

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie



Insektensterben in Fließgewässern?

Projektarbeit

Umwelttechnik Bachelor of Engineering

Hochschule Rhein-Main

Sommersemester 2019



Köcherfliege *Lepidostoma basale* (© Eiseler)

Betreut von: Prof. Dr. Schmid
Unterstützt von: Dr. Mechthild Banning

Erstellt von: Gregor Buchholz
Anna Ida Holler
Jean-Marie Müller
Yannik Steudter

Wiesbaden, den 27. August 2019

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Methodik | 2 |
| 2.1. Wasserrahmenrichtlinie | 2 |
| 2.2. Gewässerstrukturgüte | 2 |
| 2.3. Indikatororganismen | 3 |
| 2.3.1. Makrozoobenthos | 3 |
| 2.3.2. Ephemeroptera | 4 |
| 2.3.3. Plecoptera | 5 |
| 2.3.4. Trichoptera | 5 |
| 2.4. Relativer Anteil der Eintags-, Stein- und Köcherfliegenlarven (EPT) | 6 |
| 2.5. Habitatindex | 7 |
| 2.6. PERLODES | 7 |
| 2.6.1. Saprobie | 8 |
| 2.6.2. Allgemeine Degradation | 9 |
| 2.7. Landnutzungsindex | 9 |
| 2.8. Eutrophierung | 10 |
| 2.9. Datengrundlage | 10 |
| 2.9.1. Probenahme | 10 |
| 2.9.2. Messstelle | 12 |
| 2.9.3. Wasserkörper | 12 |
| 2.9.4. Datenumfang und ausgewertete Parameter | 12 |
| 3. Ergebnisse | 14 |
| 3.1. Probenahme | 14 |
| 3.2. Messstelle | 29 |
| 3.3. Wasserkörper | 35 |
| 4. Diskussion der Ergebnisse | 39 |
| 4.1. Gewässergüte | 40 |
| 4.2. Entwicklung bei weiterer Umsetzung des Maßnahmenprogramms WRRL | 43 |
| 5. Fazit | 46 |
| Literaturverzeichnis | 47 |
| Anhang | 50 |
| A1 Korrelationsanalyse – Probenahme | 51 |
| A2 Korrelationsanalyse – Messstelle | 52 |
| A3 Korrelationsanalyse – Wasserkörper | 53 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|---|
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| EPT | Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (Eintags-, Stein- und Köcherfliegen) |
| HI | Habitatindex |
| HLNUG | Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie |
| LUI | Land-Use-Index (Landnutzungsindex) |
| MS | Messstelle |
| MZB | Makrozoobenthos |
| NABU | Naturschutzbund |
| PN | Probenahme |
| OGewV | Oberflächengewässerverordnung |
| UBA | Umweltbundesamt |
| WRRL | Wasserrahmenrichtlinie |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Ephemeropteralarve (links) und geschlüpftes Imago (rechts) der Gattung Ephemera (© Banning) | 5 |
| Abbildung 2: Bewertungsschema PERLODES für einen großen Mittelgebirgsfluss..... | 8 |
| Abbildung 3: Repräsentative Probenahme des Makrozoobenthos (©Banning) | 11 |
| Abbildung 4: Erfassung des Makrozoobenthos mit 20 Teilproben (Multihabitat-Sampling).... | 11 |
| Abbildung 5: Anzahl Insektenarten einer Probenahme - Ökologische Zustandsklasse Saprobie..... | 14 |
| Abbildung 6: Anzahl Steinfliegenarten einer Probenahme - Ökologische Zustandsklasse Saprobie..... | 15 |
| Abbildung 7: Anzahl Köcherfliegenarten einer Probenahme | 16 |
| Abbildung 8: Relativer Anteil der Köcherfliegen - Ökologische Zustandsklasse Saprobie | 17 |
| Abbildung 9: Relativer Anteil der EPT - Ökologische Zustandsklasse Saprobie | 18 |
| Abbildung 10: Relativer Anteil der Insekten - Ökologische Zustandsklasse Saprobie..... | 19 |
| Abbildung 11: Anzahl Insektenarten einer Probenahme - Ökologische Zustandsklasse Allgemeine Degradation..... | 20 |
| Abbildung 12: Relativer Anteil der EPT - Ökologische Zustandsklasse Allgemeine Degradation | 21 |
| Abbildung 13: Anzahl Insektenarten einer Probenahme - Strömungsvielfalt..... | 22 |
| Abbildung 14: Relativer Anteil der EPT - Strömungsvielfalt..... | 23 |
| Abbildung 15: Anzahl Insektenarten einer Probenahme - Anzahl vorgefundener natürlicher anorganischer Substrate | 24 |
| Abbildung 16: Relativer Anteil der EPT - Anzahl vorgefundener natürlicher anorganischer Substrate..... | 25 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 17: Larven der Köcherfliegen <i>Oligoplectrum maculatum</i> sind auf lagerungsstabile Steine auf der Gewässersohle angewiesen, da sie sich mit ihrem Köcher in Strömungsrichtung fest an das Substrat heften. (© Banning) | 26 |
| Abbildung 18: Relativer Anteil der EPT – Substratvielfalt | 27 |
| Abbildung 19: Relativer Anteil der EPT - Beschattung Sohle | 28 |
| Abbildung 20: Mittlere Anzahl Insektenarten einer Messstelle - Habitatindex einer Messstelle | 29 |
| Abbildung 21: Relativer Anteil der Insekten - Habitatindex einer Messstelle | 30 |
| Abbildung 22: Relativer Anteil der EPT - Habitatindex einer Messstelle | 31 |
| Abbildung 23: Mittlere Anzahl Insektenarten einer Messstelle - Landnutzungsindex 100 | 33 |
| Abbildung 24: Mittlere Anzahl Insektenarten einer Messstelle - Landnutzungsindex 500 | 34 |
| Abbildung 25: Relativer Anteil der EPT - Anteil Strukturklassen 1-4 (siehe Tabelle 4)..... | 35 |
| Abbildung 26: Relativer Anteil der EPT - Defizitäre Abschnitte im Wasserkörper | 36 |
| Abbildung 27: Mittlere Individuendichte der Insekten - Phosphor Gesamt | 37 |
| Abbildung 28: Relativer Anteil der EPT - Phosphor Gesamt | 38 |
| Abbildung 29: Prozentualer Anteil der Gewässergüteklassen in Hessen | 41 |
| Abbildung 30: Historische Entwicklung der Lebensgemeinschaft des Rheins zwischen Basel und der deutsch-niederländischen Grenze in Beziehung zum durchschnittlichen Sauerstoffgehalt des Rheins bei Bimmen | 42 |
| Abbildung 31: Larve der Eintagsfliege <i>Oligoneuriella rhenana</i> (© Eiseler)..... | 43 |
| Abbildung 32: Stand der Maßnahmenumsetzung nach Maßnahmengruppen (Stand 04.08.2015)..... | 44 |
| Abbildung 33: Maßnahmenbedarf bei den Allgemeinen Chemisch-Physikalischen Parametern in den hessischen Wasserkörpern (Betrachtungszeitraum: 2014 bis 2018)..... | 45 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Strukturgüteklassen | 3 |
| Tabelle 2: Insektenordnung und deren Stadien im Gewässer | 4 |
| Tabelle 3: Häufigkeitsklassen der Art i..... | 6 |
| Tabelle 4: Bewertung des ökologischen Zustandes im Teilbereich "Biologische Gewässergüte" mit gewässertypspezifischen Klassengrenzen beim Saprobienindex (Banning & Helsper 2010)..... | 8 |
| Tabelle 5: Umfang der ausgewählten Daten..... | 12 |
| Tabelle 6: Betrachtete abiotische und biotische Parameter..... | 13 |
| Tabelle 7: Korrelationen - Probenahme | 51 |
| Tabelle 8: Korrelationen - Messstelle..... | 52 |
| Tabelle 9: Korrelationen - Wasserkörper | 53 |

1. Einleitung

Insekten sind für die Ökosysteme unverzichtbar. Durch das Bestäuben von Pflanzen, den Abbau organischer Masse, die Gewässerreinigung sowie durch den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit oder als Nahrungsgrundlage für andere Insekten oder Tiergruppen, erbringen zahlreiche Insektenarten bedeutende Ökosystemleistungen, von welchen nicht nur die Umwelt sondern auch die Menschen abhängig sind (vgl. BMU 2018b: S. 1).

Seit 2017 ist durch die Veröffentlichung der „Krefelder Studie“ des Entomologischen Vereins Krefeld das öffentliche Interesse für die Problematik „Insektensterben“ geweckt. Im Rahmen dieser Studie wurden, über einen Zeitraum von mehr als 27 Jahren in 63 Schutzgebieten in Nordrhein-Westfalen, Insektenerhebungen durchgeführt und die Biomasse aller flugfähigen Insekten eruiert. Anhand dieser Erhebung konnte ein dramatischer Rückgang der Biomasse der flugfähigen Insekten von über 75 Prozent festgestellt werden (vgl. BMU 2018a: S. 2). Angesichts dieser Ergebnisse und der bereits beschriebenen signifikanten Bedeutung der Ökosystemleistungen von Insekten, tritt die Relevanz und Aktualität dieser Thematik deutlich in Erscheinung.

Ob sich diese Entwicklung auch in Fließgewässern abzeichnet und welche Parameter dabei signifikanten Einfluss auf das Insektenvorkommen haben könnten, ist Teil der Untersuchung dieser Projektarbeit. Zudem soll auch die Entwicklung der Gewässergüte und dessen mögliche Auswirkung auf das Insektenvorkommen untersucht werden.

Am Ende des vorliegenden Berichtes wird geprüft, welche Auswirkungen das Maßnahmenprogramm zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie haben könnte (HMUKLV 2015b).

Im Kapitel 2 dieses Berichts erfolgt zunächst ein grundlegender Einblick in wichtige Aspekte der methodischen Vorgehensweise dieser Projektarbeit. Im Anschluss daran werden in Kapitel 3 die vorliegenden Daten zu den Insektenanteilen im Hinblick auf mögliche Korrelationen mit diversen Parametern analysiert. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wird die Darstellungsform der Box-Whisker Plots Anwendung finden. Auf der Grundlage der daraus gewonnenen Erkenntnisse, soll die Hypothese, ob sich die Bedingungen für die in den Fließgewässern lebenden Insekten wieder verbessert haben, geprüft werden.

Des Weiteren werden diese Korrelationsanalysen genutzt, um Prognosen aufzustellen, wie sich der relative und absolute Insektenanteil, bei weiterer Umsetzung des Maßnahmenprogramms der Wasserrahmenrichtlinie, entwickeln könnte.

2. Methodik

2.1. Wasserrahmenrichtlinie

Ziel der Wasserrahmenrichtlinie, 2000/60/EG der Europäischen Union vom 23. Oktober 2000, ist der Erhalt der Grundwasserqualität sowie der Erhalt und Verbesserung der Oberflächengewässer.

Dies soll durch einen guten ökologischen und chemischen Zustand bei allen natürlichen Oberflächengewässern bis 2027 erreicht werden. In Deutschland wurde die Hälfte aller Flüsse und Bäche als „erheblich verändert“ oder „künstlich“ eingestuft, hier wird ein gutes ökologisches Potenzial gefordert.

Die Kategorisierung des ökologischen Zustandes von Flüssen, Seen, Übergangs- und Küstengewässern erfolgt über Komponenten der Flora und Fauna und gliedert sich in Klassen von eins bis fünf. Wobei eins „sehr gut“ und fünf „schlecht“ entspricht. Eingestuft wird nach dem „Worst-Case“-Prinzip, dass bedeutet das schlechteste Ergebnis ist ausschlaggebend.

Kontrollen hinsichtlich des Gewässerzustandes und den dazugehörigen erforderlichen Maßnahmen zur Erreichung und Erhalt der Wasserrahmenrichtlinien-Zielsetzung fällt in das Ressort der Bundesländer und geschieht über die Bewirtschaftungspläne einschließlich der Maßnahmenprogramme, welche alle sechs Jahre aktualisiert werden.

Hierzu werden Oberflächengewässer und Grundwasservorkommen, vom zuständigen Bundesland, in Wasserkörper eingeteilt.

(Umweltbundesamt, 2019) (gewaesser-bewertung.de)

2.2. Gewässerstrukturgüte

Sowohl eine gute Wasserqualität als auch eine intakte Gewässerstruktur sind unabdingbar für ein funktionsfähiges aquatisches Ökosystem.

Deswegen ist die Gewässerstrukturgüte ein unterstützender Parameter bei der Fließgewässerbewertung und wird begleitend zur biologischen Bewertung betrachtet. Zur Erfassung und Bewertung der Gewässerstruktur dient eine von der Wasserwirtschaft der Länder, LAWA, entwickelte Verfahrensempfehlung.

Für kleine bis mittelgroße Fließgewässer umfasst der Erhebungsbogen der Gewässerstrukturgütekartierung, neben den Stammdaten zur eindeutigen Identifizierung des Abschnittes und gewässermorphologischen Grundlagendaten zur Gewässertypisierung, die sechs Hauptparameter:

Laufentwicklung, Längsprofil, Querprofil, Sohlenstruktur, Uferstruktur und Gewässerumfeld.

Diese unterteilen sich insgesamt in 25 Einzelparameter, welchen jeweils ein Zustandsmerkmal zugeteilt wird. Dadurch soll der strukturelle Zustand repräsentativ wiedergegeben werden. Verglichen wird der aktuelle Zustand mit dem potenziellen natürlichen Gewässerzustand.

Das Bewertungsverfahren nutzt eine Strukturgüteklassifizierung mit einer Skala von eins bis sieben und dazugehöriger Farbcodierung für die Kartendarstellung. Die Klassierung beginnt hier schon bei den Einzelparametern.

Tabelle 1: Strukturgüteklassen

| Strukturgüteklasse | Grad der Beeinträchtigung | Farbige Kartendarstellung |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | unverändert | dunkelblau |
| 2 | gering verändert | hellblau |
| 3 | mäßig verändert | grün |
| 4 | deutlich verändert | hellgrün |
| 5 | stark verändert | gelb |
| 6 | sehr stark verändert | orange |
| 7 | vollständig verändert | rot |

(LAWA, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 2000)

2.3. Indikatororganismen

Indikator- oder auch Zeigerorganismen stellen spezielle Anforderungen an ihre Umgebung. Abweichungen hinsichtlich dieser Bedingungen werden kaum bis gar nicht toleriert. Daher lassen sich durch Vorhandensein oder Fehlen von bestimmten Indikatororganismen Rückschlüsse auf den beobachteten Teilbereich der Umwelt ziehen.

(Spektrum- Lexikon der Biologie, 2019)

2.3.1. Makrozoobenthos

Makrozoobenthos ist eine der biologischen Qualitätskomponenten zur Charakterisierung von Fließgewässern hinsichtlich des ökologischen Zustandes beziehungsweise des ökologischen Potentials.

Das Makrozoobenthos umfasst mit dem bloßen Auge sichtbare, wirbellose Gewässertiere, welche die Bodenregion eines Fließgewässers bevölkern. Es beinhaltet Würmer, Schnecken, Muscheln, Krebstiere sowie Insekten.

In den Fließgewässern sind insbesondere diese Insektenordnungen zu finden:

Tabelle 2: Insektenordnung und deren Stadien im Gewässer

| Insektenordnung | | Stadien im Gewässer |
|-----------------|---------------|------------------------|
| Eintagsfliegen | Ephemeroptera | Larven |
| Steinfliegen | Plecoptera | Larven |
| Köcherfliegen | Trichoptera | Larven & Puppen |
| Libellen | Odonata | Larven |
| Käfer | Coleoptera | Larven, Puppen & Imago |
| Zweiflügler | Diptera | Larven & Puppen |
| Schlammfliegen | Megaloptera | Larven & Puppen |
| Wanzen | Heteroptera | Larven, Puppen & Imago |

Makrozoobenthos-Organismen werden nicht grundlos als die „tragende Säule des Gewässerökosystems“ (LAWA 2000: 102) bezeichnet. Nicht nur durch ihre Aufgabe als Konsumenten von organischem Material, sondern wiederum auch als Nahrungsgrundlage für größere Lebewesen sind sie von zentraler Bedeutung.

Dabei impliziert nicht nur das Vorhandensein bestimmter Makrozoobenthos-Repräsentanten einen gewissen Gewässerzustand, sondern auch das Fehlen mancher Vertreter sowie die Zusammensetzung der benthalen Gemeinschaft.

(gewässer-bewertung.de, 2019)

Nachfolgend wird die Lebensweise von 3 sehr weit verbreiteten Insektenordnungen kurz beschrieben.

2.3.2. Ephemeroptera

Die Eintagsfliegen gehören mit zu den ursprünglichsten Fluginsekten und treten oft in großen Schwärmen auf. In Mitteleuropa sind sie mit 70 Arten vertreten. Den Hauptteil ihres Lebens verbringen sie im Larvenstadium unter Wasser. Adulte Tiere leben nur wenige Stunden bis zu ein paar Tagen. Diese verbringen sie mit Fortpflanzung und der Eiablage am oder im Wasser. Die Larven, welche sich direkt zum Vollinsekt entwickeln, unterteilen sich in grabend, schwimmend, kriechend und strömungsliebend. Dementsprechend wählen sie ihren bevorzugten Lebensraum und sind für diesen auch ein wichtiger Indikatororganismus. Je nach Typ haben sie auch unterschiedliche, an ihr Habitat angepasste Körper. Auffällig sind bei den Larven sowie den adulten Insekten, die beiden Cerci, also Hinterleibsanhänge, und der mittige Terminalfaden. (Spektrum- Lexikon der Biologie, 2019)



Abbildung 1: Ephemeropteralarve (links) und geschlüpftes Imago (rechts) der Gattung *Ephemera* (© Banning)

2.3.3. Plecoptera

Steinfliegen sind ein Indikator für sehr sauberes Wasser, denn sie sind die ersten Leidtragenden bei einer Wasserverschmutzung. In Mitteleuropa sind rund 100 Arten ansässig. Ihr Aussehen ist mit einer Größe von 3 mm bis 5 cm und meist dunkler Färbung eher unauffällig. Im Gegensatz zu den Eintagsfliegen haben sie nur zwei Schwanzfäden.

Je nach Art leben die Larven räuberisch, als Abweider von Algen oder ernähren sich von abgestorbenen Pflanzenresten. Sie kommen in stark strömenden, kalten und sauerstoffreichen Gewässern vor. Die unterschiedlichen Arten bevorzugen auch verschiedene Gewässerabschnitte. Nur wenige Arten können sich im stehenden Gewässer entwickeln. Das Larvenstadium dauert ein bis drei Jahre, in denen 20-30 Häutungen vollzogen werden bis sie sich – wie die Eintagsfliegenlarven - ohne Puppenstadium, also hemimetabol, zum Vollinsekt entwickeln und das Gewässer zur Paarung und Eiablage verlassen.

Nach der Steinfliegengattung *Perlodes*, deren Larven bis zu fast 3 cm lang werden, ist das deutsche Fließgewässerbewertungssystem für das Makrozoobenthos benannt.

(plecoptera.de, 2019) (Spektrum- Lexikon der Biologie, 2019)

2.3.4. Trichoptera

Köcherfliegen-Arten können überall auf der Welt in Fließ- oder Stillgewässern gefunden werden. Dank einer hohen Anpassung an ihr Habitat werden je nach Lebensraum andere Arten angetroffen. In Mitteleuropa sind etwa 300 Arten heimisch.

Durch die vielseitige Spezifikation an Gewässertypen und die vorwiegende Intoleranz gegenüber Verschmutzungen dienen auch die Trichopteren als Indikatororganismen für die Wasserqualität.

Die Imago, also das adulte Insekt, der Köcherfliegen sind 3-60 mm groß, haben eine unauffällige Färbung und sind mit feinen Haaren auf Körper sowie Flügel bedeckt.

Ungefähr die Hälfte der Köcherfliegenarten bauen, im Larvenstadium, einen Köcher aus Speichel und Fremdmaterial. Dieser kann als Wohnröhre, zum Schutz vor Fressfeinden und als

Fangnetz dienen und sowohl mobil als auch immobil sein. Manche Arten nutzen ihre Köcher auch, um durch darin erzeugte Strömungen die Sauerstoffaufnahme zu erhöhen. Ihre Ernährung hat sich an die verschiedenen Lebensräume angepasst. Je nach Nahrungsangebot sind es Filtrierer, Weidegänger oder Zerkleinerer von Laub und Holz bis hin zu räuberischen Gattungen.

Sie sind holometabole Insekten. Die ausgewachsenen Larven schließen sich zur Verpuppung unter Wasser in ihre Köcher ein. Ihre letzte Häutung vollziehen sie an Land und die Eiablage findet am oder im Gewässer statt.

(trichoptera-rp.de, 2019)

2.4. Relativer Anteil der Eintags-, Stein- und Köcherfliegenlarven (EPT)

Bei EPT handelt es sich um einen Metric Wert welcher sich auf die Taxa von Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera (Eintags-, Stein- und Köcherfliegen) bezieht.

$$\% EPT = \frac{\sum \text{Abundanzklassen EPT} - \text{Taxa}}{\sum \text{Abundanzklassen aller Taxa}}$$

Die Bestimmung der Abundanzklasse einer Art (relative Häufigkeit h_i) erfolgt über folgende Einteilung (Handbuch-Hessen 2007):

Tabelle 3: Häufigkeitsklassen der Art i

| h_i | Max Anzahl der Individuen/m ² |
|-------|--|
| 1 | 1 |
| 2 | 20 |
| 3 | 40 |
| 4 | 80 |
| 5 | 160 |
| 6 | 320 |
| 7 | > 320 |

Ein hoher Metric-Wert entspricht einem ungestörten, strukturreichen Gewässer mit hoher Biodiversität.

Dieser Metric reagiert empfindlicher auf Belastungen des Ökosystems als die Gesamttaxa, da sich in der Gesamttaxa unter anderem auch Arten befinden, die keine besonderen Lebensraumansprüche haben oder sogar als Bioindikatoren für bestimmte Stressoren gelten.

Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera sind in der Regel sehr belastungsintolerante Arten hinsichtlich der Gewässergüte und haben zudem einem hohen Anspruch an das Habitat. Dies bezieht sich, nicht nur auf das aquatische Umfeld. Als merolimnische Arten verlassen die meisten Wasserinsekten als Imago das Gewässer. Die flugfähigen Stadien bedürfen – insbesondere für die Paarung - auch ein intaktes Gewässerumfeld. Dennoch bleiben sie in der Nähe des Gewässers, da in der Regel die Eiablage entweder im oder am Wasser stattfindet.

(Fließgewässerbewertung, 2019)

2.5. Habitatindex

Der Habitatindex beinhaltet einzelne Parameter der Strukturgütekartierung (EP), welche unmittelbar relevant für die biologischen Qualitätskomponenten und die Habitatqualität des Makrozoobenthos sind. Um die komplexen Querbeziehungen zu berücksichtigen werden drei Index-Parameter Strömung, Ufer und Sohle herangezogen. Diese setzen sich wiederum aus einzelnen Parametern zusammen:

Strömung: Rückstau (EP 2.3), Querbänke (EP 2.4), Strömungsdiversität (EP 2.5),
Tiefenvarianz (EP 2.6) & Ausleitung (EP 2.7)

Ufer: Uferbewuchs (EP 5.1), Besondere Uferbelastungen (EP 5.01),
Beschattung (EP 5.02) & Besondere Uferstrukturen (EP 5.3)

Sohle: Sohlsubstrat (EP 3.1), Substratdiversität (EP 3.2) &
Besondere Sohlbelastungen (EP 3.01)

Der Habitatindex wird dann als arithmetisches Mittel berechnet:

$$HI = \frac{\text{Strömung} + \text{Ufer} + \text{Sohle}}{3}$$

(Foerster, 2019)

2.6. PERLODES

PerloDES ist ein Verfahren zur Bewertung des ökologischen Zustands der Fließgewässer in Deutschland, welches meist 2 Module beinhaltet und auch die von der WRRL geforderte typspezifische Bewertung ermöglicht. Nur durch diese typspezifische Bewertung können die je nach Gewässertyp unterschiedlichen Referenzbedingungen berücksichtigt werden.

PERLODES beruht meist auf den zwei Modulen „Saprobie“ und „allgemeine Degradation“. Das Modul „Versauerung“ wird zusätzlich bei silikatischen Mittelgebirgsbächen verwendet.

(gewässer-bewertung.de, 2019)

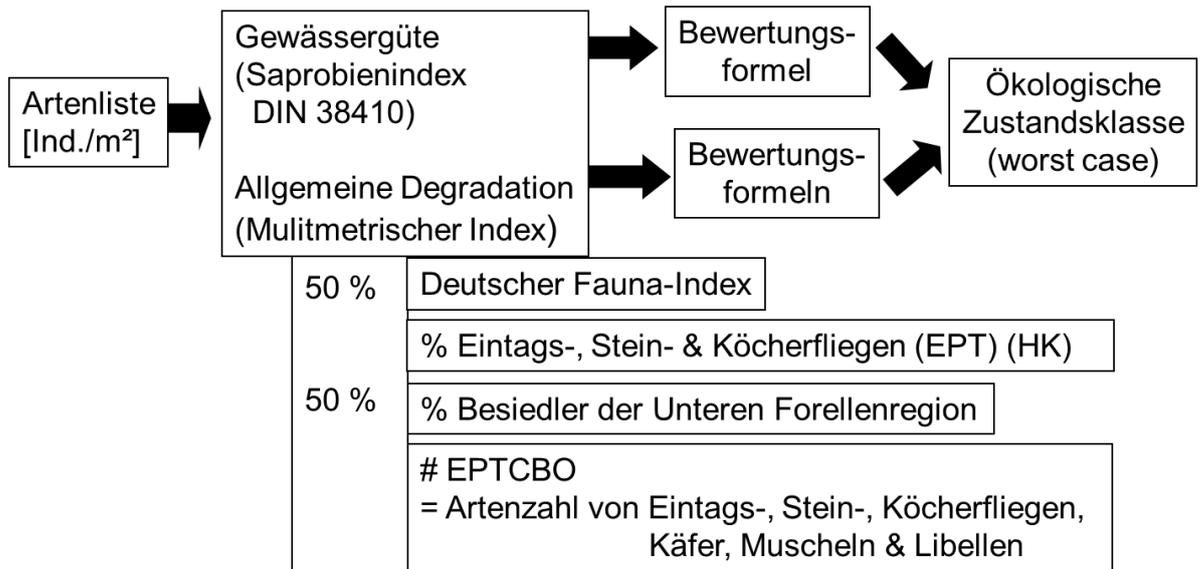


Abbildung 2: Bewertungsschema PERLODES für einen großen Mittelgebirgsfluss

2.6.1. Saprobie

Der Saprobienindex gibt an, wie sehr ein Gewässer mit organischen Substanzen verschmutzt ist. Um organische Substanzen abbauen zu können wird Sauerstoff verbraucht. Somit ist in Gewässern mit höherer organischer Belastung weniger Sauerstoff vorhanden.

Je größer der Wert ist, desto höher ist die organische Verschmutzung und somit ist auch der Sauerstoffgehalt niedriger. Unbelastete Gewässer haben einen Index von 1,0, sehr stark verschmutzte Gewässer einen maximalen Index von 4,0.

Der Saprobienindex ist ein Modul der ökologischen Bewertung der Gewässer nach „Perlodes“ (siehe Abbildung 2).

Berechnung des Saprobienindex:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \cdot A_i \cdot G_i}{\sum_{i=1}^n A_i \cdot G_i}$$

s = Saprobiewert

A = Abundanzziffer

G = Indikationsgewicht

n = Anzahl der Indikator taxa

i = Laufindex (i-tes Taxon)

(gewässer-bewertung.de, 2019)

Tabelle 4: Bewertung des ökologischen Zustandes im Teilbereich "Biologische Gewässergüte" mit gewässertypspezifischen Klassengrenzen beim Saprobienindex (Banning & Helsper 2010)

| ökologischer Zustand | Typ 5 | Typ 5.1, 7 & 9 | Typ 6 & 9.1 | Typ 9.2 | Typ 10 | Typ 19 |
|-----------------------|---------------|----------------|-------------|---------------|--------------|--------------|
| Grundzustand | 1,35 | 1,45 | 1,6 | 1,65 | 1,75 | 1,8 |
| sehr gut | ≤ 1,45 | ≤ 1,60 | ≤ 1,7 | ≤ 1,8 | ≤ 1,85 | ≤ 1,9 |
| gut | > 1,45 – 2,0 | > 1,6 – 2,1 | > 1,7 – 2,2 | > 1,8 – 2,25 | > 1,85 – 2,3 | > 1,9 – 2,35 |
| mäßig | > 2,0 – 2,65 | > 2,1 – 2,75 | > 2,2 – 2,8 | > 2,25 – 2,85 | > 2,3 – 2,9 | > 2,35 – 2,9 |
| unbefriedigend | > 2,65 – 3,35 | > 2,75 – 3,35 | > 2,8 – 3,4 | > 2,85 – 3,4 | > 2,9 – 3,45 | > 2,9 – 3,45 |
| schlecht | > 3,35 | > 3,35 | > 3,4 | > 3,4 | > 3,45 | > 3,45 |

Legende: Typ 5 Grobmaterialreiche silikatische Mittelgebirgsbäche (EZG 10 - 100 km²)
 Typ 5.1 Feinmaterialreiche silikatische Mittelgebirgsbäche (EZG 10 - 100 km²)
 Typ 6 Feinmaterialreiche karbonatische Mittelgebirgsbäche (EZG 10 - 100 km²)
 Typ 7 Grobmaterialreiche karbonatische Mittelgebirgsbäche (EZG 10 - 100 km²)
 Typ 19 Kleine Niederungsfießgewässer in Fluss- und Stromtälern (EZG 10 - 1.000 km²)
 Typ 9 Silikatische fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsflüsse (EZG 100 - 1.000 km²)
 Typ 9.1 Karbonatische fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsflüsse (EZG 100 - 1.000 km²)
 Typ 9.2 Große Flüsse des Mittelgebirges (EZG 1.000 - 10.000 km²)
 Typ 10 Kiesgeprägte Ströme (EZG > 10.000 km²)

2.6.2. Allgemeine Degradation

Die allgemeine Degradation besteht aus meist 3 – 4 Einzelmetrics und gibt Aufschluss über die Effekte von anthropogenen Stressoren, wie Pestizidbelastungen, Beeinträchtigung der Gewässermorphologie oder auch die Nutzungsart im betrachteten Bereich, auf den Gewässerzustand (gewässer-bewertung.de, 2019). In diesem Modul wird bei allen Gewässertypen der Metric „Fauna-Index“ (also die gewässertypspezifische Besiedlung) und der oben beschriebene Metric % EPT (HK) berücksichtigt.

2.7. Landnutzungsindex

Die Belastungssituation der Gewässer kann unter anderem durch die Art und Intensität der Landnutzung beeinflusst werden. Zum Beispiel kann an Gewässern in Waldstandorten von einer geringeren Belastung durch Pflanzenschutzmittel oder andere Stressoren ausgegangen werden, als bei Gewässern, welche an landwirtschaftlich genutzten Standorten liegen. (vgl. Berthold/Kolster 2007: 55f)

Der Landnutzungsindex beschreibt eine statistische Größe für die Intensität.

Als Datengrundlage werden die CORINE Land Cover-Daten zur Landbedeckung und -nutzung in der Vegetationsperiode des Jahres 2012 zu den Kategorien Wald, Grünland, Ackerland und

städtische Nutzung in einem 100 m und 500 m breiten Pufferstreifen um das Gewässer genutzt (vgl. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2016: 3f). Daraus berechnet sich der Landnutzungsindex wie folgt:

$$\text{Landnutzungsindex (LUI)} = 1 * \text{Grünland} + 2 * \text{Ackerland} + 4 * \text{städtische Nutzung}$$

(vgl. UBA 2014: 123ff)

Ein höherer Landnutzungsindex beschreibt eine intensivere landwirtschaftliche oder städtische Nutzung. Entsprechend kann auch von einem erhöhten Belastungspotential ausgegangen werden. (vgl. Berthold/Kolster 2007: 55f) Für die Korrelationsanalysen wurden die Pufferstreifen des Landnutzungsindex von insgesamt 100 m Breite (je 50 m Breite an jedem Ufer) (LUI_100) für den Gewässerabschnitt 0 bis 500 m (LUI_100_500) oberhalb der Messstelle und 500 m Breite (je 250 m Breite an jedem Ufer) (LUI_500) für den Gewässerabschnitt 0 bis 5000 m (LUI_500_5000) oberhalb der Messstelle gewählt.

2.8. Eutrophierung

Unter Eutrophierung versteht man die Anreicherung von Nährstoffen in Gewässern. Besonders betroffen sind stehende und langsam fließende Gewässer. Der Überschuss an Nährstoffen, ist anthropogenen Ursprungs. Meist handelt es sich dabei um Phosphate aus kommunalen Abwässern oder Nitrate, welche durch Auswaschungen von Düngern aus landwirtschaftlichen Gebieten ins Wasser gelangen. Aufgrund des erhöhten Nährstoffangebots wachsen vermehrt Algen. Diese sorgen zwar zuerst, in den oberen Gewässerschichten, tagsüber für eine Sauerstoffzunahme, jedoch sinkt der Sauerstoffgehalt nachts und sehr stark, sobald die abgestorbenen Algen abgebaut werden müssen. So wird das biologische Gleichgewicht des Gewässers gefährdet.

(Spektrum- Lexikon der Biologie, 2019)

2.9. Datengrundlage

2.9.1. Probenahme

Die Probenahme beinhaltet die Entnahme einer Stichprobe des zu untersuchenden Gewässers. Ein entscheidendes Kriterium für die Probenahme ist die Repräsentativität des Untersuchungsabschnitts (der Messstelle). Bei der Probenahme werden – entsprechend dem jeweiligem Sohlsubstrat 20 Teilproben genommen – also pro 5 % Substratanteil 1 Teilprobe (siehe Abbildung 3 und 4.



Abbildung 3: Repräsentative Probenahme des Makrozoobenthos (©Banning)

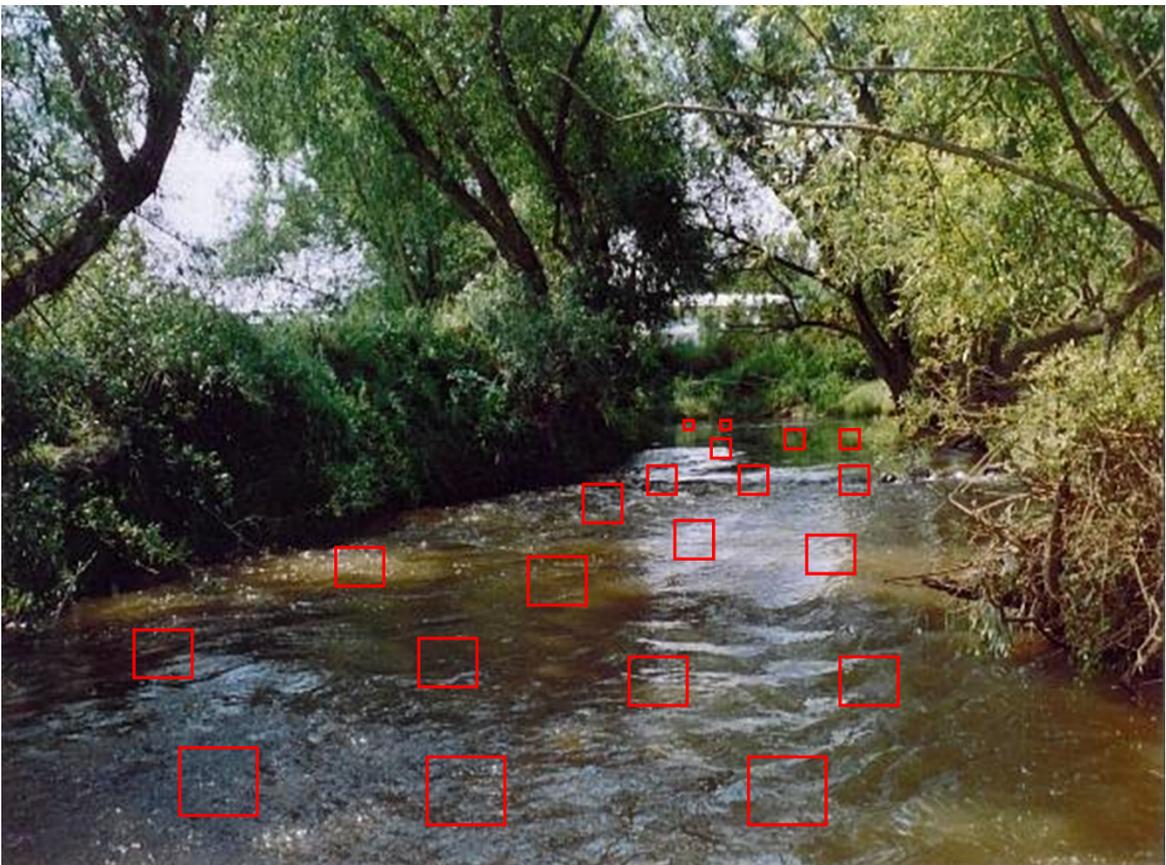


Abbildung 4: Erfassung des Makrozoobenthos mit 20 Teilproben (Multihabitat-Sampling)

2.9.2. Messstelle

Die Messstellen bezeichnen in der Untersuchung ortsgebundene Untersuchungsabschnitte, an denen die Probenahmen (in Hessen meist in einem Abstand von 3 Jahren) durchgeführt werden. Aufgrund der festen örtlichen Zuordnung und den daraus resultierenden Gegebenheiten, hat die Messstelle einen hohen Aussagewert in Bezug auf das Vorkommen von Insekten.

2.9.3. Wasserkörper

Wasserkörper sind die kleinste zu bewirtschaftende Gewässereinheit. Ein Wasserkörper ist in der europäischen WRRL definiert als „ein einheitlicher und bedeutender Abschnitt eines Oberflächengewässers, z. B. ein See, ein Speicherbecken, ein Strom, Fluss oder Kanal, ein Teil eines Stroms, Flusses oder Kanals, ein Übergangsgewässer oder ein Küstengewässerstreifen.“ (WRRL Artikel 2, Absatz 10)

Fließgewässeroberflächenwasserkörper (nachfolgend nur noch „Wasserkörper“) sind bestimmte Abschnitte mit einer Einzugsgebietsgröße von mindestens zehn Quadratkilometern. Diese einzelnen Einheiten werden mithilfe mehrerer Messstellen regelmäßig auf ihren chemischen und ökologischen Zustand hin überprüft.

Weniger als 10 % der Oberflächengewässer in Deutschland weisen einen guten ökologischen Zustand auf.

(Umweltbundesamt, 2019) (gewaesser-bewertung.de, 2019)

2.9.4. Datenumfang und ausgewertete Parameter

Insgesamt konnten für die 3 Bezugsgrößen knapp 4000 Datensätze ausgewertet werden

Tabelle 5: Umfang der ausgewählten Daten

| Datenebene | Anzahl der Datensätze |
|--------------|-----------------------|
| Probenahme | 2666 |
| Messstelle | 1761 |
| Wasserkörper | 411 |

Die Entwicklung der Insektenfauna wurde dann im Hinblick auf folgende abiotische und biotische Parameter analysiert:

Tabelle 6: Betrachtete abiotische und biotische Parameter

| Parameter (Bäche und Flüsse) | Probe- nahme | Mess- stelle | Wasser- körper |
|---|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Ökologischer Zustand: Saprobie | X | | |
| Ökologischer Zustand: Allgemeine Degradation | X | | |
| Gewässerstruktur: Strömungsvielfalt | X | | |
| Gewässerstruktur: Anzahl anorganische Substrate | X | | |
| Gewässerstruktur: Substratvielfalt | X | | |
| Beschattung | X | | |
| Gewässerstruktur: Habitatindex | | X | |
| Landnutzung: Landnutzungsindex | | X | |
| Gewässerstruktur: Anteil Strukturklassen 1 - 4 | | | X |
| Gewässerstruktur: defizitäre Gewässerabschnitte | | | X |
| Phosphorkonzentration | | | X |

3. Ergebnisse

Korrelationsanalysen wurden für die Datensätze aus den Probenahmen, an den Messstellen sowie von den Wasserkörpern berechnet. Alle Ergebnisse finden sich im Anhang. Dabei markiert die rote Schriftfarbe die signifikanten Korrelationen.

Im Folgenden werden ausgewählte Beispiele graphisch dargestellt und diskutiert.

3.1. Probenahme

Die Abbildung 5 zeigt die Abhängigkeit der Anzahl von Insektenarten von der Ökologischen Zustandsklasse Saprobie. Es werden alle Insektenarten mit einbezogen.

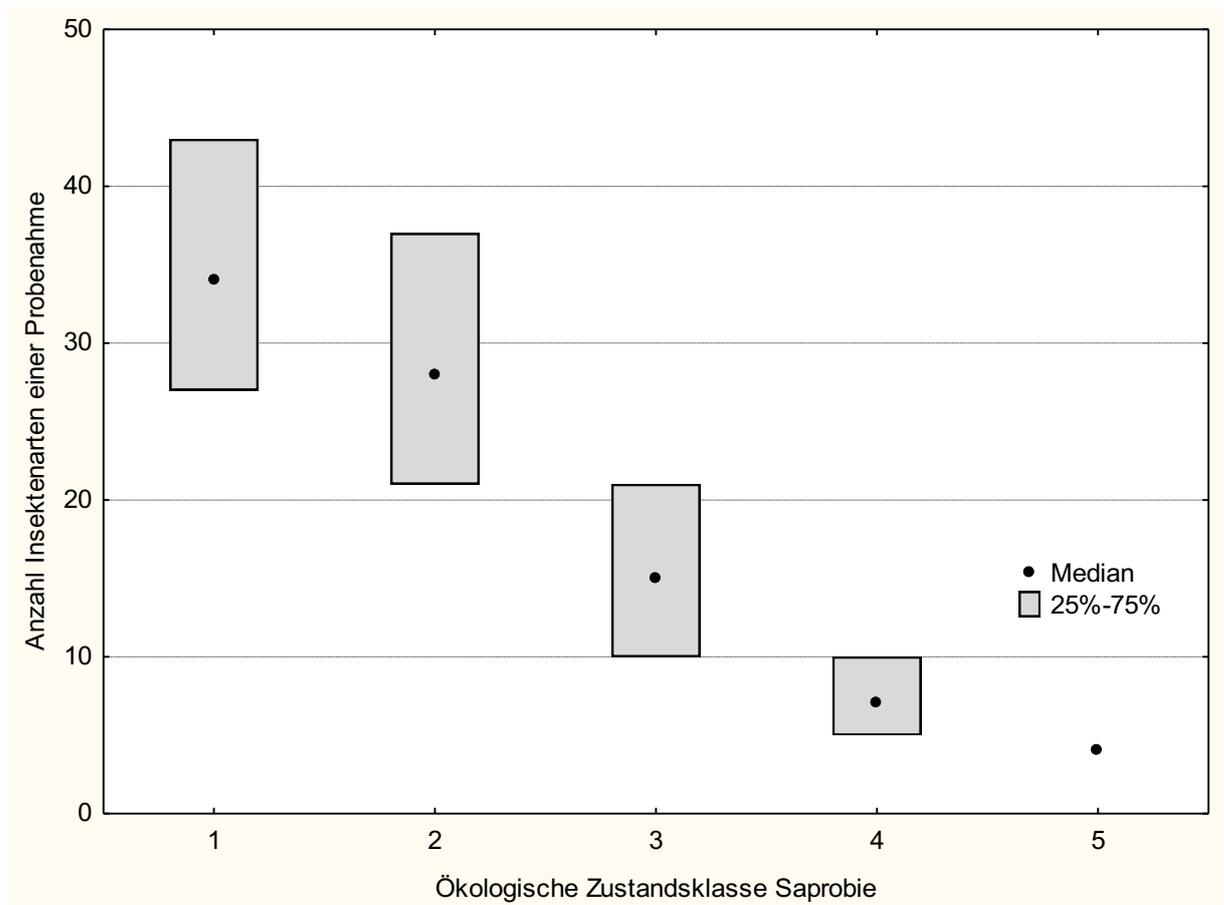


Abbildung 5: Anzahl Insektenarten einer Probenahme - Ökologische Zustandsklasse Saprobie

Die Abbildung 5 zeigt eine deutliche Abhängigkeit der vorkommenden Insektenarten in einer Probenahme zu der ökologischen Zustandsklasse Saprobie, obwohl r nur 0,3 beträgt. Die Trennung zwischen Zustandsklasse 2 und 3 ist sehr deutlich zu erkennen, dort hat das 25 % Perzentil der Klasse 2 denselben Wert wie das 75 % Perzentil der Klasse 3.

Der Median der Anzahl der Insektenarten sinkt mit jeder niedrigeren Zustandsklasse. Somit lässt sich sagen, dass die Artenvielfalt größer ist, je besser die ökologische Zustandsklasse Saprobie ist. In Zustandsklasse 4 und 5 können nur noch bestimmte Insekten, die mit hoher organischer Belastung und wenig Sauerstoff auskommen, leben. Bei diesen Arten handelt es

sich um Zuckmückenlarven und diverse andere Larven aus der Insektenordnung der Zweiflügler (z.B. viele Arten aus der Gruppe der Kriebelmücken), die in stärker belasteten Gewässern vorkommen können.

Abbildung 6 zeigt die Abhängigkeit der Anzahl der Steinfliegenarten in der Probenahme mit der ökologischen Zustandklasse Saprobie

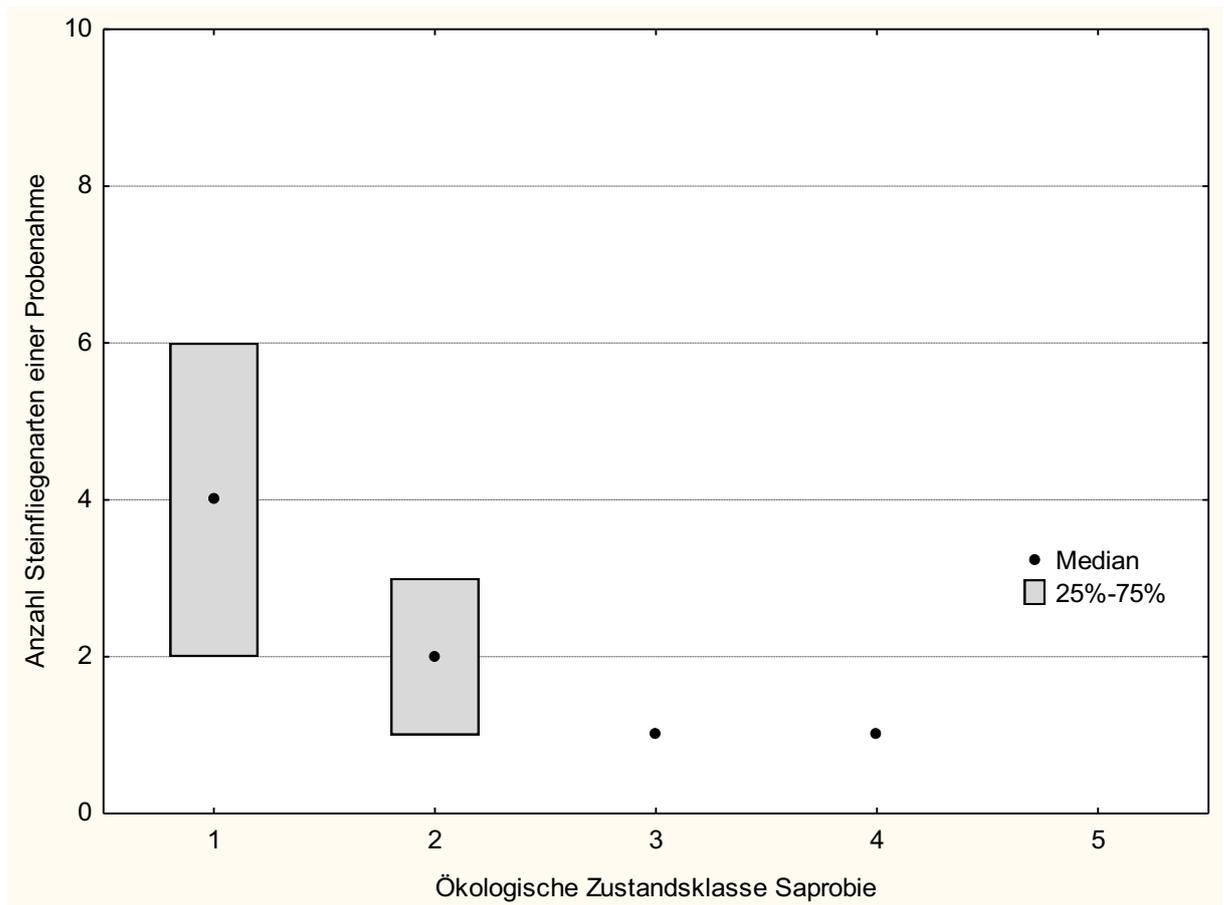


Abbildung 6: Anzahl Steinfliegenarten einer Probenahme - Ökologische Zustandklasse Saprobie

Bei den Steinfliegen handelt es sich um die empfindlichste Insektenordnung, deshalb kommen Steinfliegenarten nur in den Zustandklassen 1 und 2 und nur noch ganz vereinzelt bei Zustandklasse 3 und 4 und bei Klasse 5 gar nicht mehr vor. Zwar war die Anzahl der Datensätze in den Zustandklassen 4 und 5 nur sehr gering (18 bzw. 2); jedoch innerhalb der Zustandklasse 3 lagen 606 Datensätze vor; somit ist das Ergebnis als gesichert anzusehen.

Das zeigt, dass die Steinfliegenarten viel Sauerstoff benötigen und keinesfalls in Gewässern mit erhöhter organischer Konzentration lebensfähig sind. Der Wert für R liegt bei -0,53 und ist damit ein Wert, der im Vergleich zu den anderen, im höheren Bereich einzuordnen ist.

Abbildung 7 zeigt die Abhängigkeit der Anzahl an Köcherfliegen in einer Probenahme und der ökologischen Zustandsklasse Saprobie

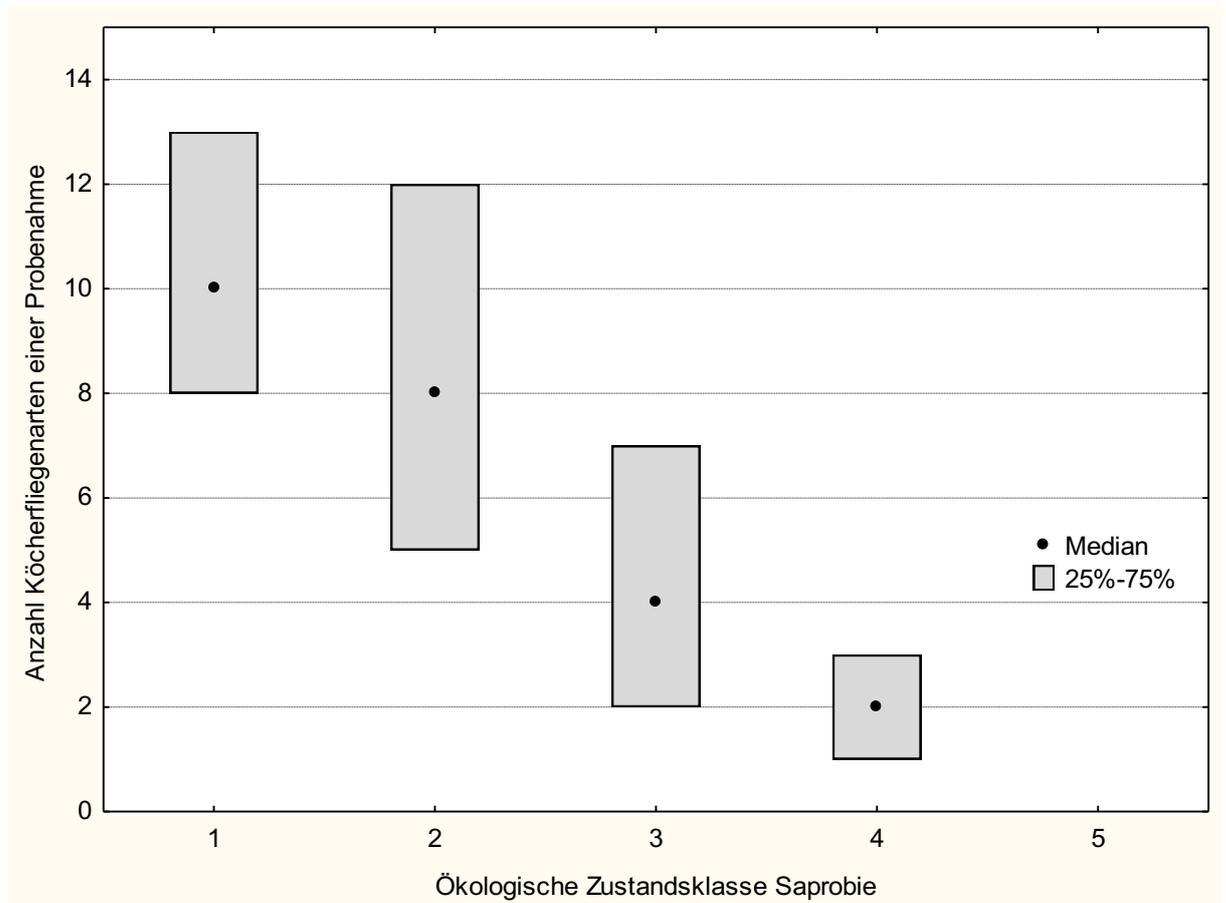


Abbildung 7: Anzahl Köcherfliegenarten einer Probenahme

Die Abbildung 7 bestätigt die vorherigen Aussagen. Beim Vergleich von Abbildung 5 und 6 lässt sich erkennen, dass die Köcherfliegenarten deutlich weniger sensibel, in Bezug auf die organische Belastung, als die Steinfliegenarten sind. Dennoch ist auch hier deutlich eine Abnahme mit zunehmender organischer Belastung zu erkennen. Während bei den Steinfliegen in Zustandsklasse 3 im Median nur noch eine Art vorkommt, sind bei den Köcherfliegen noch 2 Arten im Median bei Zustandsklasse 4 vertreten. Wie aber in der nachstehenden Abbildung 8 zu erkennen ist, wurden hier jeweils nur sehr geringe Besiedlungsdichten nachgewiesen. Analog zu den Steinfliegen – wurden bei Zustandsklasse 5 keinerlei Köcherfliegenarten mehr gefunden.

Die Abbildung 8 zeigt die Korrelation des prozentualen Anteils der Köcherfliegenlarven bei einer Probennahme und der ökologischen Zustandsklasse Saprobie.

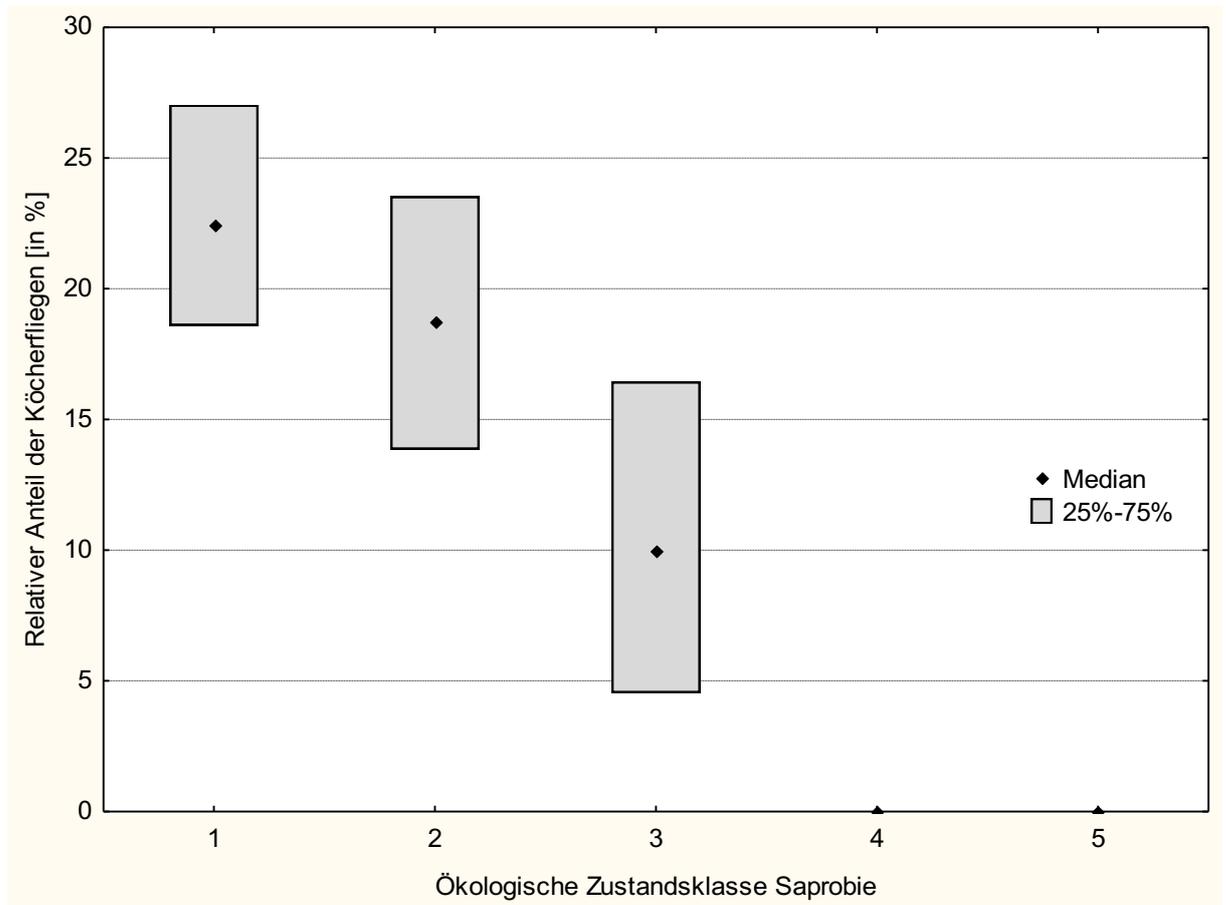


Abbildung 8: Relativer Anteil der Köcherfliegen - Ökologische Zustandsklasse Saprobie

Erneut ist eine deutliche Abhängigkeit zu erkennen. Anders als bei den vorherigen Abbildungen wird hier der relative Anteil von Köcherfliegenindividuen unabhängig von der Art betrachtet. Auffällig ist, dass der Anteil an Köcherfliegen von Klasse 1 zu 2 einen geringeren Unterschied aufweist als der Unterschied von Klasse 2 zu 3. Dies lässt vermuten, dass die Köcherfliegen in einem Gewässer mit geringer organischer Belastung (Klasse 2) so gut wie nicht beeinträchtigt werden. Bei Klasse 4 und 5 liegt der relative Anteil bei 0. Das bedeutet, es wurde im Median keine einzige Köcherfliege in den Proben gefunden.

Abbildung 9 zeigt die Abhängigkeit des relativen Anteils der EPT zu der ökologischen Zustandsklasse Saprobie.

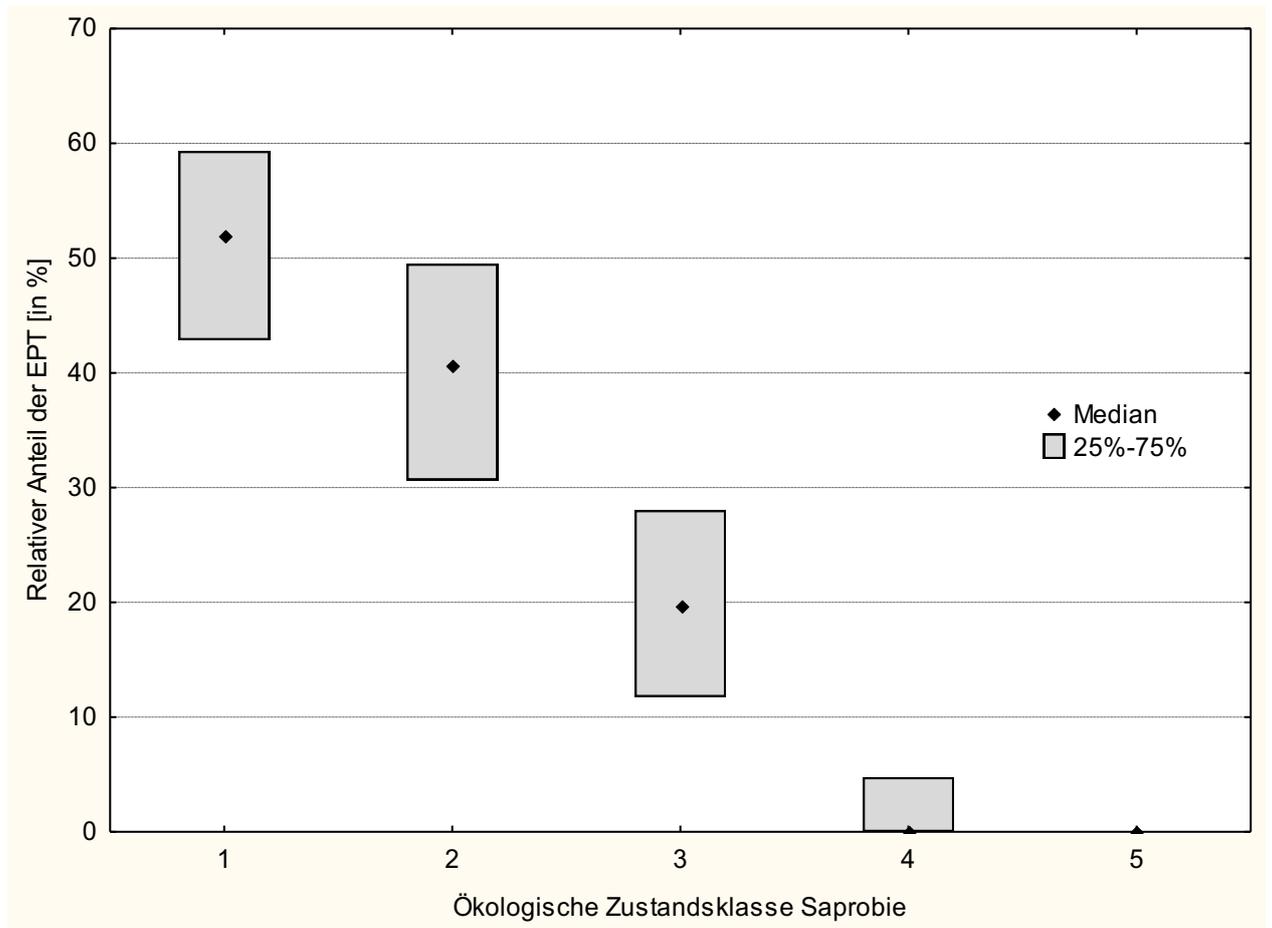


Abbildung 9: Relativer Anteil der EPT - Ökologische Zustandsklasse Saprobie

Das 75 % Perzentil der Klasse 3 (ab dieser Zustandsklasse „mäßig“ besteht Handlungsbedarf zur Verbesserung des ökologischen Zustands), liegt unterhalb des 25 % Perzentils der Klasse 2, somit ist eine sehr klare Abgrenzung der beiden Klassen gegeben. Es kommen deutlich weniger Individuen der EPT in Klasse 3 vor als in Klasse 2.

Um einen höheren relativen Anteil der EPT zu bekommen (Metric im Modul „Allgemeine Degradation“), ist es somit eine Voraussetzung, dass das Gewässer hinsichtlich der organischen Belastung im Modul Saprobie zu mindestens die Zustandsklasse 2 erreicht hat.

Allgemein lässt sich sagen, dass die Korrelationen der relativen Anteile von Insekten immer höher sind, als die Korrelationen der absoluten Individuenzahl.

Abbildung 10 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Relativen Anteil an Insekten in der Probenahme und der ökologischen Zustandsklasse Saprobie.

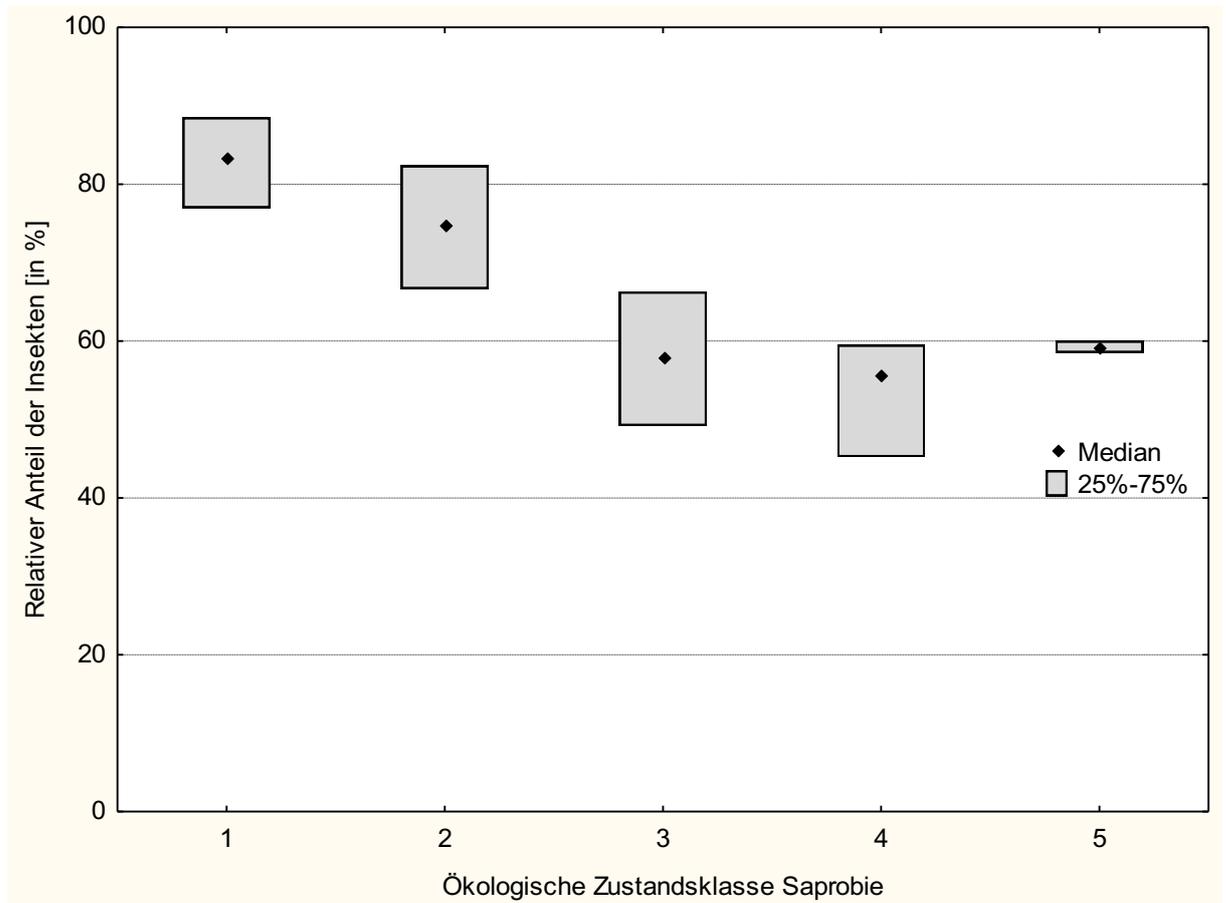


Abbildung 10: Relativer Anteil der Insekten - Ökologische Zustandsklasse Saprobie

Abbildung 10 zeigt noch einmal die Abhängigkeit der beiden untersuchten Größen. Allgemein könnte die Aussage getroffen werden, dass umso besser die Klasse desto mehr Insekten kommen vor.

Das der relative Anteil aller Insekten im Vergleich zu einzelnen oben dargestellten Insektenordnungen nicht so deutlich ausfällt, liegt insbesondere – wie bereits oben erläutert - an der Insektenordnung der Zweiflügler. Innerhalb dieser Ordnung gibt es zahlreiche abwassertolerante Arten, welche zudem dann in höherer Zahl auftreten können.

So liegt der Median der Klasse 5 sogar oberhalb des Medians der Klassen 3 und 4.

Abbildung 11 zeigt die Abhängigkeit der Insektenarten zu der allgemeinen Ökologischen Zustandsklasse Allgemeine Degradation.

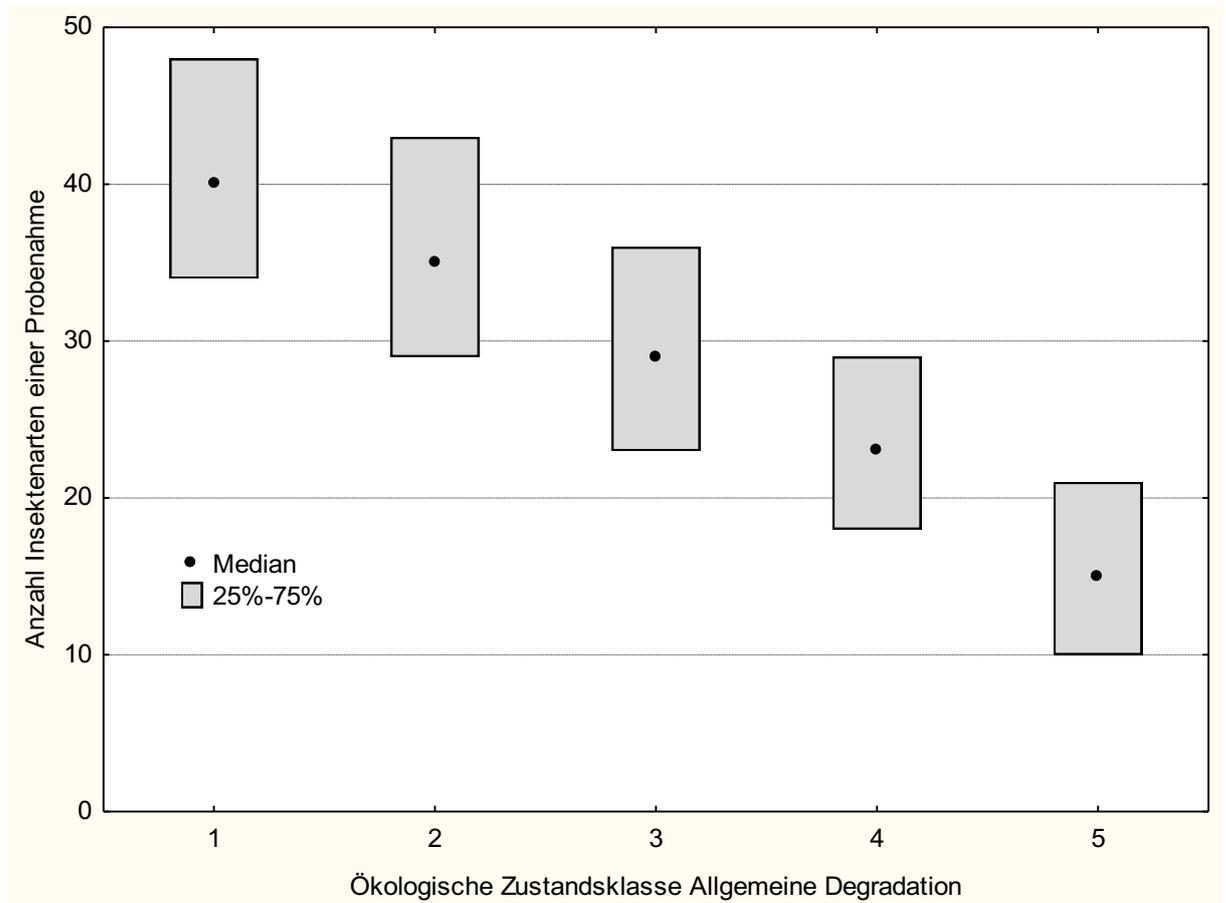


Abbildung 11: Anzahl Insektenarten einer Probenahme - Ökologische Zustandsklasse Allgemeine Degradation

Der Wert für r beträgt $-0,43$ und deutet somit auf eine relativ hohe signifikante Korrelation hin. Die Anzahl der nachgewiesenen Insektenarten nimmt mit jeder höheren Klasse linear ab. Die Abbildung ähnelt der Abbildung 4, in welcher die Abhängigkeit der Anzahl der Insektenarten zur Saprobie dargestellt ist. Ein Unterschied ist, dass die Abstände der Perzentile bei Klasse 2 und 3 hier jedoch geringer sind.

Die Abbildung 12 zeigt die hohe Korrelation des relativen Anteils der Eintags-, Stein- und Köcherfliegen mit der ökologischen Zustandsklasse Allgemeine Degradation.

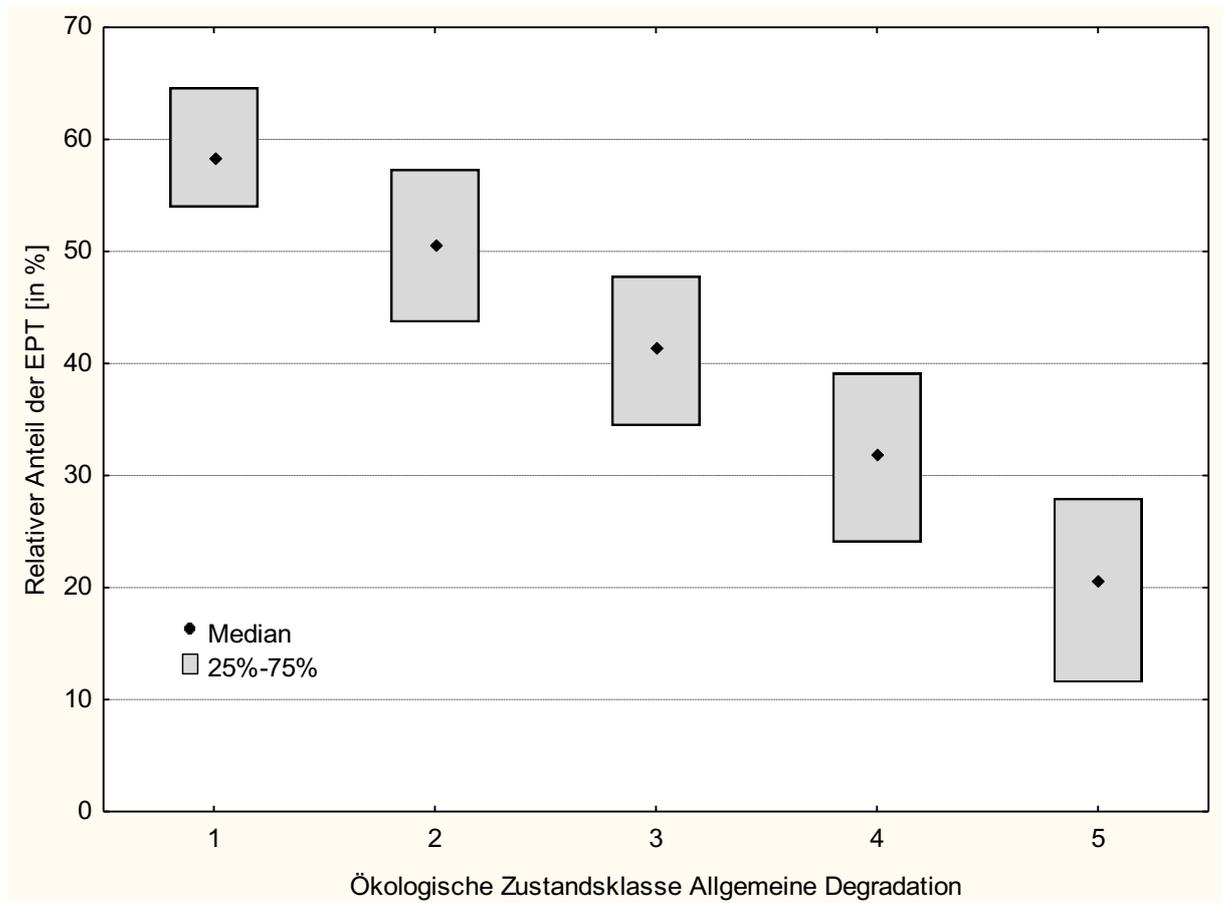


Abbildung 12: Relativer Anteil der EPT - Ökologische Zustandsklasse Allgemeine Degradation

Bei dieser Abbildung ergab sich mit einem Wert für r von 0,8 die höchste Korrelation. Der Anteil der EPT nimmt linear mit der Verschlechterung der Zustandsklasse ab. Aufgrund der Tatsache, dass der relative Anteil der EPT als Bewertungsparameter bei der Allgemeinen Degradation herangezogen wird, war diese hohe signifikante Korrelation auch zu erwarten.

Die Abbildung 13 zeigt die Anzahl der Insektenarten einer Probenahme in Abhängigkeit zur Strömungsvielfalt im Bereich der Messstelle.

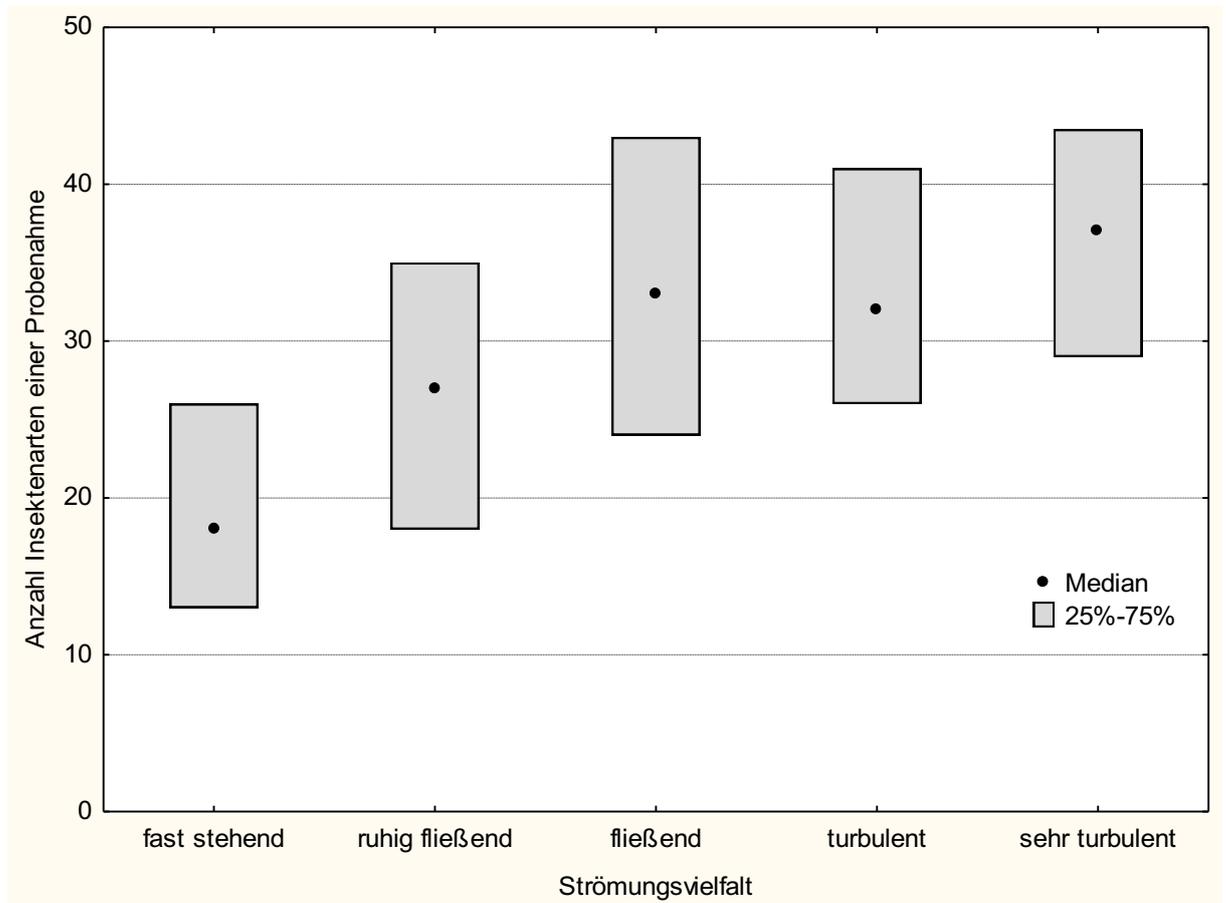


Abbildung 13: Anzahl Insektenarten einer Probenahme - Strömungsvielfalt

Prinzipiell erhöht sich die Anzahl der Insektenarten mit der Zunahme der Strömungsvielfalt. Dennoch ist die Korrelation mit $r = 0,06$ nicht signifikant. Ein leichter Unterschied lässt sich von ruhig fließender zu fließender Strömung feststellen. Hier scheint ein kritischer Punkt für das Vorkommen vieler, meist strömungsliebender Insektenarten zu bestehen.

In ruhigen Gewässern nimmt die Zahl der Insektenarten signifikant ab, während ab einer gewissen Turbulenz in der Strömung die Zahl der Insektenarten konstant bleibt.

Die Abbildung 14 zeigt den relativen Anteil der EPT in Prozent gegenüber der Strömungsvielfalt.

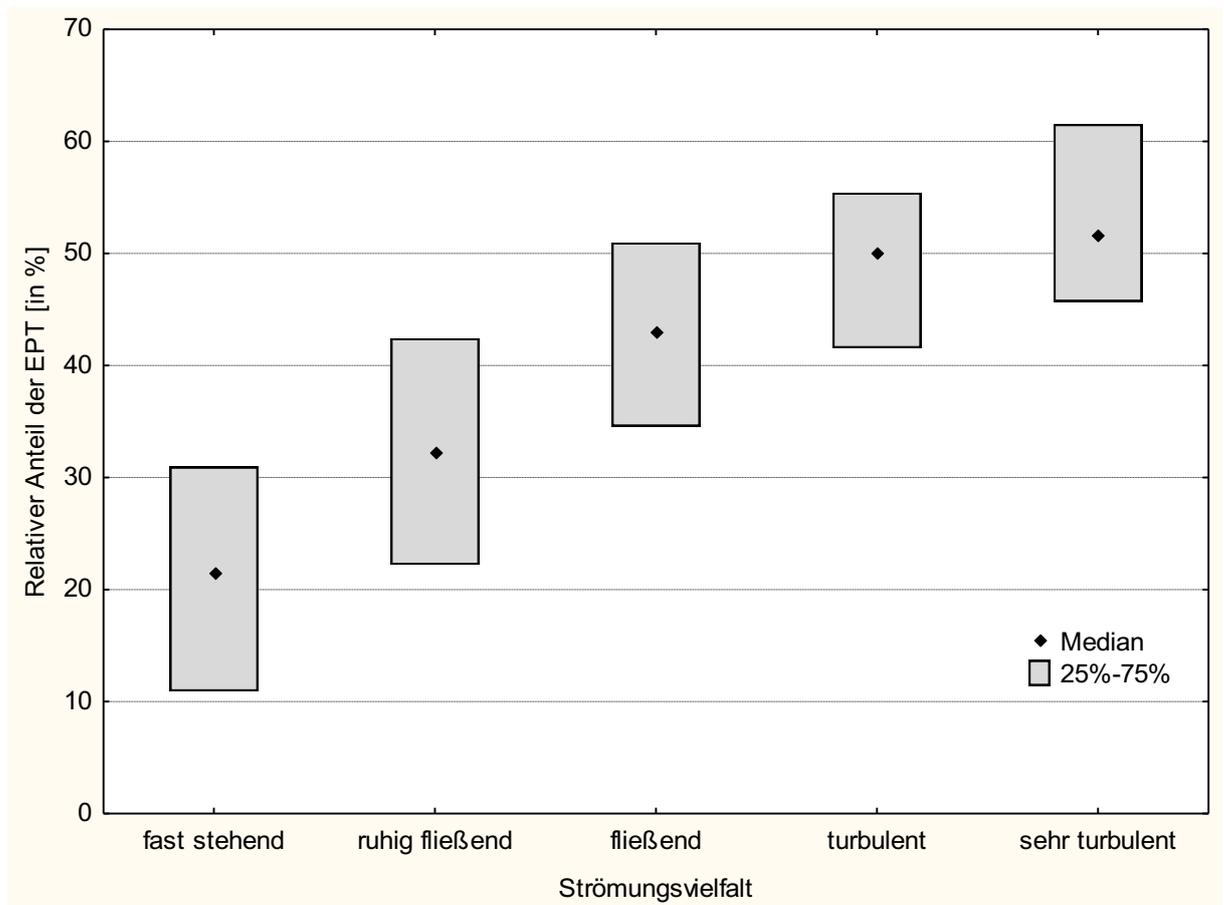


Abbildung 14: Relativer Anteil der EPT - Strömungsvielfalt

Der relative Anteil der EPT weist eine signifikante Korrelation mit der Strömungsvielfalt auf. Der Verlauf der Steigung des Medians des relativen Anteils der EPT ist im Vergleich zu der Anzahl der Insektenarten wesentlich ausgeprägter – dies bedeutet, dass diese drei Insektenordnungen deutlich stärker auf eine gewisse Strömung angewiesen sind als andere Insektenordnungen, wie z.B. die Wasserkäfer (Coleoptera) oder die Libellen (Odonata) (vgl. Tabelle 7). Dies bestätigt auch der höhere Korrelationskoeffizient ($r = 0,24$) und ist ein Hinweis, dass der EPT ein geeigneter Metric zur Bewertung des ökologischen Zustands der Fließgewässer ist.

Die Abbildung 15 zeigt die Anzahl der Insektenarten einer Probenahme gegenüber der Anzahl der vorgefundenen natürlichen anorganischen Substrate.

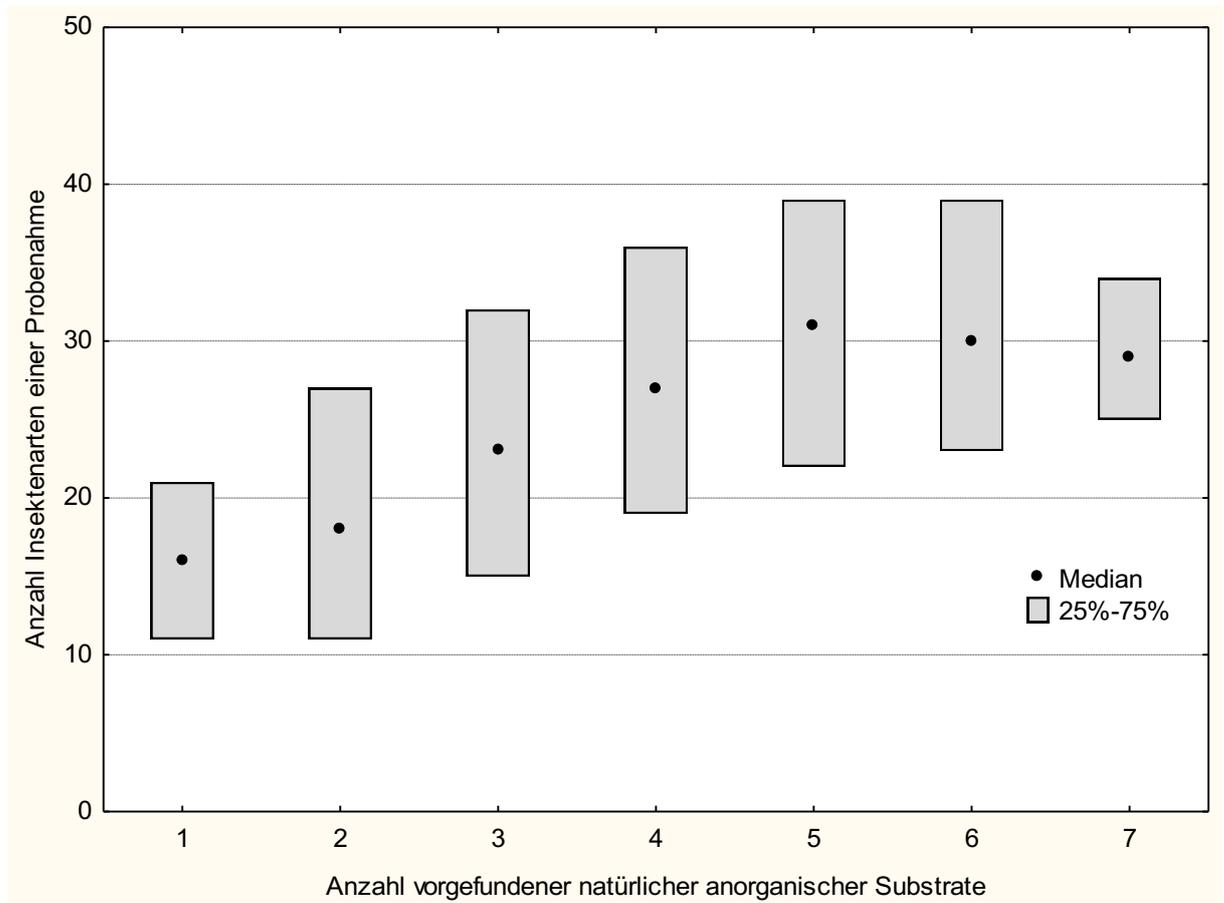


Abbildung 15: Anzahl Insektenarten einer Probenahme - Anzahl vorgefundener natürlicher anorganischer Substrate

Die Anzahl der gefundenen Insektenarten einer Probenahme weist eine kaum signifikante Korrelation mit der Anzahl der natürlichen anorganischen Substrate auf. Der Korrelationskoeffizient ist mit $r = 0,06$ nicht signifikant. Dennoch lässt sich ein linearer Anstieg des Medians von einem bis fünf vorgefundenen natürlichen anorganischen Substraten beobachten.

Ab einer Anzahl von fünf anorganischen Substraten lässt sich kein weiterer Anstieg der Insektenarten in einer Probenahme feststellen. Es zeigt sich gegenteilig sogar eine leichte Abnahme in der Anzahl der Insektenarten. Ursache dieser nur geringen Abhängigkeit ist ggf. darin zu suchen, dass die Größe der auf der Gewässersohle liegenden Steine nur eine untergeordnete Rolle spielen und die Artenvielfalt ggf. nur davon abhängt, ob Schlamm, Sand, lagerungsinstabile und lagerungsstabile Steine auf der Gewässersohle zu finden sind.

Die Abbildung 16 zeigt den relativen Anteil der EPT in Prozent gegenüber der Anzahl vorgefundener natürlicher anorganischer Substrate.

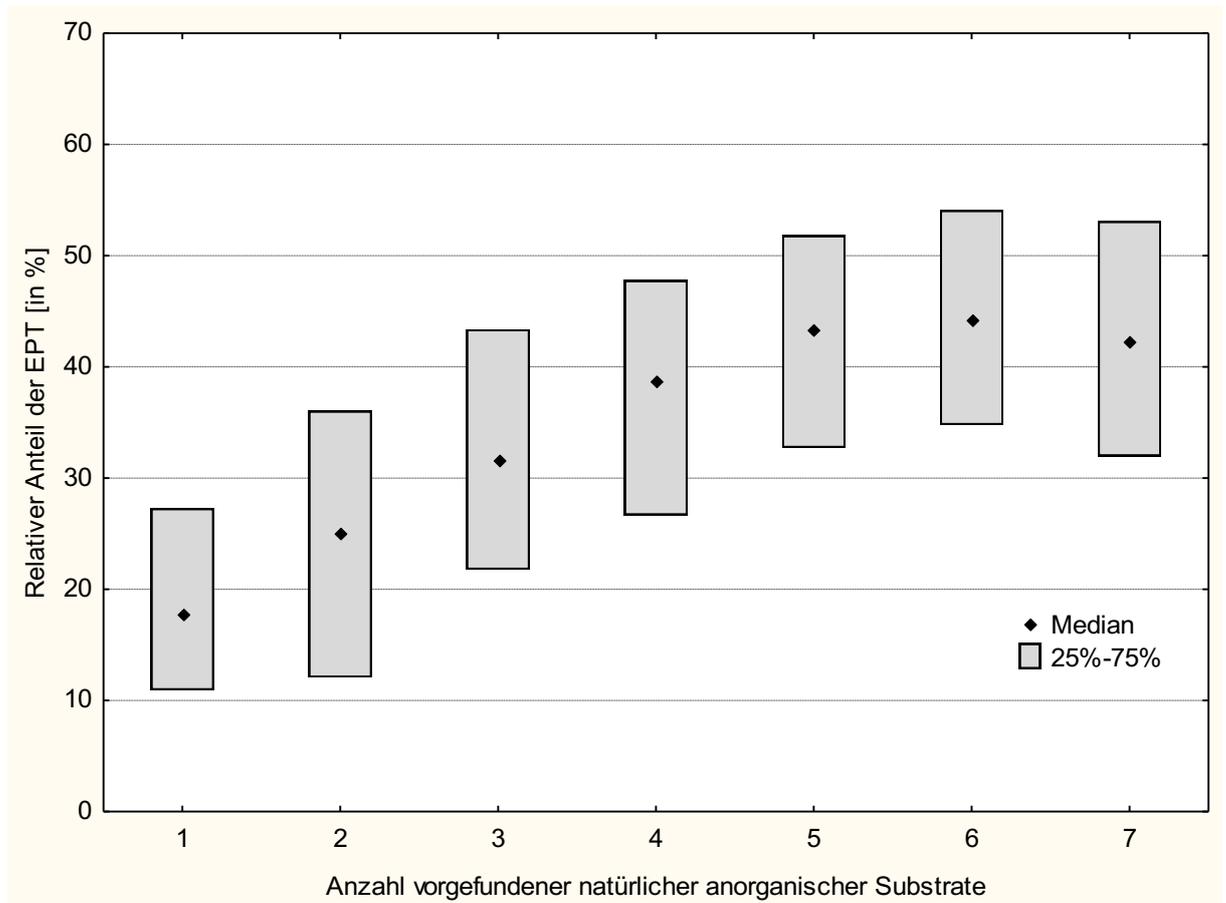


Abbildung 16: Relativer Anteil der EPT - Anzahl vorgefundener natürlicher anorganischer Substrate

Analog zur Anzahl der Insektenarten zeigt sich beim relativen Anteil der EPT zunächst ein linearer Anstieg mit zunehmender Anzahl an natürlichen anorganischen Substraten. Die Korrelation fällt geringer aus als es im Vorfeld zu diesem Strukturparameter erwartet wurde ($r = 0,2$). Dennoch ist der Korrelationswert signifikant. Auch hier wird die Ursache – wie oben beschrieben – darauf zurückgeführt, dass die Artenvielfalt ggf. nur davon abhängt, ob Schlamm, Sand, lagerungsinstabile und lagerungsstabile Steine auf der Gewässersohle zu finden sind.



Abbildung 17: Larven der Köcherfliegen *Oligopteryx maculatum* sind auf lagerungsstabile Steine auf der Gewässersohle angewiesen, da sie sich mit ihrem Köcher in Strömungsrichtung fest an das Substrat heften. (© Banning)

Abbildung 18 zeigt die Abhängigkeit des relativen Anteils der EPT zu der Substratvielfalt.

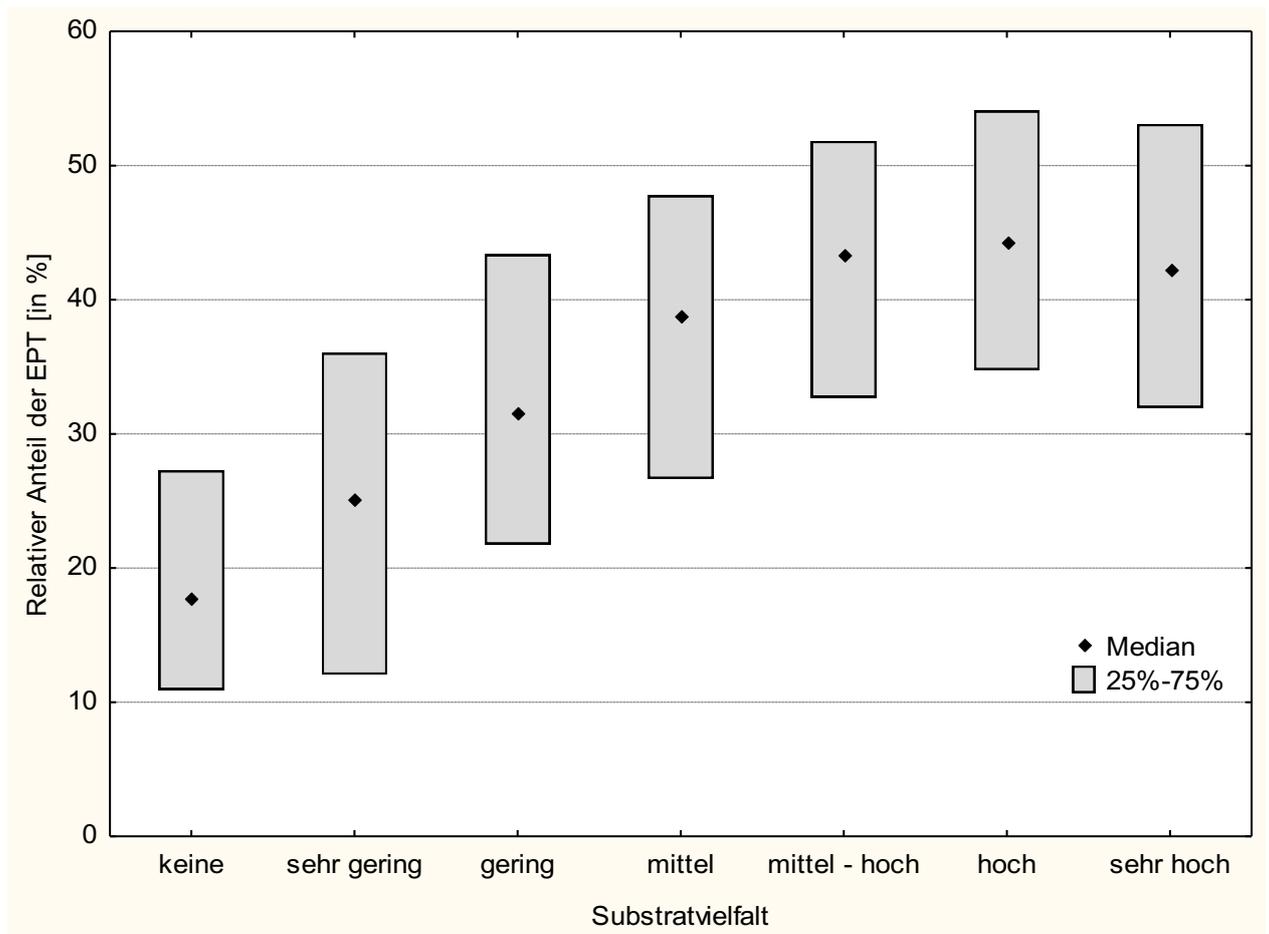


Abbildung 18: Relativer Anteil der EPT – Substratvielfalt

Die Korrelation der Substratvielfalt mit dem relativen Anteil der EPT fällt, wie in Tabelle 7 (siehe Anhang A1) mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,44$ positiv aus. Da bei diesem Parameter auch die organischen Substrate (wie z.B. Wassermoose und höhere Wasserpflanzen) mitberücksichtigt werden, zeigt sich im Gegensatz zu den obigen Analysen eine deutlich größere Abhängigkeit. Die Abbildung zeigt einen deutlichen Anstieg des relativen Anteils der EPT mit steigender Substratvielfalt. Bei einer hohen Substratvielfalt liegt der Median mit 44 Prozent am höchsten. Liegt keine Substratvielfalt vor, ist der Median des relativen Anteils der EPT mit 18 Prozent gering. Diesem Ergebnis entsprechend kann die Aussage getroffen werden, dass eine hohe Substratvielfalt (einschließlich Wasserpflanzen und Totholz) eine hohe Artenvielfalt mit sich bringt.

Abbildung 19 zeigt den relativen Anteil der EPT in Abhängigkeit der Beschattung der Sohle.

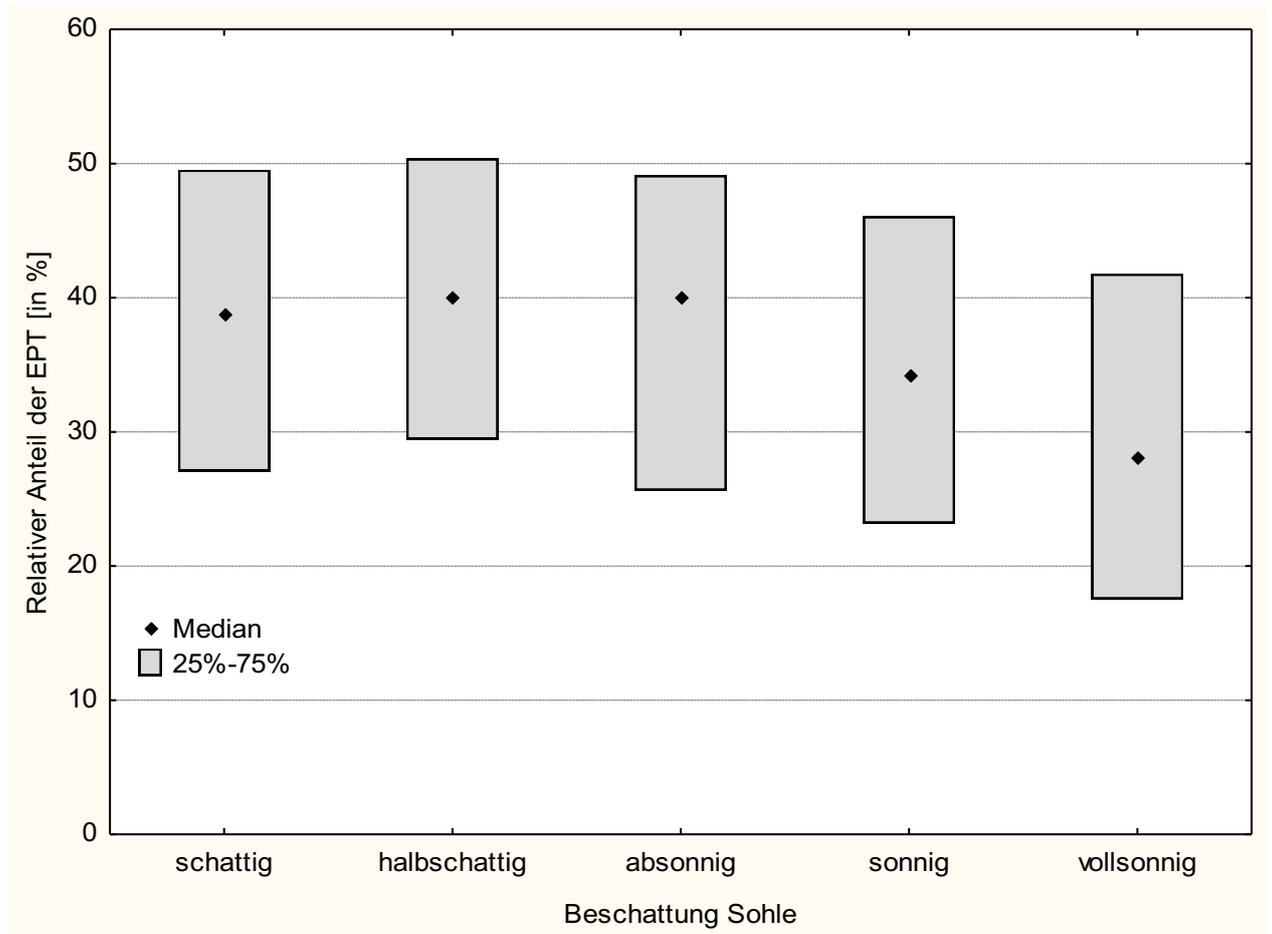


Abbildung 19: Relativer Anteil der EPT - Beschattung Sohle

Der relative Anteil der EPT korreliert mit der Beschattung der Sohle nur gering. Der Korrelationskoeffizient liegt hier bei - 0,19. Ausschließlich in den Bereichen absonnig bis vollsonnig zeichnet sich eine klare Abnahme des Medians ab. In den Bereichen schattig bis absonnig schwankt der Median hingegen nur sehr gering zwischen 39 und 41 Prozent.

Die Abnahme des relativen Anteils der EPT in den Bereichen sonnig und vollsonnig kann mit den höheren Temperaturen und dem sich daraus ergebenden geringen Sauerstoffgehalt begründet werden.

Anzumerken bleibt, dass eine kleinräumige Betrachtung des Gebietes zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen könnte. Eine Betrachtung der großräumigeren Beschattungssituation würde vermutlich zu deutlicheren Ergebnissen führen (siehe auch die unterschiedlich deutlichen Korrelationen beim Landnutzungsindex LUI_100 und LUI_500).

3.2. Messstelle

Die Abbildung 20 zeigt die mittlere Anzahl der nachgewiesenen Insektenarten an einer Messstelle im Vergleich zum Habitatindex der Messstelle.

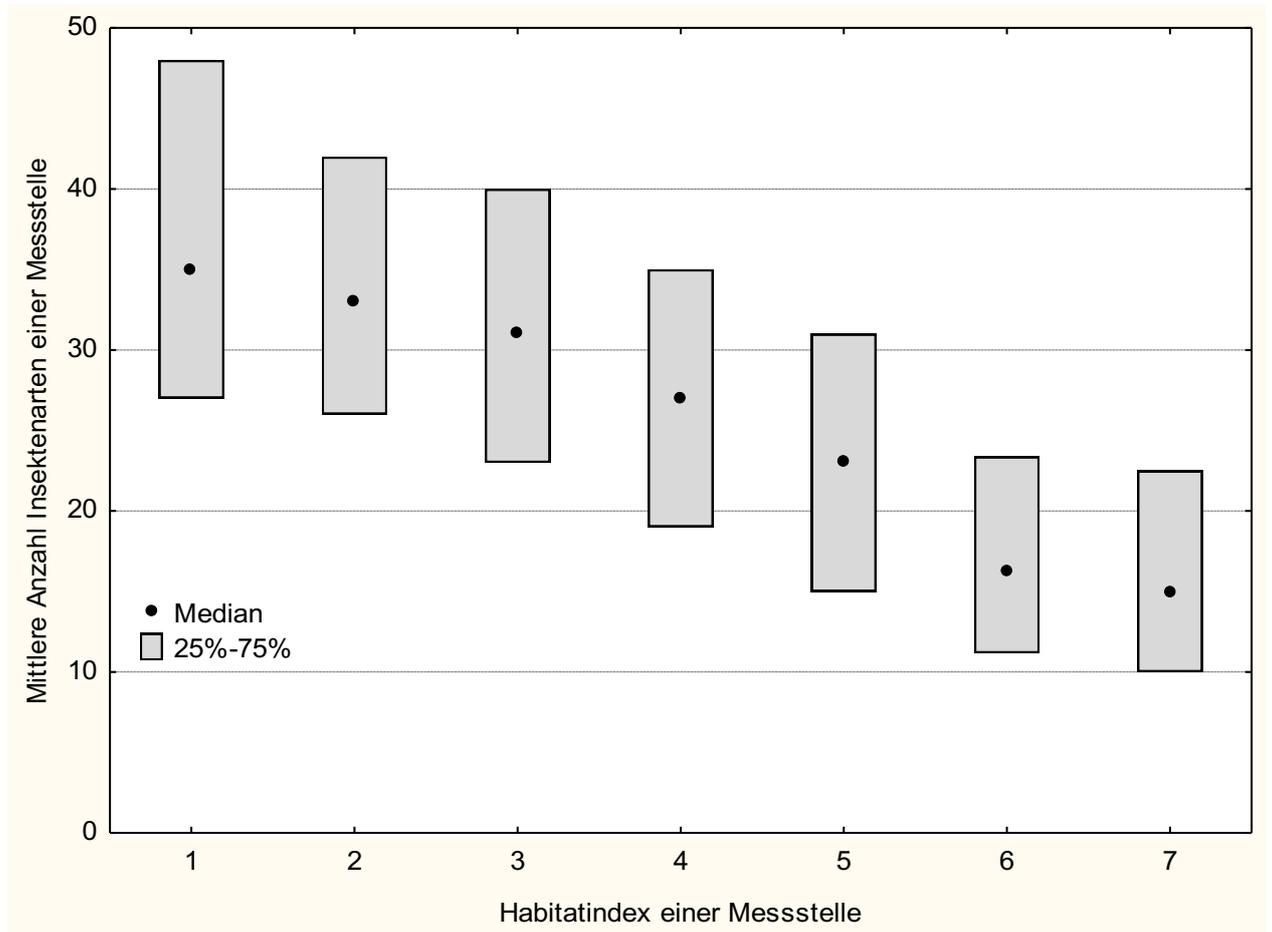


Abbildung 20: Mittlere Anzahl Insektenarten einer Messstelle - Habitatindex einer Messstelle

Mit steigendem Habitatindex verringert sich die mittlere Anzahl der Insektenarten. Die Korrelation fällt mit $r = -0,38$ sehr deutlich aus und lässt auf einen direkten Zusammenhang zwischen Strukturvielfalt und Artenvielfalt schließen. Noch deutlicher würde der Zusammenhang sicherlich ausfallen, wenn man nur die Ergebnisse berücksichtigen würde, bei denen keine organische Belastung vorliegt (vgl. Abbildung 10 (Saprobie)) und auch die Orientierungswerte bei den allgemeinen chemisch-physikalischen Parametern (z.B. Temperatur, Phosphor, Ammonium) eingehalten sind.

So zeigen Studien des LANUV (2018), dass ein guter ökologischer Zustand beim Makrozoobenthos unter folgenden Voraussetzungen erreicht werden kann:

- wenn alle Orientierungswerte eingehalten werden, reicht eine Strukturgüte zwischen 3 (mäßig verändert) und 4 (deutlich verändert) für einen guten Zustand aus (Habitatindex $\leq 3,6$),

- bei Überschreitung bereits eines Orientierungswertes muss die Struktur für einen guten Zustand bereits fast eine Klasse besser sein (gering bis mäßig verändert) (Habitatindex $\leq 2,8$) und
- wenn der Habitatindex $> 4,5$ (stark verändert) ist und nur bei 1 ACP die Orientierungswerte überschritten sind, ist ein schlechter Zustand wahrscheinlich und somit auch nur eine geringe Artenvielfalt bei den aquatischen Insekten zu erwarten.

Je vielfältiger die Struktur des untersuchten Mediums, desto höher zeigt sich die Artenvielfalt. Die Abnahme der Artenvielfalt flacht jedoch ab einen Habitatindex von 6 etwas ab. Hier ist die Struktur bereits sehr stark verändert und es macht somit für die Artenvielfalt kaum einen Unterschied, ob die Gewässerstruktur sehr stark oder vollständig (Klasse 7) verändert ist.

Die Abhängigkeit des relativen Anteils der Insekten mit dem Habitatindex einer Messstelle wird durch die Abbildung 21 dargestellt.

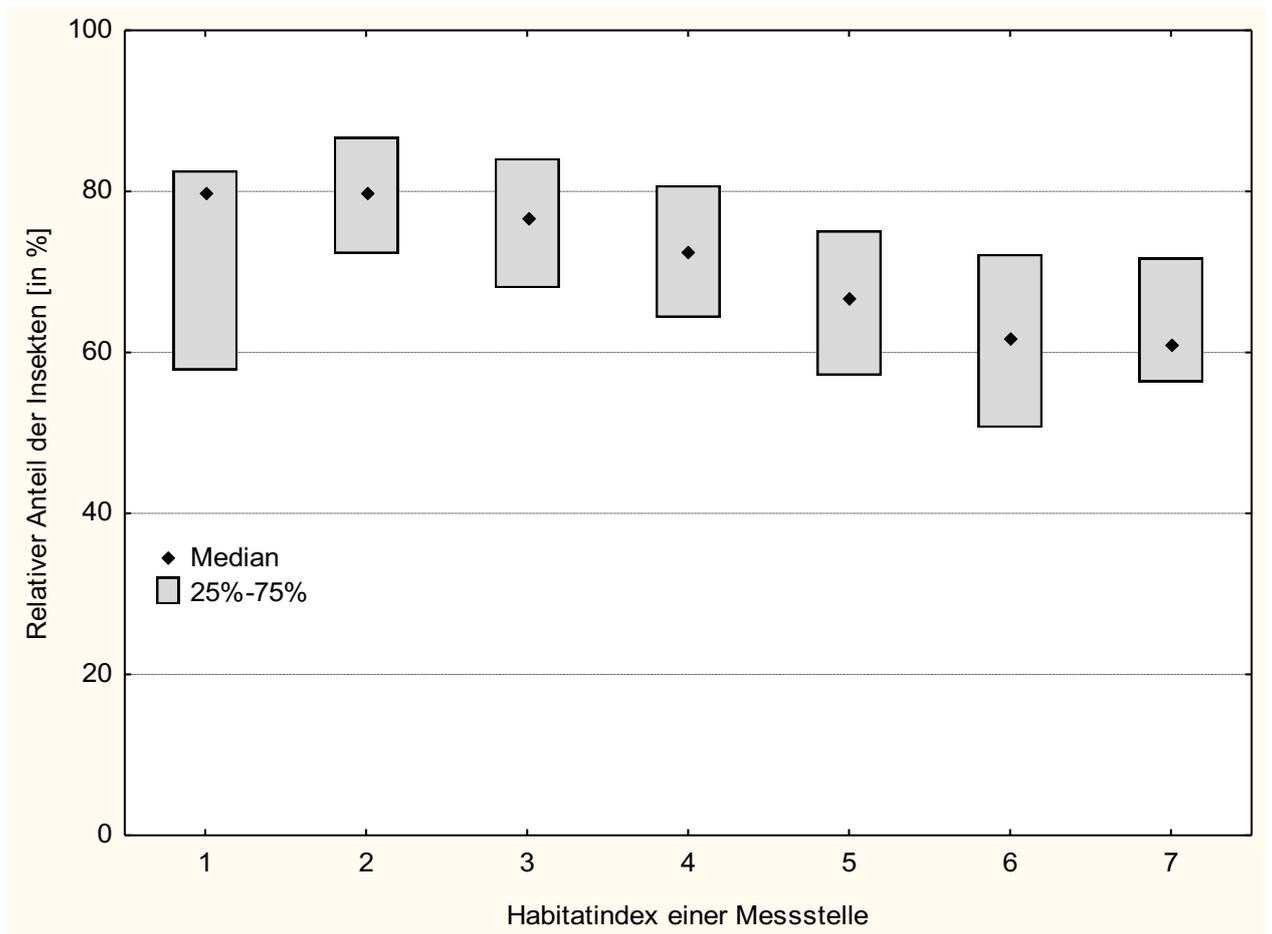


Abbildung 21: Relativer Anteil der Insekten - Habitatindex einer Messstelle

Obwohl der Korrelationskoeffizient mit $r = -0,38$ relativ hoch ist, zeigt die Abbildung 21 deutliche Überschneidungen der 25 und 75 Perzentile der unterschiedlichen Habitatindizes. Diese Überschneidungen werden wieder damit begründet, dass insbesondere die Insektenordnung der

Zweiflügler (Diptera) (wie z.B. Zuckmücken), welche in Massen auftreten können und oft eine hohe Abwassertoleranz aufweisen, das Ergebnis verzerren.

Trotz der Überschneidungen zeigt die Abbildung einen klaren Trend des Medians. Mit zunehmender Verschlechterung des Habitatindex sinkt auch der Median des relativen Anteils der Insekten. Während er bei einem Habitatindex von 1 und 2 noch bei jeweils 80 % liegt sinkt er bei einem Habitatindex von 6 und 7 auf etwas über 60 % (also um ca. 1 Viertel) ab.

Abbildung 22 zeigt die Abhängigkeit des relativen Anteils der EPT zu dem Habitatindex der Messstelle.

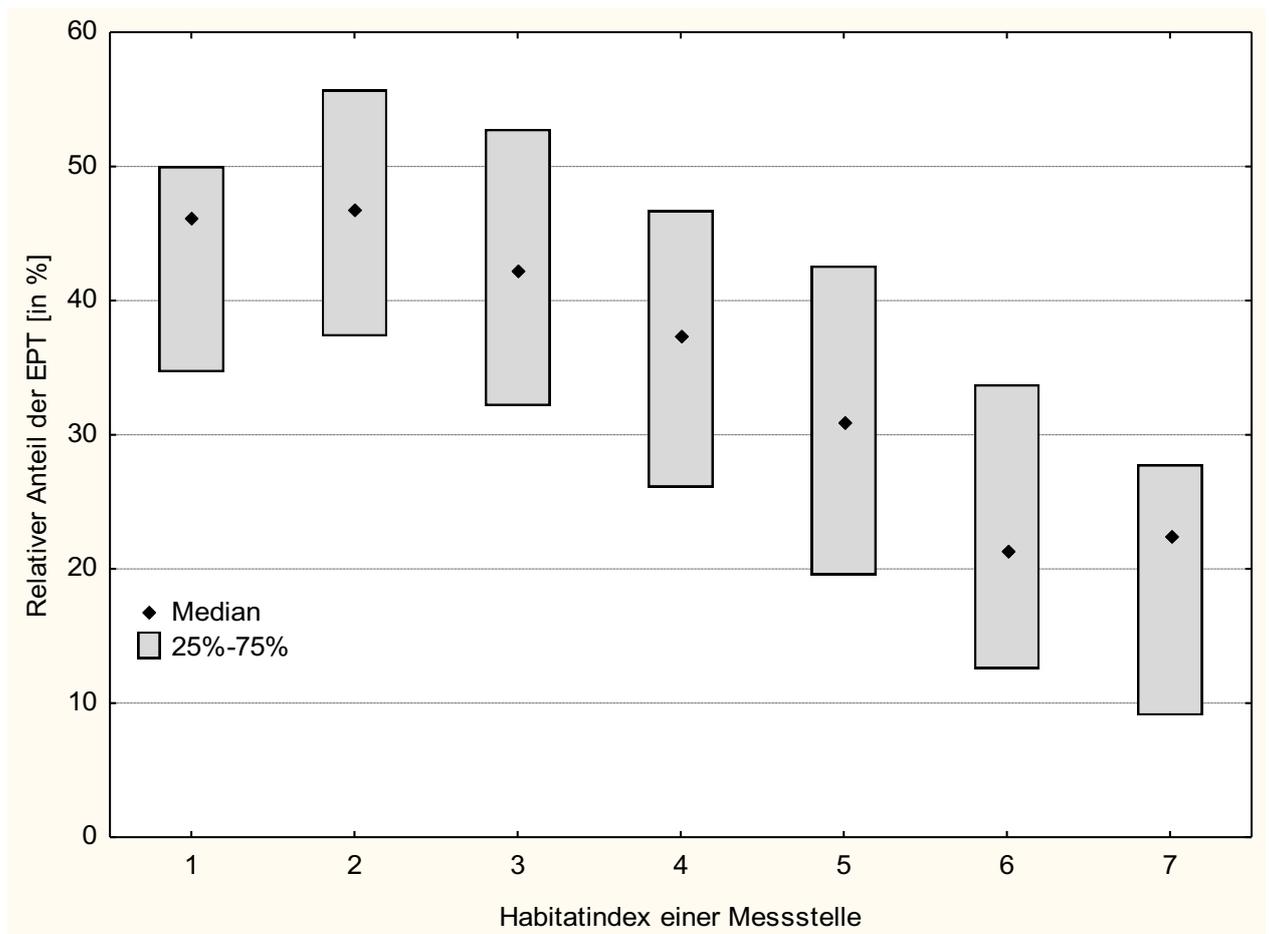


Abbildung 22: Relativer Anteil der EPT - Habitatindex einer Messstelle

Der relative Anteil der EPT weist eine sehr große Abhängigkeit zum Habitatindex auf. Entsprechend groß ist der Korrelationseffizient $r = -0,42$.

Auffällig ist, dass bei den Übergängen der Strukturen eins und zwei sowie sechs und sieben, keine nennenswerte Veränderung des relativen Anteils mehr auftritt. Somit ist es auch für diese 3 Insektenordnungen unwichtig, ob die Gewässerstruktur unverändert (1) oder gering verändert (2) ist bzw. sehr stark verändert (6) oder vollständig verändert (7) .

Gleichzeitig verdeutlicht die Graphik, dass bei der Verbesserung der Gewässerqualität ein bestimmter Mindestqualitätszustand erreicht werden sollte, um eine effektive Regeneration der Insektenartenvielfalt zu erreichen.

Beispielsweise liegt die Grenze zwischen dem guten und mäßigen ökologischen Zustand bei den in Hessen weit verbreiteten silikatischen Mittelgebirgsbächen beim Metric EPT bei 50 %; dies würde nach obiger Darstellung eine Gewässerstruktur zwischen 2 und 3 bedeuten. Da hier aber auch Untersuchungsergebnisse mit stofflicher Belastung berücksichtigt wurden, werden – unter der Voraussetzung, dass im Zuge der Maßnahmenumsetzung WRRL die stoffliche Belastung ebenfalls deutlich vermindert wird – die Anforderungen an die Gewässerstruktur etwas geringer sein. Wie bereits oben beschrieben, wird es bei fehlender thermischer und stofflicher Belastung ausreichen, eine Gewässerstruktur zwischen 3 (mäßig verändert) und 4 (deutlich verändert) durch Renaturierungsmaßnahmen zu erreichen (LANUV 2018). Zudem wurden bei der Auswertung auch zahlreiche Datensätze anderer Fließgewässertypen berücksichtigt. Hier ist z.T. für einen guten Zustand beim Metric EPT ein etwas geringerer Anteil erforderlich (z. B. karbonatiosche Mittelgebirgsbäche der Typen 6 und 7 - 47 % oder die großen Mittelgebirgsflüsse (Typ 9.2) - 43 % (siehe www.gewaesserbewertung.de))

Abbildung 23 zeigt die mittlere Anzahl der Insektenarten einer Messstelle und den Landnutzungsindex 100.

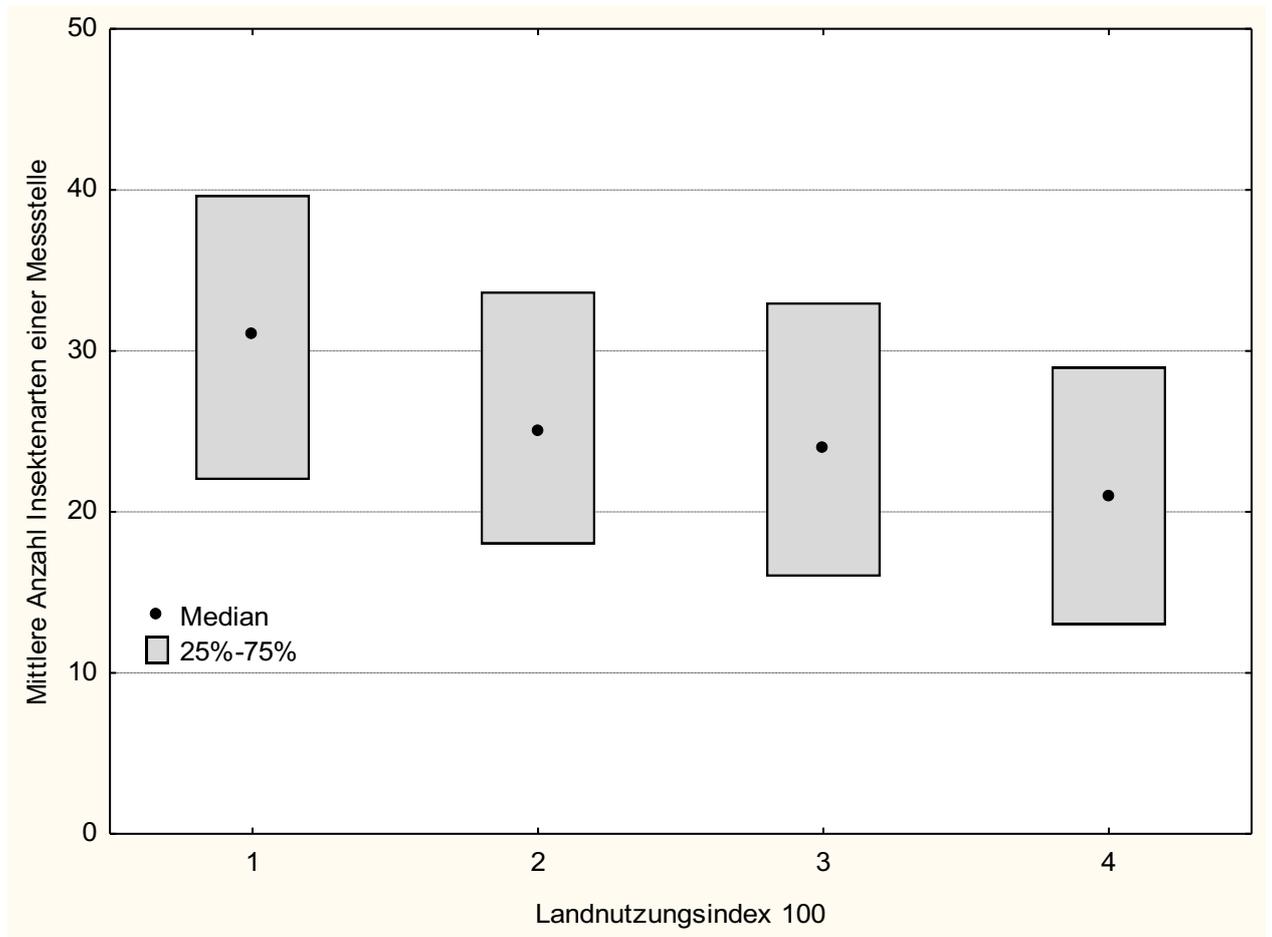


Abbildung 23: Mittlere Anzahl Insektenarten einer Messstelle - Landnutzungsindex 100

Der Korrelationskoeffizient von der mittleren Anzahl der Insektenarten einer Messstelle und dem Landnutzungsindex 100 liegt bei $-0,24$. Entsprechend sinkt auch der Median mit zunehmender Erhöhung des Landnutzungsindex, von 31 auf 21, ab. Die Abbildung zeigt deutliche Überschneidungen der Perzentile. Um diese Überschneidungen zu minimieren, sollte der Parameter „Grünland“, bei der Berechnung des Landnutzungsindex keine Berücksichtigung finden. Denn dieser korreliert, wie die Tabellen 8 und 9 (siehe Anhang A2 und A3) zeigen, positiv.

Der folgende Box-Whisker Plot, welcher in Abbildung 24 dargestellt ist, zeigt die mittlere Anzahl der Insektenarten einer Messstelle und den Landnutzungsindex 500.

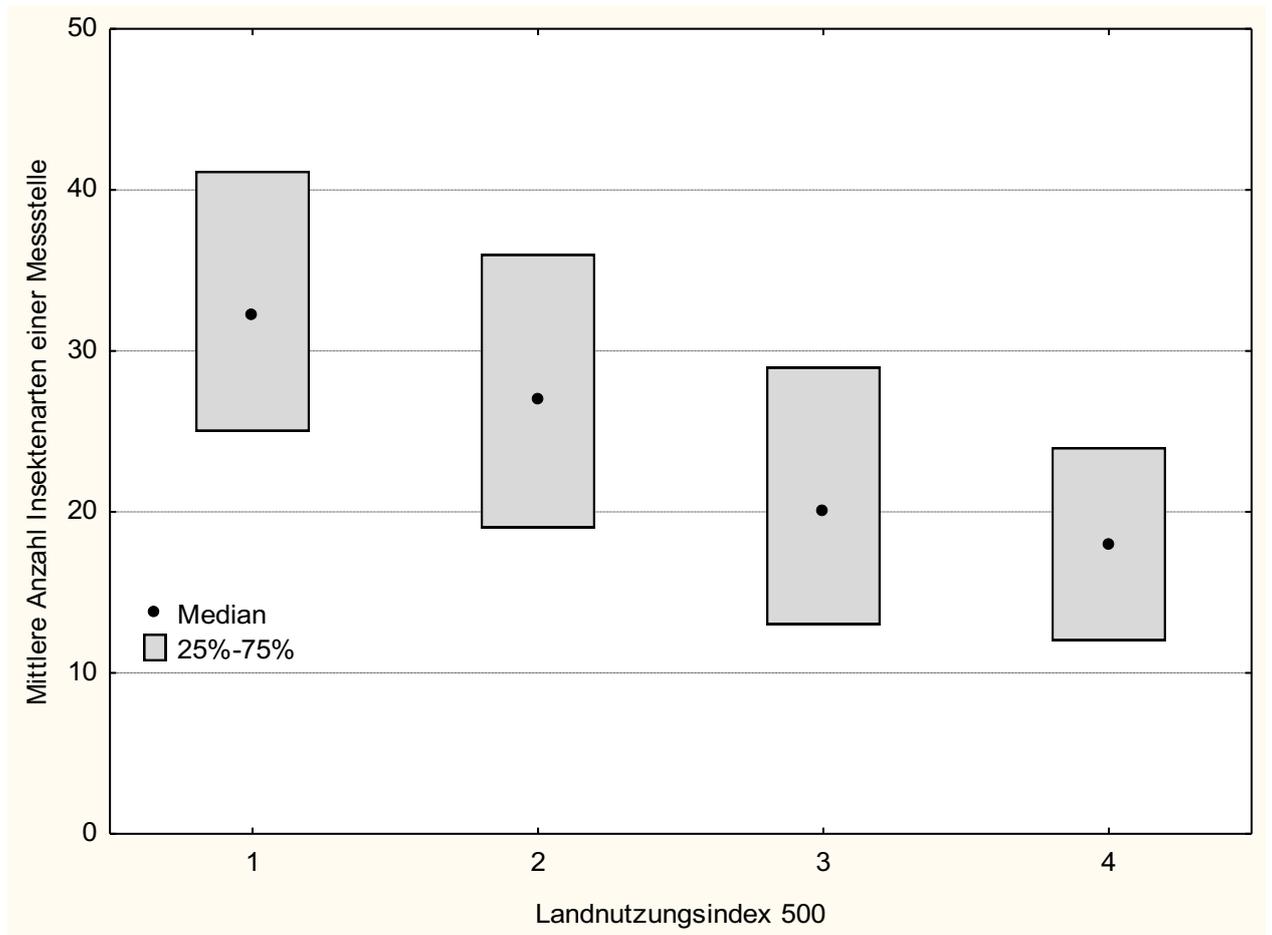


Abbildung 24: Mittlere Anzahl Insektenarten einer Messstelle - Landnutzungsindex 500

Der Korrelationskoeffizient der Analyse des Landnutzungsindex 500 fällt mit $-0,36$ höher aus als der Koeffizient des Landnutzungsindex 100. Entsprechend zeichnet sich eine deutlichere Abnahme des Medians ab. Dieses Ergebnis kann mit der großräumigeren Betrachtung der Flächennutzung erklärt werden und bestätigt das Strahlwirkungsprinzip: Die benthische Biozönose wird nicht nur durch das unmittelbare Umfeld beeinflusst, sondern insbesondere auch von den Bedingungen deutlich oberhalb des Gewässerabschnitts (Deutscher Rat für Landespflege 2008).

Dennoch liegen auch in dieser Abbildung relativ große Überschneidungen der Perzentile vor. Auch in diesem Fall sollte in Betracht gezogen werden den Parameter „Grünland“, bei der Berechnung des Landnutzungsindex, künftig nicht mehr zu berücksichtigen.

3.3. Wasserkörper

Abbildung 25 zeigt die (fehlende) Abhängigkeit des relativen Anteils der EPT zu den Anteilen der Strukturklassen 1-4 in einem Wasserkörper.

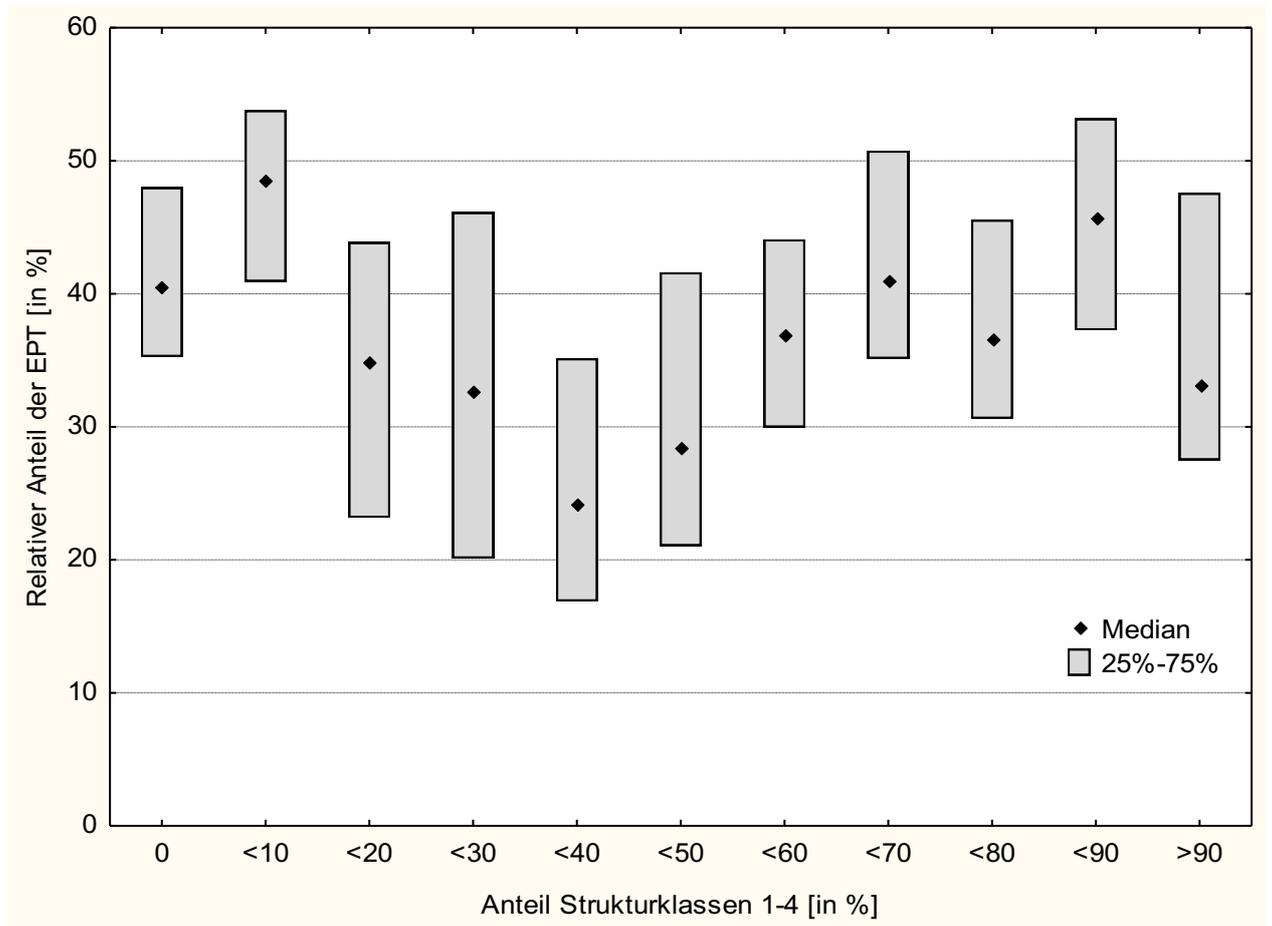


Abbildung 25: Relativer Anteil der EPT - Anteil Strukturklassen 1-4 (siehe Tabelle 4)

Die Abbildung zeigt extreme Schwankungen – zudem sind die Korrelation nicht signifikant. Der Korrelationskoeffizient liegt bei nur -0,06.

Während der Median bei einem Anteil der Strukturklassen 1-4 von < 10 Prozent bei etwa 48 Prozent liegt, fällt der Median in den Bereichen <20 Prozent bis <40 Prozent ab und nimmt bis zu einem Anteil der Strukturklassen 1-4 von <70 Prozent wieder zu. Als Ursache für die fehlende Korrelation ist anzunehmen, dass der Summenparameter „Gewässerstrukturgüte“ des Wasserkörpers kein geeigneter Indikator für den ökologischen Zustand ist. So konnten auch Foerster et al. (2017) keinen zufriedenstellenden Zusammenhang zwischen der Bewertung der biologischen Qualitätskomponenten und den gängigen Kennzahlen der Gewässerstrukturkartierung erkennen. Aus diesem Grund hatten die AutorInnen den Habitatindex abgeleitet. Wie oben dargestellt, zeigen sich auch im Rahmen dieser Projektarbeit zwischen dem Habitatindex und der Insektenvielfalt deutliche Zusammenhänge.

Abbildung 26 zeigt den relativen Anteil der EPT in Abhängigkeit der defizitären Abschnitte im Wasserkörper.

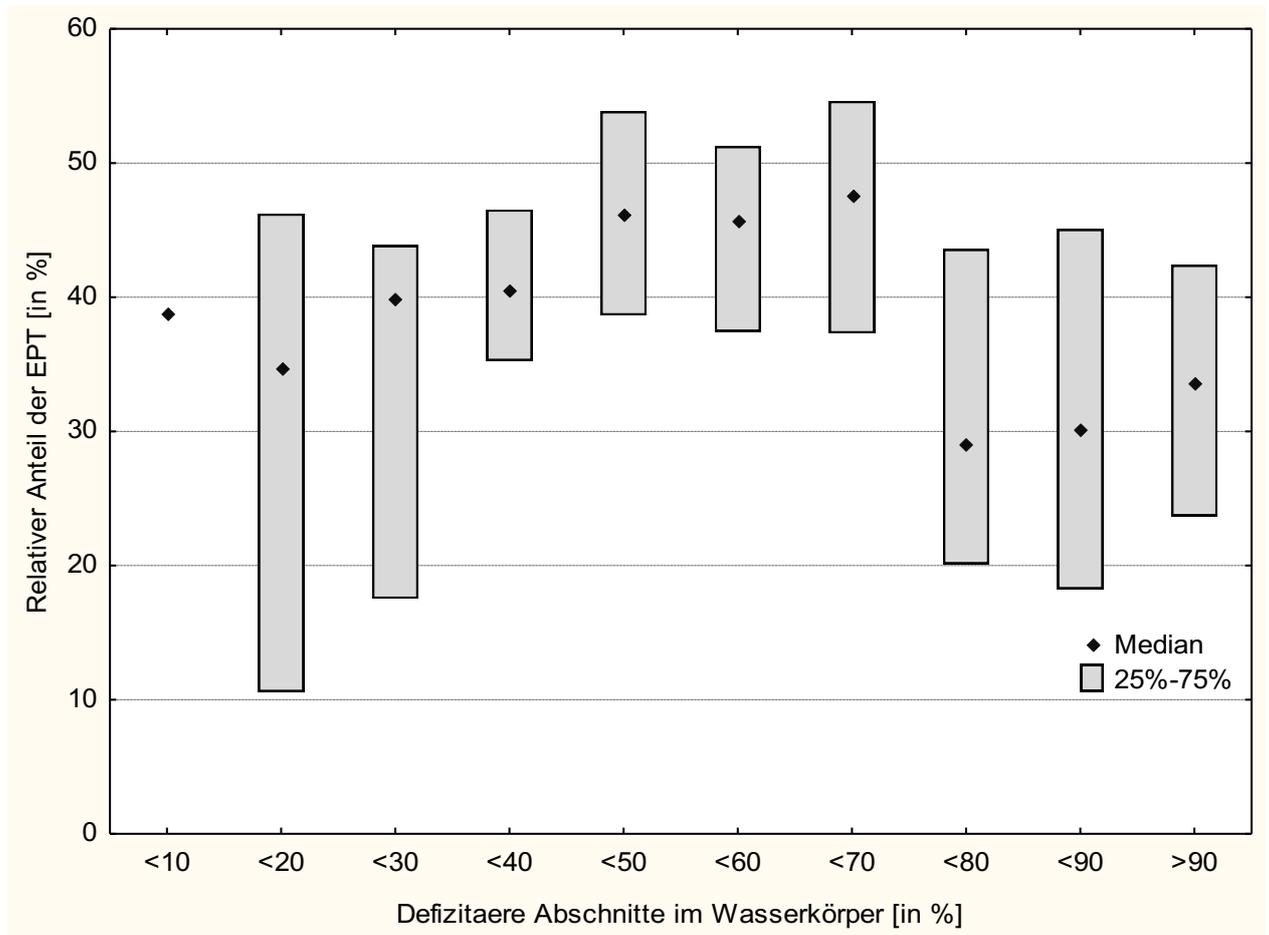


Abbildung 26: Relativer Anteil der EPT - Defizitäre Abschnitte im Wasserkörper

Anhand der Abbildung 26 ist zu erkennen, dass sich der relative Anteil der Ephemeroptera, Plecoptera und Trichoptera in den Bereichen ab 70 Prozent am geringsten ausfällt. Entsprechend diesem Ergebnis sollten die Wasserkörper maximal 70 Prozent defizitäre Abschnitte aufweisen. Der Median liegt hier bei knapp 50 %.

Im Bewirtschaftungsplan 2015 – 2021 (HMUKLV 2015a) und Maßnahmenprogramm (HMUKLV 2015b) geht man davon aus, dass das Bewirtschaftungsziel, der gute ökologische Zustand, im Mittel dann erreicht wird, wenn knapp 35 % der Gewässerabschnitte in einem Wasserkörper strukturell hochwertige Abschnitte und somit maximal 65 % defizitäre Abschnitte aufweisen. Somit bestätigt auch der relative Anteil der EPT in etwa diese Zahl.

Abbildung 27 zeigt die Abhängigkeit der mittleren Individuendichte der Insekten zu der Phosphorkonzentration im Wasser.

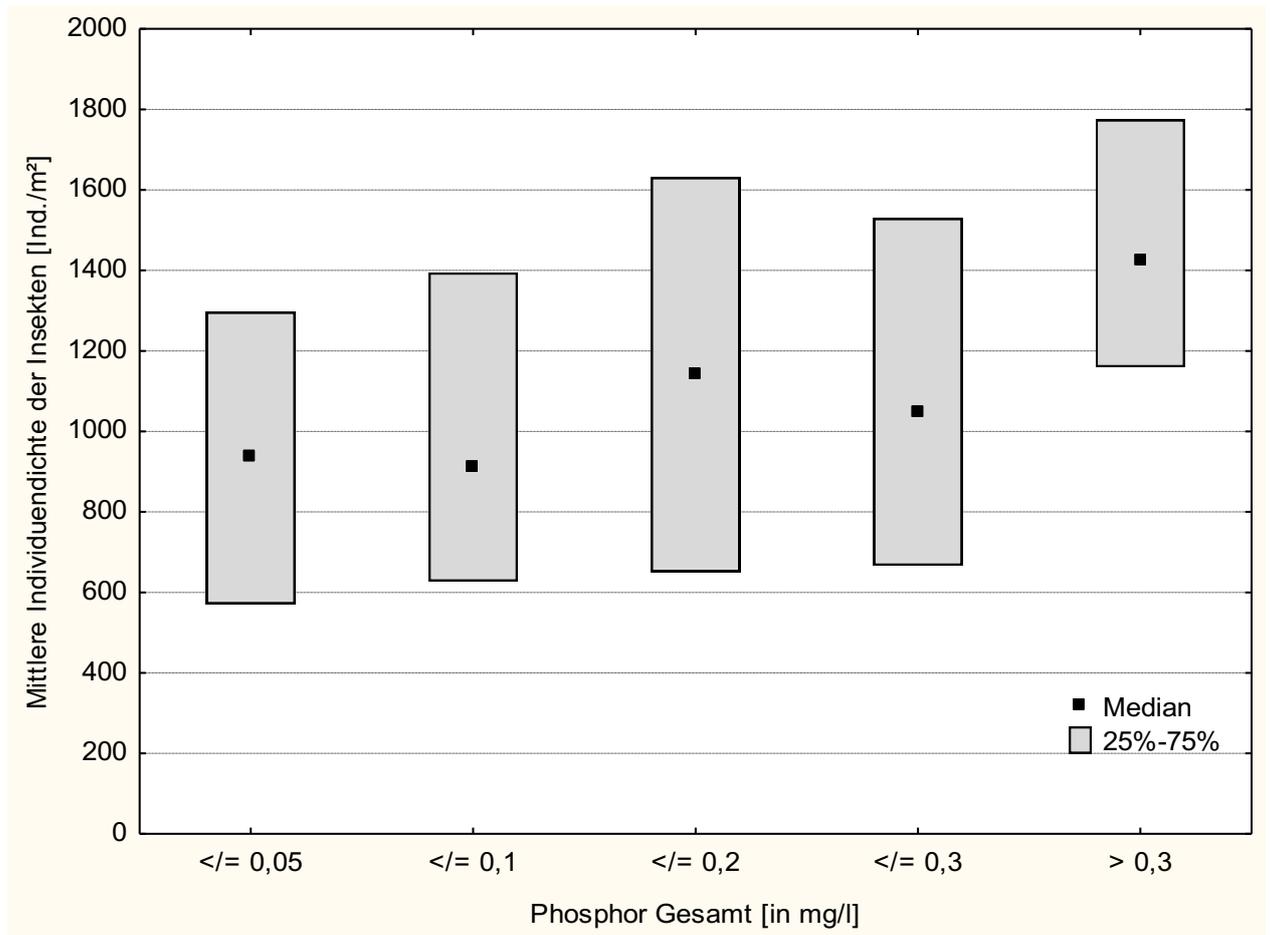


Abbildung 27: Mittlere Individuendichte der Insekten - Phosphor Gesamt

Es ist eine Zunahme der mittleren Individuendichte mit steigender Phosphorkonzentration zu erkennen. Während der Median bei $\leq 0,05$ mg/l noch bei ungefähr 950 Ind./m² liegt, steigt er bei $> 0,3$ mg/l auf etwa 1430 Ind./m² an. Dieser Verlauf kann damit begründet werden, dass eine höhere Phosphorkonzentration zu einer erhöhten Trophie im Gewässer führt. Dies hat zur Folge, dass mehr Nahrung vorliegt, von der auch die abwassertolerante Insektenordnung der Zweiflügler (Diptera) profitiert. Dementsprechend steigt die Individuendichte mit zunehmendem Phosphorgehalt.

Abbildung 28 stellt die Abhängigkeit des relativen Anteils der EPT zur Phosphorkonzentration dar.

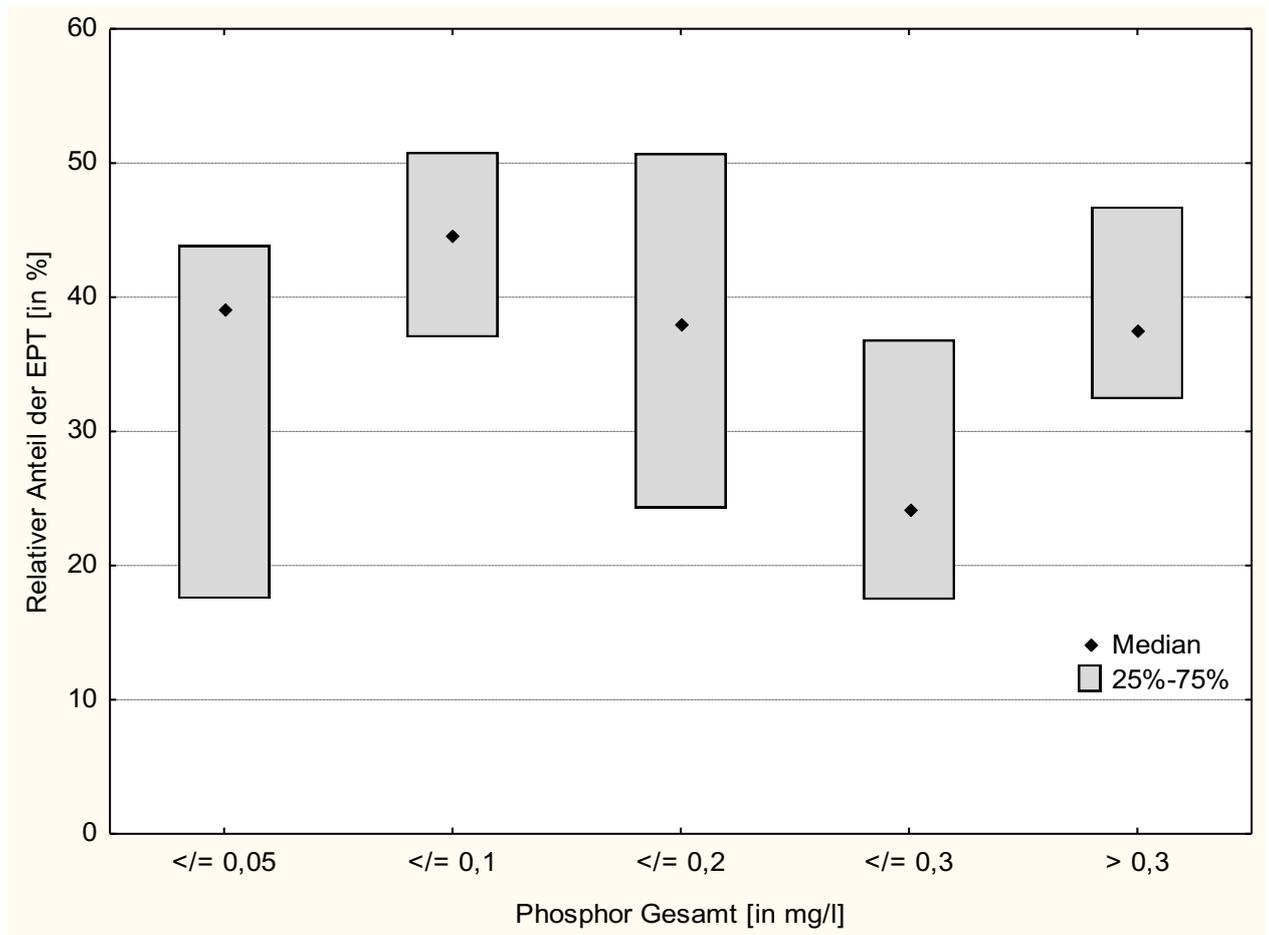


Abbildung 28: Relativer Anteil der EPT - Phosphor Gesamt

Anhand der Abbildung wird ersichtlich, dass der Median im Bereich von $\leq 0,1$ mg/l bis $\leq 0,3$ mg/l erwartungsgemäß deutlich und nahezu linear abnimmt. Bei $\leq 0,1$ mg/l liegt der relative Anteil der EPT noch bei etwa 45 % während er bei einem Phosphorgehalt von $\leq 0,3$ mg/l auf 24 % gesunken ist. Dies entspricht einer Abnahme von 21 %. Der geringe Ausreißer bei $\leq 0,05$ mg/l und der große Ausreißer bei $> 0,3$ mg/l ist zum einen in der jeweils nur sehr geringen Anzahl von Stichproben (14 bzw. 30) zu suchen. Zum anderen wird die Phosphorkonzentration jeweils am Ende eines Wasserkörpers gemessen; die Untersuchungsabschnitte liegen jedoch z.T. weit oberhalb dieser Chemiemessstelle und liegen somit z.T. auch oberhalb der Belastungsquelle.

4. Diskussion der Ergebnisse

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass insbesondere der Parameter Saprobie einen hohen Einfluss auf die Anzahl der Insektenarten hat. Der im nationalen Bewertungsverfahren PERLODES im Modul „Allgemeine Degradation“ verwendete Metrik „Relativer Anteil der EPT-Arten“ korreliert zudem deutlich mit vielen weiteren abiotischen Parametern (z.B. Strömungs- und Substratvielfalt, Habitatindex).

Je verschmutzter ein Gewässer, also umso höher der Saprobienindex ist, desto weniger Insektenarten kommen in diesem vor. Jedoch muss bei der absoluten Individuenzahl differenziert werden, da es auch Insektenarten gibt, wie zum Beispiel Zuckmücken- und Kriebelmückenlarven, welche oft in stark organisch belasteten Gewässern leben, dem niedrigerem Sauerstoffgehalt trotzen und abwassertolerant sind.

Allgemein lässt sich sagen, dass die Korrelationen der relativen Anteile von Insekten immer höher sind, als die Korrelationen der absoluten Individuenanzahl. Dies passt auch zum nationalen Bewertungsverfahren PERLODES. Das Berechnen des relativen Anteils verallgemeinert die Probenergebnisse und gibt somit auch die Möglichkeit die Ergebnisse aus verschiedenen Probenahmen besser zu vergleichen. Ein kurzfristiges Massenvorkommen einzelner Arten bestimmt dann nicht maßgeblich das Bewertungsergebnis und auch die natürlicherweise nur in geringen Dichten vorkommenden Arten (wie z.B. die großen, räuberisch lebenden Steinfliegenarten) werden bei der Bewertung des ökologischen Zustands so besser berücksichtigt.

Um die Anzahl der Insekten und Insektenarten weiter zu erhöhen, müssten auf den derzeit ca. 1.500 km noch organisch belasteten Fließgewässerstrecken (HLNUG 2016) weiterhin Maßnahmen ergriffen werden, so dass es zu noch weniger organischer Belastung in den Fließgewässern kommt. Des Weiteren sollten die gemäß Maßnahmenprogramm WRRL (HMuKLV 2015b) noch erforderliche Entwicklung naturnaher Gewässer-, Ufer- und Auenstrukturen mit einer Länge von ca. 2.100 km fortgesetzt und erhöht werden. Nur durch diese Maßnahmen kann das Insektenvorkommen von sensiblen Insektengruppen weiter gefördert werden.

Bei Betrachtung der Korrelation des Landnutzungsindex fällt auf, dass die Parameter Ackerland und städtische Nutzung einen negativen Korrelationskoeffizienten aufweisen. Der Parameter Grünland korreliert allerdings positiv mit der mittleren Anzahl der Insektenarten einer Messstelle. Der Korrelationskoeffizient r des Landnutzungsindex 100 liegt bei $-0,24$ und der des Landnutzungsindex 500 bei $-0,36$. Die Korrelation der Landnutzungsindizes könnten eventuell wesentlich höher ausfallen, indem der Parameter „Grünland“ bei der Ermittlung bzw. Berechnung des Landnutzungsindex künftig in Forschungsprojekten keine Berücksichtigung mehr findet und ausschließlich die Parameter „Ackerland“ und „städtische Nutzung“ in die Berechnung einfließen. Zudem ist aus den Korrelationsanalysen – analog den Ergebnissen des Umweltbundesamtes (UBA 2014) und in Anlehnung an das Strahlwirkungskonzept (Deutscher

Rat für Landespflege 2008) - ersichtlich, dass eine großflächigere Betrachtung der Flächennutzung (Landnutzungsindex 500) zu einer signifikanteren Korrelation führt.

Die Korrelationsanalyse des Parameters „Phosphor Gesamt“ untermauert das Umweltziel der Oberflächengewässerverordnung von $\leq 0,1$ mg/l, da der relative Anteil der EPT bei dieser Phosphorkonzentration im Median am höchsten liegt und mit steigender Konzentration abnimmt (Oberflächengewässerverordnung 2016: S.58). Zwar korrelieren die defizitären Abschnitte im Wasserkörper nur gering mit dem relativen Anteil der EPT. Dennoch sind hier leichte Trends zu erkennen. Aus diesen kann abgeleitet werden, dass der Anteil an defizitären Abschnitten in den Wasserkörpern kleiner als 70 Prozent sein sollte. Deutlich bessere Abhängigkeiten des Metric EPT zeigen hingegen einzelne Strukturgüteparameter und auch der Habitatindex (ausgewählte Parameter zur Gewässerstruktur).

Insbesondere die Parameter Strömungs- und Substratvielfalt zeigen mit zunehmender Vielfalt einen deutlichen Anstieg des relativen Anteils der EPT.

Bei der Strömungsvielfalt zeigt sich ein nahezu linearer Anstieg des relativen Anteils mit Zunahme der Turbulenz.

Es ist daher bei Verbesserungsmaßnahmen darauf zu achten. Begradigungen und laminare Strömungsverhältnisse wirken sich nachteilig auf Artenvielfalt und Populationsdichte aus. Da eine Strömungsvielfalt auch eine Substratvielfalt im Fließgewässer bewirkt, bedingen diesbezügliche Maßnahmen auch eine zunehmende Anzahl von natürlichen anorganischen Substraten und insgesamt eine Steigerung der Substratvielfalt mit positiven Auswirkungen auf die Insektenpopulation. (Anstieg der Individuenzahlen und der Artenvielfalt).

4.1. Gewässergüte

Die Abbildung 29 zeigt die Entwicklung der Gewässergüte über den Zeitraum 1970 bis 2016. Dabei ist zu beachten, dass ab 1970 eine einheitliche Bewertung aller Fließgewässer mit sieben Gewässergüteklassen vorgenommen wurde. Die WRRL fordert eine gewässertypspezifische Bewertung, so dass bei der Erstellung der Gewässergütekarten 2006, 2010 und 2016 die gewässertypische fünfstufige Bewertung der ökologischen Zustandsklasse im Modul Gewässergüte vorgenommen wurde. Aufgrund den, insbesondere in den Bächen, nun höheren Anforderungen auch an die Gewässergüte ist der Handlungsbedarf (früher ab Gewässergüteklasse II-III und jetzt ab der ökologischen Zustandsklasse mäßig) wieder von weniger als 10 % im Jahr 2000 auf nun 22 % im Jahr 2016 gestiegen.

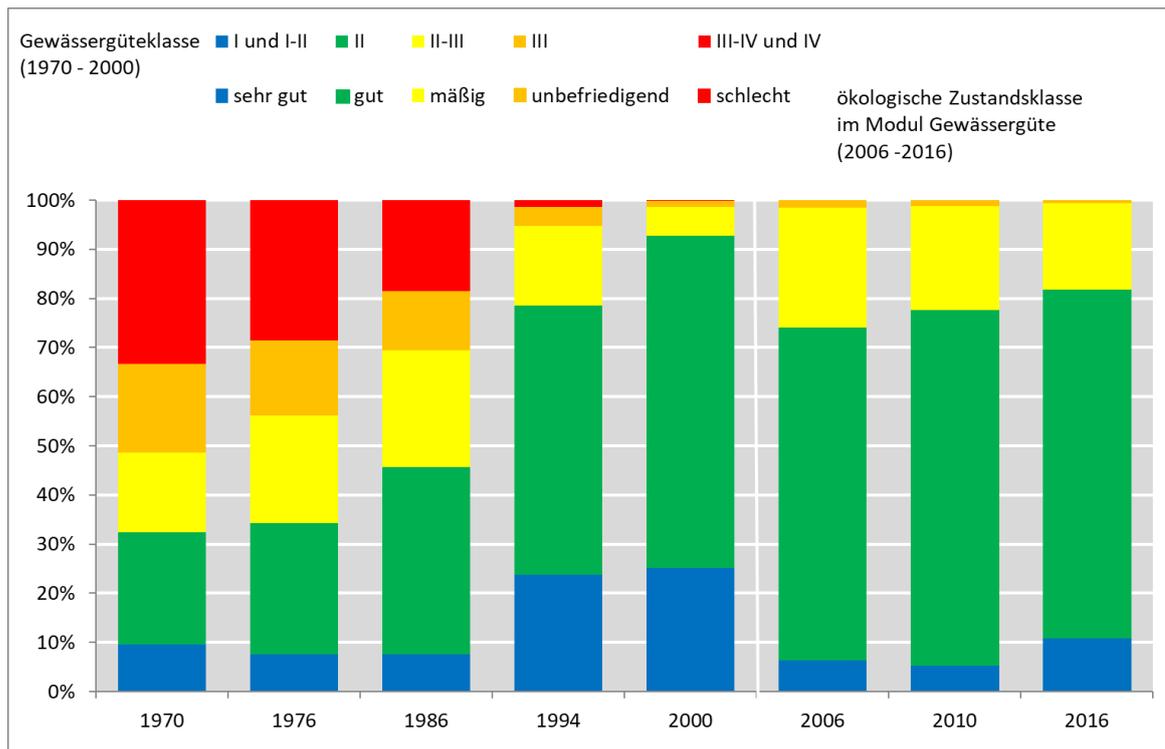


Abbildung 29: Prozentualer Anteil der Gewässergüteklassen in Hessen
 1970 bis 2000: einheitliche Bewertung aller Fließgewässer mit sieben Gewässergüteklassen
 2006 bis 2016: gewässertypische 5-stufige Bewertung der ökologischen Zustandsklasse im Modul Gewässergüte

Quelle: www.HLNUG.de

Anhand der Abbildung 29 wird ersichtlich, dass sich die Gewässergütekategorie in dem Zeitraum von 1970 bis 2016 außerordentlich verbessert hat. Ziel der Wasserwirtschaft war damals, flächendeckend im Land eine Gewässergütekategorie von II zu erreichen. Das dieses Ziel binnen 30 Jahren mit einem sehr hohen Kosten- und Arbeitsaufwand (Bau von Kläranlagen, Abwasserkanälen etc.) nahezu erreicht wurde, ist ein Beleg dafür, dass zum Wohle der Allgemeinheit die im Gewässerschutz gesetzten Ziele erreicht werden können. Diese positiven Veränderungen der Gewässergüte haben nach den Ergebnissen dieser Projektarbeit auch einen signifikanten Effekt auf das Insektenvorkommen. Insbesondere tangiert dies die sensibleren Insektengruppen wie beispielsweise *Ephemeroptera*, *Trichoptera* und *Plecoptera*. Wie Abbildung 9 zeigt, besteht eine signifikante Korrelation zwischen dem Saprobienindex und dem relativen Anteil der EPT, welcher mit einer verbesserten Saprobie deutlich steigt. Selbst abwassertolerante Insektengruppen kommen, wie Abbildung 10 zeigt, durch eine verbesserte Saprobie vermehrt vor. Anhand dieser Ergebnisse kann ein Rückgang des Insektensterbens bis in die 70er Jahre postuliert werden. Mit der deutlichen Verbesserung der Gewässergüte (siehe Abbildung 29) konnten dann bereits viele Insektenarten die Bäche und Flüsse wieder besiedeln. Diese Hypothese wird durch die Ergebnisse von Schöll et al. bestätigt (Schöll et al. 2015: S.23).

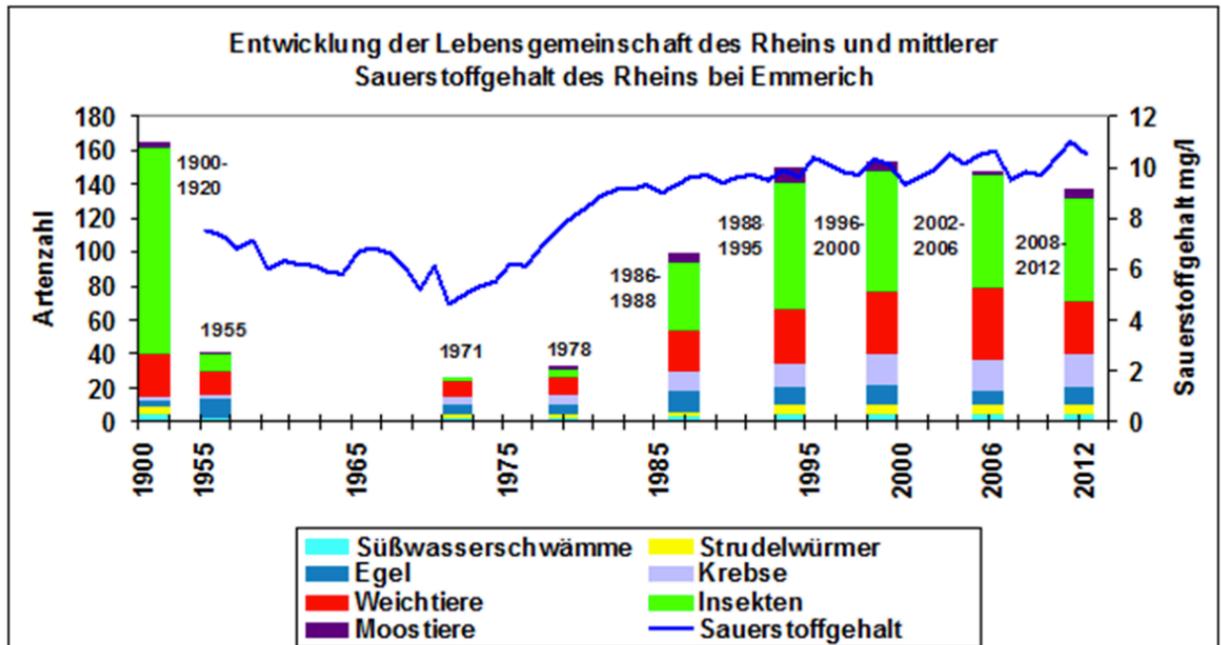


Abbildung 30: Historische Entwicklung der Lebensgemeinschaft des Rheins zwischen Basel und der deutsch-niederländischen Grenze in Beziehung zum durchschnittlichen Sauerstoffgehalt des Rheins bei Bimmen

Quelle: Schöll et al. 2015: S. 23

Auch Abbildung 30 zeigt nun wieder deutlich einen Anstieg der Insektenzahlen. Von den im Anfang des 20. Jahrhunderts über 100 nachgewiesenen Insektenarten blieben 1971 nur 5 Arten übrig (Schöll et al. 2015). Dies ist, wie bereits beschrieben, auf die verstärkt durchgeführten Abwasserreinigungsmaßnahmen zurückzuführen (vgl. Banning & Helsper 2010: S. 26). Die daraus verbesserten Sauerstoffverhältnisse haben zu einem Wachstum der Artenvielfalt und einem Anstieg der Insektenzahl geführt. Es kann also festgehalten werden, dass sich die Situation der Insekten im Bereich der Fließgewässer seit Ende der 70er Jahre deutlich verbessert hat und dementsprechend die Hypothese, dass das Insektensterben in Fließgewässern rückläufig ist bzw. ein Insektensterben dort in der Vergangenheit stattgefunden hat. Damit sich die bei der Abwasserreinigung bereits erzielten Erfolge weiter positiv auf die Insektenvielfalt der Fließgewässer auswirken können, sind nun noch umfangreiche strukturelle Verbesserungen notwendig. So zeigt auch die Abbildung 30, dass auch im Rhein – nun insbesondere infolge des Ausbaus und der Nutzung des Rheins als Schifffahrtsstraße – noch zahlreiche Insektenarten fehlen. Im Jahr 1900 kamen im Rhein etwa 120 Insektenarten vor, aktuell werden im deutschen Rheinabschnitt etwa 60 bis 70 Insektenarten festgestellt.

Nach Schöll et al. (2015) fehlen im Rhein noch einige in Hessen wieder verbreitete Insektenarten, wie z.B. die in vielen kleineren Flüssen in Hessen (z.B. Fulda, Eder, Haune, Sinn und Jossa) wieder anzutreffende Eintagsfliege *Oligoneuriella rhenana* (siehe Abbildung 31) oder die insbesondere in der Unteren Eder wieder regelmäßig anzutreffende Steinfliege *Perla burmeisteriana*.



Abbildung 31: Larve der Eintagsfliege *Oligoneuriella rhenana* (© Eiseler)

4.2. Entwicklung bei weiterer Umsetzung des Maßnahmenprogramms WRRL

Das Maßnahmenprogramm zum Erreichen der auferlegten Ziele der WRRL in Hessen ist im Bewirtschaftungsplan und Maßnahmenprogramm Hessen (HMUKLV 2015a & 2015b) niedergeschrieben. Dieser Bewirtschaftungsplan gilt für eine Periode von 6 Jahren. Der derzeitige Bewirtschaftungsplan bezieht sich auf die Periode von 2015 bis 2021. Die Maßnahmen sind so gewählt, dass ein schon vorhandener guter Zustand des Gewässers beibehalten oder ein guter Zustand erzielt wird.

Das hessische Maßnahmenprogramm ist nach Maßgabe des hessischen Wassergesetzes für alle Planungen im und am Gewässer behördenverbindlich. Die Maßnahmen werden in grundlegende und ergänzende Maßnahmen eingeteilt. Die ergänzenden Maßnahmen sind vorrangig dazu da, das Erreichen der Ziele der WRRL zu ermöglichen. Zudem gibt es ein Überwachungssystem, welches bereits ergriffene Maßnahmen und deren Wirkungen überwacht.

Seit 2000 und somit seit der Verabschiedung der WRRL sind im Maßnahmenblock „Hydromorphologie“ bereits 25% aller Maßnahmen getroffen worden. Das bedeutet gleichzeitig aber auch, dass viele erforderliche Maßnahmen noch nicht umgesetzt werden konnten. Um alle Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur und zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit bis 2027 erfolgreich umzusetzen, sind Finanzmittel in Höhe von noch circa 545 Mio. € bereitzustellen (excl. der Maßnahmen an Bundeswasserstraßen).

Die wichtigsten Maßnahmengruppen sind: die Bereitstellung von Flächen, die Entwicklung naturnaher Gewässer-, Ufer- und Auenstrukturen und die Wiederherstellung der linearen Durchgängigkeit des Gewässers.

Die Abbildung 32 zeigt den Stand der bisher noch nicht begonnenen, geplanten, umgesetzten und abgeschlossenen Maßnahmen der wichtigsten Maßnahmengruppen. (Stand 04.08.2015)

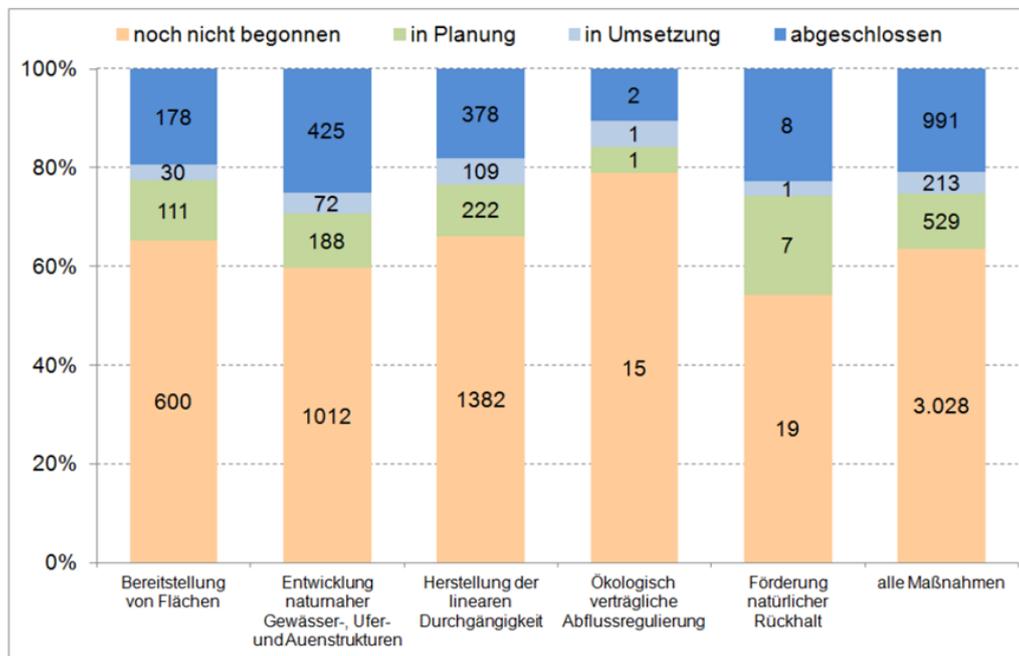


Abbildung 32: Stand der Maßnahmenumsetzung nach Maßnahmengruppen (Stand 04.08.2015)

Quelle: Bewirtschaftungsplan Hessen 2015-2021 (HMUKLV 2015a)

Eine weitere große Maßnahmengruppe beschäftigt sich mit der Beseitigung von Stoffen und der Verminderung von Stoffeinträgen aus Punktquellen. Deutlich hervorzuheben ist hier das Ziel der Phosphorreduzierung. Seit dem Jahr 2000 wurden ca. 30 % der knapp 3000 aufgestellten Maßnahmen zur Verminderung des Eintrags von unerwünschten Stoffen umgesetzt. Viele der weiteren 70% der Maßnahmen zur Phosphorreduzierung befinden sich derzeit in der Umsetzung.

Die nachstehende Abbildung zeigt die derzeit noch bestehende Belastung Der Wasserkörper mit allgemeinen chemisch-physikalischen Parametern in Hessen.

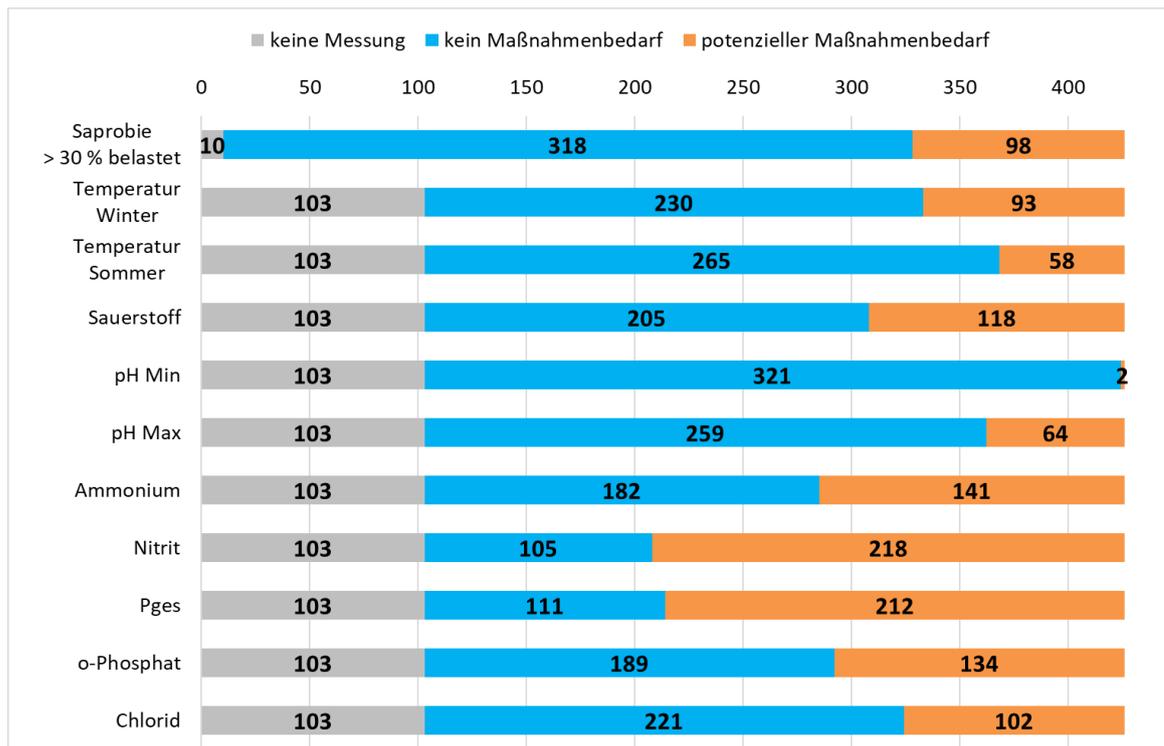


Abbildung 33: Maßnahmenbedarf bei den Allgemeinen Chemisch-Physikalischen Parametern in den hessischen Wasserkörpern (Betrachtungszeitraum: 2014 bis 2018)

Quelle: HLNUG Banning 2019

Festzuhalten ist, dass es noch sehr großer Anstrengungen bedarf, alle Maßnahmen zur Erreichung der Ziele der WRRL umzusetzen. Die weitere Maßnahmenumsetzung wird zu einer weiteren Verbesserung der Lebensbedingungen für die Insekten führen.

Doch auch wenn bis jetzt bei weitem noch nicht alle Maßnahmen ergriffen wurden, lässt sich dennoch bereits eine positive Veränderung auf die Biodiversität beobachten (siehe 4.1 Gewässergüte). Damit geht einher, dass bereits jetzt wieder einige Insektenarten in den Fließgewässern vorkommen, welche lange Zeit als ausgestorben galten. Bekanntes Beispiel ist die Eintagsfliege *Ephoron virgo*. In Augustabenden der Jahre 1990-1992 erregten die Schwärme der geschlüpften Eintagsfliegen in Köln und Bonn großes Aufsehen. Die Schwärme behinderten auf den Rheinbrücken sogar den Autoverkehr. Stellenweise wurden Brücken gesperrt, weil die Insekten die Sicht behinderten oder an Lampen abstürzten und eine rutschige Schicht bildeten. Das war die spektakuläre Rückkehr der einst häufigen Eintagsfliege *Ephoron virgo*, die im Niederrhein fast 50 Jahre verschollen war und daher vielen neu vorkam. Diese "Augustfliege" wurde früher bei Massenflügen mit Licht angelockt und als Tierfutter verwendet. Wie kaum eine andere Art zeigte ihre Rückkehr schon am Ufer, dass sich der Rhein wieder belebte (rhein-station.uni-koeln.de). In Hessen wird die Art inzwischen im Rhein, Main und auch in der Lahn wieder nachgewiesen.

Diese Erkenntnisse untermauern und bestätigen die in 4.2 aufgestellte Vermutung, dass ein Insektensterben zu einem früheren Zeitpunkt stattfand und die Insektenpopulationen in Fließ-

gewässern mit den verstärkt durchgeführten Abwasserreinigungsmaßnahmen sich bereits wieder deutlich verbessert haben und mit der verstärkten Umsetzung der Maßnahmen der WRRL sich noch weiter verbessern können.

5. Fazit

Die hohe Abwasserbelastung führte in der Vergangenheit zu einem unbemerkten Insektensterben. Aus der vorliegenden Projektarbeit wird deutlich, dass eine Verbesserung des Habitats für Insekten mit einer erhöhten Artenvielfalt einhergeht. Dazu wurden Indikatoren, wie beispielsweise der relative EPT-Anteil, aber auch das Vorkommen einzelner Insektenordnungen wie die Köcherfliegen oder die Steinfliegen in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern untersucht, welche sowohl die Wasserqualität als auch umgebende Einflüsse (wie Strukturparameter oder die Landnutzung) beschreiben.

Um ein umfassendes Gesamtbild der verschiedenen Zusammenhänge darzustellen wurden zunächst Methoden vorgestellt, welche sowohl die Umgebungsbedingungen als auch die Wasserqualität nach festgeschriebenen Kriterien klassifizieren. Dabei fand vorwiegend die Einordnung nach der ökologischen Zustandsklasse, der allgemeinen Degradation, des Habitatindex und des Landnutzungsindex ihre Anwendung. Zudem wurden einzelne Einflussfaktoren wie die Strömungsvielfalt, die Beschattung, die Substratvielfalt und der Phosphorgehalt untersucht. Anschließend wurde der Datensatz auf weitere mögliche Korrelationen geprüft. Der relative EPT-Anteil in einer Probe konnte durch die Messdaten als sehr guter Indikator identifiziert werden.

Eine Auswertung der Ergebnisse führt zu dem Schluss, dass bereits die Verbesserung einzelner Parameter zu einer signifikanten Verbesserung der Artenvielfalt führen kann. Dabei muss in Zukunft näher untersucht werden, ob ein erhöhter Korrelationsindex grundsätzlich mit einer erhöhten Sensitivität des Parameters einhergeht, da die Korrelation häufig nicht linear ist.

Dennoch lassen sich nach der Auswertung Maßnahmen ableiten, welche zu einer Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Insekten der Fließgewässer führen. Dazu gehört beispielsweise die Umgestaltung von Bach- und Flussläufen mit dem Ziel, eine höhere Strömungs- und Substratvielfalt, eine bessere Beschattung und eine naturnahe Ufergestaltung möglichst nur durch Initialmaßnahmen herbei zu führen. Auch Projekte zur weiteren Verbesserung der Klärung von Abwässern und zur Minderung der thermischen und stofflichen Belastung tragen zu einer Verbesserung der Lebensbedingungen und somit zu einer erhöhten Artenvielfalt von Insekten bei. Im Rahmen dieser Arbeit wurde zudem die Wirkung des Maßnahmenprogramms der WRRL bewertet und die Wirkungen noch zu ergreifender Maßnahmen auf die Wasserinsekten prognostiziert. Es zeigt sich deutlich, dass Maßnahmen, welche bereits ergriffen wurden und auch welche zukünftig noch ergriffen werden, zur Erhaltung und weiteren Verbesserung der Artenvielfalt der Insekten beitragen.

Literaturverzeichnis

Banning, M. & Helsper, U. (2010): Bericht zur Gewässergüte 2010 des Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie

Berthold, Georg und Hubertus Kolster (2007): Das Belastungspotenzial landwirtschaftlich genutzter Flächen hinsichtlich diffuser Einträge in das Grundwasser. Jahresbericht 2017. [http://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/das_hlug/jahresbericht/2007/2007_055-062.pdf] (22. Juli 2019)

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2016): CORINE Land Cover Daten 10 ha. Leipzig

Deutscher Rat für Landespflege (2008): Kompensation von Strukturdefiziten in Fließgewässern durch Strahlwirkung [https://www.landespflege.de/schriften/DRL_SR81.pdf]

Fließgewässerbewertung: EPT [%] [<http://www.fliessgewaesserbewertung.de/kurzdarstellungen/core-metrics/ept/>]

Foerster, H. : Gewässer und Boden466FachbeiträgeKorrespondenz Wasserwirtschaft · 2017 (10) · Nr. 8 [www.dwa.de/KWZusammenfassungBei der Auswertung der Daten, die das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen \(LANUV NRW\) im oper. Von](http://www.dwa.de/KWZusammenfassungBei%20der%20Auswertung%20der%20Daten,%20die%20das%20Landesamt%20f%C3%BCr%20Natur,%20Umwelt%20und%20Verbraucherschutz%20Nordrhein-Westfalen%20(LANUV%20NRW)%20im%20oper.%20Von) [[https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/wasser/pdf/Habitatindex_Foerster_Halle_Müller_KW_8_2017.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/wasser/pdf/Habitatindex_Foerster_Halle_Mueller_KW_8_2017.pdf)] (11. August 2019)

Hallmann, C. A.; Sorg, M.; Jongejans, E.; Siepel, H.; Hofland, N.; Schwan, H. et al. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. In: Plos One 12 (10), e0185809. DOI: 10.1371/journal.pone.0185809.

Handbuch-Hessen (2007) Modul: allgemeine Degradation; Teil 3 Kapitel 3.1 B- Seite 57

HMUKLV – HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMASCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (Hrsg.) (2015a): Bewirtschaftungsplan Hessen 2015 – 2021. [http://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/5_service/BP2015-2021/_BP_Hauptdokument_BP2015-2021_.pdf] Stand: 07. Februar 2017].

HMU KL V – HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMASCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (Hrsg.) (2015b): Maßnahmenprogramm Hessen 2015 – 2021. [http://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/5_service/MP2015-2021/MP_Hauptdokument_151221.pdf; Stand: 07. Februar 2017].

Rheinstation.uni-koeln.de: Eintagsfliegen [<http://rheinstation.uni-koeln.de/eintagsfliegen.html>] (19. August 2019)

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2014): Strategien zur Optimierung von Fließgewässer-Renaturierungsmaßnahmen und ihrer Erfolgskontrolle [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_43_2014_strategien_zur_optimierung_von_fliessgewaesser-renaturierung_0.pdf] (19. Juli 2019)

trichoptera-rp.de: Informationen zur Ökologie [http://www.trichoptera-rp.de/html/informationen_zur_okologie.html] (11. August 2019)

Umweltbundesamt: Wasserrahmenrichtlinie [<https://www.umweltbundesamt.de/wasserrahmenrichtlinie>] (11. August 2019)

gewässer-bewertung.de: Gewässerbewertung gemäß Wasserrahmenrichtlinie [https://www.gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=2&clang=0] (11. August 2019)

gewässer-bewertung.de: Bewertung des ökologischen Zustands nach Perloides [https://www.gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=121&clang=0] (11. August 2019)

gewässer-bewertung.de: Modul „Saprobie“ [<http://www.fliessgewaesserbewertung.de/kurzdarstellungen/core-metrics/deutscher-saprobienindex>] (11. August 2019)

gewässer-bewertung.de: Modul „Allgemeine Degradation“ [<http://www.fliessgewaesserbewertung.de/kurzdarstellungen/core-metrics/deutscher-saprobienindex>] (11. August 2019)

LAWA, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. (2000) Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland - Verfahren für kleine und mittelgroße Gewässer.

plecoptera.de: [<http://plecoptera.de/Allgemeines/allgemeines.html>] (11. August 2019)

Schöll et al. (2015): Das Makrozoobenthos des Rheins 2012 – Bericht 227 der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR):

Spektrum- Lexikon der Biologie: [<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/steinfliegen/63512>] (11. August 2019)

Spektrum- Lexikon der Biologie: [<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/ephemeroptera/3728>] (11. August 2019).

Spektrum- Lexikon der Biologie: [<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/indikatororganismen/33945>] (11. August 2019).

Spektrum- Lexikon der Biologie: [<https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/eutrophierung/2250>] (11. August 2019).

Anhang

A1 Korrelationsanalyse – Probenahme

Tabelle 7: Korrelationen - Probenahme

| Probenahme | SAPROBIEN-INDEX | ALLGEMEINE_DEGRADATION_SCORE | Code_Tiefenvarianz | Code_Breitenvarianz | Code_Laufkruemmung | Code_Stroemung | Code_Beschattung_Sohle | Code_Substartvielfalt |
|--------------------------------|-----------------|------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------|------------------------|-----------------------|
| Anzahl_Insecta | -0,630473 | 0,665191 | 0,281510 | 0,287327 | 0,285591 | 0,305480 | -0,175824 | 0,316239 |
| Anzahl_Coleoptera | -0,383724 | 0,398557 | 0,148453 | 0,154619 | 0,155202 | 0,216260 | -0,083108 | 0,221658 |
| Anzahl_Ephemeroptera | -0,512148 | 0,624850 | 0,272040 | 0,257398 | 0,206200 | 0,290061 | -0,109961 | 0,285286 |
| Anzahl_Odonata | 0,172487 | -0,086885 | -0,112835 | -0,103572 | -0,139010 | -0,198640 | 0,115916 | -0,222982 |
| Anzahl_Plecoptera | -0,551303 | 0,534597 | 0,184890 | 0,219902 | 0,142888 | 0,234250 | -0,142507 | 0,203974 |
| Anzahl_Trichoptera | -0,531317 | 0,560928 | 0,226034 | 0,217835 | 0,242544 | 0,275173 | -0,136192 | 0,241305 |
| Relativer_Anteil_EPT | -0,776424 | 0,795387 | 0,342129 | 0,293043 | 0,290908 | 0,490347 | -0,194881 | 0,443698 |
| Relativer_Anteil_Coleoptera | -0,441929 | 0,369877 | 0,122648 | 0,100955 | 0,103266 | 0,257818 | -0,103708 | 0,272677 |
| Relativer_Anteil_Ephemeroptera | -0,572350 | 0,628921 | 0,281268 | 0,229848 | 0,204162 | 0,380927 | -0,108538 | 0,344318 |
| Relativer_Anteil_Trichoptera | -0,586365 | 0,558946 | 0,229486 | 0,193098 | 0,234812 | 0,362557 | -0,147503 | 0,340935 |
| Relativer_Anteil_Insekten | -0,713056 | 0,703608 | 0,285846 | 0,252026 | 0,253574 | 0,416020 | -0,187912 | 0,409498 |
| Individuen_Insecta | -0,110592 | 0,165787 | 0,073384 | 0,094168 | 0,073769 | 0,005827 | -0,022302 | 0,004969 |
| Individuen_Coleoptera | -0,165675 | 0,166874 | 0,013153 | 0,034232 | 0,043428 | 0,050104 | 0,000347 | 0,081692 |
| Individuen_Ephemeroptera | -0,252326 | 0,308066 | 0,126252 | 0,138303 | 0,099547 | 0,121872 | -0,034796 | 0,089262 |
| Individuen_Odonata | 0,233449 | -0,159442 | -0,083280 | -0,085840 | -0,063493 | -0,147577 | 0,047017 | -0,138234 |
| Individuen_Plecoptera | -0,347372 | 0,309179 | 0,116643 | 0,118561 | 0,061473 | 0,104743 | -0,082982 | 0,097461 |
| Individuen_Trichoptera | -0,233988 | 0,293545 | 0,107861 | 0,110625 | 0,114061 | 0,100082 | -0,042988 | 0,104623 |

A1 Korrelationsanalyse – Messstelle

Tabelle 8: Korrelationen - Messstelle

| Messstelle | HI_Stro- emung | HI_Sohle | HI_Ufer | Habitatin- dex | ACKER_proz | GRUEN_proz | WALD_proz | LUI_100m | LUI_500m | Acker_Ge- samt |
|-------------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Anzahl_Insecta | -0,305750 | -0,326709 | -0,293805 | -0,384191 | -0,216827 | 0,217215 | 0,176697 | -0,243758 | -0,364575 | -0,067817 |
| Anzahl_Coleoptera | -0,200667 | -0,214992 | -0,143673 | -0,227025 | -0,094198 | 0,133824 | 0,111631 | -0,164733 | -0,216895 | -0,075661 |
| Anzahl_Ephemeroptera | -0,215735 | -0,218281 | -0,241224 | -0,271708 | -0,229122 | 0,237436 | 0,133562 | -0,225304 | -0,341157 | -0,061621 |
| Anzahl_Odonata | 0,163887 | 0,141304 | 0,206443 | 0,227494 | 0,107580 | -0,077777 | 0,081628 | -0,076683 | 0,067963 | 0,047044 |
| Anzahl_Plecoptera | -0,191838 | -0,261193 | -0,163159 | -0,280076 | -0,198795 | 0,011379 | 0,284127 | -0,229822 | -0,321787 | -0,013509 |
| Anzahl_Trichoptera | -0,275578 | -0,291214 | -0,277934 | -0,354265 | -0,175848 | 0,172495 | 0,137690 | -0,197679 | -0,290239 | -0,053402 |
| Relativer_Anteil_EPT | -0,335782 | -0,342935 | -0,343723 | -0,419579 | -0,269367 | 0,187942 | 0,228374 | -0,248590 | -0,407382 | -0,070710 |
| Relativer_Anteil_Coleoptera | -0,158294 | -0,196957 | -0,112837 | -0,185467 | -0,063297 | 0,086481 | 0,055729 | -0,083113 | -0,179323 | -0,066370 |
| Relativer_Anteil_Ephemer- optera | -0,238879 | -0,235450 | -0,259214 | -0,282922 | -0,238080 | 0,197144 | 0,114241 | -0,159487 | -0,311767 | -0,055984 |
| Relativer_Anteil_Trichop- tera | -0,283599 | -0,281514 | -0,285781 | -0,351280 | -0,168495 | 0,135480 | 0,161398 | -0,196068 | -0,272944 | -0,060860 |
| Relativer_Anteil_Insekten | -0,286581 | -0,347509 | -0,281599 | -0,380092 | -0,210248 | 0,149794 | 0,178631 | -0,178651 | -0,357461 | -0,084708 |
| Individuen_Insecta | -0,111502 | -0,099020 | -0,078322 | -0,121585 | -0,094327 | 0,070445 | 0,037202 | -0,045518 | -0,047462 | -0,038331 |
| Individuen_Coleoptera | -0,067925 | -0,078038 | -0,027006 | -0,059518 | -0,032676 | 0,061923 | -0,008795 | -0,017923 | -0,024701 | -0,066264 |
| Individuen_Ephemeroptera | -0,162477 | -0,159246 | -0,145817 | -0,187308 | -0,148123 | 0,084608 | 0,053463 | -0,050319 | -0,114278 | -0,025050 |
| Individuen_Odonata | 0,094952 | 0,082613 | 0,155614 | 0,151697 | 0,054323 | -0,039033 | 0,045358 | -0,062550 | 0,045109 | 0,030626 |
| Individuen_Plecoptera | -0,144990 | -0,141202 | -0,097369 | -0,173611 | -0,114699 | 0,016164 | 0,164434 | -0,135200 | -0,200340 | -0,076364 |
| Individuen_Trichoptera | -0,147025 | -0,120703 | -0,138166 | -0,159115 | -0,138548 | 0,124746 | 0,113524 | -0,156338 | -0,146016 | -0,071280 |

A2 Korrelationsanalyse – Wasserkörper

Tabelle 9: Korrelationen - Wasserkörper

| Wasserkörper | GRUEN- LAND_AN- TEIL_AREA | ACKER_SON- DERKUL- TUR_AN- TEIL_AREA | SIED- LUNG_VER- KEHR_AN- TEIL_AREA | Struk- tur_defizi- taere_Ab- schnitte | Sapro- bie2016 % belas- tet | PROZ_STRUKA_KL1_4 | Ammo- nium | P_Ge- samt | oPhos- phat | Chlorid |
|-------------------------------------|---------------------------------|---|---|--|--------------------------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------|---------|
| Anzahl_Insecta | 0,0229 | -0,0225 | 0,0648 | -0,1066 | 0,1119 | -0,0230 | 0,0113 | -0,1042 | -0,1009 | 0,0453 |
| Anzahl_Trichoptera | 0,0062 | -0,0291 | 0,0443 | -0,1016 | 0,0927 | -0,0245 | 0,0423 | -0,0713 | -0,0694 | 0,0691 |
| Anzahl_Plecoptera | 0,0169 | -0,0143 | 0,0313 | -0,0708 | 0,0831 | -0,0165 | -0,0905 | -0,1409 | -0,1382 | -0,0851 |
| Anzahl_Ephemeroptera | 0,0013 | -0,0435 | 0,0388 | -0,1151 | 0,0787 | -0,0492 | -0,0319 | -0,1388 | -0,1392 | -0,0058 |
| Relativer_Anteil_EPT | -0,0235 | -0,0678 | 0,0211 | -0,1453 | 0,0847 | -0,0636 | -0,0382 | -0,1548 | -0,1556 | -0,0206 |
| Relativer_Anteil_Ephe- meroptera | -0,0040 | -0,0371 | 0,0247 | -0,0870 | 0,0796 | -0,0383 | -0,0124 | -0,1066 | -0,1102 | -0,0038 |
| Relativer_Anteil_Trichop- tera | -0,0273 | -0,0655 | 0,0214 | -0,1490 | 0,0772 | -0,0541 | -0,0180 | -0,1298 | -0,1291 | 0,0085 |
| Relativer_Anteil_Insekten | -0,0355 | -0,0823 | 0,0115 | -0,1515 | 0,0669 | -0,0810 | -0,0390 | -0,1571 | -0,1565 | -0,0176 |
| Individuen_Insecta | 0,0166 | 0,0404 | -0,0063 | 0,0829 | 0,0025 | 0,0443 | 0,1234 | 0,1189 | 0,1187 | 0,0930 |
| Individuen_Coleoptera | 0,0001 | 0,0118 | -0,0089 | 0,0359 | -0,0008 | 0,0073 | 0,0423 | 0,0294 | 0,0272 | 0,0337 |
| Individuen_Ephemerop- tera | 0,0280 | 0,0362 | 0,0271 | 0,0267 | 0,0477 | 0,0478 | 0,1038 | 0,0721 | 0,0667 | 0,0477 |
| Individuen_Odonata | 0,0642 | 0,0959 | 0,0153 | 0,1698 | -0,0660 | 0,0768 | 0,0443 | 0,1208 | 0,1175 | 0,0373 |
| Individuen_Plecoptera | 0,0312 | 0,0169 | 0,0311 | 0,0124 | 0,0381 | 0,0097 | 0,0036 | -0,0074 | -0,0064 | -0,0084 |
| Individuen_Trichoptera | -0,0268 | -0,0337 | -0,0123 | -0,0429 | -0,0073 | -0,0313 | 0,0156 | -0,0165 | -0,0210 | 0,0188 |
| Anzahl_Coleoptera | 0,0705 | 0,0335 | 0,1122 | -0,0508 | 0,1328 | 0,0295 | 0,0436 | -0,0722 | -0,0655 | 0,0800 |
| Anzahl_Odonata | -0,0071 | 0,0037 | -0,0266 | 0,0663 | -0,0783 | -0,0230 | -0,0418 | -0,0156 | -0,0144 | -0,0420 |
| Relativer_Anteil_Coleop- tera | 0,1068 | 0,0895 | 0,1246 | 0,0347 | 0,1461 | 0,0864 | 0,0467 | -0,0200 | -0,0177 | 0,0496 |