



ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN  
DEPARTMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT

**Biobad Biberstein**  
**Wasserqualität und gesundheitliche Risiken**

Projektwoche Umweltanalytik

Apitzsch Luca; Baratovic Danica; Bührle Christian; Dallo Aline; Diggelmann Patrick;  
Frei Janick; Jezler Annekathrin; Rüedi Marc; Santoleri Moreno;  
Spörri Kaspar; Wieser Joël; Wolfensberger Nastasja

Bachelorstudiengang 2011

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Abgabedatum: 13. Juli 2012

Betreuer: Matthias Frei

Zürich University  
of Applied Sciences



## **Abstract**

Die vorliegende Arbeit untersucht am Beispiel der „Biobadi Biberstein“ die Frage ob es gesundheitlich unbedenklich ist, in einem Schwimmteich zu baden.

Um zu beurteilen ob die biologische Aufbereitung des Wassers funktioniert, wurden die mikrobiologische Situation (Häufigkeit der Keime von *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* und Enterokokken), die chemischen und physikalischen Eigenschaften (pH, Leitfähigkeit, O<sub>2</sub>-Gehalt, Wasserhärte und Nährstoffgehalt), sowie die ökologische Qualität des Wassers erhoben. Zusätzlich erfolgte eine Beurteilung des Badeteichs aufgrund der „10 Gebote im Schwimmteichbau“.

Die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung liegen im Bereich der Richtwerte. Bei einer Besucherzahl über 300 wären sie vermutlich erhöht, was für gesunde und vitale Menschen jedoch keine Gefahr darstellt.

Im Bereich der Gewässerchemie wurden die Grenzwerte nicht überschritten. Die Messungen zeigen, dass das Baden bezüglich der chemischen Bestandteile für die Besucher absolut unbedenklich ist. Der Phosphor-Wert muss weiter überwacht werden, um bei einem Anstieg rechtzeitig eingreifen zu können und ein verstärktes Algenwachstum zu verhindern.

Die erhobenen pH-Werte, der Sauerstoffgehalt und die Leitfähigkeit liegen alle innerhalb der tolerierbaren, teilweise sogar nahe der optimalen Werte. Einzig die pH-Werte könnten für eine optimale biologische Aktivität bei gleichzeitig uneingeschränktem Nitritabbau etwas höher liegen.

Die ökologische Qualität des Gewässers entspricht nach CIEPT der Güteklasse „Schlecht“. Bei einer relativ gleichmässigen Artenverteilung weist das Gewässer eine eher geringe Diversität an Wirbellosen auf. Dies obwohl sehr unterschiedliche Nischen vorhanden sind. Das Ergebnis lässt sich vermutlich auf die regelmässige Störung durch das Absaugen des Schwimmteiches zurückführen.

Die Beurteilung anhand der 10 Gebote ergab, dass das Biobad Biberstein entsprechend den Kriterien konstruiert ist, es aber doch einige Verbesserungsmöglichkeiten gibt (z.B. Regenwasser-Auffangbecken, Rückspülmöglichkeit des Filters).

Insgesamt ergab die Untersuchung, dass ein Bad in der „Biobadi Biberstein“ für gesunde Menschen unbedenklich ist, die maximale Besucherzahl von 300 Personen pro Tag aber nicht überschritten werden sollte.

## Inhalt

1	Einleitung .....	4
2	Methode .....	5
2.1	Mikrobiologie .....	5
2.2	Makrozoobenthos .....	6
2.3	Chemische Parameter .....	6
2.4	Physikalische Parameter .....	7
3	Resultate .....	8
3.1	Mikrobiologie .....	8
3.2	Makrozoobenthos .....	8
3.3	Chemische Parameter .....	10
3.4	Physikalische Parameter .....	10
4	Diskussion .....	12
4.1	Mikrobiologie .....	12
4.2	Makrozoobenthos .....	12
4.3	Chemische Parameter .....	13
4.4	Physikalische Parameter .....	13
4.4.1	pH-Wert: .....	13
4.4.2	Sauerstoffgehalt: .....	14
4.4.3	Leitfähigkeit: .....	14
5	Die 10 Gebote im Schwimmteichbau .....	15
5.1.1	Kein Wasserverlust .....	15
5.1.2	Kein Randeintrag .....	15
5.1.3	Strikte Trennung von aeroben und anaeroben Zonen .....	15

5.1.4	Der optimale pH-Wert in Schwimmteichen beträgt 8.4 .....	16
5.1.5	Der Nitratabbau muss gewährleistet sein .....	16
5.1.6	Phosphor ist das limitierende Element .....	16
5.1.7	Keine P-haltigen Baumaterialien (Kies, Füllwasser...) .....	16
5.1.8	Den Einträgen (P und C) müssen quantitativ ausreichend Austragswege entgegengesetzt werden .....	17
5.1.9	Ein ausgewogenes Nährstoffverhältnis (C:N:P) soll gewährleistet sein .....	17
5.1.10	Optimierung der Anströmung .....	17
6	Schlussfolgerung.....	18
7	Literarturliste: .....	19

## 1 Einleitung

In den letzten Jahren wurden Schwimmteiche in der Schweiz immer beliebter. Schätzungen des ASC (Allgemeinen Schwimmteich Clubs Schweiz) zufolge werden hierzulande jährlich 100 bis 200 Schwimmteiche neu erstellt. Der grundsätzliche Unterschied zu herkömmlichen Schwimmbädern besteht darin, dass zur Aufbereitung des Badewassers biologische Prozesse statt Chemikalien dienen.

Schwimmteiche werden hauptsächlich von Privaten gebaut und genutzt. An mehreren Orten in der Schweiz sind jedoch auch öffentlich zugängliche Schwimmteiche erstellt oder bis anhin konventionell betriebene Freibäder in Schwimmteiche (sogenannte „Biobäder“) umgebaut worden. Eine der ersten solchen Anlagen befindet sich im aargauischen Biberstein, wo das ursprüngliche Freibad in einen Schwimmteich mit einer Kapazität von rund 300 Badegästen pro Tag umgebaut wurde. Die „Biobadi Biberstein“ erfreut sich grosser Beliebtheit. An schönen Sommerwochenenden können bis zu 600 Besucher täglich gezählt werden. Der grosse Andrang hat jedoch Auswirkungen auf die Wasserqualität. In der Saison 2009 wurde diese als ungenügend beurteilt (Aargauer Zeitung, 2010). Im Rahmen der Projektwoche Umweltanalytik des Studiengangs Umweltingenieurwesen der Zürcher Hochschule der angewandten Wissenschaften (ZHAW) soll deshalb untersucht werden, inwiefern sich die Wasserqualität seither geändert hat und ob der Besuch des Biobads Biberstein für die Besucher gesundheitlich unbedenklich ist.

Die Qualität eines Gewässers kann über verschiedene Parameter bestimmt werden. Bei der erwähnten Untersuchung von 2009 handelt es sich lediglich um eine Beurteilung der mikrobiologischen Situation. Dabei wurde die Anzahl koloniebildender Einheiten (KBE) pathogener Keime erhoben. In der Untersuchung vom 10.7.2012 wurde nicht nur die Häufigkeit von Keimen (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* und Enterokokken) erhoben, sondern auch die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Wassers. Zusätzlich erfolgte eine Beurteilung des Badeteichs aufgrund dessen ökologischer Qualität im Rahmen der „10 Gebote im Schwimmteichbau“ (ASC, 2012), da diese in engem Zusammenhang mit den genannten Qualitätseigenschaften stehen. Die untersuchten Parameter sind dafür verantwortlich, dass die biologische Aufbereitung des Badewassers funktioniert. Diese basiert grundsätzlich auf dem Abbau von Nährstoffen durch verschiedene Organismen.

Die erhobenen Informationen sollen eine Antwort auf die zentrale Fragestellung ermöglichen: Ist es gesundheitlich unbedenklich in einem Schwimmteich wie demjenigen in Biberstein zu baden oder besteht Handlungsbedarf?

## 2 Methode

### 2.1 Mikrobiologie

Um herauszufinden, ob es unbedenklich ist, in einem Schwimmteich zu baden, wurde die Anzahl der drei Keime *Escherichia coli*, Enterokokken und *Pseudomonas aeruginosa* erfasst. *E. coli* und Enterokokken sind Darmbakterien, welche durch Fäkalien ins Badewasser gelangen. Sie sind Indikatoren für die mögliche Anwesenheit von krankheitsauslösenden Keimen. *Pseudomonas aeruginosa* ist ein pathogener Keim, welcher diverse Entzündungen auslösen kann. Er ist aufgrund seiner Antibiotika- und Desinfektionsmittelresistenz nur schwer zu bekämpfen.

Über den Tag verteilt wurden drei Wasserproben entnommen, je eine aus dem Schwimmbereich und dem Planschbecken. Die Probenahmen erfolgten um 9:30, 12:30 und 16:30 Uhr. Die gekühlten Proben wurden am darauffolgenden Tag im Labor mittels Membranfiltration auf das Vorkommen von *E. coli*, Enterokokken und *P. aeruginosa* getestet (Gantenbein-Demarchi, 2012).

Die Proben wurden durch einen Membranfilter mit definierter Porengrösse gesaugt, damit die Mikroorganismen auf der Filteroberfläche zurückbleiben. Dieser Filter wurde auf ein Nährmedium gelegt, damit die Bakterien zu Kolonien heranwachsen können. In einem zweiten Schritt wurden die Filter auf ein Selektivmedium übertragen, um die gewünschten Kolonien sichtbar zu machen und zu zählen.

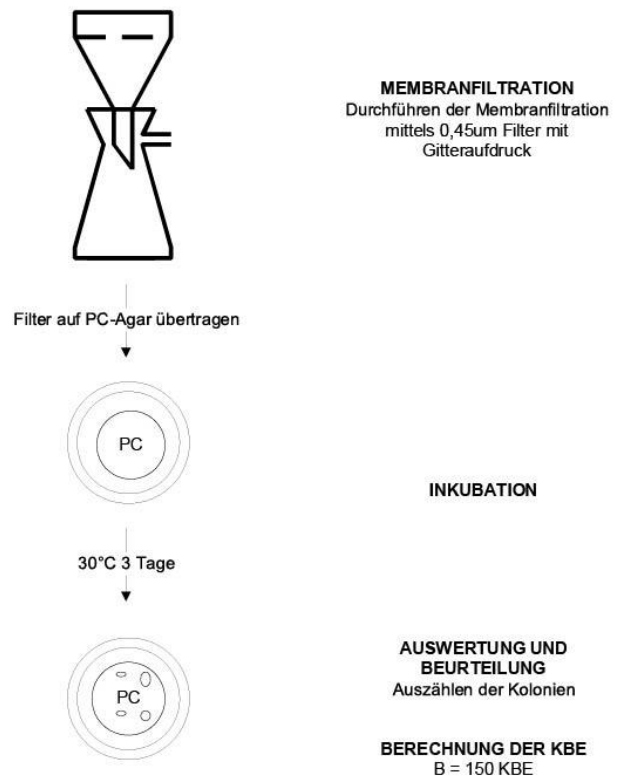


Abbildung1: Membranfiltration

Im Rahmen der Projektwoche wurde nur das Vorkommen von *E. coli* vollständig analysiert, da der ganze Prozess knapp über 24 Stunden dauerte. Die Enterokokken benötigen zwei Tage um vollständig ausgewertet werden zu können. Bei *P. aeruginosa* würde der Prozess zusätzliche 24 Stunden beanspruchen. Bei der Zählung wurde die gesamte Pseudomonaden-Spezies erfasst. Der Richtwert liegt für *P. aeruginosa* bei 10 KBE/ 100ml.

## **2.2 Makrozoobenthos**

Zur Bestimmung der ökologischen Wasserqualität wurde die Methode CIEPT angewandt. Diese beurteilt die ökologische Qualität eines Stillgewässers aufgrund der Anwesenheit von Tieren der Gattungen der Käfer, von Makroinvertebraten insgesamt und von EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) (ZHAW, 2010).

Aufgrund der verschiedenen Bewuchsformen im Regenerationsbereich und im Klärteich wurden sechs Probenahmestellen definiert:

1. Unbewachsen
2. Zwischen Schilf
3. Bei Seerosen
4. Planschbecken: Schatten/unbewachsen
5. bei Sprudler unter Wasserpflanze
6. Klärbecken

Die genaue Lage der Entnahmestellen ist dem Situationsplan (Anhang 1, Abbildung 2) zu entnehmen.

An den sechs Standorten erfolgte eine Probenahme nach PLOCH mit einem standardisierten IBEM-Netz (ZHAW, 2010). Das gefundene Material wurde im Feld sortiert und die Tiere in Ethanol 80% konserviert. Im Labor erfolgte anschliessend eine Bestimmung auf Familien- bzw. Gattungsniveau entsprechend der Vorgaben der Methode CIEPT.

## **2.3 Chemische Parameter**

Die Ermittlung der Nährstoffbelastung des Badewassers erfolgte anhand der Proben von fünf verschiedenen Standorten des Gewässerbereichs sowie einer Frischwasserprobe. Die Standorte sind ersichtlich im Situationsplan (Anhang 1, Abbildung 2). Untersucht wurden die Proben auf Nitrat, Nitrit, Ammonium, Phosphat und die Wasserhärte. Für alle Analysen ausser der Wasserhärte wurden die Proben steril filtriert (Filter: 0.45 µm). Die Proben wurden in Küvetten (Hach Lange) pipettiert, welche die Reaktionsmittel bereits enthielten. Nach der jeweiligen Reaktionszeit wurden die Werte mit dem portablen Photometer DR2800 (Hach Lange) gemessen.

## **2.4 Physikalische Parameter**

Neben Nährstoffen spielen weitere Eigenschaften des Wassers eine Rolle. So unter anderem der pH-Wert, die Leitfähigkeit des Wassers und der Sauerstoffgehalt. Die Werte für diese Parameter wurden analog zu den Nährstoffgehalten anhand von Proben an sechs verschiedenen Standorten erhoben. Diese sollen ein repräsentatives Bild der verschiedenen Wasserverhältnisse aller Bereiche des Schwimmteichs vermitteln, welche für Badegäste relevant sind. Zum Einsatz kam ein HQ40d-Messgerät von Hach Lange, welches mittels verschiedener Messsonden erlaubt, die Werte mit hoher Genauigkeit zu bestimmen.



### 3 Resultate

#### 3.1 Mikrobiologie

Tabelle 1: Auswertung der Membranfiltration

Bezeichnung	E. coli	Enterokokken	Pseudomonaden sp.			
	KBE/ 100 ml	KBE/ 100 ml	KBE/ 100 ml			
Badeteiche 9.30	9	1	70			
Badeteiche 12.30	5	1	164			
Badeteiche 15.30	13	0	165			
Planschbecken 9.30	5	3	128			
Planschbecken 12.30	11	3	146			
Planschbecken 15.30	33	11	213			
Richtwerte BAG	100	40	nicht definiert			
					Biberstein	
Durchschnitt E.coli	100 ml	1 l	1 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>	875 m <sup>3</sup>	Gramm Kot
	33	330	330'000	33'000'000	288'750'000	22

#### 3.2 Makrozoobenthos

Insgesamt wurden Makroinvertebraten aus 19 Familien und 12 Ordnungen gefunden. Die Familien der Ordnung *Oligochaeta* wurden nicht ermittelt.

Der Shannon-Index der Standorte liegt im Bereich zwischen 1.05 und 1.61. Die grösste Vielfalt weist der unbewachsene Standort direkt neben dem Badebereich und der Bereich mit Seerosen-Vegetation auf. Der Shannon-Index des gesamten Systems liegt bei 2.19 (siehe Abbildung 1).

Die Evenness der Standorte liegt zwischen 0.54 und 0.9. Deutlich am dominantesten sind die einzelnen Arten im Schilf verteilt. Dort wurde eine grosse Anzahl Schlamm Schnecken (Lymnaeidae) gefunden. Im Bereich der Seerosen sind die Arten am gleichmässigsten verteilt. Die Evenness des gesamten Systems liegt bei 0.74 (siehe Abbildung 1).

Die Berechnung des CIEPT ergab eine Einteilung des Gewässers in die Güteklasse „Schlecht“ (siehe Tabelle 2). Eine detaillierte Auflistung der aufgenommen Fauna und die Berechnung der Indizes können den Anhängen 2 und 3 entnommen werden.

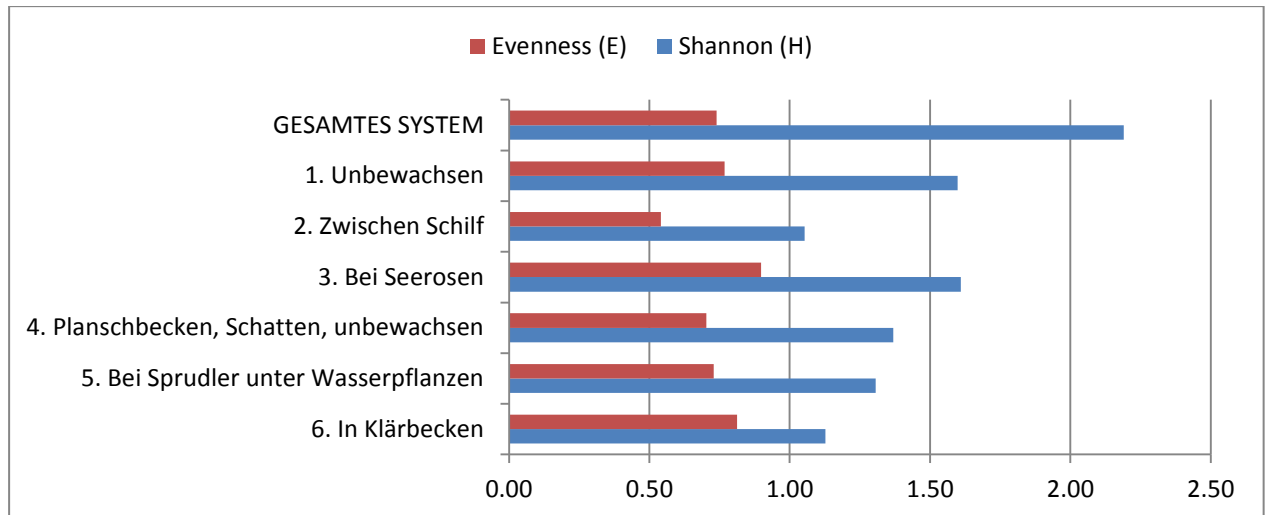


Abbildung 1: Shannon- und Evenness-Index

Tabelle 2: Berechnung CIEPT

Taxa	Sjk	Punkte
Coleoptera	-	0
Makroinvertebraten	22.5	1
EPT	6.5	5
Punktetotal		6
CIEPT		0.4
Gütekategorie		Schlecht

### 3.3 Chemische Parameter

Tabelle 3: Chemische Parameter vom 11.7.2012

Chem. Bestandteile Wasser Bioschwimmteich Biberstein						
		Nitrat mg/l	Nitrit mg/l	Ammonium mg/l	Phosphat mg/l	Wasserhärte dH
a. Frischwasser Dusche		1.42	n.n.	0.019	< 0.01	Messbereich überschritten
b. Badebereich 2		*0.038	n.n.	0.028	0.014	13.1
c. Planschbecken		4.45	n.n.	0.044	< 0.01	14.6
d. Regenerationszone		4.33	n.n.	0.023	< 0.01	15.8
e. Sprudel		4.47	n.n.	0.026	< 0.01	14.5
f. Badebereich 1		3.83	n.n.	0.021	< 0.01	14.6
Natürlicher Bereich im Sommer		bis 10 mg/l	bis 0.5 mg/l	bis 1 mg/l	bis 0.1 mg/l	bis 20 dH
Zulässiger Höchstwert		50	0.1	0.5	0.01	keine Begrenzung
* Messfehler, nicht berücksichtigt						
n.n. nicht nachweisbar						

Die gemessenen Nitrat-Werte liegen alle unter 10 mg/l, was dem natürlichen Bereich eines solchen Gewässers im Sommer entspricht. Nitrit konnte keines nachgewiesen werden. Auch die Ammonium-Konzentration lag in einem niedrigen Bereich. Der kritische Phosphor-Wert von 10 µg/l wurde am Standort "Badebereich 2" überschritten. Die Gesamthärte dH des Wassers war sehr ausgeglichen und üblich. Einzig beim Frischwasser zeigte sich ein deutlich höherer Wert der nicht erfasst werden konnte.

### 3.4 Physikalische Parameter

Tabelle 4: Physikalische Parameter vom 11.7.2012

Messstelle	pH	Leitfähigkeit µS/cm	Sauerstoffgehalt mg/l
1 Frischwasser	7.22	519	7.63
2 Badebereich (Einstieg)	6.91	312	7.05
3 Planschbecken	6.84	314	7.54
4 Regeneration (Schilf)	7.51	309	8.95
5 Regeneration (Sprudler)	7.21	315	6.19
6 Badebereich (Skimmer)	7.12	313	7.29

Wie in Tabelle 4 gezeigt, sind die Werte über den gesamten Schwimmbad-Bereich relativ stabil. Abweichungen gibt es einerseits beim Frischwasser, wo eine erhöhte Leitfähigkeit gemessen wurde, als auch in der Regenerationszone (4, Schilf) wo der Sauerstoffgehalt erhöht ist.

## 4 Diskussion

### 4.1 Mikrobiologie

Die Messdaten des Biobads Biberstein liegen im Rahmen der schweizerischen Richtwerte. Es ist zu beachten, dass das Bad am Tag der Probenahme nur von 101 Personen besucht wurde. Die Badeanstalt ist für 300 Personen konzipiert, 100 Personen entsprechen also 1/3 der vorgesehenen Maximalbesucherzahl. Werden die gemessenen Werte auf die Besucherzahl von 300 hochgerechnet, befinden sich diese immer noch unterhalb des Richtwerts. Die Richtwerte werden jedoch klar überschritten, wenn mehr als 300 Personen pro Tag baden gehen. Da die Keime eine Lebensdauer von einem bis maximal zwei Tagen haben, werden die meisten über Nacht nahezu vollständig abgebaut.

Es ist fraglich, ob das Baden im Schwimmteich bei erhöhten mikrobiologischen Werten tatsächlich gesundheitsschädlich ist. Es sollte erwähnt werden, dass die Anforderungen des BAG an die Badewasserqualität sehr hoch sind. Konkret muss diese nahezu derjenigen von Trinkwasser entsprechen. Demnach würde auch das Baden in Seen und Flüssen ein Risiko darstellen. Diese Gewässer werden je nach Vorjahresergebnis monatlich bis wöchentlich kontrolliert und die Qualität klassifiziert. Erst wenn mehr als 1000 E. coli pro 100ml festgestellt werden, wird ein Gespräch mit einem Arzt gesucht und eine Warnung herausgegeben (Buwal, 1991). Allgemein kann angenommen werden, dass bei Überschreiten der Richtwerte höchstens für anfällige und kranke Menschen ein erhöhtes Infektionsrisiko besteht.

### 4.2 Makrozoobenthos

Die Werte des Shannon-Index zeugen von einer eher geringen Diversität. Dies erstaunt, da das Gewässer sehr unterschiedliche Nischen bietet. Die Verteilung der Arten ist relativ gleichmässig.

Die Einteilung in die Güteklasse „Schlecht“ lässt darauf schliessen, dass die ökologische Qualität des Lebensraums im Schwimmteich Biberstein aufgrund der Wasserqualität oder den morphologischen Bedingungen eingeschränkt ist.

Da sowohl die chemische Zusammensetzung des Wassers als auch pH-Werte, Sauerstoffgehalt und Leitfähigkeit zwischen tolerierbaren und optimalen Werten liegen, kann auf schlechte morphologische Bedingungen geschlossen werden.

Das regelmässige Absaugen des Regenerationsbeckens zerstört vermutlich einerseits die feingliederigen Nischen auf dem Grund. Andererseits werden dadurch die Makroinvertebraten selbst in ihrer Anzahl reduziert.

### **4.3 Chemische Parameter**

Alle gemessenen Stickstoffverbindungen ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ) sind mengenmässig unbedenklich und deutlich unter den Grenzwerten vorhanden.

Die leicht erhöhte Phosphorkonzentration in der Probe b kann verschiedene Ursachen haben. Dazu gehören sowohl Verschmutzungen durch Urin als auch Produkte des Abbaus von totem organischem Material. Ein erhöhter Phosphorgehalt ist vor allem wegen dem daraus folgenden Algenwachstum problematisch. Jedoch übersteigt der Gehalt den kritischen Wert nicht erheblich, sodass keine Massnahmen ergriffen werden müssen, der Wert aber vorsorglich weiter überwacht werden sollte.

Die höhere Wasserhärte des Frischwassers war zu erwarten und gilt als normal. Insbesondere am Jurasüdfuss ist härteres Wasser verbreitet. Die Werte im Schwimmteich liegen im Normalbereich. Es besteht somit kein Risiko für eine Ausfällung und ein allfälliges Verstopfen des Filters (Klärbereich). Ein Auffüllen des Beckens mit Frischwasser bei Wassermangel ist jedoch nach Möglichkeit zu vermeiden.

### **4.4 Physikalische Parameter**

#### **4.4.1 pH-Wert:**

Gemäss Empfehlung für die hygienische Beurteilung öffentlicher, künstlich angelegter Badeteiche des Bundesamtes für Gesundheit (BAG 2004), sollte der pH-Wert zwischen 6 und 9 liegen. Somit befinden sich die gemessenen Werte alle im Toleranzbereich, wenn auch eher im unteren. Gemäss dem ASC liegt der optimale pH-Wert für Schwimmteiche bei 8.4. Bei tieferen Werten besteht die Gefahr für ein vermindertes Pflanzenwachstum, da dann  $\text{CO}_2$  nicht mehr als  $\text{HCO}_3^-$  in Lösung geht und von den Pflanzen mit hohem Energieaufwand umgewandelt werden muss (ASC 2012). Bei höheren pH-Werten tritt eine Hemmung des Nitritabbaus auf, was zu einer Anreicherung von Nitrit im Wasser führt und eine konservierende Wirkung hat, mit entsprechenden negativen Auswirkungen auf die Biozönose. Die Werte in Biberstein liegen alle im unteren Bereich. Eine mögliche Erklärung für die leicht niedrigeren Werte bei den Messstellen 2 und 3 könnte darin liegen, dass sich in unmittelbarer Nähe der Probenahme zahlreiche Personen im Wasser befanden. Gemäss Angaben des Bademeisters (Huber, mündl. Mitteilung) wird davon ausgegangen, dass durchschnittlich jeder

dritte Badegast in das Badewasser uriniert. Urin hat einen pH-Wert zwischen 4.6 bis 7.5 (Wikipedia 2012) und kann dementsprechend zu einer lokalen Absenkung des pH-Wertes führen.

#### **4.4.2 Sauerstoffgehalt:**

Die meisten Pflanzen und Tiere sind für Stoffwechselprozesse auf Sauerstoff angewiesen. So auch die Mikroorganismen, welche den Biofilm bilden, der zur biologischen Wasserreinigung benötigt wird. Der Sauerstoff wird entweder direkt aus der Atmosphäre ( $O_2$ -Gehalt 21%) oder mittels Photosynthese betreibender Pflanzen ins Wasser eingetragen. Je höher die Wassertemperatur, desto weniger Sauerstoff kann gelöst werden. Bei 20°C lösen sich noch knapp 10 mg/l, bei 25°C 8-9 mg/l. Die gemessenen Werte lassen auf eine gute Sauerstoffversorgung schliessen, bei Messstelle 4 liegt sie nahe der Sättigung aufgrund der photosynthetischen Aktivität der Pflanzen in unmittelbarer Umgebung der Probenahme. Bei Messstelle 6 ist der Sauerstoffgehalt niedriger. Dies hängt mit der Herkunft des Wassers zusammen, welches beim Sprudler direkt vom Klärteich wieder ins Becken eingespeist wird. Da im Klärteich vermehrt Mikroorganismen aktiv sind, welche Sauerstoff veratmen, ist der Gehalt in diesem Bereich tiefer.

#### **4.4.3 Leitfähigkeit:**

Die Leitfähigkeit gibt Auskunft über den gesamten Gehalt an Salzen/Ionen im Wasser. Tiefe Werte sind ein Anzeichen für nährstoffarme Gewässer. Ein Mindestnährstoffgehalt ist für das gesunde Wachstum von Organismen jedoch nötig. Gemäss ASC ist daher eine Leitfähigkeit von 100 bis 600  $\mu S/cm$  optimal. Werte bis 1000  $\mu S/cm$  sind tolerierbar (ASC 2012).

Gemäss Gewässerschutzverordnung von 1998 (Gewässerschutzverordnung 1998) liegt der zulässige Höchstwert für Trinkwasser bei 2500  $\mu S/cm$ .

Wie in Tabelle 4 (Kapitel 3.4) ersichtlich, zeigen die erhobenen Werte allesamt gute Verhältnisse an.

Auffallend ist der erhöhte Werte des Frischwassers bei Messstelle 1. Tabelle 3 (Kapitel 3.3) zeigt, dass dies mit der höheren Wasserhärte zusammenhängt (Ca/Mg-Gehalt).

## **5 Die 10 Gebote im Schwimmteichbau**

Die Untersuchung der Einhaltung der 10 Gebote für den Bau eines Schwimmteichs (ASC Schweiz 2012) hat folgendes ergeben:

### **5.1.1 Kein Wasserverlust**

Wasserverlust ist bei Schwimmteichen zu verhindern. Dies ist in Biberstein durch die Abdichtung mit Folie gegen den Untergrund gewährleistet. Ebenso wurden keine Materialien verwendet, welche aufgrund kapillarer Eigenschaften Wasser aus dem Becken „saugen“ (Ton, Lehm,...). Verdunstungsverluste werden gemäss Angaben des Bademeisters wenn möglich über Regenwasser ausgeglichen. Was fehlt ist ein Ausgleichsbecken, um sowohl überschüssiges Regenwasser, als auch das Wasser, welches bei hoher Anzahl an Badegästen verdrängt wird, aufnehmen zu können. Dieses für das System wertvolle Wasser fliesst via Überlauf in die Aare und geht diesem so verloren.

### **5.1.2 Kein Randeintrag**

Wassereinträge abgesehen vom Regenwasser können weitgehend ausgeschlossen werden. Das Biobad ist in einer Ebene gelegen, wodurch die Möglichkeit von Hangwassereintrag entfällt. Das Wasserbecken ist durch Betonmäuerchen klar von den Liegewiesen abgetrennt, wodurch ein Giesswasser- und damit verbunden ein allfälliger Düngereintrag verhindert wird. Die Ränder des Regenerationsbeckens und des Klärteichs sind mit einem relativ breiten Kiesgürtel eingefasst, welcher eine Drainage von Wassereinträgen an den Rändern ermöglicht. Nährstoffeinträge über den Staub vom Spazierweg jenseits des Zauns sind jedoch wahrscheinlich.

### **5.1.3 Strikte Trennung von aeroben und anaeroben Zonen**

Um zu verhindern, dass sich Nitrit im Schwimmteich anreichert, müssen aerobe und anaerobe Zonen strikt voneinander getrennt werden. Ein Hinweis auf eine Nitrit-Anreicherung sind schwarz verfärbte Blätter bei Pflanzen. Dies ist im Biobad Biberstein nicht der Fall: Die Pflanzenbestände der verschiedenen Bereiche (Klärteich, Regeneration, Planschbecken) weisen keinerlei Verfärbungen auf. Das regelmässige „Staubsaugen“ im Regenerations-Bereich verhindert, dass sich eine mächtige anaerobe Sedimentschicht bilden kann.



#### **5.1.4 Der optimale pH-Wert in Schwimmteichen beträgt 8.4**

Bei tieferen Werten besteht die Gefahr eines verminderten Pflanzenwachstums, da dann  $\text{CO}_2$  nicht mehr als  $\text{HCO}_3^-$  in Lösung geht und von den Pflanzen mit hohem Energieaufwand umgewandelt werden muss (ASC 2012). Bei höheren pH-Werten tritt eine Hemmung des Nitritabbaus auf, was zu einer Anreicherung von Nitrit im Wasser führt und eine konservierende Wirkung hat, mit entsprechenden negativen Auswirkungen auf die Biozönose. Die Werte im Schwimmbad Biberstein liegen alle zwischen 6.84 und 7.51, d.h. unterhalb des optimalen Wertes. Die Abweichung ist jedoch so gering, dass nicht mit negativen Auswirkungen auf die biologischen Prozesse zu rechnen ist.

#### **5.1.5 Der Nitratabbau muss gewährleistet sein**

Der Nitratabbau ist bei pH 7 am besten gewährleistet. Die pH-Werte des Biobads Biberstein liegen diesbezüglich im passenden Bereich. Tropenholz sollte nicht verbaut werden, da die darin enthaltenen natürlichen Konservierungsstoffe den Nitratabbau hemmen. In Biberstein wurde kein Tropenholz verwendet.

#### **5.1.6 Phosphor ist das limitierende Element**

Laut dem Minimumgesetz nach Carl Sprengel wird das Wachstum der Pflanzen durch die knappste Ressource beschränkt. Ein Schwimmteich sollte tiefe Phosphatwerte aufweisen. Die Phosphorkonzentration bestimmt massgeblich die Algenbildung. Die Phosphatlimitierung von Algen beträgt  $<10\mu\text{g}$  pro Liter, das heisst bei tieferen Werten wachsen keine Algen. Die Limitierung des Biofilmes (im Filter) beträgt  $<4\mu\text{g}$  pro Liter. Im Biobad Biberstein wurde einzig im Badebereich 2 der Wert von  $10\mu\text{g}$  pro Liter überschritten. Ansonsten wurden alle vorgegebenen Werte eingehalten.

#### **5.1.7 Keine P-haltigen Baumaterialien (Kies, Füllwasser...)**

Bereits beim Bau ist darauf zu achten, dass keine grosse Menge an Phosphor eingebracht wird. Dies könnte bei Verwendung von ungeeignetem Kies oder generell phosphorhaltigen Baumaterialien der Fall sein. Es ist darauf zu achten, dass Pflanzen wurzelnackt eingesetzt werden. Da der Bau des Bioschwimmteiches Biberstein bereits einige Jahre zurückliegt und das Gestein nicht eindeutig eruiert werden konnte, ist eine genaue Analyse hier nicht möglich.

Beim Füllwasser liegt der Phosphorgrenzwert bei  $<10\mu\text{g/l}$ . Füllwasser mit Phosphorgehalte von  $4\text{--}10\mu\text{g/l}$  ist unbedenklich und kann jederzeit und permanent eingespeist werden. Beim Frischwasser, das in Biberstein aus den Leitungen kommt, liegt der Phosphorgehalt über dem

Grenzwert. Deshalb wird beim Schwimmteich Biberstein darauf geachtet, Schwankungen des Wasserstandes möglichst nur mit Regenwasser auszugleichen.

### **5.1.8 Den Einträgen (P und C) müssen quantitativ ausreichend Austragswege entgegengesetzt werden**

Die Einträge der Badegäste sedimentieren am Boden, wo der Reinigungsroboter sie aufnehmen kann oder schwimmen an der Oberfläche Richtung Skimmer ab. Die im Füllwasser enthaltenen Stoffe, die durch den Regen oder durch das Auffüllen an heissen Tagen in den Badeteich gelangen, werden zusätzlich durch die Pflanzen im Regenerationsbereich und Klärteich aufgenommen und ausgetragen. Laub und andere tote Pflanzenteile werden dem Klärteich durch die Ernte entnommen. Der Regenerationsbereich im Biobad ist doppelt so gross wie der Badebereich. Der Klärteich wird noch dieses Jahr komplett ausgehoben, damit der Filter wieder seine volle Leistung erbringen kann.

### **5.1.9 Ein ausgewogenes Nährstoffverhältnis (C:N:P) soll gewährleistet sein**

Um dem Biofilm geeignete Lebensbedingungen zu ermöglichen, ist das richtige Verhältnis zwischen Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor wichtig. Die Stoffe sollen ungefähr im Verhältnis 100:10:1 im Wasser vorliegen. Im Weiteren wird damit das Algenwachstum verhindert. Beim Schwimmteich in Biberstein sinkt der N-Gehalt durch die Denitrifikation im Filter (Klärbereich) stark ab, darum muss jede Woche durch Harnstoffzugabe das Verhältnis stabilisiert werden. Die Denitrifikation erfolgt durch den Biofilm.

### **5.1.10 Optimierung der Anströmung**

Die Strömung in einem Schwimmteich bzw. die Stärke der Anströmung von Oberflächenwasser hat einen massgebenden Einfluss auf das Wachstum der Algen und des Biofilms. Um dieses im Badebereich eines Schwimmteichs tief zu halten, ist eine Optimierung der Strömung essentiell. Umgekehrt ist es wichtig, eine gute Durchströmung des Filterkörpers sicherzustellen und somit die Sauerstoffversorgung des Biofilms im Filter zu garantieren. Im Schwimmbad Biberstein ist der Badebereich relativ strömungsfrei. Lokale Anhäufungen von Biofilm oder Algen sind hier keine vorhanden. Im Regenerationsbereich entstehen im grösseren Umfeld der Sprudler Strömungen. Diese könnten beispielsweise mit einer Rückführung direkt ins Freiwasser statt über die Oberfläche optimiert werden. Zudem stellt sich die Frage, ob eine gute Durchströmung des Filterkörpers noch vorhanden ist, da dieser stark verwachsen ist und über keine Rückspülmöglichkeit verfügt.

## **6 Schlussfolgerung**

Die Beurteilung anhand der 10 Gebote ergab, dass das Biobad Biberstein entsprechend den Kriterien konstruiert ist, es aber doch einige Verbesserungsansätze gibt (z.B. Regenwasser-Auffangbecken, Rückspülmöglichkeit des Filters).

Insgesamt ergab die Untersuchung, dass ein Bad im Biobad Biberstein für gesunde Menschen unbedenklich ist, die maximale Besucherzahl von 300 Personen pro Tag aber nicht überschritten werden sollte.

## 7 Literarturliste:

Aargauer Zeitung. (27.06.2010): Biobadi ist Opfer ihres eigenen Erfolgs.

ASC, Allgemeiner Schwimmteich Club Schweiz (2012): interne Kursunterlagen, Projektwoche ZHAW.

BAG, Bundesamt für Gesundheit, (2004): Empfehlung für die hygienische Beurteilung öffentlicher, künstlich angelegter Badeteiche, in *Bulletin des Bundesamtes für Gesundheit Nr. 19 vom 3.5.2004*.

Buwal (1991): Empfehlung für die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern.

Gantenbein-Demarchi (2012): Projektwoche Umweltanalytik Gruppe 2: Biobad Biberstein Mikrobiologie: Hygiene in Schwimmteichen

Gewässerschutzverordnung (1998): Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV), SR-Nummer 814.201.

Gufler, C. (2012) :Teil Makrozoobenthos: Probenahme und Auswertung. Projektwoche Umweltanalytik. ZHAW.

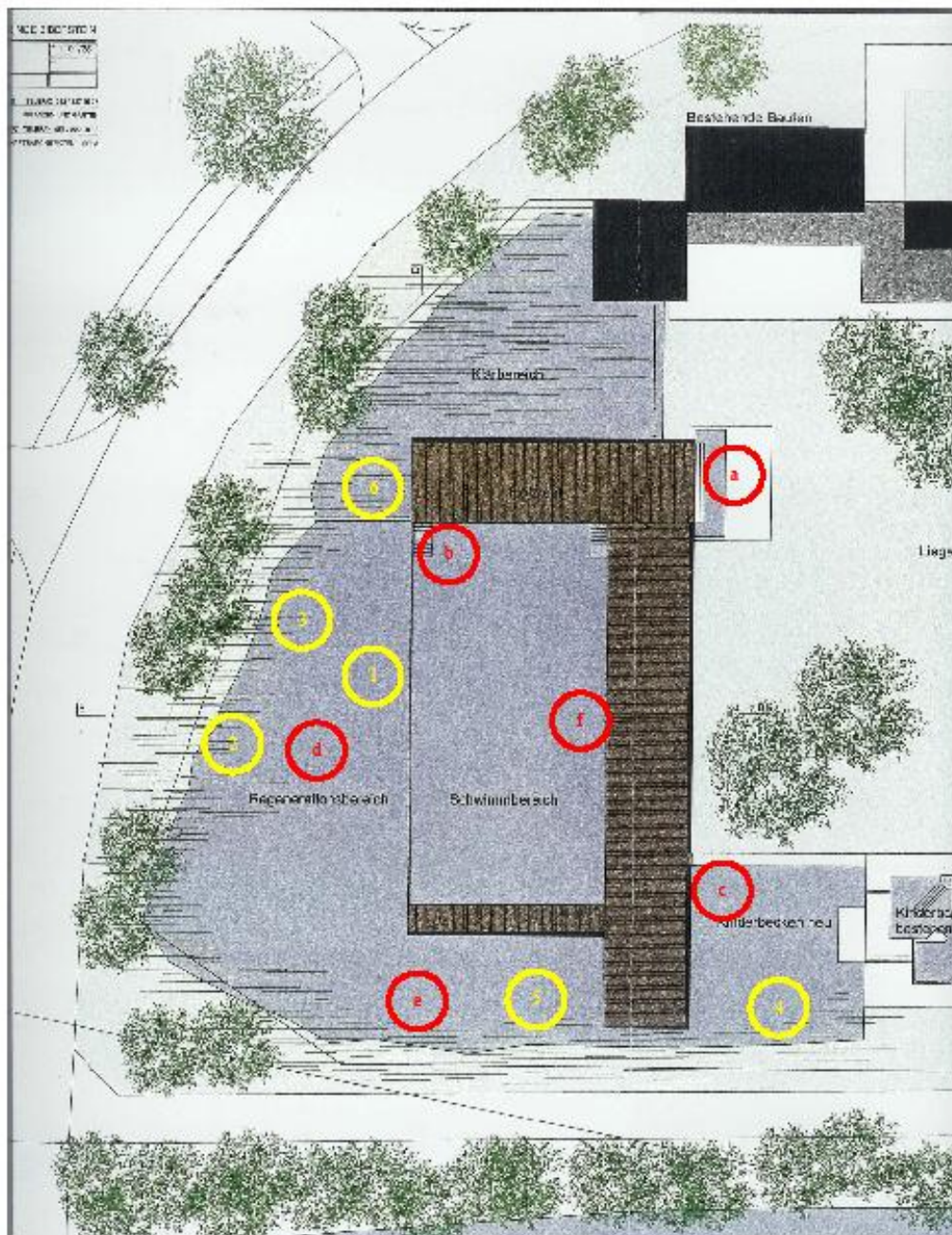
Huber, A. (2012): Führung Biberstein, mündliche Auskunft.

Wikipedia (2012): <http://de.wikipedia.org/wiki/Urin>, besucht am 12.7.2012.

ZHAW. (2010): Methoden zur Bewertung von kleinen Stillgewässern: IBEM/ CIEPT. CAS\_MZB\_Modul 1 - Bioindikation - Stillgewässer.

## Anhang 1 Situationsplan

Abbildung 2: Situationsplan Biobad Biberstein



Probenahme Chemie und Physik	Probenahme Biologie
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Frischwasser Dusche</li> <li>b. Badebereich 2</li> <li>c. Planschbecken</li> <li>d. Regenerationszone</li> <li>e. Sprudel</li> <li>f. Badebereich 1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. unbewachsen</li> <li>2. Zwischen Schilf</li> <li>3. Bei Seerosen</li> <li>4. Planschbecken, Schatten, unbewachsen</li> <li>5. Bei Sprudler unter Wasserpflanzen</li> <li>6. In Klärbecken</li> </ul>

## Anhang 2 Shannon- und Evenness- Index

### 1. Unbewachsen

Ordnung	Familie	Abundanz	Arten (n)	Pi	ln[Pi]	Pi*ln[Pi]	Shannon	Evenness
Diptera	Chironomidae	12		0.52	-0.65	-0.34		
Trichoptera	Hydroptilidae	2		0.09	-2.44	-0.21		
Crustacea	Asellidae	1		0.04	-3.14	-0.14		
Oligochaeta		2		0.09	-2.44	-0.21		
Ephemeroptera	Baetidae	2		0.09	-2.44	-0.21		
Odonata	Coenagrionidae	1		0.04	-3.14	-0.14		
	Corduliidae	1		0.04	-3.14	-0.14		
Heteroptera	Corixidae	2		0.09	-2.44	-0.21		
		<u>23</u>	<u>8</u>			-1.60	1.60	0.77

### 2. Zwischen Schilf

Ordnung	Familie	Abundanz	Arten (n)	Pi	ln[Pi]	Pi*ln[Pi]	Shannon	Evenness
Crustacea	Asellidae	1		0.01	-4.30	-0.06		
Diptera	Chironomidae	5		0.07	-2.69	-0.18		
	Ceratopogonidae	1		0.01	-4.30	-0.06		
Pulmonata	Lymnaeidae	53		0.72	-0.33	-0.24		
Odonata	Coenagrionidae	6		0.08	-2.51	-0.20		
Hemiptera	Notonectidae	3		0.04	-3.21	-0.13		
Tricladida	Dendrocoelidae	5		0.07	-2.69	-0.18		
		<u>74</u>	<u>7</u>			-1.05	1.05	0.54

3. Bei Seerosen

Ordnung	Familie	Abundanz	Arten (n)	Pi	ln[Pi]	Pi*ln[Pi]	Shannon	Evenness
Crustacea	Asellidae	1		0.10	-2.30	-0.23		
Ephemeroptera	Polymitarcyidae	1		0.10	-2.30	-0.23		
Diptera	Chironomidae	1		0.10	-2.30	-0.23		
Oligochaeta	Alle Familien	1		0.10	-2.30	-0.23		
Odonata	Calopterygidae	4		0.40	-0.92	-0.37		
Neritopsida	Neritidae	2		0.20	-1.61	-0.32		
		<u>10</u>	<u>6</u>			-1.61	1.61	0.90

4. Planschbecken, Schatten, unbewachsen

Ordnung	Familie	Abundanz	Arten (n)	Pi	ln[Pi]	Pi*ln[Pi]	Shannon	Evenness
Crustacea	Asellidae	3		0.09	-2.43	-0.21		
Ephemeroptera	Baetidae	1		0.03	-3.53	-0.10		
	Caenidae	18		0.53	-0.64	-0.34		
Diptera	Chironomidae	2		0.06	-2.83	-0.17		
Oligochaeta	Alle Familien	1		0.03	-3.53	-0.10		
Odonata	Coenagrionidae	8		0.24	-1.45	-0.34		
Turbellaria	Planariidae	1		0.03	-3.53	-0.10		
		<u>34</u>	<u>7</u>			-1.37	1.37	0.70

5. Bei Sprudler unter Wasserpflanzen

Ordnung	Familie	Abundanz	Arten (n)	Pi	ln[P <sub>i</sub> ]	P <sub>i</sub> *ln[P <sub>i</sub> ]	Shannon	Evenness
Diptera	Chironomidae	5		0.23	-1.48	-0.34		
	Ceratopogonidae	1		0.05	-3.09	-0.14		
Ephemeroptera	Baetidae	1		0.05	-3.09	-0.14		
Odonata	Coenagrionidae	12		0.55	-0.61	-0.33		
	Gomphidae	2		0.09	-2.40	-0.22		
Hemiptera	Notonectidae	1		0.05	-3.09	-0.14		
		<u>22</u>	<u>6</u>			-1.31	1.31	0.73

6. In Klärbecken

Ordnung	Familie	Abundanz	Arten (n)	Pi	ln[P <sub>i</sub> ]	P <sub>i</sub> *ln[P <sub>i</sub> ]	Shannon	Evenness
Crustacea	Asellidae	4		0.33	-1.10	-0.37		
Diptera	Chironomidae	6		0.50	-0.69	-0.35		
	Chaoboridae	1		0.08	-2.48	-0.21		
Oligochaeta	Alle Familien	1		0.08	-2.48	-0.21		
		<u>12</u>	<u>4</u>			-1.13	1.13	0.81



Gesamtes System

Ordnung	Familie	1	2	3	4	5	6	Total	n	Pi	ln[Pi]	Pi*ln[Pi]
Crustacea	Asellidae	1	1	1	3		4	10		0.06	-2.86	-0.16
Diptera	Chironomidae	12	5	1	2	5	6	31		0.18	-1.73	-0.31
	Chaoboridae						1	1		0.01	-5.16	-0.03
	Ceratopogonidae		1			1		2		0.01	-4.47	-0.05
Pulmonata	Lymnaeidae		53					53		0.30	-1.19	-0.36
Oligochaeta	Alle Familien	2		1	1		1	5		0.03	-3.56	-0.10
Odonata	Coenagrionidae	1	6		8	12		27		0.15	-1.87	-0.29
	Calopterygidae			4				4		0.02	-3.78	-0.09
	Corduliidae	1						1		0.01	-5.16	-0.03
	Gomphidae					2		2		0.01	-4.47	-0.05
Turbellaria	Planariidae				1			1		0.01	-5.16	-0.03
Neritopsida	Neritidae			2				2		0.01	-4.47	-0.05
Heteroptera	Corixidae	2						2		0.01	-4.47	-0.05
Hemiptera	Notonectidae		3			1		4		0.02	-3.78	-0.09
Tricladida	Dendrocoelidae		5					5		0.03	-3.56	-0.10
Ephemeroptera	Baetidae	2			1	1		4		0.02	-3.78	-0.09
	Caenidae				18			18		0.10	-2.27	-0.23
	Polymitarcyidae			1				1		0.01	-5.16	-0.03
Trichoptera	Hydroptilidae	2						2		0.01	-4.47	-0.05
								175	19			-2.19

Shannon 2.19

Evenness 0.74

### Anhang 3 Berechnung CIEPT

#### *Sjk Makroinvertebraten*

Ordnung	Familie	1	2	3	4	5	6
Crustacea	Asellidae	1	1	1	3		4
Diptera	Chironomidae	12	5	1	2	5	6
	Chaoboridae						1
	Ceratopogonidae		1			1	
Pulmonata	Lymnaeidae		53				
Oligochaeta	Alle Familien	2		1	1		1
Odonata	Coenagrionidae	1	6		8	12	
	Calopterygidae			4			
	Corduliidae	1					
	Gomphidae					2	
Turbellaria	Planariidae				1		
Neritopsida	Neritidae			2			
Heteroptera	Corixidae	2					
Hemiptera	Notonectidae		3			1	
Tricladida	Dendrocoelidae		5				

Sobs: 15

n: 6

k: 9

Sjk: 22.5

*Sjk EPT*

Ordnung	Familie	1	2	3	4	5	6
Ephemeroptera	Baetidae	2			1	1	
	Caenidae				18		
	Polymitarcyidae			1			
Trichoptera	Hydroptilidae	2					

Sobs: 4

n: 6

k: 3

Sjk: 6.5
----------