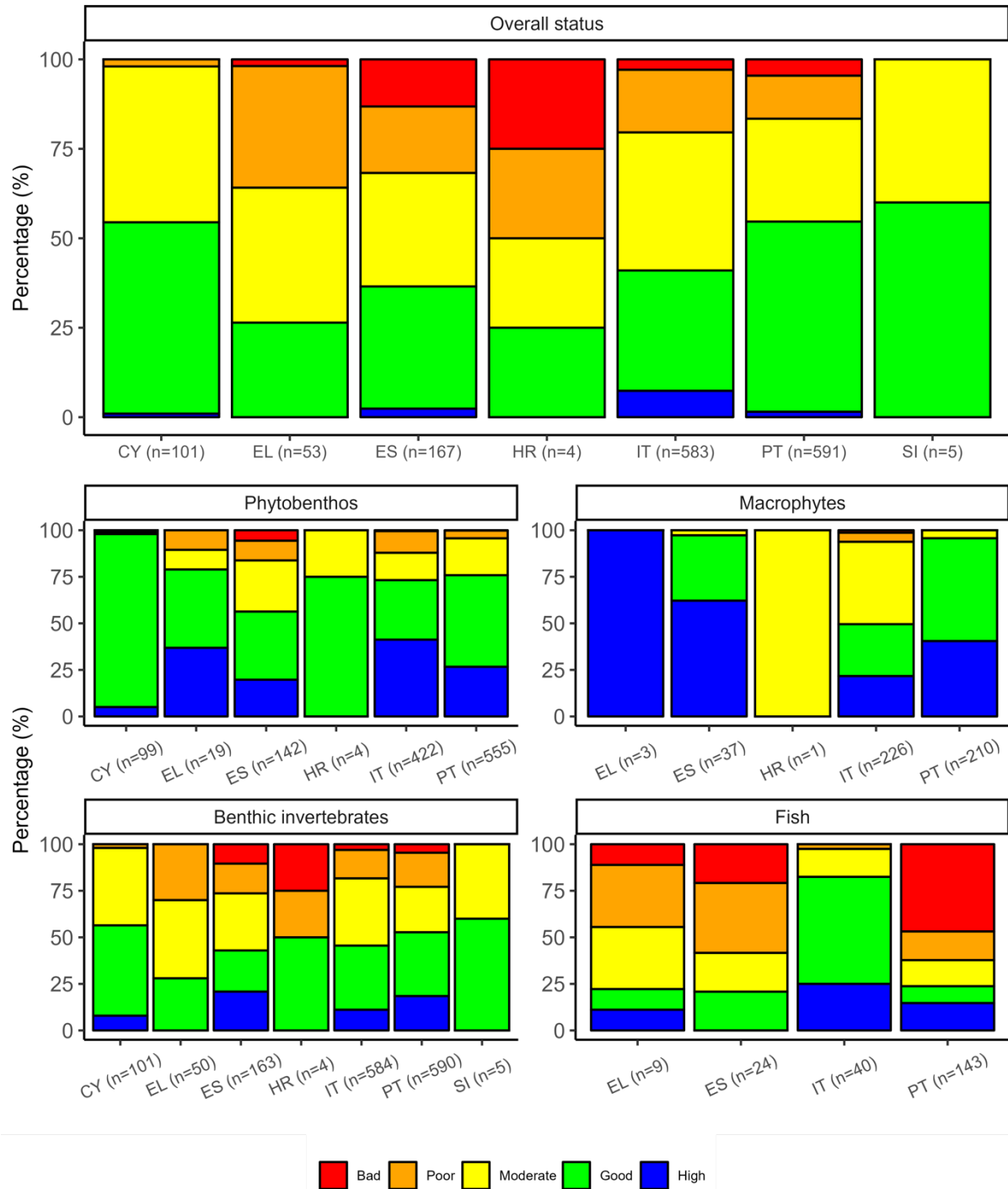


Abbildung 2: Gesamtzustand und Zustand der vier biologischen Qualitätselemente in temporären Flüssen im Mittelmeerraum je EU-Mitgliedstaat. In Klammern die Anzahl der Wasserkörper.

Zusammenhang zwischen Stressoren und dem allgemeinen ökologischen Zustand und den Biokomponenten

Das ordinale Modell erfasste etwa 20-40 % der Variabilität des ökologischen Zustands durch die sieben Stressoren, jedoch mit unterschiedlichen Größenordnungen, Variabilität und Richtungen (Abb. 3). Die Landwirtschaft hatte den stärksten negativen Zusammenhang mit dem ökologischen Gesamtzustand und mit dem Zustand aller vier Biokomponenten. Die urbane Landnutzung war der zweite Stressor mit stark negativen Assoziationen zum Gesamtzustand,

zu benthischen Wirbellosen und auch zum Phytobenthos. Im Gegensatz dazu war Gesamtstickstoff (TN) positiv mit den Makrophyten assoziiert, d. h. hohe TN-Mengen standen in einem positiven Zusammenhang mit dem ökologischen Zustand sowie den benthischen Wirbellosen und dem ökologischen Gesamtzustand. Im Falle der Makrophyten und Fische war die Unsicherheit der unabhängigen Variablen jedoch groß (Abb. 3). Überraschenderweise war der Gesamtphosphorgehalt (TP) positiv, wenn auch nur schwach, mit den Qualitätsklassen der einzelnen BQEs assoziiert.

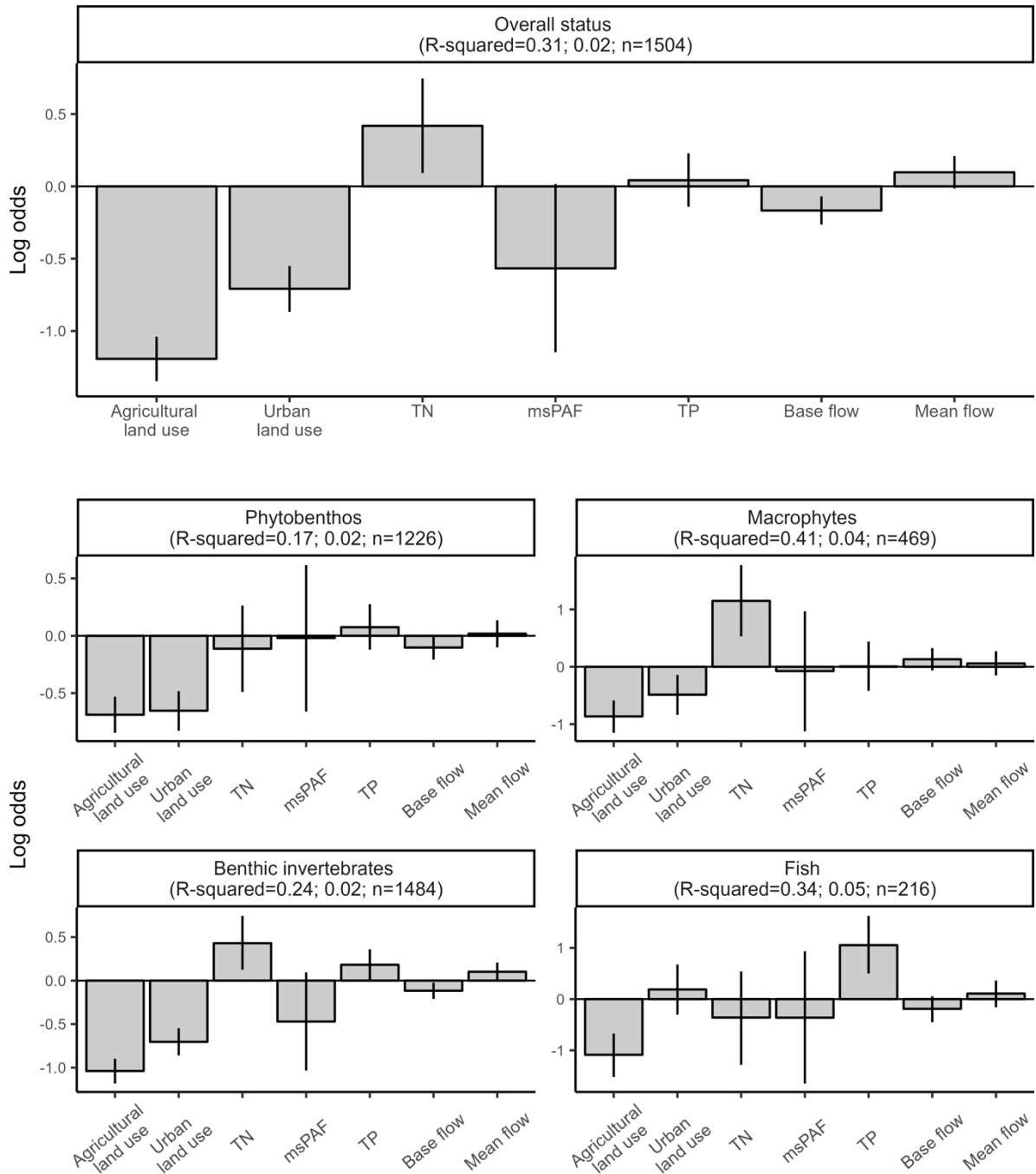


Abbildung 3: Log Odds (Regressionskoeffizienten) für den gesamt-ökologischen Zustand und den ökologischen Zustand der einzelnen Biokomponenten der temporären Flüsse im Mittelmeerraum in Abhängigkeit von sieben überregionalen Stressoren.

Schlussfolgerungen

Die Analysen der Zustandsbewertung, auf Grundlage der von den Mitgliedsstaaten an die EU gemeldeten Zustände der temporären Flüsse, spiegeln den wirklichen Zustand der temporären Wasserkörper im Mittelmeerraum nur unzureichend wider. Erstens sind temporäre Wasserkörper in den Überwachungsprogrammen nur unzureichend vertreten. Eine europaweit einheitliche Definition, kartographische Abgrenzung, standardisierte Probenahme und Berichterstattung sind nicht vorhanden, aber unbedingt erforderlich. Zweitens weist die Anwendung von Bewertungssystemen, die für perennierende Gewässer entwickelt wurden, auf temporäre Wasserkörper verschiedene Mängel auf, da viele Taxa, die speziell in temporären Wasserkörpern vorkommen, in den Bewertungssystemen nicht angemessen berücksichtigt werden. Daher sollten die jüngsten Fortschritte bei der Stressindikation und die Entwicklung neuer spezifischer Metriks wie funktionale Redundanz und Reaktionsvielfalt oder eigenschaftsbasierte Ansätze, die sich auf trockenheitsresistente Taxa oder ihre Ausbreitungs- und Erholungsfähigkeit konzentrieren, in die Bewertungssysteme einbezogen werden. Dies sollte schließlich in eine Interkalibrierung für alle Biokomponenten in temporären Bächen und Flüssen und alle Länder, in denen temporäre Gewässer vorkommen, einbezogen werden. Drittens wirken sich hydrologische Besonderheiten (z. B. extrem niedrige Abflüsse, völlige Austrocknung oder sogar anthropogen bedingter perennierender Abfluss durch Abwasser- oder Kläranlageneinleitungen) auf vielfältige Weise auf die Lebensgemeinschaften temporärer Wasserkörper aus und verursachen zusätzlichen Stress, z. B. durch erhöhte Konzentrationen von Schadstoffen. Es sollten Metriks für jede Organismengruppe entwickelt werden, um den ökologischen Zustand von temporären Gewässern zu bestimmen. Dies würde schließlich der Bewirtschaftung und Bewahrung dieses sehr häufigen Fließgewässertyps im Mittelmeerraum dienen.

4.2 Zirkum-Mediterranes Besammlungsprogramm zur Analyse der biologischen Antwort auf anthropogene Stressfaktoren in temporären Fließgewässern

Temporäre Fließgewässer sind im Mittelmeerraum weit verbreitet. Dennoch sind die Informationen zur Auswirkungen von Stressfaktoren auf diese Systeme und zur Reaktion aquatischer Gemeinschaften wie benthische Kieselalgen und benthische wirbellose Tiere noch nicht ausreichend bekannt. Die Reaktion von Biokomponenten auf anthropogenen Stress wird in Bewertungssystemen aufgegriffen und genutzt, um den Zustand von Ökosystemen zu charakterisieren. Dabei werden Diatomeen auf Grund ihrer sehr kurzen Reproduktionszyklen häufig verwendet, um kurzfristige Reaktionen zu detektieren. Größere Organismen wie Makrozoobenthos und Fische mit ein- oder sogar mehrjährigen Reproduktionszyklen werden für die langfristige Indikation von Stress verwendet. Diese Indikation anthropogenen Stresses auf temporäre Flüsse im Mittelmeerraum stand im Mittelpunkt von Teilprojekt 3.2.

Vor diesem Hintergrund konzentrierte sich dieses Teilprojekt auf die folgenden Fragen:

- Welche Stressfaktoren wirken auf die untersuchten temporären Fließgewässer im Mittelmeerraum?
- Wie reagieren Kieselalgen und benthische Wirbellose auf diese anthropogenen Stressfaktoren?
- Welche Taxa sind bezeichnend für temporäre Flüsse im Mittelmeerraum?

Methoden

Wir beprobten benthische Kieselalgen (Diatomeen) und benthische Wirbellose (Makrozoobenthos) in temporären Flüssen in Spanien, Frankreich, Italien, Jordanien und Tunesien. Die Probestellen umfassten einen Gradienten von naturnahen bis zu stark degradierten Bedingungen. Die Probenahmen wurden jeweils im Frühjahr zwischen 2021 und 2023 während der Fließphase der Gewässer durchgeführt. Hierbei wurden die Diatomeen anhand eines CEN-Standards beprobt. Dabei wurden an jeder Probestelle standardisiert 5 Steine mit Hilfe einer Zahnbürste abgekratzt und die Proben direkt konserviert. Diese Proben wurden zur weiteren Analyse an die Universität Duisburg-Essen transportiert. Im Labor der Universität erfolgte dann sowohl eine morphologische Bestimmung als auch die Aufbereitung für eine DNA-basierte Bestimmung. Die beiden Listen wurden im Nachgang miteinander verschnitten. Das Makrozoobenthos wurde anhand der standardisierten Methode, die im Arbeitspaket 3.1 auf Grundlage von Literaturrecherchen erstellt wurde, beprobt. Die Bestimmung der Tiere erfolgte dabei direkt vor Ort auf Familienniveau. Wie schon bei den Probenahme im Jahr 2022 wurde auch im Jahr 2023 an jeder Probestelle ein Feldprotokoll mit 52 Standortparametern ausgefüllt und physikalisch-chemische Parameter erhoben. Darüber hinaus erfolgte an den italienischen Probestellen eine Wasserprobenahme. Die Wasserproben wurden im Labor auf allgemeine chemische Parameter analysiert. Die Daten zur Wasserchemie und den Stellenparameter dienten als erklärende Variablen für die Zusammensetzung der Makrozoobenthosgemeinschaften und der Diatomeengemeinschaften. Anhand der Taxalisten beider Organismengruppen wurden international verwendete Metriks berechnet, die von Artenzahlen über Abundanzmaße bis hin zu Diversitätsindizes und Bewertungs-Metriks aus verschiedenen Ländern reichen.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 48 Proben in intermittierenden Flüssen in fünf verschiedenen Ländern rund um das Mittelmeer genommen (Tabelle 1). Die Probenahme erfolgte in den europäischen Ländern Spanien, Frankreich und Italien, dem nordafrikanischen Land Tunesien und dem asiatischen Land Jordanien. Die Proben wurden im Frühjahr der Jahre 2021 bis 2023 genommen. Das Frühjahr wurde gewählt, um die die Biozönose nach der längsten Fließphase zu erfassen. In Tunesien kam es im Frühjahr 2022 und Frühjahr 2023 zu einer unerwarteten Dürre. Daher konnten nur vier Proben genommen werden, da alle anderen inspizierten potenziellen Probenahmestellen vollständig ausgetrocknet waren.

Tabelle 1. Probestellen und Daten der Probenahmen. Mol = molekulare Analyse, Mic = mikroskopische Analyse.

Land	Anzahl Probestellen	Datum	Diatomeen		Makrozoobenthos
			Mol	Mic	
Spanien	12	Mai 2021	12	12	12
Frankreich	5/11	Mai 2021/Mai 2022	5 / 11	5 / 11	5/11
Jordanien	8	April 2022	0 / 1	0 / 1	8
Tunesien	2/2	Juni 2022/März 2023	2	2 / 2	2/2
Italien	8	Februar 2023	0	8	8
Summe	48	2021-2022	31	41	48

Abiotische Bedingungen an den Probestellen

Die Hauptkomponentenanalyse ergab zwei Hauptgradienten, wenn alle Standorte zusammen analysiert werden (Abb. 4). Erstens einen großen Gradienten bei den pH-Werten und dem gelösten Sauerstoff, der mit dem Prozentsatz der lenticen Strömungssituationen einhergeht. Und zweitens ein anthropogen bedingter Abfluss durch Abwässer aus Kläranlagen, die mit einem Anstieg der Leitfähigkeit und einer allgemeinen chemischen Belastung einhergeht. Es zeigte sich also ein Gradient bei der organischen Verschmutzung und zusätzlich bei der allgemeinen chemischen Belastung (hauptsächlich Nährstoffe) zusammen mit den hydrologischen Veränderungen.

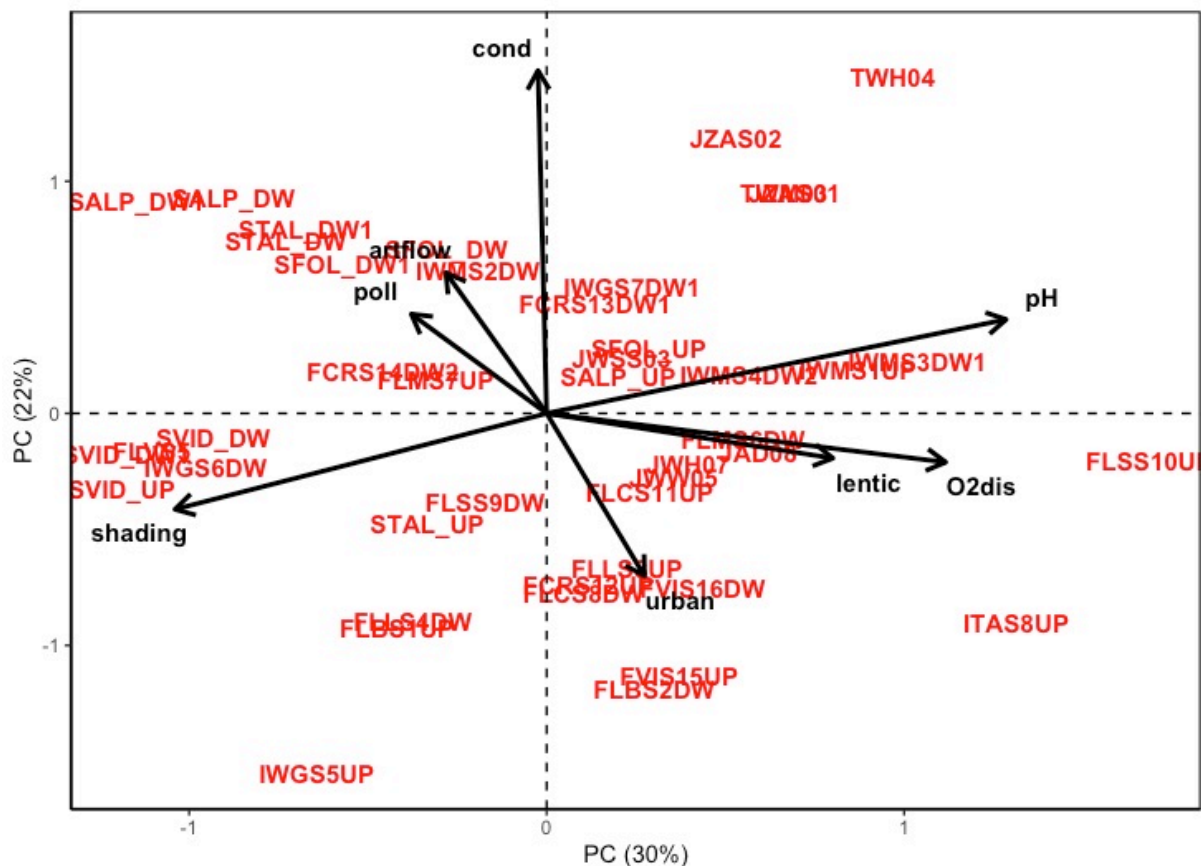


Abbildung 4: PCA-Diagramm der wichtigsten abiotischen Parameter (schwarze Pfeile) die auf die 48 Probestellen (rote Bezeichnungen) wirken.

Biologische Vielfalt und Bewertung der aquatischen Gemeinschaften

Insgesamt wurden 82 verschiedene benthische wirbellose Taxa identifiziert, die zwischen 5 und 31 pro Standort liegen. Bei den Kieselalgen wurden 368 verschiedene Taxa gefunden. Die Ergebnisse für das Makrozoobenthos zeigen (Abb. 5), dass die natürlichsten Standorte mit der größten biologischen Vielfalt deutliche Unterschiede zwischen den Ländern aufweisen, während mit zunehmender Degradation, d. h. abnehmender Wasserqualität, die Gemeinschaften einander ähnlicher werden. Die statistische Analyse ergab, dass der Hauptstressfaktor für die benthischen Wirbelosengemeinschaften die organische Verschmutzung und die zunehmende Versalzung ist, die zu einem niedrigen Sauerstoffgehalt und einer hohen Leitfähigkeit führte. Beide Stressoren haben starke Auswirkungen auf die benthischen Wirbellosen, da viele Taxa sehr empfindlich auf Sauerstoffmangel und Abwässer reagieren. Für benthische

Kieselalgen waren erhöhte Nährstoffgehalte, Abwasser und Versalzung die Hauptstressoren. Kombinierte Effekte verstärkten den Stress sogar noch und führten zu großen Unterschieden zwischen den Probestellen.

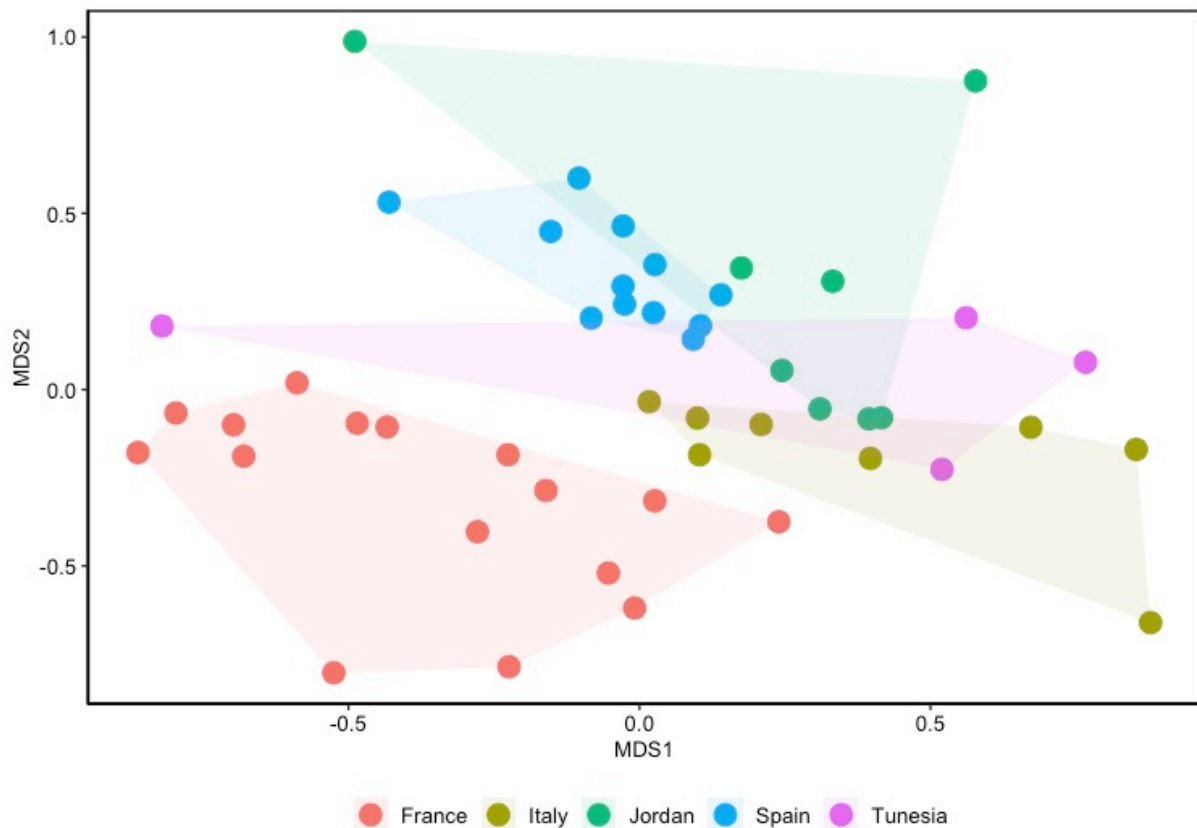


Abbildung 5: MDS-Diagramm der 48 Makrozoobenthosproben eingefärbt in Abhängigkeit der Landzugehörigkeit.

4.3 Entwicklung eines Bewertungssystems für temporäre Fließgewässer im Mittelmeerraum

Die im Arbeitspaket 3.2 durch die Probennahmen in den Partnerländern erzeugten Taxalisten und abiotischen Daten dienten im Arbeitspaket 3.3 der Entwicklung von Vorschlägen für Bewertungs-Metriks. Hierfür wurden die abiotischen Daten der Probestellen mit den aus den Taxalisten berechneten Metriks der Probestellen mittels statistischer Verfahren verschnitten. Die Metriks, die auf die Degradationsgradienten reagieren, können somit für ein Bewertungssystem verwendet werden.

In der Redundanzanalyse für alle Proben zwischen den aus den Makrozoobenthos-Proben errechneten Metriks und den abiotischen Faktoren (Abb. 6) ist die Erklärungsanteile der beiden angezeigten Achsen gering (14 % bzw. 7 %). Dennoch zeigt sich ein deutliches Bild. Die Menge an gelöstem Sauerstoff ist entgegengesetzt zum künstlichen Abfluss- und Verschmutzungsgradienten. Mit dem hohen Werten an gelösten Sauerstoff korrelieren besonders die Metriks GOLD, Shannon-Wiener-Diversität und auch der BMWP Spanien sowie die Diversitätsindices EPTCBO, EPT und Anzahl Trichoptera. Der prozentuale Anteil der Diptera steht im Gegensatz zu diesen Metriks und nimmt mit zunehmender Verschmutzung und Leitfähigkeit zu. Auf der

zweiten Achse stehen Abundanz und Anzahl von Diptera in Zusammenhang mit Beschattung und im Gegensatz zu urbaner Landnutzung und höherem pH-Wert.

Diese Analysen wurden jeweils noch separat für jedes Land durchgeführt um auf die spezifische Situation der Stressoren in den jeweiligen Proben einzugehen. Dabei wurden sehr viel höhere Erklärungsanteile der Achsen erreicht, was die Zusammenhänge zwischen Metrik-Ergebnissen und abiotischen Parametern noch deutlicher hervorhob. Der Übersichtlichkeit halber werden diese Abbildungen hier jetzt nicht gezeigt, sind aber im Deliverable 3.2 ausführlich dargestellt.

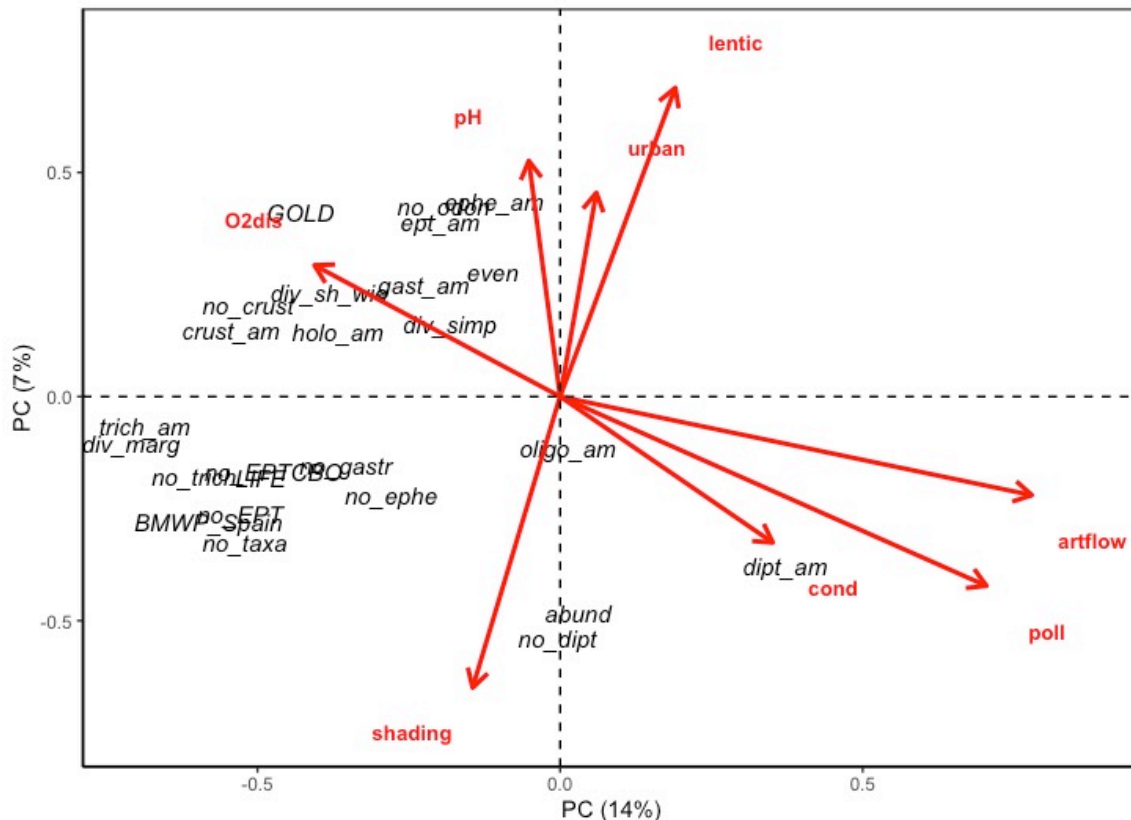


Abbildung 6: RDA-Diagramm der Ergebnisse der biotischen Metriks (schwarze Abkürzungen) im Verhältnis zu den abiotischen Standortparametern (rote Pfeile) aller Probenahmestellen.

Auch bei den Kieselalgen zeigten sich klare Zusammenhänge zwischen den errechneten Metriks und den wichtigsten abiotischen Variablen. Auch diese Ergebnisse sind im Deliverable 3.2 dargestellt.

Die Tabellen 2 und 3 geben einen Überblick der Metriks, die beim Makrozoobenthos (Tabelle 2) und bei den Kieselalgen (Tabelle 3) hohe Korrelationen zu abiotischen Variablen in den einzelnen Ländern und in der Gesamtschau zeigten. Bei den benthischen Wirbellosen korrelierten in den meisten länderspezifischen Analysen der spanische BMWP-Index (spanische Version des Index der Biological Monitoring Working Party), die Taxazahl bestimmter Wirbellosenordnungen (insbesondere Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) und die Anzahl der EPTCBO-Taxa stark mit dem Gehalt an gelöstem Sauerstoff. Diese Indizes spiegeln in erster Linie die Saprobie wider, die sich auf die Sauerstoffverhältnisse bezieht. Der prozentuale Anteil der Diptera und der hololimnischen Taxa und ihrer Komponenten (Schnecken, Würmer und Krebstiere) hingegen wiesen eine höhere Anzahl, Abundanz und einen höheren prozentualen Anteil auf, wenn der Abfluss durch Abwässer aus Kläranlagen künstlich erhöht war und die Leitfähigkeit höher waren, was auf eine größere Toleranz gegenüber dem Abwasserzufluss hinweist.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II: Eingehende Darstellung

Tabelle 2. Überblick über die wichtigsten Zusammenhänge zwischen abiotischen Variablen und den aus den Makrozoobenthos-Taxalisten errechneten Metriks aller Proben und der länderspezifischen RDAs.

Alle Proben	Spanien	Frankreich	Jordanien	Italien
Leitfähigkeit -> % Diptera	Leitfähigkeit -> % hololimnische Taxa	Leitfähigkeit -> % hololimnische Taxa / % Oligochaeta	Leitfähigkeit -> % Diptera	Leitfähigkeit -> BMWP Spain / # EPT
O2 gelöst -> Shannon-Wiener Div. / GOLD / BMWP Spain	O2 Sättigung -> BMWP Spain / # taxa	O2 gelöst -> BMWP Spain / # EPTCBO / # EPT	% unvegetated -> Abundanz	O2 gelöst -> % Trichoptera / BMWP Spain
pH -> % Ephemeroptera / % EPT	TP -> % und # Gastropoda	pH -> # Taxa / Margalef Div.	pH -> % Diptera / % Oligochaeta	pH -> Abundanz
Lentic -> % Ephemeroptera / % EPT	Lentic -> BMWP Spain / # Taxa	Lentic -> Evenness / % Oligochaeta	Lentic -> % hololimnic / % Gastropoda / Margalef Div. / % Crustacea	Lentic -> % Ephemeroptera / GOLD
Beschattung -> Abundanz / # Diptera	NH4 -> % hololimnic taxa / % Gastropoda	Beschattung -> % Oligochaeta	% Büsche -> % Trichoptera / # EPT	NH4 -> negative diversity indices
Urbane Landnutzung -> % Ephemeroptera / % EPT	NO3 -> BMWP Spain / # Trichoptera	Urbane Landnutzung -> Shannon-Wiener-Div. / # Gastropoda	% Acker -> % Diptera	Urbane Landnutzung -> % Diptera

Tabelle 3. Überblick über die wichtigsten Zusammenhänge zwischen abiotischen Variablen und den aus den Diatomeentaxalisten errechneten Metriks aller Proben und der länderspezifischen RDAs.

Alle Proben	Spanien	Frankreich	Jordanien / Tunesien	Italien
Leitfähigkeit -> TDI / IPS / IDG / Evenness	Leitfähigkeit -> % Nitzschoid taxa / IPS / % low profile guild taxa	Leitfähigkeit -> % Naviculoid taxa	Leitfähigkeit -> TDI / % motile guild taxa	Leitfähigkeit -> Shannon-Wiener-Div. / IPS / Evenness
O2 Sättigung -> TDI	O2 gelöst -> IDG / TDI / % halophilic taxa	O2 gelöst -> % halophylic taxa / TDI	Trübung -> % surirelloid taxa	O2 gelöst -> % Variable guild taxa / % Nitzschoid taxa
pH -> % High profile guild taxa / % Araphid taxa	TP -> % Variable ecological guild taxa	pH -> % Variable ecological guild taxa	pH -> Shannon-Wiener-Div. / # Taxa	pH -> % Variable guild / IDG
Lentic -> Shannon-Wiener-Div. / Evenness	Lentic -> % oligohaline taxa	Lentic -> Evenness / Shannon-Wiener-Div.	Lentic -> % Nitzschoid taxa / % Monoraphid taxa	Lentic -> IDG / % Nitzschoid taxa / % Variable guild
Beschattung -> % low profile guild	NH4 -> IPS	Beschattung -> % motile guild taxa	Ufervegetation -> % high profile guild taxa / % araphid taxa	NH4 -> TDI
Urbane Landnutzung -> % Brachyraphid	NO3 -> % Variable ecological guild taxa	Urbane Landnutzung -> % High profile guild taxa / % Araphid taxa	Urbane Landnutzung -> % surirelloid taxa	Urbane Landnutzung -> % motile guild taxa / % low profile guild taxa
Künstlicher Abfluss -> TDI	Künstlicher Abfluss -> IPS / TDI / % low profile guild taxa	% Acker -> % High profile guild taxa / % centric taxa / mesohalobous	Künstlicher Abfluss -> % Nitzschoid taxa / % Monoraphid taxa	

Bei den Diatomeen stand die Leitfähigkeit meist in einem negativen Zusammenhang mit dem Trophischen Kieselalgenindex (TDI) und dem Index der Polluosensitivität (IPS) und dem IPG (Index der Polluosensitivität auf Gattungsebene). Im Gegensatz dazu korrelierte der gelöste Sauerstoff positiv mit dem TDI. Darüber hinaus wiesen die Salinitätstoleranzen auf einen hohen Salzgehalt als Hauptstressfaktor an einzelnen Standorten hin. Diese Metriks können somit als prioritäre Indices für Bewertungssysteme genutzt werden.

Eine weitere statistische Analyse detektierte Indikatortaxa für die benthische wirbellose Tiere und auch für benthische Kieselalgen. Es wurden besonders spezifische Indikatoren für belastete Standorte gefunden, während Indikatoren für unbeeinflusste Standorte meist fehlten. Dies liegt daran, dass die Indikatoren für die Verschmutzung weit verbreitet sind, während es sich bei den Indikatorarten für unbeeinflusste Standorte um länderspezifische, zum Teil endemische Taxa handelt, die sich daher statistisch nicht auf den gesamten Mittelmeerraum übertragen lassen. Eine detaillierte Darstellung der potenziellen Indikatoren findet sich in Deliverable 3.2.

Des Weiteren beinhaltet das Deliverable 3.3, neben einem detailliertem Handbuch zur Beprobung von Makrozoobenthos und Diatomeen in temporären Gewässern im Mittelmeerraum, Empfehlungen zur Auswahl von Metriks für Bewertungssysteme als auch für das Monitoring und die Renaturierung dieser Gewässer.

Schlussfolgerungen

Zur Bewertung des ökologischen Zustands wurden für beide Organismengruppen (Makrozoobenthos und Diatomeen) Metriks vorgeschlagen. Die organische Verschmutzung könnte beim Makrozoobenthos anhand des iberischen BMWP oder der Anzahl der EPTCBO-Taxa mit typspezifischen Referenzwerten bewertet werden. Für die Bewertung des trophischen Zustands und der Versalzung von Fließgewässern sollten benthische Kieselalgen analysiert werden, wobei der TDI, der IPS und der Salzgehalt-Index bevorzugt werden sollten. Diese Indizes könnten nach der Umsetzung von Maßnahmen zur Abschwächung der Hauptstressoren verwendet werden, um Verbesserungen und den Erfolg der Wiederherstellung anzuzeigen, und könnten darüber hinaus bei der Ausrichtung von Bewirtschaftungsmaßnahmen helfen.

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen verdeutlichen die Hauptprobleme der temporären Fließgewässer im Mittelmeerraum, nämlich die organische Verschmutzung sowie hohe Nährstoffgehalte und andere Schadstoffe, die aus Abwassereinleitungen stammen. Der natürliche Wassermangel erhöht die Anfälligkeit für organische Verschmutzung und Nährstoffbelastungen im Vergleich zu permanenten Fließgewässern. Darüber hinaus verschärft der Klimawandel die Probleme durch höhere Temperaturen im Sommer und geringere Niederschläge. Die aquatischen Lebensgemeinschaften leiden extrem unter den drei Hauptstressfaktoren organische Verschmutzung, Nährstoffe und Wassermangel.

Benthische Wirbellose und benthische Kieselalgen können dabei helfen, die Hauptstressoren zu identifizieren und diese Stressoren zu überwachen, wenn Maßnahmen zur Eindämmung ergriffen wurden. Dabei können wirbellose Tiere organische Verschmutzungen anzeigen, während benthische Diatomeen die Überwachung ergänzen, indem sie Nährstoffüberangebot und Versalzung anzeigen. Durch die Nutzung der Erkenntnisse aus diesem Projekt können wir unser Verständnis der ökologischen Reaktionen verbessern und wirksame Erhaltungsstrategien für den Schutz und die Bewirtschaftung dieser wertvollen aquatischen Ökosysteme angesichts der klimatischen und vom Menschen verursachten Belastungen entwickeln.

5. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Eine Übersicht über die Projektausgaben werden gesondert von der Verwaltung der Universität Duisburg-Essen aufgestellt und elektronisch an den Projektträger übermittelt.

6. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Alle in den im Rahmen des Projektes geleisteten Arbeiten: 1.) Zusammenstellung und Aufbereitung der Daten (WRRRL und Mars-Projekt Daten) und 2.) biologischen Erhebungen in den einzelnen Partnerländern und deren Analysen waren notwendig und Grundlage für die hier beschriebenen Ergebnisse. Wie aus den Ergebnissen ersichtlich, bauten alle drei Arbeitspakete aufeinander auf und waren geeignet und notwendig, um die Fragestellungen zu bearbeiten.

7. Fortschreibung des Verwertungsplans

Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen ergeben sich aus diesem Projekt nicht.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten waren in diesem Projekt nicht angestrebt. Die Projektergebnisse und die Handlungsempfehlungen sind bereits durch die Berichte frei verfügbar. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse bereits teilweise publiziert und weitere werden zeitnah folgen. Die Vorschläge und Empfehlungen zu Metriks, die zur Bewertung der temporären Gewässer im mediterranen Raum verwendet werden können, und zum biologischen Gewässermonitoring an sich im mediterranen Raum, können als Grundlage für politische Entscheidungen herangezogen werden.

8. Relevant Ergebnisse Dritter

Es sind von dritter Seite keine Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant waren und eine Anpassung des Arbeitsplans erfordert hätten.

9. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Lorenz, A.W., W. Kaijser, V. Acuña, K. Austnes, N. Bonada, G. Dörflinger, T. Ferreira, I. Karouzias, A. Rico & D. Hering (2023): Stressors affecting the ecological status of temporary rivers in the Mediterranean region. *Science of The Total Environment* 903: 166254. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166254>

Gómez-Navarro, O., F. Khezami, G.F. Ricci, A.W. Lorenz, A.M. De Girolamo, S. Khadhar, T.-H. Debieche, F. Gentile, S. Chiron & S. Pérez: Pharmaceutical pollution, ecological and hydrological status of Mediterranean intermittent rivers (in prep.)

Lorenz, A.W., O. Gómez-Navarro, W. Kaijser, M.-V., A. Burfeid-Castellanos & D. Hering (in prep.): Influence of treated wastewater inflow on biological communities of intermittent Mediterranean streams.

Lorenz, A.W., W. Kaijser, A. Burfeid-Castellanos & D. Hering (in prep.): How to assess Mediterranean temporary streams complementary with benthic invertebrates and benthic diatoms.