

UMWELT

Erfolgskontrolle am Aabach im Bereich der
ARA Hallwilersee
Zustand vor Ausbau der ARA 2014

Dezember 2014

Herausgeber

Departement Bau, Verkehr und Umwelt
Abteilung für Umwelt
5001 Aarau
www.ag.ch

Autor:

Markus Haberthür, Ambio GmbH Zürich

Mitarbeit

Guido Erni (Kieslalgenbestimmung)

Copyright

© 2014 Kanton Aargau

Inhalt

Zusammenfassung	4
1 Anlass der biologischen Erfolgskontrollen	5
2 Beurteilung nach Modul-Stufen-Konzept	6
2.1 Ausgewählte Kriterien für die Erfolgskontrollen	6
3 Vorgehen und Probenahmeorte	8
3.1 Untersuchungsablauf	8
3.2 Probenahmestellen	8
4 Ergebnisse	10
4.1 Abflussverhältnisse	10
4.2 Äusserer Aspekt	10
4.3 Gewässerqualität durch Kieselalgenindikation	11
4.4 Beurteilung des heutigen Zustandes.	14
5 Literatur	15
6 Anhänge	16
6.1 Anhang A1: Probenahmestellen und ARA	16
6.2 Anhang A2: Daten der Kieselalgen	17
6.3 Anhang A3: Daten des Äusseren Aspektes	18
6.4 Anhang A4: Methoden	19

Zusammenfassung

Zur Erfolgskontrolle der Ausbau- und Sanierungsmassnahmen an der ARA Hallwilersee wurde der Zustand des Aabachs in den Jahren 1996 und 2000 untersucht. Nach Realisierung der Massnahmen 1998 und 2008 erfolgte 2014 vor einem erneuten Ausbau eine weitere Untersuchung, deren Ergebnisse nun im vorliegenden Bericht mit den früheren Ergebnissen verglichen werden. Der sichtbare Bewuchs mit Einzelnern ist im Untersuchungsabschnitt heute fast gänzlich verschwunden. In der Aabachsohle treten keine Sauerstoffdefizite mehr auf und auch die übrigen äusseren Belastungsanzeichen sind verschwunden. Gemäss den Kieselalgen sind bezüglich der stofflichen Gesamtbelastung ober- und unterhalb der ARA die ökologischen Ziele erreicht. Auch hinsichtlich der organischen Belastung werden die gesetzlichen Anforderungen heute weitgehend erfüllt. Insgesamt sind nun in der untersuchten Gewässerstrecke die Anforderungen und Ziele der Gewässerschutzverordnung weitgehend eingehalten. Die Sanierung der Abwasserreinigungsanlage Hallwilersee hat zu einer deutlichen Verbesserung des Gewässerzustandes beigetragen.

Anlass zur biologischen Erfolgskontrolle

Im Rahmen der ARA-Ausbauphase der 90er Jahre sieht das Gewässerschutzkonzept der Abteilung für Umwelt als Begleitmassnahme vor, die Kläranlagen einer Erfolgskontrolle zu unterziehen. Die erste Prüfung der ARA Hallwilersee erfolgte 1996 und zeigte den dringenden Sanierungsbedarf auf. Die ARA wurde 1998 und 2008 ausgebaut und saniert. Der Erfolg dieser Massnahmen wurde 2000 und 2008 überprüft. In den kommenden Jahren stehen weitere Ausbauschritte bevor. Die erneute Prüfung im Jahr 2014 erlaubt es, zukünftig den Erfolg dieser Massnahmen im Einflussbereich der ARA zu beurteilen.

Untersuchte Qualitätskriterien

Für die Erfolgskontrollen wurde der Aabach an einer Stelle oberhalb und drei Stellen unterhalb der Abwasserreinigungsanlage der ARA Hallwilersee untersucht. Die Beurteilung der Wasserqualität erfolgte anhand ausgewählter Anforderungen an die Wasserqualität und ökologischer Ziele der Gewässerschutzverordnung (GSchV). Zur Anwendung kamen die Methoden der Module Äusserer Aspekt und Kieselalgen des Modulstufen-Konzeptes. Die Untersuchungen erfolgten auf der Stufe F oder A.

Gewässerzustand nach dem Ausbau und der Sanierung

Die Anforderungen an die äusseren Merkmale sind im Aabach heute fast vollständig eingehalten. Der bis 2000 an allen Stellen häufige Einzellerbewuchs tritt heute nur noch in geringer Häufigkeit an der untersten Stelle bei Seon auf. Hingegen ist er im Vergleich zu 2008 auch unmittelbar unterhalb der ARA-Hallwilersee verschwunden. Die entsprechenden Anforderungen (GSchV, Anhang 2, Ziffer 11, Absatz 1a-c, Ziffer 12, Absatz 1a, 2b) sind praktisch überall erfüllt. Durch die gute Beschattung in diesem Gewässerabschnitt erfüllt der pflanzliche Bewuchs der Gewässersohle die entsprechende Anforderung (GSchV, Anhang 2, Ziffer 11, Absatz 1a).

Gemäss der Kieselalgenuntersuchung erfüllt der Aabach heute die gesetzten ökologischen Ziele bezüglich der organischen Belastung (GSchV, Anhang 1, Ziffer 1, Absatz 3c) und hinsichtlich der stofflichen Gesamtbelastung (GSchV, Anhang 1, Ziffer 1, Absatz 1c). Dies war im Jahr 2000 nicht überall der Fall. Der Aabach ist mässig bis stark mit Phosphor und Stickstoff gedüngt, welche aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet eingeschwemmt werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die bisherigen Massnahmen an der ARA Hallwilersee den Zustand des Aabachs wesentlich verbesserte und die heutigen Anforderungen des qualitativen Gewässerschutzes weitgehend erfüllt sind.

1 Anlass der biologischen Erfolgskontrollen

Die kantonalen Gewässerschutzfachstellen sind gemäss Gewässerschutzgesetz (GSchG) Art. 50 verpflichtet, die Massnahmen zum Gewässerschutz zu prüfen und die Öffentlichkeit über den Zustand der Gewässer in Bezug auf die gesetzlich festgelegten Anforderungen zu informieren.

Die ökologischen Ziele und Anforderungen an die Wasserqualität für Fließgewässer sind in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 formuliert. Neben den Grenz- und Richtwerten für chemische und physikalische Parameter umschreibt die Verordnung auch Anforderungen für den äusseren Aspekt (Farbe, Geruch, Trübung etc.) sowie den heterotrophen und pflanzlichen Bewuchs der Gewässer- sohle (Anhang 2). Die ökologischen Ziele streben bezüglich der organischen Belastungen (Saprobie) und des anorganischen Nährstoffeintrags (Trophie) einen biologischen Zustand an, der für nicht oder nur schwach belastete Gewässer typisch ist (Anhang 1). In methodischer Hinsicht ergänzen sich die chemischen und biologischen Qualitätskriterien gegenseitig. Während chemische Untersuchungen in der Regel Momentaufnahmen der stoffspezifischen Wasserqualität darstellen, widerspiegeln die biologischen Erhebungen die Wirkung der Belastungsfaktoren auf die Lebensprozesse im Gewässer innerhalb eines bestimmten Zeitfensters. So können z.B. aus der Organismenzusammensetzung Rückschlüsse auf die vorangegangenen Belastungsvorgänge im Gewässer gezogen werden. Diese können nicht nur stoffliche Aspekte, sondern auch hydrologische und gewässermorphologische Stressfaktoren umfassen.

Biologische Methoden eignen sich besonders für Erstaufnahmen der Wasserqualität und um Qualitätsänderungen im Laufe eines Sanierungsvorhabens festzustellen.

Gestützt auf dem Grobkonzept für den Gewässerschutz der 90er Jahre [12] und den Folgerungen eines Berichtes der Abteilung für Umwelt vom Juni 1993 zum Zustand der aargauischen Fließgewässer [13] wurden die Ziele für die biologische Überwachung der Gewässergüte im Kanton Aargau definiert. Diese sind:

1. Erweiterung der Beurteilung der Wasserqualität auf die biologischen Qualitätsziele (Langzeitkontrolle).
2. Erfolgskontrolle der weitergehenden Abwasserreinigung (ARA-Ausbauphase der 90er Jahre) bezüglich der biologischen Gewässergüte.

3. Flächendeckender Überblick über die biologische Wasserqualität (Optimierung des Mitteleinsatzes zur Feststellung von Abwasserverunreinigungen).
4. Nachweis von akuten Gewässerverschmutzungen (Schadenfälle).

Der vorliegende Bericht betrifft Punkt 2 des Untersuchungsprogrammes.

Die ARA Hallwilersee wurde 1964 erstellt und im Rahmen des Sanierungsprogrammes nach verschärften Anforderungen an die Einleitung ins Gewässer in verschiedenen Phasen erweitert. Heute reinigt sie die Abwässer von 15'804 Einwohnern aus den Gemeinden Beinwil am See, Boniswil, Birrwil, Dürrenäsch Ost, Fahrwangen, Hallwil, Leutwil, Meisterschwanden und Seengen. Die hydraulische Kapazität liegt bei 12500 und die biologische bei 18000 Einwohnergleichwerten. 1993 wurde sie mit einer Phosphorelimination und 1998 mit einer Nitrifikation/Denitrifikation erweitert. 2008 wurde zusätzlich eine Biofiltration (BIOPUR) eingebaut.

2 Beurteilung nach Modul-Stufen-Konzept

Das Gewässerschutzgesetz (GSchG) verlangt nicht nur die Erhaltung einer guten Wasserqualität und der vielfältigen Funktionen der Gewässer als Lebensraum für Pflanzen und Tiere, sondern auch eine nachhaltige Nutzung durch den Menschen. Für die Überwachung von Fließgewässern ergeben sich daraus unterschiedlichste Anforderungen und Qualitätskriterien, welche in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) und im „Modul-Stufen-Konzept zur Untersuchung der Fließgewässer“ [11] beschrieben sind.

Bereiche	Module	Stufen		
	Äusserer Aspekt	-	-	-
Hydrologie und Morphologie	Abflussverhalten	F	S	A
	Gewässerform	F	S	A
Biologie	Kieselalgen	F	-	A
	Wasser- und Sumpfpflanzen	F	S	A
	Ufervegetation	F	S	A
	Wirbellose	F	S	A
Stoffe	Fische	F	S	A
	Chemie	F	S	A
	Umweltschädlichkeit	F	S	A

Figur 1: Bei den ARA-Erfolgskontrollen zur Anwendung gelangte Bewertungsmodule des Modul-Stufen-Konzeptes.

Das Modul-Stufen-Konzept wird der Notwendigkeit gerecht, dass die Bewertung von Fließgewässern entsprechend der Problemstellung mit unterschiedlichen und differenzierten Ansätzen erfolgen muss. Es unterscheidet zwischen den drei Fließgewässerbereichen „Abflussverhalten und Gewässerformen“, „Gewässerorganismen“, und „Wasserinhaltsstoffe“. Dazu bietet es gegenwärtig 10 Bewertungsmodule, mit denen sich die Gewässer flächendeckend (Stufe F), systembezogen (Stufe S) und abschnittsweise (Stufe A) bewerten lassen (Figur 1). Dabei ist festzuhalten, dass die Bewertung je nach Modul und Stufe eine unterschiedliche zeitliche Gültigkeit hat.

2.1 Ausgewählte Kriterien für die Erfolgskontrollen

Zur Erfolgskontrolle des ARA-Ausbauprogrammes erwies sich eine Bewertung nach den Modulen **Kie-**

selalgen, Stufen A und F und **Äusserer Aspekt** am zweckmässigsten und kostengünstigsten

Modul Äusserer Aspekt

Der äussere Aspekt eines Gewässers wurde gemäss dem entsprechenden Modul [1] nach 7 Kriterien geprüft und bewertet. Die Kriterien „Kolmation“ und „Feststoffe“ sind nicht bewertet.

Kriterium	Bewertung		
heterotropher Bewuchs	kein	<25%	≥25%
Eisensulfid	kein	<25%	≥25%
Schlamm	kein	wenig/mittel	viel
Schaum	kein	wenig/mittel	viel
Trübung	keine	leicht/mittel	stark
Verfärbung	keine	leicht/mittel	stark
Geruch	kein	leicht/mittel	stark
Kolmation	keine	leicht/mittel	stark
Feststoffe	keine	vereinzelt	viele
starke Beeinträchtigung, GSchV nicht erfüllt. Massnahmen gemäss GSchV, Art. 47			
schwache bis mässige Beeinträchtigung, GSchV nicht erfüllt. Massnahmen nach Art. 47			
keine Beeinträchtigung, GSchV erfüllt. Keine Massnahmen			

Figur 2: Bewertungskriterien und Bewertungsskala des Moduls „Äusserer Aspekt“.

Modul Kieselalgen, Stufe F

Im Modul „Kieselalgen“ [2] wird die aus den Proben ermittelte Indexzahl nach einer fünfstufigen Skala bewertet. Der schweizerische Diatomeenindex (DI-CH) erlaubt die Beurteilung der Wasserqualität auf Stufe F (generelle Indikatoren der chemischen Belastung).

Bei den Stufen „sehr gut“ und „gut“ sind die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung (GSchV) erfüllt, bei den Stufen „mässig“, „unbefriedigend“ und „schlecht“ hingegen nicht.

DI-CH	Bewertung	
1.00-3.49	sehr gut	GSchV erfüllt
3.50-4.49	gut	
4.50-5.49	mässig	GSchV nicht erfüllt
5.50-6.49	unbefriedigend	
6.50-8.00	schlecht	

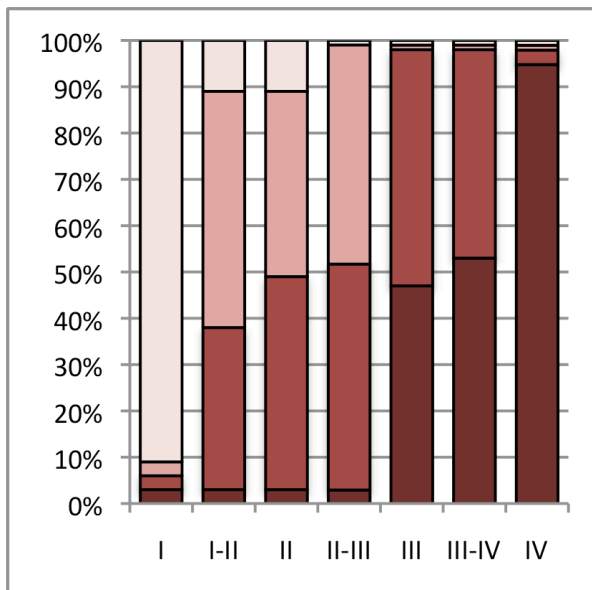
Figur 3: Bewertungskriterien und Bewertungsskala des Moduls „Kieselalgen“ auf der Stufe F.

Modul Kieselalgen, Stufe A

Die Zusammensetzung der Kieselalgen wurde zudem nach weiteren Zeigereigenschaften untersucht, die eine differenziertere Beurteilung hinsichtlich der Saprobie und der Trophie ermöglicht. Die Methode von Lange-Bertalot [4], Hofmann [7] und Reichardt [8] nutzt vor allem die saprobiologischen Eigenschaften der Kieselalgen, d.h. die Wirkung der organischen Belastung auf die Kieselalgenzusammensetzung. Sie bewertet die organische Belastung nach folgenden 7 Stufen:

Gewässergütestufe		
I	oligosaprob	GSchV erfüllt
I - II	oligo – β -mesosaprob	
II	β -mesosaprob	
II - III	β -mesosaprob – α -mesosaprob	GSchV nicht erfüllt
III	α -mesosaprob	
III - IV	α -mesosaprob – polysaprob	
IV	polysaprob	

Figur 4: Bewertungsskala der Saprobie nach Lange-Bertalot, Hofmann und Reichardt.



Figur 5: Verteilung der vier Differenzialartengruppen bei den 7 Gütestufen

Die Methode von Schiefele und Kohmann [6] erlaubt es, anhand der Kieselalgenzusammensetzung die Nährstoffumsatz (Trophie) in einem Fließgewässer anhand eines Trophieindex abzuschätzen. Dabei wird nach 7 Trophiestufen unterschieden.

Trophiestufen	Indexbereiche
unbelastet (oligotroph)	1.0 – 1.4
schwach belastet (oligotroph–mesotroph)	1.5 – 1.8
deutlich belastet (mesotroph)	1.9 – 2.2
kritisch belastet (mesotroph – eutroph)	2.3 – 2.7
auffallend belastet (eutroph)	2.8 – 3.1
stark belastet (eutroph – hypertroph)	3.2 – 3.5
sehr stark belastet (hypertroph)	3.6 – 4.0

Figur 6: Bewertungsskala der Trophie nach Schiefele und Kohmann.

3 Vorgehen und Probenahmeorte

3.1 Untersuchungsablauf

Die Untersuchung erfolgte durch die Abteilung für Umwelt und die Firma Ambio GmbH. Die Proben wurden an den gleichen Stellen wie 1996, 2000 und 2008 erhoben. Probenahme und Felderhebung fanden am 6. Mai 2014 statt.

Bei den Feldarbeiten wurden die Merkmale des äusseren Aspektes erhoben und Kieselalgenproben genommen.

Die Kieselalgenproben wurden im Feld fixiert, im Labor der Abteilung für Umwelt aufbereitet und unter dem Lichtmikroskop hinsichtlich der Zusammensetzung und Häufigkeit der Kieselalgenarten bestimmt.

3.2 Probenahmestellen

Die Lage der Probenahmestellen ist in der Karte im Anhang A1 ersichtlich. Die vier Probenahmestellen sind fotografisch dokumentiert (siehe unten).



Stelle Hall.1, 0.05 km oberhalb der Einleitung der ARA Hallwilersee mit Blickrichtung bachaufwärts (Koord. 656.653/242.095).

Die erste Probenahmestelle befindet sich ca. 50 m oberhalb des ARA-Ausflusses und der Hochwasserentlastung des Vorklärbeckens. Das rechte Ufer

grenzt unmittelbar ans Areal der Kläranlage und ist mit einem Hochstaudensaum bewachsen. Auf der linken Seite wurde das Ufer neu gestaltet und an der Wasserlinie mit Blöcken gesichert. Durch die baulichen Eingriffe ist das Ufergehölz auf dieser Seite zurückgesetzt und die Beschattung der Sohle nicht mehr so stark wie früher. Die Sohle besteht hier aus natürlichem Kies. Aufgrund der starken Strömung dominieren die grösseren Korngrössen.

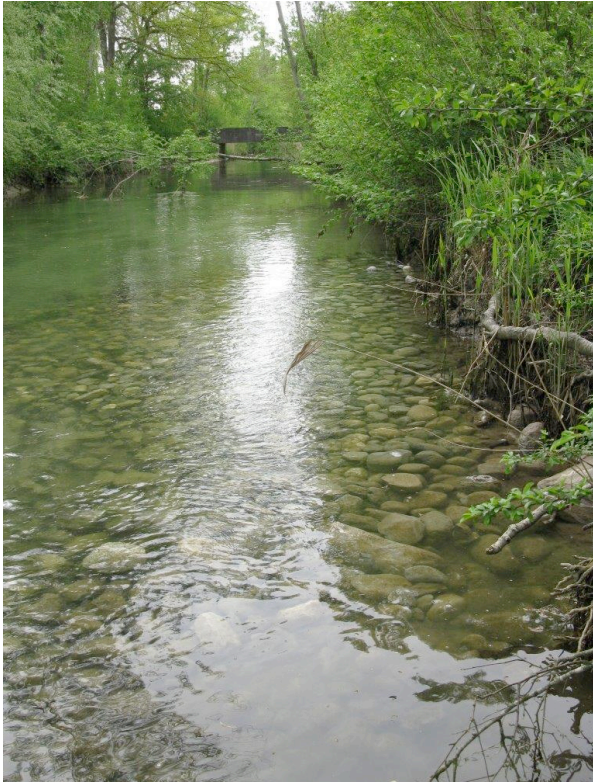


Stelle Hall.2, 0.65 km unterhalb der Einleitung der ARA Hallwilersee mit Blickrichtung bachabwärts (Koord. 656.163/242.639).

Die zweite Probenahmestelle liegt bei Punkt 444, 650 m unterhalb des ARA-Ausflusses. Der Aabach wird hier auf beiden Seiten von einem Gehölz gesäumt, welches die Sohle stellenweise beschattet. Die Ufer sind im Bereich der Wasserlinie durch Gitterelemente aus Beton gesichert. Eine starke Strömung verhindert die Bildung längerer Algenzotten.

Die dritte Probenahmestelle ist rund 1.55 km unterhalb der Einleitungsstelle, bei der Brücke, über welche die Flurstrasse nach Burschmatt (Egliswil) führt. Die Uferbereiche sind beidseitig mit einem dichten Gehölz bestockt, welches den grössten Teil der Sohlenfläche beschattet. Durch das geringere Gefälle ist die Strömung deutlich schwächer. Im Bereich der Sohle hat

sich deshalb viel siltig-sandiges Feinmaterial und punktuell auch Schlamm abgelagert.



Stelle Hall.3, 1.55 km unterhalb der Einleitung der ARA Hallwilersee mit Blickrichtung bachaufwärts (Koord. 655.664 / 243.413).



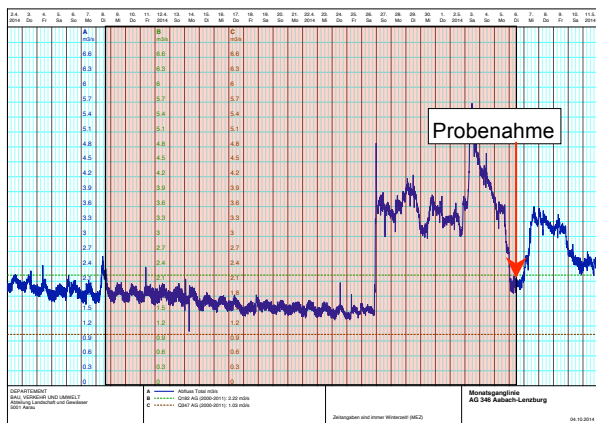
Stelle Hall.4, 2.70 km unterhalb der Einleitung der ARA Hallwilersee mit Blickrichtung bachaufwärts (Koord. 654.671 / 244.077).

Die vierte Probenahmestelle liegt bei der Mühle Seon oberhalb einer Brücke, 2.7 km Fliessstrecke von der ARA-Einleitung entfernt. Das linksseitige Ufer bildet eine Steinmauer, auf der rechten Seite steht ein schmales Bachgehölz. Das Bachbett besteht aus natürlichem Kies. Durch das unmittelbar angrenzende Gebäude und das Gehölz ist die Sohle hier gut beschattet

4 Ergebnisse

4.1 Abflussverhältnisse

Der Abfluss des Aabachs lag im Vorfeld der Probenahme (6.5.14) mit maximal 5.7 m³ nie in einer extremen Hochwassersituation (Q₂₀). Durch die beiden vorgelagerten und regulierten Seen (Hallwilersee, Baldeggersee) werden potentielle Hochwasserspitzen gebrochen. Nach einer rund sechs Wochen dauernden Trockenphase traten am 26. April intensive Niederschläge auf mit Prognosen auf weitere Regenfälle. Zur Regulierung des Hallwilersees wurde das Wehr beim Schloss Hallwil entsprechend geöffnet. Damit die Probenahme im Aabach überhaupt durchgeführt werden konnte wurde der Seeabfluss (Regulierung bei Schloss Hallwil) am 6. Mai auf rund 2 m³/s reduziert. Das gereinigte Abwasser der ARA Hallwilersee war im Beurteilungsfenster für den Indikator Kieselalgen somit unterschiedlich verdünnt. Im Durchschnitt ergibt sich jedoch eine typische Belastung des Aabachs.



31-Tage Abflussganglinie des Aabachs bei Lenzburg zwischen 2. April und 6. Mai. 2014 (Quelle: ALG, hydrologische Daten der Messstelle 347a) und Aussagefenster der Kieselalgenproben.

4.2 Äusserer Aspekt

Schlamm, Trübung, Verfärbung, Schaum, Geruch und Eisensulfid

Mit dem Ausbau der ARA Hallwilersee wurde der äussere Aspekt des Aabachs verbessert. Im Abschnitt unmittelbar unterhalb der ARA Einleitung sind die vor der Sanierung 1996 festgestellten Trübungen und Schaumbildung sowohl 2000 als auch 2008 verschwunden. Eisensulfid wurde an keinem der untersuchten Steine mehr gefunden. Geblieben ist 2008 einzig ein leichter Abwassergeruch. 2014 sind alle Kriterien erfüllt.

Auch in den weiter von der Einleitung entfernten Streckenabschnitten sind 2014 die äusseren Belastungskriterien alle erfüllt.

An der Stelle Hall.3, 1.55 km unterhalb der Einleitung wies der Aabach 2008 in ufernahen Bereichen, bedingt auch durch die geringe Strömung, noch Schlammdepots auf. Dadurch war die Sauerstoffversorgung der Sohle an diesen Stellen eingeschränkt, was sich in einer deutlich erhöhten Häufigkeit (40%) von Eisensulfidflecken manifestierte. Dies stellte im Vergleich zur Untersuchung im Jahr 2000 eine Verschlechterung dar. Die Schlammdepots sind bei der Untersuchung 2014 abgeschwemmt. Zu erwähnen ist, dass 2008 im Verlauf der Probenahme ein kurzzeitiger Trübungsschoss auftrat, der vermutlich von der ARA Hallwilersee ausging und an allen drei Probenahmestellen unterhalb der ARA durchfloss. Auch an der untersten Stelle eingangs Seon sind im Aabach seit 2000 alle Kriterien erfüllt.

Stelle	Jahr	Beurteilungskriterien					
		Schlamm-bildung	Trübung	Verfärbung	Schaum	Geruch	Eisen-sulfid
Hall.1	1996	keine	keine	keine	mittel	kein	0%
	2000	keine	keine	keine	wenig	kein	0%
	2008	keine	keine	keine	kein	kein	0%
	2014	keine	keine	keine	kein	kein	0%
ARA-Einlauf							
Hall.2	1996	keine	gering	keine	wenig	gering	1%
	2000	keine	keine	keine	kein	kein	0%
	2008	keine	keine	keine	kein	gering	0%
	2014	keine	keine	keine	kein	kein	0%
Hall.3	1996	schwach	gering	keine	kein	kein	10%
	2000	keine	keine	keine	kein	kein	3%
	2008	mittel	keine	keine	wenig	kein	40%
	2014	keine	keine	keine	kein	kein	0%
Hall.4	1996	keine	keine	keine	wenig	kein	1%
	2000	keine	keine	keine	kein	kein	0%
	2008	keine	keine	keine	kein	kein	0%
	2014	keine	keine	keine	kein	kein	0%

Beurteilung der Merkmale des äusseren Aspektes im Aabach an den 4 Probenahmestellen oberhalb und unterhalb der ARA Hallwilersee in den Jahren 1996, 2000, 2008 und 2014 (Erläuterungen siehe im Text).

Heterotropher Bewuchs

Der früher starke Bewuchs durch sichtbare Kolonien von heterotrophen Organismen (Ciliaten und Sphaerotilus) ist 2014 an den Stellen Hall.1- Hall.3 vollständig verschwunden. Sichtbare Kolonien kommen nur noch an der Stelle Hall.4 in Seon vor. Dies auch nur an wenigen Prozent der untersuchten Steine.

Seit 2008 hat die Partikelfracht aus dem Hallwilersee so stark abgenommen, dass im Aabach vor der ARA von Auge keine Ciliaten mehr sichtbar sind. Solche traten 2008 unmittelbar unterhalb der ARA mit dem Zufluss des behandelten ARA-Abwassers noch auf, an der Stelle weiter unten, infolge des Selbstreinigungseffektes, jedoch nicht mehr. 2014 waren auch an der Stelle Hall.2 keine sichtbaren Ciliatenkolonien vorhanden.

Stelle	Jahr	Beurteilungskriterien				
		het. Bewuchs	Algen-dichte	Algendeck-ung gesamt	Algendeck-ung KG1-3	Planzen, Moose
Hall.1	1996	43%	2	15%	20%	1
	2000	50%	1	5%	10%	1
	2008	0%	1	5%	5%	0
	2014	0%	2-3	10-50%	-	1
ARA-Einlauf						
Hall.2	1996	70%	2	10%	10%	1
	2000	27%	3	20%	40%	2
	2008	7%	3	10%	20%	3
	2014	0%	2-3	10-50%	-	1
Hall.3	1996	53%	3	25%	30%	1
	2000	13%	3	5%	30%	1
	2008	0%	2	5%	5%	2
	2014	0%	1	< 10%	-	1
Hall.4	1996	43%	3	20%	20%	2
	2000	37%	3	5%	10%	2
	2008	0%	2	5%	20%	2
	2014	1%-10%	2-3	10-50%	-	1

Heterotropher und pflanzlicher Bewuchs wurden im Aabach an den vier Probenahmestellen oberhalb und unterhalb der ARA Hallwilersee in den Jahren 1996, 2000, 2008 und 2014 beobachtet (Erläuterungen siehe im Text).

Bei den früheren Untersuchungen in den Jahren 1996 und 2000 wiesen alle Stellen unterhalb der ARA sichtbaren, heterotrophen Bewuchs auf. Allerdings war schon zwischen 1996 und 2000 ein deutlicher Rückgang in der Häufigkeit zu verzeichnen.

Die Verbesserung bezüglich des heterotrophen Bewuchses ist sowohl auf die mit der ARA-Sanierung erreichte Reduktion der abbaubaren, organischen Stoffe im Aabach als auch auf den Rückgang der Partikelfracht aus dem Hallwilersee zurückzuführen.

Zurückgegangen ist zwischen 2000 und 2008 offensichtlich auch die Planktondrift aus dem Hallwilersee, welche bis 2000 schon oberhalb der ARA Hallwilersee für häufigen heterotrophen Bewuchs sorgte.

Pflanzlicher Bewuchs

Die Deckung der Gewässersohle mit Fadenalgen liegt anlässlich der Untersuchung 2014 im Bereich der Werte früherer Jahre und kann an keiner Stelle als übermässig bezeichnet werden. 2014 ist die Deckung oberhalb der ARA Hallwil etwas höher, unmittelbar unterhalb der ARA und in Seon gleich und weiter unten wieder geringer als in den früheren Untersuchungen. Der Pflanzen- und Moosbewuchs ist 2014 deutlich zurückgegangen. Im Aabach dürfte vor allem die generell gute Beschattung eine massgebende Rolle spielen. Daneben spielen auch zeitnah vorausgegangene Hochwasserabflüsse eine Rolle, bei welchen die langen Pflanzenzotten und -Fäden abreißen.

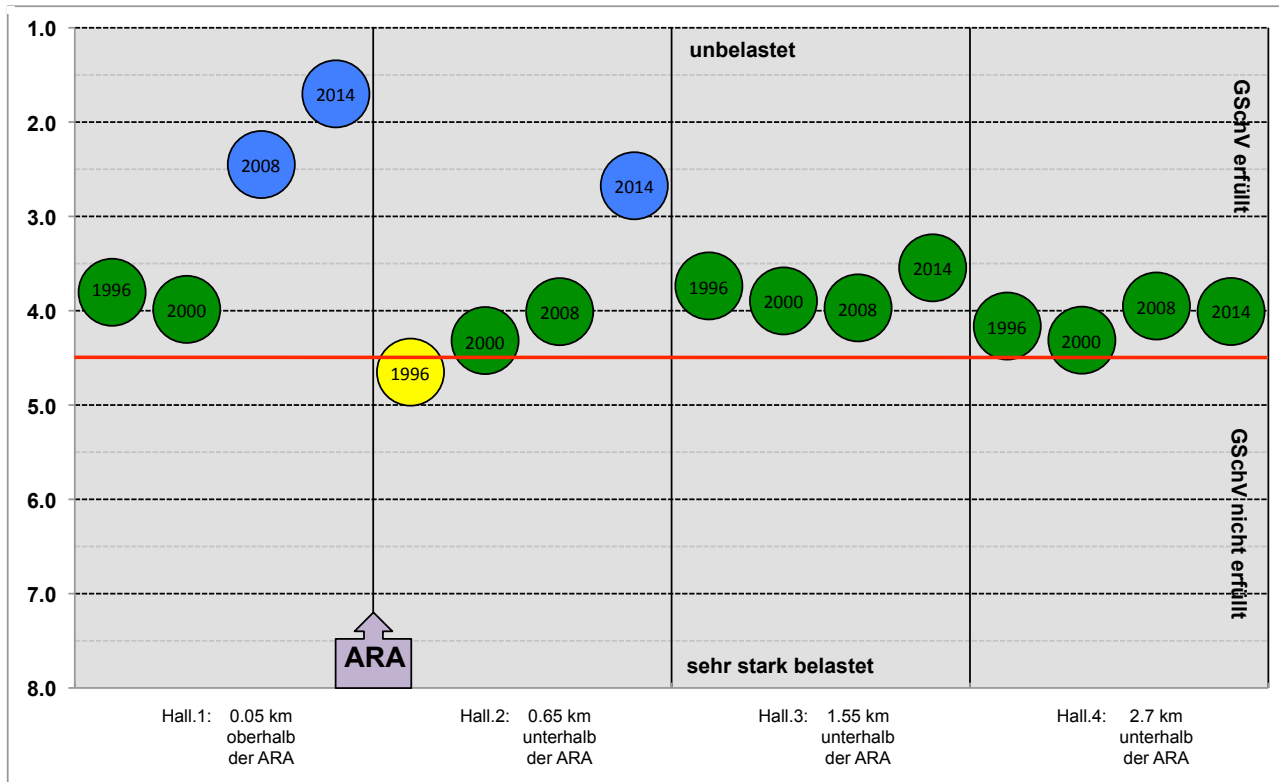
4.3 Gewässerqualität durch Kieselalgenindikation

Die stoffliche Gesamtbelastung des Aabachs verbesserte sich seit 1996 auf dem ersten, ca. 1 km langen Abschnitt unterhalb des Ausflusses aus dem Hallwilersee deutlich. Auch hinsichtlich der organischen Substanzen hat sich die Situation unterhalb der ARA-Einleitung verbessert.

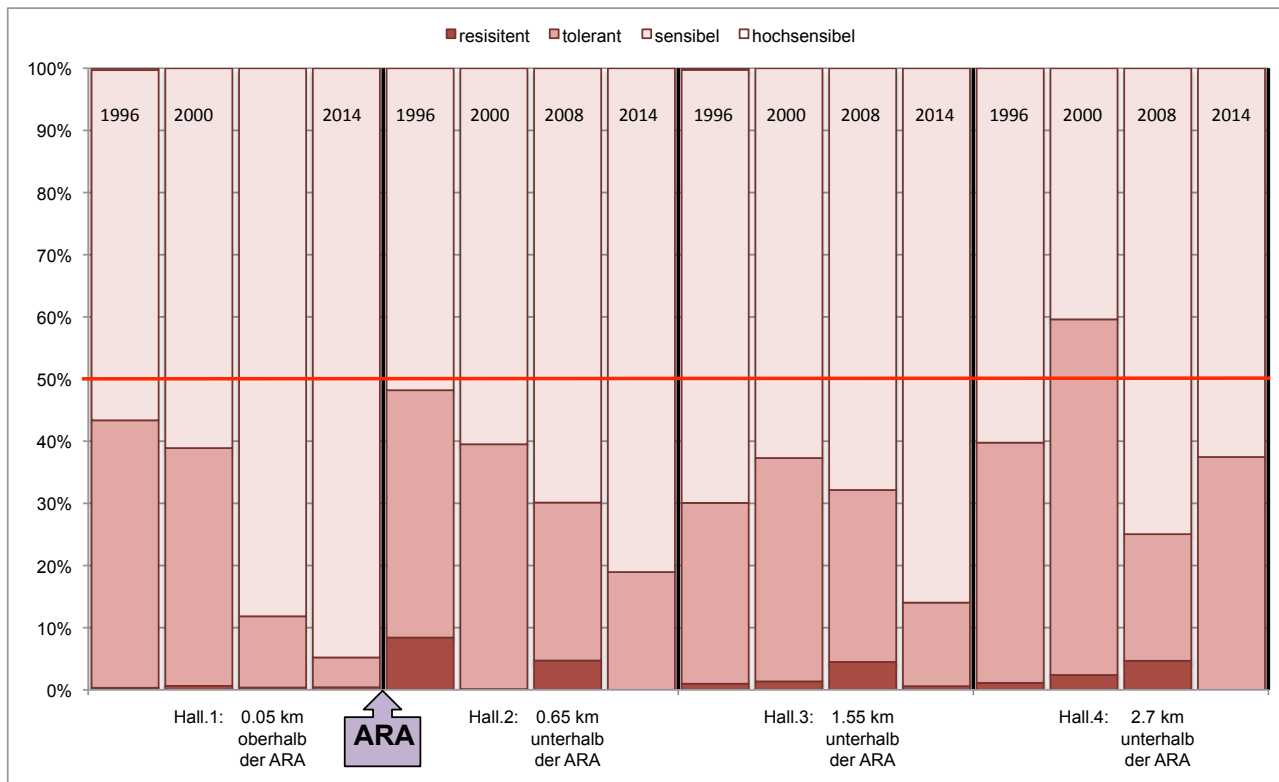
Der Erfolg ist sowohl auf die massnahmenbedingte Verbesserung der Abwasserqualität aus der ARA Hallwilersee als auch auf die überlagernde Abnahme des Nährstoffgehaltes des Hallwilersees zurückzuführen. Im weiter vom Seeausfluss entfernten Abschnitt zeigt sich der oberhalb beobachtete Trend nicht mehr. DI-CH und die organische Belastung haben sich seit 1996 nicht wesentlich verändert. Insgesamt sind aber bezüglich der Kieselalgenindikation 2014 die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung an allen vier Stellen eingehalten. Auch hinsichtlich der organischen Substanzen hat sich die Situation unterhalb der ARA-Einleitung verbessert. Die Gewässergüte erreicht auch 2014 an allen Stellen die Güteklasse II.

Stoffliche Gesamtbelastung (DICH)

Die stoffliche Gesamtbelastung, bewertet nach dem schweizerischen Diatomeen-Index (DICH), ging seit 1996 sowohl oberhalb als auch unmittelbar unterhalb der Abwassereinleitung der ARA Hallwilersee kontinuierlich zurück (siehe Figur 6) und entspricht heute der gesetzlichen Anforderung. Dies deckt sich mit der Beobachtung bezüglich des heterotrophen Bewuchses. Der Aabach entspricht 2014 an beiden Stellen der Güteklasse „sehr gut“. Weiter unten sinkt der DICH auf die Güteklasse „gut“, wobei der im oberen Abschnitt festgestellte Trend fehlt. Die Anforderungen sind aber auch in diesem Abschnitt bei allen bisherigen Untersuchungen erfüllt. Innerhalb der Zustandsklasse „gut“ ist zwischen den Stellen Hall.3 und Hall.4



Figur 6: Gewässerbelastung im Aabach 1996, 2000, 2008 und 2014 oberhalb und unterhalb der ARA Hallwilersee nach dem schweizerischen Diatomeenindex (DICH).



Figur 7: Prozentuale Häufigkeit der Kieselalgen, die auf die Belastung mit organischen Stoffen hochsensibel (weiss), sensibel (hellbraun), tolerant (braun) und resistent (dunkelbraun) reagieren. Die Anforderungen der GschV sind erfüllt, wenn die hellbraunen Säulenanteile >50% sind. Verglichen werden im Aabach die Stellen ober- und unterhalb der ARA Hallwilersee in den Jahren 1996, 2000, 2008 und 2014

über den gesamten bisherigen Beobachtungszeitraum eine leichte Belastungszunahme erkennbar.

Saprobie

Die Häufigkeitsverteilung der Kieselalgen auf die vier Differenzialartengruppen nach Lange-Bertalot [4] und Hofmann [7] bewertet die organische Belastung (Saprobie) an den vier Probenahmestellen (Figur 7). An der Stelle oberhalb der ARA-Einleitung hat zwischen 2000 und 2008 eine starke Verschiebung von der belastungstoleranten zur belastungssensiblen Artengruppe stattgefunden. Der Anteil der belastungssensiblen Artengruppe stieg von 61% 2000 auf 84% 2008. Dieser Trend hat sich, wenn auch abgeschwächt, bis 2014 fortgesetzt. Der Befund bestätigt ebenfalls die Beobachtungen bezüglich des heterotrophen Bewuchses und der Gesamtbelastung.

An der Stelle unterhalb der ARA-Einleitung ist der Anteil der sensiblen Artengruppe kontinuierlich von 52% (1996) über 60% (2000) und 70% (2008) auf 81% (2014) angestiegen. Die 2008 aufgetauchten resistenten Arten sind 2014 wieder verschwunden. An den folgenden beiden Stellen hat sich die 2000 abgezeichnete Verschlechterung nicht fortgesetzt. Die Häufigkeit der belastungssensiblen Kieselalgen nahm an der Stelle Hall.3 gegenüber 2008 (68%) nochmals deutlich auf 86% zu und zeigt auch 2014 bezüglich der organischen Belastung einen abnehmenden Trend.

Dieser ist an der untersten Stelle nicht mehr erkennbar. Zwar verschwinden hier 2014 erstmals die bela-

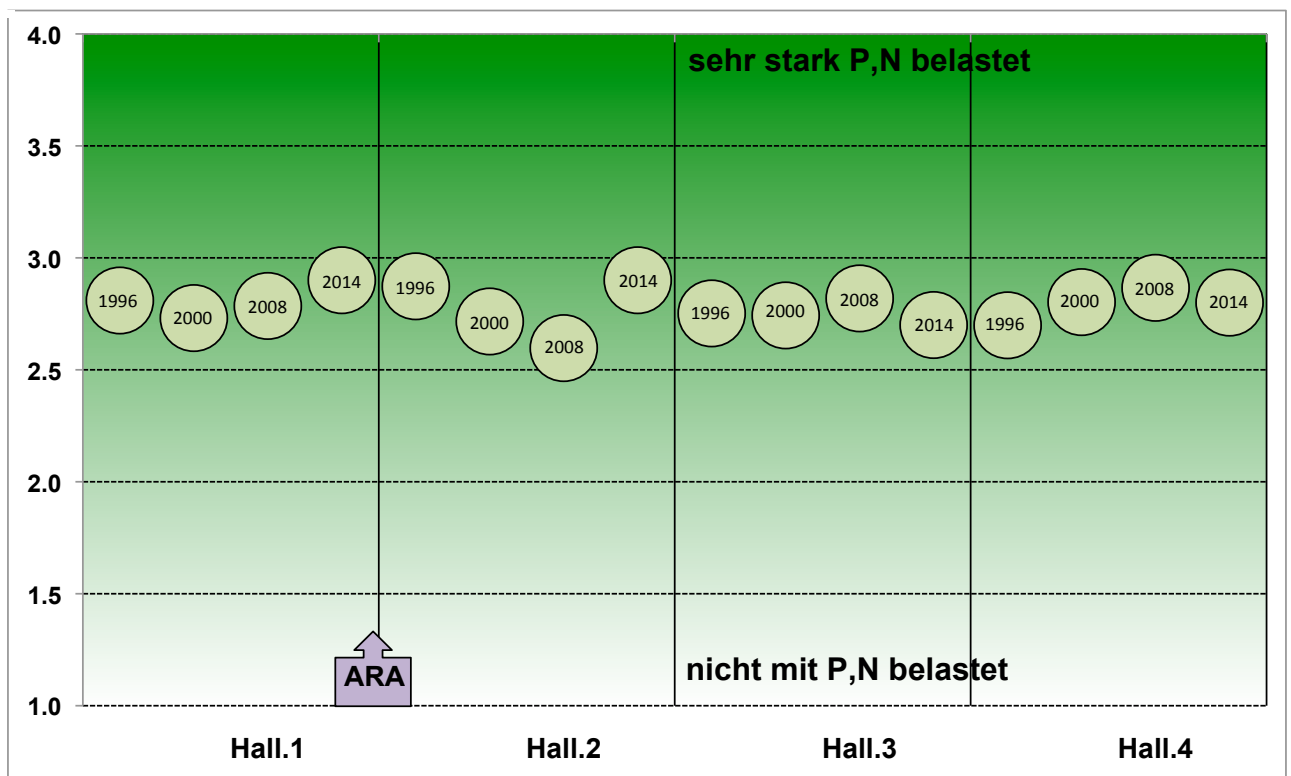
stungsresistenten Arten, hingegen ist der Anteil der belastungssensiblen Arten (62%) fast wieder auf das von 1996 (60%) gesunken.

Insgesamt ist die organische Belastung zwischen 1996 und 2014 an allen vier Stellen im Aabach zurückgegangen. Am deutlichsten auf dem ersten Kilometer Fließstrecke nach dem Ausflusses aus dem Hallwilersee. Im Bereich von Seon ist der Aabach durch zusätzliche organische Belastungsquellen beeinflusst. Der heutige Grad der organischen Belastung erfüllt aber an allen 4 Stellen die ökologischen Ziele nach Anhang 1, Ziffer 1, Absatz 1b der GSchV.

Trophie

In Bezug auf die Düngung mit anorganischen Nährstoffen (P, N) unterscheiden sich die Ergebnisse der vier Untersuchungen nicht wesentlich. Der Tropical Diatom Index (TDI) liegt mit Werten zwischen 2.6 und 2.9 (siehe Figur 8) in allen vier Untersuchungsjahren im Grenzbereich zwischen der mesotrophen und eutrophen Stufe. Die Situation 2014 ist mit denen von 1996, 2000 und 2008 praktisch identisch. Der grösste Unterschied zur Untersuchung 2008 besteht an der Stelle Hall.2, unmittelbar unterhalb der ARA Hallwilersee. Hier steigt der TDI von 2.6 auf 2.9. Ein sichtbarer Düngungseinfluss der ARA Hallwilersee ist bei allen Untersuchungen nicht ersichtlich.

Daraus kann geschlossen werden, dass der Aabach vor allem durch diffuse Belastungen mit Phosphor und Stickstoff aus seinem Einzugsgebiet gedüngt ist.



Figur 8: Tropical Diatom Index für die Summe des anorganischen Phosphors und Stickstoffs. Verglichen werden am Aabach die Stellen ober- und unterhalb der ARA der Hallwilersee in den Jahren 1996, 2000, 2008 und 2014.

4.4 Beurteilung des heutigen Zustandes.

Die Anforderungen an die äusseren Merkmale sind im Aabach heute fast vollständig eingehalten. Der bis 2000 an allen Stellen häufige Einzellerbewuchs tritt heute nur noch in geringer Häufigkeit an der untersten Stelle bei Seon auf. Hingegen ist er im Vergleich zu 2008 auch unmittelbar unterhalb der ARA-Hallwilersee verschwunden. Die entsprechenden Anforderungen (GSchV, Anhang 2, Ziffer 11, Absatz 1a-c, Ziffer 12, Absatz 1a, 2b) sind praktisch überall erfüllt. Durch die gute Beschattung in diesem Gewässerabschnitt erfüllt der pflanzliche Bewuchs der Gewässersohle die entsprechende Anforderung (GSchV, Anhang 2, Ziffer 11, Absatz 1a).

Gemäss der Kieselalgenuntersuchung erfüllt der Aabach heute die gesetzten ökologischen Ziele bezüglich der organischen Belastung (GSchV, Anhang 1, Ziffer 1, Absatz 3c) und hinsichtlich der stofflichen Gesamtbelastung (GSchV, Anhang 1, Ziffer 1, Absatz 1c). Dies war im Jahr 2000 nicht überall der Fall. Der Aabach ist mässig bis stark mit Phosphor und Stickstoff gedüngt, welche aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet eingeschwemmt werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch bisherigen Massnahmen an der ARA Hallwilersee der Zustand des Aabachs wesentlich verbessert wurde und die meisten heutigen Anforderungen des qualitativen Gewässerschutzes erfüllt.

5 Literatur

- [1] Binderheim E., Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Äusserer Aspekt. BUWAL, Bern 2006
- [2] Niederhauser P., Hürlimann J., Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Kieselalgen Stufe F. BUWAL, Bern, 30. März 2006
- [3] Thomas E. A., Schanz F. (1976): Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Primärproduktion in Fliessgewässern, ein limnologisches Problem. Vierteljahresschrift Natf. Ges. Zürich, 121, 309-317.
- [4] Lange-Bertalot H. (1978): Diatomeen-Differentialarten anstelle von Leitformen: ein geeignetes Kriterium der Gewässerbelastung. Arch. Hydrobiol./Suppl. 51, 393-427.
- [5] Kramer K., Lange-Bertalot H. (1988): In Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Molenhauer D. (Hrsg.): Süsswasserflora von Mitteleuropa 2/2, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- [6] Schiefele S., Kohmann F. (1993): Bioindikation der Trophie in Fliessgewässern. Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Forschungsbericht Nr. 102 01 504, 211 S. mit Anhang.
- [7] Hofmann G. (1987): Diatomeengesellschaften saurer Gewässer des Odenwaldes und ihre Veränderungen durch anthropogene Faktoren. Diplomarbeit im Fachbereich Biologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, 264 S.
- [8] Reichardt E. (1991): Beiträge zur Diatomeenflora der Altmühl. 3. Teil: Wasserqualität und Diatomeenbesatz. Algological Studies 62, 107-132.
- [9] Erni G., Preisig H.R., (1994): Hydrobiologische Untersuchungen am Unterlauf der Thur (Kanton Zürich, Schweiz) - II. Algen. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 139, Heft 2, 71-78.
- [10] Uehlinger U. (1994): Sauerstoff in der Glatt: Photosynthese, Respiration und Sauerstoffhaushalt in einem anthropogen stark beeinflussten Mittellandfluss (Glatt, Kt. Zürich). Gas Wasser Abwasser 74, Heft 2, 123-128.
- [11] BUWAL (1998): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Modul-Stufen-Konzept. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 26, Bern.
- [12] Kanton Aargau, Regierungsrat (1990): Stand und Entwicklung des Gewässerschutzes im Aargau – Grobkonzept der 90er Jahre, Aarau 1990.
- [13] Kanton Aargau, Abteilung Umweltschutz (1993). Bericht zum Zustand der aargauischen Fliessgewässer – Untersuchung 1990/91. Aarau, Juni 1993.

6 Anhänge

6.1 Anhang A1: Probenahmestellen und ARA



Koordinaten:

Stelle Hall.1:	656.653 / 242.095
Stelle Hall.2:	656.163 / 242.639
Stelle Hall.3:	655.664 / 243.413
Stelle Hall.4:	654.671 / 244.077

6.2 Anhang A2: Daten der Kieselalgen

Taxa und Anzahl Schalen

TAXA	Hall.1	Hall.2	Hall.3	Hall.4
<i>Achnanthes atomus</i> sensu DI-CH 2006				2
<i>Achnanthes biasolettiana</i> GRUNOW var. <i>biasolettiana</i>	38	88		2
<i>Achnanthes biasolettiana</i> GRUNOW var. <i>biasolettiana</i>	30	79	2	22
<i>Achnanthes biasolettiana</i> GRUNOW var. <i>biasolettiana</i>	10			
<i>Achnanthes biasolettiana</i> var. <i>subatomus</i> LANGE-B.	4	50	6	18
<i>Achnanthes clevei</i> (GRUNOW)	2			8
<i>Achnanthes conspicua</i> (A.MAYER)				2
<i>Achnanthes eutrophila</i> LANGE-B.		2	76	11
<i>Achnanthes exilis</i> KuetZING			2	
<i>Achnanthes helvetica</i> (LANGE-B.)				2
<i>Achnanthes laevis</i> OESTRUP var. <i>laevis</i>	2		2	
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>rostrata</i> (OESTRUP) LANGE-B.			1	
<i>Achnanthes lanceolata</i> var. <i>rostrata</i> HUSTEDT				4
<i>Achnanthes minutissima</i> KUETZING var. <i>minutissima</i>	150	8	156	40
<i>Achnanthes minutissima</i> KUETZING var. <i>minutissima</i>	69			
<i>Achnanthes minutissima</i> KUETZING var. <i>minutissima</i>	18	4		
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>affinis</i> (GRUNOW) LANGE-B.	6			
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>jackii</i> (RABENHORST) LANGE-B. ohne DI-CH-Gruppe		4		
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>scotica</i> (CARTER) LANGE-B.	4			
<i>Achnanthes straubiana</i> LANGE-B.	7	10		4
<i>Amphora inariensis</i> KRAMMER				6
<i>Amphora indistincta</i> LEVKOV	2			3
<i>Amphora libyca</i> (EHRENBERG)			5	1
<i>Amphora pediculus</i> (GRUNOW)	4	20	9	107
<i>Asterionella formosa</i> HASSALL		3		
<i>Cocconeis neothumensis</i> KRAMMER		2		4
<i>Cocconeis pediculus</i> (EHRENBERG)	37	39	21	60
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (EHRENBERG) GRUNOW sensu DI-CH 2014		35	27	14
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (EHRENBERG) VAN HEURCK			6	2
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>pseudolineata</i> GEITLER				8
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>pseudolineata</i> GEITLER				6
<i>Cyclotella cyclopuncta</i> HÅKANSON & CARTER	23	70	27	29
<i>Cyclotella ocellata</i> (PANTOCSEK)	4	2		
<i>Cymbella affinis</i> auct. non KÜTZING				2
<i>Cymbella microcephala</i> GRUNOW	6			2
<i>Cymbella microcephala</i> GRUNOW	14			
<i>Cymbella minuta</i> HILSE	2	2	22	4
<i>Cymbella minuta</i> f. <i>semicircularis</i> sensu DI-CH			2	4
<i>Cymbella sinuata</i> GREGORY	4		8	2
<i>Eolimnia comperei</i> ECTOR, COSTE & ISERENTANT				4
<i>Fragilaria brevistriata</i> GRUNOW	2	2	2	
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>gracilis</i> (OESTRUP) HUSTED	8	2		3
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> (RABENHORST) RABENHORST				2
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheria</i> (LANGE-B.)	11	21		37
<i>Fragilaria construens</i> f. <i>venter</i> (EHRENB.) HUSTEDT	2	4	1	11
<i>Fragilaria pinnata</i> EHRENBERG	2	12	3	
<i>Fragilaria ulna</i> (NITZSCH) LANGE-B. var. <i>ulna</i>	1			
<i>Gomphonema angustatum</i> (KÜTZING) RABENHORST				4
<i>Gomphonema olivaceum</i> (HORNE MANN) BRÉBISSON	2		2	1
<i>Gomphonema</i> aff. <i>pumilum</i>	6	4		
<i>Gyrosigma sciotoense</i> (W.S. SULLIVANT) CLEVE		1		
<i>Melosira varians</i> C.AGARDH		3	2	25

TAXA	Hall.1	Hall.2	Hall.3	Hall.4
Navicula atomus (KUETZING) GRUNOW var. atomus	1			
Navicula atomus var. permitis (HUSTEDT) LANGE-B.			3	
Navicula cryptotenella LANGE-B.	14	14	13	25
Navicula cryptotenelloides LANGE-B.				4
Navicula gottlandica GRUNOW			2	
Navicula gregaria DONKIN				2
Navicula menisculus var. grunowii LANGE-B.	1	2	5	9
Navicula praeterita HUSTEDT		4		
Navicula reichardtiana LANGE-B.	2	2	10	14
Navicula schoenfeldii HUSTEDT				2
Navicula subhamulata GRUNOW	2	2		2
Navicula subrotundata HUSTEDT				1
Navicula tripunctata (O.F.MUELLER) BORY	2	4	4	15
Nitzschia archibaldii LANGE-B.			2	
Nitzschia dissipata (KUETZING) GRUNOW ssp. dissipata	6	8	36	20
Nitzschia fonticola GRUNOW		4	43	8
Nitzschia lacuum LANGE-B.		2	2	
Nitzschia recta HANTZSCH	2		6	1
Nitzschia wuellerstorffii LANGE-BERTALOT			2	3
Rhoicosphenia abbreviata (C.AGARDH) LANGE-B.				10
Simonsenia delognei (GRUNOW) LANGE-B.				2
Stephanodiscus minutulus (KUETZING) CLEVE & MUELLER		3	1	
Surirella brebissonii var. kuetzingii KRAMMER & LANGE-B.				2
Surirella lacrimula ENGLISH			2	
Anzahl Arten	37	34	35	51
Summe	500	512	513	576

Die Daten der früheren Untersuchungen befinden sich in den Berichten der Jahre 1996, 2000 und 2008.

6.3 Anhang A3: Daten des Äusseren Aspektes

Die Daten der früheren Untersuchungen finden sich in den Berichten der Jahre 1996, 2000 und 2008.

Stelle	Datum	Schlamm	Trübung	Verfärbung	Schaum	Geruch	FeS
E183	06.05.14	kein	keine	keine	kein	kein	kein
E184	06.05.14	kein	keine	keine	kein	kein	kein
E185	06.05.14	kein	keine	keine	kein	kein	kein
E186	06.05.14	kein	keine	keine	kein	kein	kein

Stelle	Datum	Kolmation	Feststoffe	het. Bew.	Algen	Moose	Makrophyten
E183	06.05.14	keine	keine	kein	<10%	<10%	10-50%
E184	06.05.14	keine	keine	kein	<10%	<10%	10-50%
E185	06.05.14	keine	keine	kein	<10%	<10%	<10%
E186	06.05.14	keine	viele	vereinzelt	<10%	<10%	10-50%

6.4 Anhang A4: Methoden

Beurteilung des „Äusseren Aspektes“

Schlamm, Trübung, Verfärbung, Schaumbildung, Geruch,

Diese Merkmale beziehen sich auf Anforderungen, die in Anhang 2, Ziffer 11, Absatz 2 und Ziffer 12, Absatz 1 der Gewässerschutzverordnung umschrieben werden. Gemäss der Verordnung soll sich als Folge von Abwassereinleitungen in Fliessgewässern (Ziffer 11):

- kein Schlamm bilden (Absatz 2a),
- keine Trübung, keine Verfärbung und keine Schaumbildung zeigen (Absatz 2b),
- der Geruch gegenüber dem natürlichen Zustand nicht verändern (Absatz 2c),

sowie die Wasserqualität so beschaffen sein (Ziffer 12):

- dass keine von blossen Auge sichtbaren Eisensulfidflecken (Absatz 1a) vorhanden sind.

Aus diesen Anforderungen werden 6 direkt im Feld anwendbare Beurteilungskriterien (Kriterien 2-7 nach dem Modul Äusserer Aspekt [1]) abgeleitet (siehe Tabelle A1). Für jedes Beurteilungskriterium sind 3 Bewertungsstufen festgelegt.

Verschlammung, Trübung, Verfärbung, Schaum, Geruch sind direkt am Gewässer wahrnehmbar. Eisensulfidflecken können nur an der Gewässersohle auf der Unterseite der Steine oder, falls nur Feinsediment vorhanden ist, mit Schlammstichen erkannt werden.

	Beurteilungskriterien					
	Schlamm	Trübung	Verfärbung	Schaum	Geruch	Eisensulfid
Beurteilungs-Klassen	viel	stark	stark	viel	stark	>25%
	wenig, mittel	leicht, mittel	leicht, mittel	wenig, mittel	leicht, mittel	≤25%
	kein	keine	keine	kein	kein	kein

Tabelle. A1: Beurteilung der Merkmale 2-8 nach Modul „Äusserer Aspekt“ (Erläuterungen siehe Text).

Eisensulfidflecken

Unter anaeroben Bedingungen bilden sich in der Bachsohle an Steinen schwarze Eisensulfidflecken. Dabei wird durch Mikroorganismen Sulfat zu Sulfid reduziert, das mit eisenhaltigen Verbindungen Eisensulfid bildet und sich an den Steinen abgelagert. Der beschriebene mikrobiologische Prozess setzt ein, wenn Schlammablagerungen einerseits den Sauerstofftransport in die Sohle hemmen und andererseits durch den Abbau von organischen Substanzen eine starke Sauerstoffzehrung eintritt.

Die Intensität des Reduktionsprozesses wird durch Angabe der Häufigkeit von Steinen mit sichtbaren Eisensulfidflecken beurteilt. Dabei werden der Gewässersohle in einem Beprobungsabschnitt 30 Steine

entnommen und bei jedem Stein an der Unterseite der prozentuale Flächenanteil der Eisensulfidflecken geschätzt. Die Fundhäufigkeit je Probenahmestelle wird aus dem arithmetischen Mittel bestimmt.

Heterotropher und pflanzlicher Bewuchs

Die Anforderungen an heterotrophen und pflanzlichen Bewuchs werden in Anhang 2, Ziffer 11, Absatz 1 der Gewässerschutzverordnung umschrieben. Als Folge von Abwassereinleitungen sollen sich:

- keine mit blossen Auge sichtbare Kolonien von Bakterien, Pilzen oder Protozoen und keine lästigen Wucherungen von Algen und höheren Wasserpflanzen bilden (Absatz 1a).

Diesen Anforderungen werden 5 Beurteilungskriterien zugeordnet, die in 3 Bewertungsstufen eingeteilt sind (siehe Tabelle A2), wobei man den pflanzlichen Bewuchs im Rahmen der ARA-Erfolgskontrollen nicht weiter bewertet.

Der heterotrophe Bewuchs wird gleichzeitig mit den Eisensulfidflecken bestimmt. Die im Probenahmesektor der Bachsohle entnommenen 30 Steine werden zusätzlich auf sichtbare Kolonien von festsitzenden Ciliaten und des Bakteriums Sphaerotilus natans untersucht.

Ciliaten sind mikroskopisch kleine, einzellige Organismen, die durch Reihen und Kränze von Geisseln (= Cilien, daher der Name Ciliaten) an der Zelloberfläche gekennzeichnet sind. Ihre Nahrung besteht aus Bakterien und kleinsten organischen Partikeln, die sie sich durch Erzeugen eines Wasserstromes mittels Cilienbewegung zufächeln. Die festsitzenden Ciliaten bilden bei grossem Nahrungsangebot auf der Steinoberfläche dichte, von Auge sichtbare Kolonien.

	Beurteilungskriterien				
	het. Bewuchs	Algen-dichte	Algendeckung gesamt	Algendeckung KG1-3	Planzen, Moose
Beurteilungs-Klassen	≥25%	4-5	>50	>50	4-5
	<25%	2-3	10-50%	10-50%	2-3
	0%	0-1	<10%	<10%	0-1

Tabelle. A2: Beurteilungsmatrix des heterotrophen und pflanzlichen Bewuchses mit der Bewuchsdichte von Algen, Moosen und Makrophyten nach der Methode von Thomas und Schanz [3]. (Erläuterungen siehe Text).

Sphaerotilus natans, im Volksmund Abwasserpilz genannt, ist ein kolonienbildendes Bakterium, das sich von gelösten organischen Substanzen (Zucker, Aminosäuren, Fettsäuren usw.) ernährt. Bei hohen Konzentrationen solcher Substanzen entwickelt sich Sphaerotilus natans zu dichten, von Auge sichtbaren Kolonien. Aus den Daten von 30 Steinen wird die Häufigkeit der Steine mit sichtbaren Kolonien bestimmt.

Der pflanzliche Bewuchs wird anhand der Algen, Moose und Makrophyten innerhalb der gesamten Bachsohlenfläche des jeweiligen Probenahmesektors beurteilt. Als Beurteilungskriterien dienen die Bewuchsdichteskalen für Fadenalgen, Moose und Makrophyten nach THOMAS und SCHANZ [3], der prozentuale Deckungsgrad der Bachsohle mit Fadenalgen und der prozentuale Deckungsgrad der Korngrößen 1–3 (Steine >20 mm Durchmesser) mit Fadenalgen. In die Bewertung der Fadenalgen sind die Grünalgen (z.B. Cladophora glomerata), Gelbgrünalgen (v.a. Vaucheria sp.) und Kieselalgen einbezogen worden, dagegen ist die Zellschläuche bildende Goldalge Hydrurus foetidus nicht berücksichtigt.

Lästige Wucherungen von Algen und höheren Wasserpflanzen sind nicht notwendigerweise eine Folge des Nährstoffeintrags ins Gewässer. Vielmehr sind sie das Resultat aus dem Zusammenwirken von Nährstoffeintrag, fehlender Beschattung, fester resp. kolmatierter Gewässersohle, ausbleibenden Hochwasserereignissen und fehlenden Herbivoren. Gewässer mit periodischem Geschiebetrieb, ausreichender Beschattung und einer normalen Besiedlung mit pflanzenfressendem Makrobenthos weisen auch bei stärkerer Nährstoffbelastung keine Pflanzenwucherungen auf. Dagegen können auch in schwach gedüngten Fließgewässern mit unbeweglicher, kolmatierter Sohle, fehlender Beschattung und fehlenden Herbivoren dicke Pflanzenteppiche auftreten. Starkes Pflanzenwachstum hat u. a. nachteilige Auswirkungen auf den Sauerstoffhaushalt. Wie UEHLINGER [10] gezeigt hat, kann in Gewässern mit starkem Algenbewuchs durch den Abbau der Pflanzenbiomasse und der verstärkten Respiration in der Nacht der Sauerstoffgehalt im freien Wasser bis auf 1 mg/l absinken. Solche Sauerstoffkonzentrationen sind für viele Wirbellose und Edelfische lebensbedrohlich.

Beurteilung der Wasserqualität anhand der Kieselalgen

Zur Beurteilung der Wasserqualität im Bereich der Kläranlagen wurden als Bioindikatoren Kieselalgen verwendet, die unabhängig von ökomorphologischen Faktoren die Gewässergüte anzeigen. Bestimmt wird die Gewässergüte hinsichtlich der stofflichen Gesamtbelastung nach dem Modul Kieselalgen (DICH) [2], der Saprobie nach LANGE-BERTALOT [4, 5] und der Trophie nach SCHIEFELE und KOHMANN [6].

Probenahme

Von mindestens 10 über den Bachquerschnitt verteilten Steinen wird je ca. 10 cm² Algenaufwuchs abgeschabt. Das Algenmaterial wird in ein kleines Plastikgefäß gegeben und mit Formaldehyd (3-4%) fixiert.

Verarbeitung der Kieselalgenproben

Die im Feld mit Lugol fixierten Proben werden im Labor zu mikroskopisch untersuchten Präparaten weiterverarbeitet. Zuerst trennt man die Proben von größe-

ren Bestandteilen. Anschliessend werden sie mit Salzsäure entkalkt und durch eine Heissoxidation mittels Schwefelsäure und Kaliumnitrat von organischen Bestandteilen gereinigt. In einem weiteren Schritt werden die Proben gewaschen und die suspendierten Silikatschalen auf 3 verschiedene Konzentrationsstufen verdünnt. Pro Konzentrationsstufe werden die Suspensionen auf Deckgläser aufgetragen und getrocknet. Die Deckgläser mit den präparierten Schalen werden zum Schluss auf einen Objektträger gebracht und in das brechungsintensive Kunstharz Naphrax (d = 1.73) eingebettet.

Bestimmung und Auszählung

Aus je einem der Präparate werden mindestens 500 Schalen bis zur Art und wo erforderlich, bis zur Unterart bestimmt. Von jeder taxonomischen Einheit zählt man die einzelnen Individuen und ermittelt die relative Häufigkeit nach der Formel:

$$\text{Relative Häufigkeit [\%]} = (N_i / N) * 100\%$$

wobei N_i die Anzahl gezählte Schalen der Art i und N die Gesamtzahl der gezählten Schalen einer Probe sind. Die erhaltenen Daten können zur Bestimmung des Kieselalgenindex DICH, der Differentialartengruppen nach Lange-Bertalot [4] des Trophieindex nach Schiefele und Kohmann [6] weiter ausgewertet werden.

Ermittlung des DICH

Der Kieselalgenindex DICH wurde aus einer gesamtschweizerischen Auswertung chemischphysikalischer, hydrografischer und Kieselalgen-Daten von NIEDERHAUSER und HÜRLIMAN [2] für die Beurteilung der Gewässerqualität auf Stufe F entwickelt. Er berechnet sich nach folgender Formel:

$$\text{DICH} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i * G_i * H_i}{\sum_{i=1}^n G_i * H_i}$$

Der Indexwert kann zwischen 1 und 8 variieren. Für die Bewertung wird der Skalenbereich gemäss Tabelle A3 in 5 Zustandsklassen unterteilt.

DI-CH	Bewertung	
1.00-3.49	sehr gut	GSchV erfüllt
3.50-4.49	gut	
4.50-5.49	mässig	GSchV nicht erfüllt
5.50-6.49	unbefriedigend	
6.50-8.00	schlecht	

Tabelle A3: Bewertung des Kieselalgenindex (DICH) anhand von 5 Zustandsklassen des Modul-Stufen-Konzeptes.

Ermittlung der Saprobie

Nach Lange-Bertalot [4] treten bei guter Wasserqualität grundsätzlich alle Kieselalgenarten auf. Hingegen bestehen artspezifische Toleranzen gegenüber zunehmender Belastung mit organischen Substanzen. Aus diesem Grund wird die Kieselalgen-Gesellschaft in 3 Gruppen mit sensiblen, mässig toleranten und toleranten Kieselalgen unterteilt. Der relativen Häufigkeitsverteilung der 3 Gruppen werden die Gewässergüteklassen nach LAWA zugeordnet. In neueren Untersuchungen, unter Berücksichtigung von Quellgewässern, haben HOFMANN [7] und REICHARDT [8] die Einteilung von Lange-Bertalot revidiert und um eine hochsensible Differenzialartengruppe erweitert. Die revidierte Zuordnung der Gewässergüteklassen zu den Häufigkeitsverteilungen der 4 Differentialartengruppen wird in Tabelle A4 gezeigt. Sie wurde für diese Untersuchung übernommen.

Gewässergütestufe		Prozentualer Anteil der Differenzialartengruppen
I	oligosprob Unbelastet bis sehr gering belastet	$hs \geq 90\%$; $s + t + r \leq 10\%$
I-II	oligosprob – β-mesosaprob gering belastet	$hs \geq 10\%$ $50\% \leq s \leq 90\%$
II	β-mesosaprob mässig belastet	$hs \leq 10\%$ oder $hs + s > 50\%$; $s \geq 50\%$ $t + r < 50\%$
II-III	β-α-mesosaprob kritisch belastet	$10\% < hs + s < 50\%$ $50\% \leq t + r < 90\%$
III	α-mesosaprob stark verschmutzt	$hs + s \leq 10\%$; $t \geq 50\%$ $r < 50\%$
III-IV	α-mesosaprob-polysaprob sehr stark verschmutzt	$10\% < hs + s + t < 50\%$ $r \geq 50\%$
IV	polysaprob übermässig verschmutzt	$hs + s + t \leq 10\%$; $r \geq 90\%$

Tabelle. A4: Häufigkeiten der 4 Differenzialartengruppen mit der Zuordnung der Gewässergüteklassen (hs = hochsensibel, s = sensibel, t = tolerant, r = resistent; Erläuterungen siehe Text).

Ermittlung der Trophie

Zur Indikation des Nährstoffgehaltes (Trophie) in Fliessgewässern haben Schiefele und Kohmann [6] anhand chemischer Daten und der Zusammensetzung der Kieselalgen-Gemeinschaft an 31 verschiedenen Fliessgewässern in Deutschland die artspezifischen Nährstoffpräferenzen von 105 Kieselalgenarten festgelegt. Analog zum Saprobienindex von Zelinka und

Marvan wird ein Trophieindex nach folgender Formel bestimmt.

Trophiestufen	TDI - Bereiche
unbelastet (oligotroph)	1.0 - 1.4
schwach belastet (oligo-mesotroph)	1.5 - 1.8
deutlich belastet (mesotroph)	1.9 - 2.2
kritisch belastet (meso-eutroph)	2.3 - 2.7
auffallend belastet (eutroph)	2.8 - 3.1
stark belastet (eutroph-hypertroph)	3.2 - 3.5
sehr stark belastet (hypertroph)	3.6 - 4.0

Tabelle. A5: Trophiestufen mit den zugeordneten Bereichen des Tropical Diatom Index (Erläuterungen siehe Text).

$$TDIPS = (w_i * y_i * TDI_i) * (w_i * y_i)^{-1}$$

TDIPS ist der Tropical Diatom Index der jeweiligen Probenahmestelle, TDI_i der Tropical Diatom Index der Art i , w_i der Wichtungsfaktor der Art i , y_i die relative Häufigkeit der Art i der jeweiligen Probe und n die Anzahl Arten in der Probe.

Schiefele und Kohmann [6] haben einen Index für die Phosphorbelastung (mit den Fraktionen $P_{tot} + PO_4^{3-}$) und einen kombinierten Index für Phosphor- und Stickstoffbelastung (mit den Fraktionen NH_4^+ und NO_3^-) erstellt. Die Trophiestufen der Probenahmestellen werden in dieser Untersuchung mit dem kombinierten Index ermittelt. Die Bandbreite des Tropical Diatom Index wird nach Tabelle A5 in 7 Trophiestufen unterteilt.

