



***Erfolgskontrolle an Wigger und Tych im Bereich der ARA der  
Region Zofingen***

ARA-Ausbauprogramm 2003-2006

Ambio GmbH, Dezember 2007

**Herausgeber**

Departement  
Bau, Verkehr und Umwelt  
Abteilung für Umwelt

**Projektleitung**

Arno Stöckli, Abteilung für Umwelt, Sektion Boden und Wasser

**Autor**

Markus Haberthür, Ambio GmbH, Zürich

**Mitarbeit**

Guido Erni, Untersiggenthal

Titelblatt: ARA der Region Zofingen (ERZO)

**Inhalt**

1. Anlass der biologischen Erfolgskontrollen	7
2. Gewässerbeurteilung nach Modul-Stufen-Konzept	8
2.1 Ausgewählte Kriterien für die Erfolgskontrollen	8
3. Untersuchungsablauf und Probenahmeorte	10
3.1 Untersuchungsablauf	10
3.2 Probenahmestellen	10
4. Ergebnisse	12
4.1 Abflussverhältnisse	12
4.2 Äusserer Aspekt	12
4.2 Gewässerqualität gemäss der Kieselalgenindikation	13
5. Beurteilung des heutigen Zustandes.	14
6. Literatur	16
Anhang A1: Lage der Probenahmestellen und der ARA	17
Anhang A2: Daten der Kieselalgen (Untersuchung 2007)	18
Anhang A3: Daten des Äusseren Aspektes (Untersuchung 2007)	19
Anhang A4: Methoden	20



**Zur Abklärung der Auswirkungen der vorbehandelten Industrieabwässer der Siegfried AG wurde 2003 der biologische Zustand der Wigger und des Tychs im Einflussbereich der ARA der Region Zofingen (ERZO) untersucht. Zur Erfolgskontrolle der Ausbau- und Sanierungsmassnahmen der ARA 2003-2006 erfolgten 2007 erneute Untersuchungen, die im vorliegenden Bericht mit den früheren Ergebnissen verglichen werden. Der sichtbare Bewuchs mit Einzellern ist im Untersuchungsabschnitt heute fast gänzlich verschwunden. Im Tych ist noch eine leichte bis mässige Schaumbildung zu erkennen. Gemäss den Kieselalgen sind bezüglich der stofflichen Gesamtbelastung unterhalb der ARA die ökologischen Ziele erreicht. Auch hinsichtlich der organischen Belastung werden die gesetzlichen Anforderungen heute weitgehend erfüllt. Insgesamt sind in der untersuchten Gewässerstrecke die meisten Anforderungen und Ziele der Gewässerschutzverordnung nun eingehalten. Die Sanierung der Abwasserreinigungsanlage der Region Zofingen zeigt einen deutlichen Erfolg.**

#### **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 der Region Zofingen (ERZO) erfolgte 2003 und zeigte den dringenden Sanierungsbedarf auf. Die ARA wurde inzwischen ausgebaut und saniert. Die erneute Prüfung im Jahr 2007 erlaubt es nun, den Erfolg der Sanierungsmassnahmen aufzuzeigen.

#### **Untersuchte Qualitätskriterien**

Für die Erfolgskontrolle wurden die Wigger an einer Stelle oberhalb und der Tych, eine Ausleitung der Wigger, unterhalb der Abwassereinlei-

tung der ERZO untersucht. Die Beurteilung der Wasserqualität erfolgte anhand ausgewählter Anforderungen an die Wasserqualität und ökologischer Ziele der Gewässerschutzverordnung (GSchV). Die Proben wurden am 10. September 2003 und am 25. September 2007 genommen.

Die Untersuchung 2003 erfolgte im Auftrag der Abteilung für Umwelt durch die AquaPlus, Zug im Zusammenhang mit Abklärungen zur Frage der Toxizität von Abwässern der Firma Siegfried, Zofingen.

#### **Gewässerzustand nach dem Ausbau und der Sanierung**

Die Anforderungen bezüglich der äusseren Merkmale sind in der Wigger und im Tych heute mehrheitlich eingehalten. Unterhalb der ARA der ERZO neigt der Tych zu leichter bis mässiger Schaumbildung. Der früher an beiden Tych-Stellen starke Einzellerbewuchs tritt heute nur noch in Spuren (3% Häufigkeit) unmittelbar nach der ARA-Einleitung auf. Die entsprechende Anforderung (GSchV, Anhang 2, Ziffer 11, Absatz 1a) ist daher noch nicht ganz erfüllt. Dagegen sorgen die starke Beschattung und die hohe Fließgeschwindigkeit in diesem Gewässerabschnitt dafür, dass der pflanzliche Bewuchs der Gewässersohle die entsprechende Anforderung (GSchV, Anhang 2, Ziffer 11, Absatz 1a) erfüllt.

Gemäss der Kieselalgenuntersuchung erfüllt der Tych heute die gesetzten ökologischen Ziele bezüglich der organischen Belastung (GSchV, Anhang 1, Ziffer 1, Absatz 3c) gut und hinsichtlich der stofflichen Gesamtbelastung (GSchV, Anhang 1, Ziffer 1, Absatz 1c) knapp. Dies war im Jahr 2003 nicht der Fall. Wigger und Tych sind mässig bis stark mit Phosphor und Stickstoff gedüngt, welche aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet eingeschwemmt werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die Sanierung der ARA der Region Zofingen (ERZO) der Zustand des Tych wesentlich verbessert wurde und die heutigen Anforderungen des qualitativen Gewässerschutzes weitgehend erfüllt.



## 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 Gewässersohle (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 längerfristige Wirkung der Belastungsfaktoren auf die Lebensprozesse im Gewässer. So können z.B. aus der Organismenzusammensetzung Rückschlüsse auf die 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 Abwasserunreinigungen)*
4. *Nachweis von akuten Gewässerverschmutzungen (Schadenfälle)*

Der vorliegende Bericht betrifft Punkt 2 des Untersuchungsprogrammes.

Die Siegfried AG leitet ihr vorbehandeltes Chemieabwasser in die Abwasserreinigungsanlage (ARA) der Region Zofingen in der Gemeinde Oftringen. Das gereinigte Abwasser der Region Zofingen wird in den Tych, einer Ausleitung der Wigger, abgeleitet, welcher bei Aarburg in die Aare fliesst. Die ARA wurde zwischen 2003 und 2006 ausgebaut und mit Verfahren zur Nitrifikation, Denitrifikation und Phosphorelimination ausgerüstet.

In einer ersten Untersuchung 2003 wollte die Abteilung für Umwelt anhand der Kieselalgen prüfen, ob die Abwasserkomponenten der Siegfried AG toxische und teratogene Effekte erzeugen. Andererseits konnte so der Ausgangszustand für die Erfolgskontrolle der ARA-Sanierung erfasst werden. Mit der zweiten Untersuchung 2007 wurde der Erfolg der Sanierungsmassnahmen geprüft. Dieser Ausbau erfolgte im Rahmen einer Vereinbarung mit dem Bund über die Stickstoffelimination zur Erreichung der Ziele der Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR).

## 2. Gewässerbeurteilung 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
	Fische	F	S	A
Stoffe	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 **Kieselalgen, 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).

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.**

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

**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.**

Tropiestufen	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 5: Bewertungsskala der Trophie nach Schiefele und Kohmann.**

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

## 3. Untersuchungsablauf und Probenahmeorte

### 3.1 Untersuchungsablauf

Die Untersuchung 2007 erfolgte im Auftrag der Abteilung für Umwelt durch die Firma Ambio GmbH in Zürich. Probenahme und Felderhebung fanden am 25. September 2007 statt. Die Proben wurden an den gleichen Stellen wie 2003 erhoben, als die Firma AquaPlus in Zug eine Erstuntersuchung durchführte.

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 durch einen spezialisierten Botaniker (G. Erni) aufbereitet und hinsichtlich der Zusammensetzung und Häufigkeit der Kieselalgenarten bestimmt.

### 3.2 Probenahmestellen

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



**Probenahmestelle 1.04 km oberhalb der Einleitung der ARA der Region Zofingen mit Blickrichtung bachabwärts (Koord. 637.180 / 238.520).**

Stelle 1 befindet sich an der Wigger vor der

Wasserfassung für die partielle Ableitung des Wiggerwassers in den Tych. Die Ufer der Wigger sind beidseitig mit einem dichten Bachgehölz bewachsen. Das breite Bachbett wird dadurch noch wirksam beschattet. Beide Ufer sind steil und im Bereich der Wasserlinie verbaut.

Die Gewässersohle besteht aus natürlichem Material mit breiter Korngrößenverteilung. Die Wigger weist an dieser Stelle eine starke Strömung auf.

Stelle 2 befindet sich am Tych, rund 180 m unterhalb der Abwassereinleitung. Beidseitig werden die künstlichen, mit Brettern gesicherten Ufer von einem dichten Bachgehölz gesäumt. Durch die gänzlich schliessenden Kronen wird auch dieser Abschnitt stark beschattet. Die Strömung des Tych ist aufgrund des starken Gefälles reissend.



**Probenahmestelle 0.18 km unterhalb der Einleitung der ARA der Region Zofingen mit Blickrichtung bachaufwärts (Koord. 636.675 / 239.550).**

Stelle 3 liegt 1.28 km unterhalb der ARA-Einleitung. Auch hier fliesst der Tych unter einem geschlossenen Bachgehölz, welches die Sohle dauernd beschattet. Im Bereich der Wasserlinie sind die Ufer mit Brettern vor der reissenden Strömung gesichert.

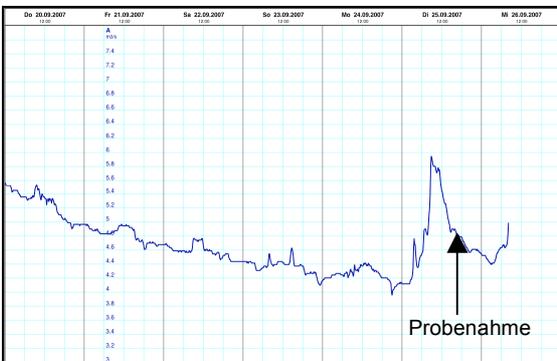


**Probenahmestelle 1.28 km unterhalb der Einleitung der ARA der Region Zofingen mit Blickrichtung bachaufwärts (Koord. 636.050 / 240.280).**

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Abflussverhältnisse

Der Abfluss der Wigger lag zum Zeitpunkt der Probenahme (25.9.07; 15:00) mit 4.9 m<sup>3</sup> unter dem Jahresmittel von 7.37 m<sup>3</sup>. Nach einem Regenereignis befand er sich allerdings im Bereich einer abfließenden Welle, die im Verlaufe der Nacht und des frühen Vormittags von 4.2 m<sup>3</sup> steil auf eine Spitze von 5.8 m<sup>3</sup> anstieg. Der Spitzenabfluss wurde um ca. 8:30 Uhr erreicht. Dies führte zur natürlichen Trübung des Gewässers (siehe unten).



7-Tage Abflussganglinie der Wigger bei Zofingen zwischen 20. Und 26. September 2007 (Quelle: BAFU, hydrologische Daten der Messstelle 2450):

### 4.2 Äusserer Aspekt

#### Schlamm, Trübung, Verfärbung, Schaum, Geruch und Eisensulfid

Die oben genannten Merkmale des äusseren Aspektes wurden im Jahr 2003 nicht erhoben.

Bei der Zweituntersuchung 2007 war die Wigger an der obersten Probenahmestelle getrübt. Die Trübung wurde durch die abfließende Niederschlagsepisode in der vorangegangenen Nacht verursacht. Weiter wiesen 13% der an der Sohle entnommenen Steine kleine Eisensulfidflecken auf. Alle übrigen Merkmale wie Verschlammung, Verfärbung, Schaum und Geruch waren an dieser Stelle nicht zu beanstanden.

Unterhalb der ARA Zofingen blieb der stark strömende Tych an beiden Stellen getrübt. Ei-

sensulfidflecken wurden aber keine mehr festgestellt. Auch Schlamm- bildung, Verfärbung und Geruch traten nicht auf. Dagegen verursachten die Abwässer der ARA Zofingen eine mässige Schaumbildung, welche sich weiter unten abschwächte.

Stelle	Jahr	Beurteilungskriterien					
		Schlamm- bildung	Trübung	Verfärbung	Schaum	Geruch	Eisen- sulfid
ERZO.1	2003	nicht erhoben					
	2007	keine	mittel	keine	keine	keine	13%
ARA-Einlauf							
ERZO.2	2003	nicht erhoben					
	2007	keine	mittel	keine	mittel	kein	0%
ERZO.3	2003	nicht erhoben					
	2007	keine	mittel	keine	wenig	kein	0%

Beurteilung der Merkmale des äusseren Aspektes in der Wigger und im Tych an den 3 Probenahmestellen oberhalb und unterhalb der ARA der Region Zofingen im Jahr 2007 (Erläuterungen siehe im Text).

#### Heterotropher Bewuchs

Der früher starke Bewuchs durch sichtbare Kolonien von heterotrophen Organismen (Ciliaten und Sphaerotilus) ist an beiden Stellen fast vollständig verschwunden. Unmittelbar unterhalb der ARA waren noch Spuren (an 3% der Steine) von sichtbaren heterotrophen Organismen sichtbar, weiter unten waren sie verschwunden.

Stelle	Jahr	Beurteilungskriterien					
		het. Bewuchs	Algen- dichte	Algendeckung gesamt	Algendeckung KG1-3	Pflanzen, Moose	
ERZO.1	2003	0%	nicht erhoben				
	2007	0%	1	<10%	<10%	1	
ARA-Einlauf							
ERZO.2	2003	<10%	nicht erhoben				
	2007	3%	1	<10%	<10%	1	
ERZO.3	2003	>50%	nicht erhoben				
	2007	0%	0	<10%	<10%	0	

Heterotropher und pflanzlicher Bewuchs in der Wigger und im Tych an den drei Probenahmestellen oberhalb und unterhalb der ARA der Region Zofingen 2003 und 2007 (Erläuterungen siehe im Text).

Bei der Erstuntersuchung im Jahr 2003 wiesen unmittelbar unterhalb der ARA weniger als 10%, an der dritten Stelle jedoch mehr als 50% der Steine sichtbaren, heterotrophen Bewuchs auf (siehe Tabelle 6).

Die deutliche Verbesserung bezüglich des heterotrophen Bewuchses dürfte auf die mit der ARA-Sanierung erzielte Reduktion der abbaubaren, organischen Stoffe im Tych zurückzuführen sein.

#### **Pflanzlicher Bewuchs**

Die Deckung der Gewässersohle mit Fadenalgen ist anlässlich der Untersuchung 2007 gering (<10%). In der Wigger dürfte auch das Hochwasser vom 29./30. August dazu beigetragen haben, als eine Abflussspitze von 70 m<sup>3</sup>/s aufgezeichnet wurde. Dieses Hochwasser hat vermutlich den gesamten Fadenalgenbewuchs abgeschwemmt.

Wirbellose Tiere wurden an den untersuchten Steinen nicht gefunden.

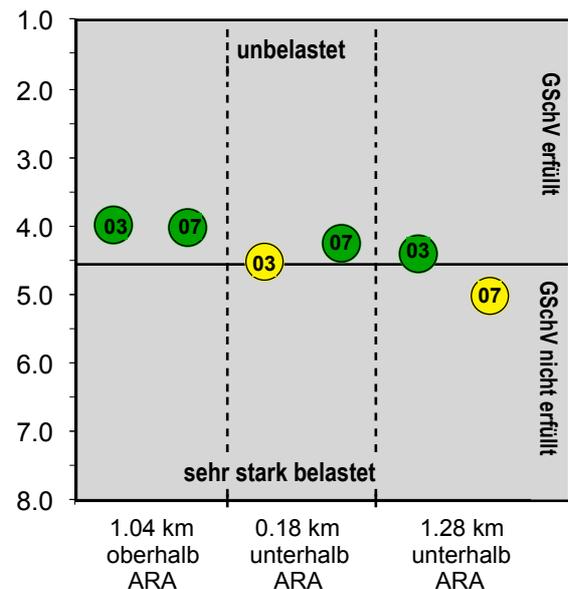
## **4.2 Gewässerqualität gemäss der Kieselalgenindikation**

Die stoffliche Belastung des Tychs ging gemäss der Kieselalgenindikation seit 2003 so weit zurück, dass heute die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung an allen Stellen eingehalten sind. Insbesondere hinsichtlich der organischen Substanzen hat sich die Situation unterhalb der ARA-Einleitung wesentlich verbessert. Bei beiden Stellen am Tych stieg die Gewässergüte um eine Stufe von II-III (2003) auf II (2007). Die Wigger und der Tych sind aber immer noch „auffallend“ bis „kritisch“ (mesotroph-eutroph) mit anorganischen Nährstoffen gedüngt.

#### **Stoffliche Gesamtbelastung (DI-CH)**

Die stoffliche Gesamtbelastung, bewertet nach dem schweizerischen Diatomeen-Index (DI-CH), ging unmittelbar unterhalb der Abwassereinleitung der ARA der Region Zofingen seit 2003 zu-

rück (siehe Figur 6) und entspricht heute wieder den gesetzlichen Anforderungen. Vor vier Jahren waren sie an dieser Stelle knapp nicht mehr eingehalten. Weiter unten ist die Belastung des Tychs allerdings schlechter (Stufe „mässig belastet“). In der Wigger vor der ARA-Einleitung ist innerhalb der Gütestufe „gut“ eine leichte Verschlechterung zu verzeichnen.



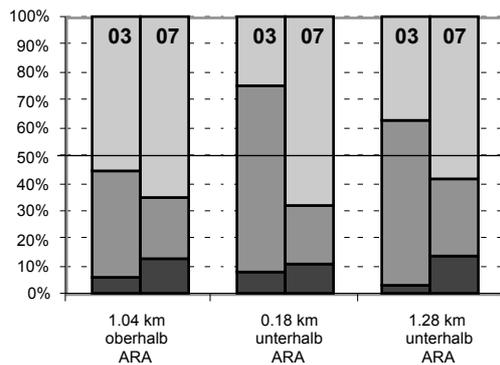
**Figur 6:** Belastungssituation in Wigger und Tych 2003 und 2007 oberhalb und unterhalb der ARA der Region Zofingen nach dem schweizerischen Diatomeenindex (DI-CH).

#### **Saprobie**

Die Häufigkeitsverteilung der Kieselalgen auf die vier Differenzialartengruppen nach Lange-Bertalot [4] und Hofmann [7] bewertet die organische Belastung (Saprobie) an den drei Probenahmestellen (Figur 7). An der Stelle oberhalb der ARA-Einleitung hat seit 2003 eine leichte Verschiebung von der belastungstoleranten zur belastungssensiblen Artengruppe stattgefunden. Gleichzeitig ist aber auch die Häufigkeit der resistenten Artengruppe von 5.5% (2003) auf 10.8% (2007) gestiegen. Die Artenlisten beider Jahre sind zu zwei Dritteln identisch.

An der Stelle unterhalb der ARA-Einleitung ist der Anteil der resistenten Artengruppe ebenfalls leicht von 7.4% (2003) auf 9.3% (2007) ange-

stiegen. Die wichtigste Aenderung zwischen den beiden Untersuchungen erfolgte aber durch die starke Verschiebung der Häufigkeiten von der belastungstoleranten zur belastungssensiblen Artengruppe. Diese stieg von 25.3% (2003) auf 69.7% (2007) und somit deutlich über die geforderte 50%-Schwelle.



**Figur 7: Prozentuale Häufigkeit der Kieselalgen, die auf die Belastung mit organischen Stoffen hochsensibel (weiss), sensibel (hellgrau), tolerant (grau) und resistent (dunkelgrau) reagieren. Verglichen werden in Wigger und Tych die Stellen ober- und unterhalb der ARA der Region Zofingen 2003 und 2007.**

In ähnlichem Ausmass verschoben sich die Häufigkeiten zwischen den toleranten und sensiblen Artengruppen an der dritten Stelle, 1.3 km unterhalb der ARA-Einleitung. Hier stieg zwischen 2003 und 2007 der Anteil der sensiblen von 37.5% auf 60.1%.

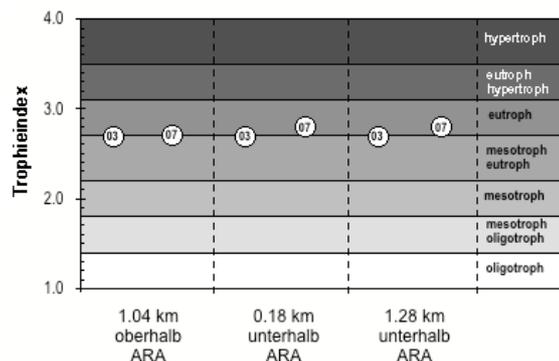
An beiden Stellen im Tych hat sich die organische Belastung zwischen 2003 und 2007 von der Gewässergütestufe II-III zur Stufe II verbessert. Damit würde der heutige Grad der organischen Belastung die ökologischen Ziele nach Anhang 1, Ziffer 1, Absatz 1b der GSchV erfüllen.

**Trophie**

In Bezug auf die Düngung mit anorganischen Nährstoffen unterscheiden sich die Ergebnisse beider Untersuchungen kaum. Der Trophical Diatom Index (TDI) liegt mit 2.7-2.8 in beiden Jahren im Grenzbereich zwischen der mesotrophen und eutrophen Stufe (siehe Figur 8). Damit ist die heutige Situation mit der von 2003 identisch.

Ein sichtbarer Düngungseinfluss der ARA der Region Zofingen ist bei beiden Untersuchungen nicht ersichtlich.

Daraus kann geschlossen werden, dass die Wigger und der Tych vor allem durch diffuse Belastungen mit Phosphor und Stickstoff aus ihrem Einzugsgebiet gedüngt sind.



**Figur 8: Trophical Diatom Index für die Summe des anorganischen Phosphors und Stickstoffs. Verglichen werden in Wigger und Tych die Stellen ober- und unterhalb der ARA der Region Zofingen 2003 und 2007.**

**5. Beurteilung des heutigen Zustandes.**

Die Anforderungen an die äusseren Merkmale sind in der Wigger und im Tych heute mehrheitlich eingehalten. Unterhalb der ARA der ERZO neigt der Tych zu leichter bis mässiger Schaumbildung. Der früher an beiden Tych-Stellen starke Einzellerbewuchs tritt heute nur noch in Spuren unmittelbar nach der ARA-Einleitung auf. Die entsprechende Anforderung (GSchV, Anhang 2, Ziffer 11, Absatz 1a) ist noch nicht ganz erfüllt. Dagegen sorgt die starke Beschattung in diesem Gewässerabschnitt dafür, dass der pflanzliche Bewuchs der Gewässersohle die entsprechende Anforderung (GSchV, Anhang 2, Ziffer 11, Absatz 1a) erfüllt.

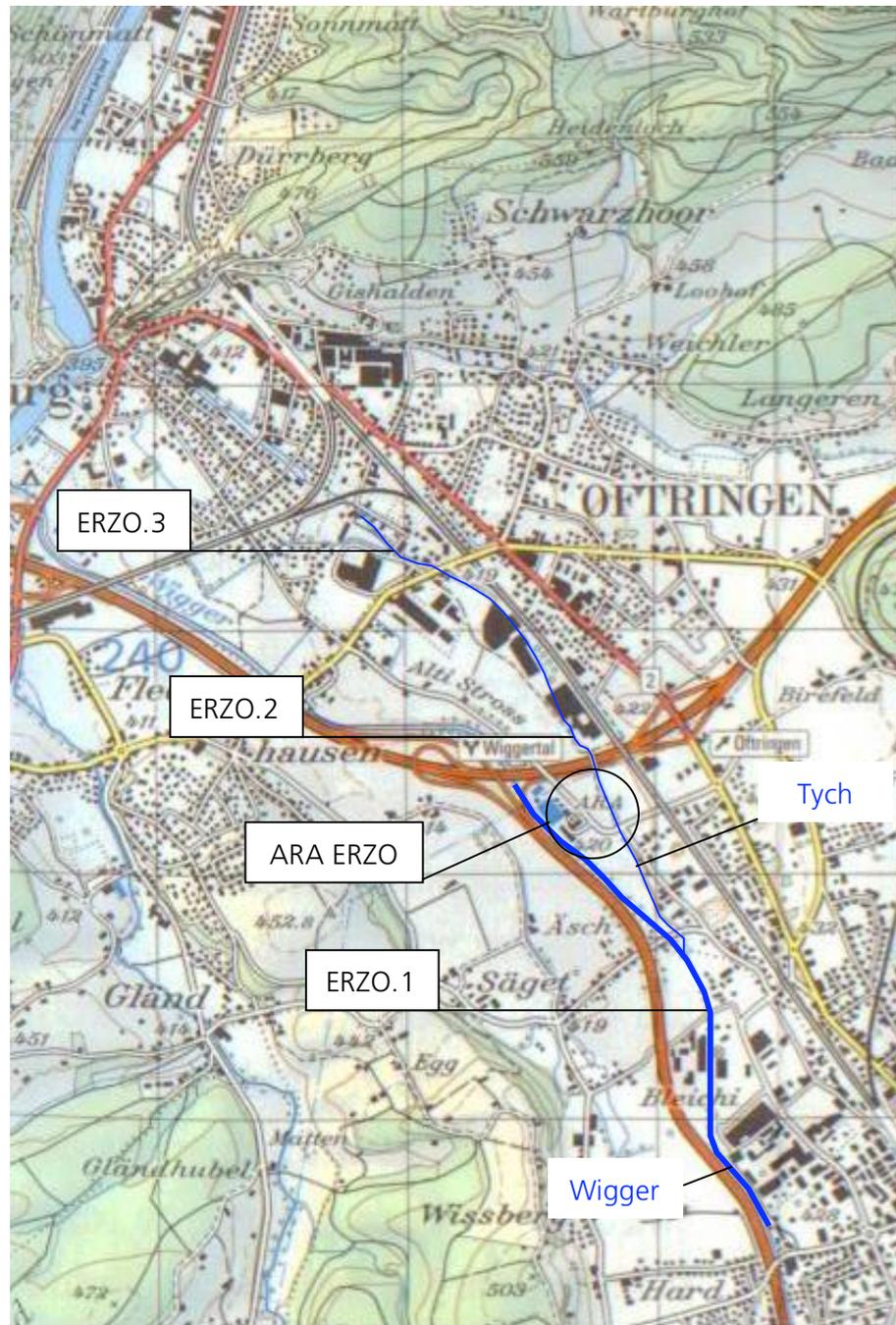
Gemäss der Kieselalgenuntersuchung erfüllt der Tych heute die gesetzten ökologischen Ziele bezüglich der organischen Belastung (GSchV, Anhang 1, Ziffer 1, Absatz 3c) und hinsichtlich der

stofflichen Gesamtbelastung (GSchV, Anhang 1, Ziffer 1, Absatz 1c). Dies war im Jahr 2003 nicht der Fall. Wigger und Tych sind mässig bis stark mit Phosphor und Stickstoff gedüngt, welche aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet eingeschwemmt werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die Sanierung der ARA der Region Zofingen (ERZO) der Zustand des Tych wesentlich verbessert wurde und die heutigen Anforderungen des qualitativen Gewässerschutzes weitgehend erfüllt.

## 6. 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.

**Anhang A1: Lage der Probenahmestellen und der ARA****Koordinaten:**

Stelle ERZO.1: 637.180 / 238.520

Stelle ERZO.2: 636.675 / 239.550

Stelle ERZO.3: 636.050 / 240.280

## Anhang A2: Daten der Kieselalgen (Untersuchung 2007)

ARA ERZO: Artenliste der Kieselalgen			
Taxa	Relative Häufigkeit [%]		
	1.04 km oberhalb ARA	0.18 km unterhalb ARA	1.28 km unterhalb ARA
<b>resistente Arten</b>	<b>10.8</b>	<b>9.3</b>	<b>12.0</b>
Achnanthes minutissima var. saprophila (KOBAYASI-MAYA.)	0.3	0.0	5.6
Gomphonema parvulum (KÜTZING)	0.3	0.6	0.7
Navicula atomus var. atomus (KÜTZING)	2.1	0.2	0.4
Navicula atomus var. permitis (LANGE-B.)	1.7	3.2	3.6
Navicula minima (GRUNOW in VAN HEURCK)	1.0	3.9	0.7
Navicula saprophila (LANGE-B.)	3.8	0.6	0.0
Navicula seminulum (GRUNOW)	0.0	0.7	0.0
Navicula subminuscula (MANGUIN)	1.0	0.0	0.9
Nitzschia palea (W. SMITH)	0.5	0.2	0.0
<b>tolerante Arten</b>	<b>22.6</b>	<b>20.9</b>	<b>27.9</b>
Amphora pediculus (GRUNOW)	11.6	13.5	21.0
Cocconeis placentula (EHRENBERG)	0.0	0.2	0.0
Cocconeis placentula var. euglypta	2.7	0.4	0.0
Cymbella minuta (HILSE ex RABENHORST)	0.3	0.0	0.0
Fragilaria capucina var. vaucheria (LANGE-B.)	0.0	0.0	0.2
Gomphonema olivaceum var. olivaceum (BREBISSON)	3.8	0.6	0.7
Navicula gregaria (DONKIN)	1.4	3.4	2.9
Navicula lanceolata (EHRENBERG)	0.0	0.0	0.2
Navicula tripunctata (BORY)	1.2	2.6	2.0
Navicula trivialis (LANGE-B.)	0.2	0.0	0.0
Nitzschia amphibia	0.3	0.0	0.4
Nitzschia paleacea (GRUNOW)	0.7	0.0	0.0
Rhoicosphenia abbreviata (LANGE-B.)	0.3	0.4	0.5
<b>sensible Arten</b>	<b>66.7</b>	<b>69.7</b>	<b>60.1</b>
Achnanthes atomus (HUSTEDT)	0.0	0.0	0.7
Achnanthes biasolettiana var. biasolettiana (GRUNOW)	0.0	0.0	1.1
Achnanthes biasolettiana var. subatomus (LANGE-B.)	0.0	0.0	1.8
Achnanthes eutrophila LANGE-B.	6.2	1.1	6.2
Achnanthes lanceolata (BRÉBISSON) GRUNOW ssp. Lanceolata	0.3	0.4	0.0
Achnanthes lanceolata ssp. frequentissima (LANGE-B.)	0.2	0.0	0.2
Achnanthes minutissima var. minutissima (KÜTZING)	14.4	3.0	4.9
Achnanthes saccula CARTER	0.3	0.0	0.0
Achnanthes straubiana LANGE-B.	0.3	0.0	0.4
Amphora inariensis KRAMMER	2.2	28.6	14.7
Caloneis bacillum (CLEVE)	1.5	4.7	1.1
Cocconeis pediculus (EHRENBERG)	0.3	0.0	0.0
Cocconeis placentula var. lineata (EHRENBERG) VAN HEURCK	0.0	0.0	1.1
Cymbella sinuata (GREGORY)	1.5	0.4	0.4
Diatoma problematica LANGE-BERTALOT	0.0	0.0	0.5
Diploneis oculata (BRÉBISSON) CLEVE	0.0	0.4	0.0
Fragilaria capucina var. rumpens	0.2	0.0	0.0
Gomphonema pumilum	6.0	0.2	1.1
Gomphonema tergestinum (FRICKE)	1.2	0.0	0.2
Navicula cryptotenella LANGE-B.	12.5	9.5	7.2
Navicula lenzii HUSTEDT	0.0	0.6	0.0
Navicula minuscula var. grunovii	0.0	0.4	0.0
Navicula reichardtiana var. reichardtiana (LANGE-B.)	7.4	1.7	1.4
Navicula saxophila (BOCK ex HUSTEDT)	0.0	0.0	2.4
Navicula subhamulata	0.0	0.9	0.0
Nitzschia dissipata var. dissipata (GRUNOW)	10.6	16.4	13.2
Nitzschia fonticola (GRUNOW in CLEVE&MÖLLER)	1.5	0.0	0.7
Simonsenia delognei (GRUNOW) LANGE-B.	0.0	1.5	0.7
Surirella brevisonii var. kuetzingii (KRAMMER&L.-B.)	0.0	0.0	0.2

**Anhang A3: Daten des Äusseren Aspektes (Untersuchung 2007)**

<b>Auswertungstabelle Äusserer Aspekt, heterotropher und pflanzlicher Bewuchs</b>			
Gewässer Stelle Datum	Wigger ERZO.1 25.9.2007	Tych ERZO.2 25.9.2007	Tych ERZO.3 25.9.2007
Lage	1.04 km oberhalb ARA	0.18 km unterhalb ARA	1.28 km unterhalb ARA
Verschlämmung	keine	keine	keine
unnatürliche Trübung	mittel	mittel	mittel
unnatürliche Verfärbung	keine	keine	keine
unnatürlicher Schaum	keine	mittel	wenig
Geruch	keine	kein	kein
Fundhäufigkeit von FeS-Flecken	13%	0%	0%
Stabw	1%	0%	0%
Maximalwert	5%	0%	0%
Minimalwert	0%	0%	0%
mittl. Bedeckung mit Ciliatenkolonien [%]	0%	0%	0%
Maximalwert	0%	5%	0%
Minimalwert	0%	0%	0%
Stabw	0.0	0.0	0.0
Häufigkeit heterotropher Bewuchs	0%	3%	0%
Algenbewuchsdichte T&S	1	1	0
Sohlendeckung mit Fadenalgen	<10%	<10%	<10%
Deckung einzelner KG mit Fadenalgen	<10%	<10%	<10%
Moose und Makrophyten T&S	1	1	0
Anzahl Steine auf denen die entsprechenden Makroinvertebratengefunden wurden			
Egel	0	0	0
Asellus	0	0	0
Gam	0	0	0
Bae	0	0	0
Ecd	0	0	0
Rhy	0	0	0
Trich-	0	0	0
Trich+	0	0	0
Plec	0	0	0
Chir	0	0	0
Sim	0	0	0
Olig	0	0	0
Col	0	0	0

## Anhang A4: Methoden

### 1. Beurteilung des „Äusseren Aspektes“

#### Schlamm, Trübung, Verfärbung, Schaumbildung, Geruch, Eisensulfidflecken

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 wurden 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.

Verschlämmung, 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
Beurteilungsklassen	viel	stark	stark	viel	stark	>25%
	wenig, mittel	leicht, mittel	leicht, mittel	wenig, mittel	leicht, mittel	≤25%
	kein	keine	keine	kein	kein	kein

Tab. 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 ablagert. 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 wurden 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 wurde 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 wurden 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.

#### Heterotropher Bewuchs

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

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.

*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 wurde die Häufigkeit der Steine mit sichtbaren Kolonien bestimmt.

	Beurteilungskriterien				
	het. Bewuchs	Algen-dichte	Algendeck-ung gesamt	Algendeck-ung 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

**Tab. 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).

### *Pflanzlicher Bewuchs*

Der pflanzliche Bewuchs wurde anhand der Algen, Moose und Makrophyten innerhalb der gesamten Bachsohlenfläche des jeweiligen Probenahmesektors beurteilt. Als Beurteilungskriterien dienten 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 worden.

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 Gewässer- sohle, ausbleibenden Hochwasserereignissen und fehlenden Herbivoren. Gewässer mit periodischem Geschiebetrieb, ausreichender Beschattung und einer normalen Besiedlung mit pflanzenfressenden Makrobenthos weisen auch bei stärkerer Nährstoffbelastung keine Pflanzenwucherungen auf, dagegen können 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.

## **2. 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 wurde die Gewässergüte hinsichtlich der stofflichen Gesamtbelastung nach dem Modul *Kieselalgen* (DI-CH) [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 wurden je ca. 10 cm<sup>2</sup> Algenaufwuchs abgeschabt. Das Algenmaterial wurde in ein kleines Plastikgefäß gegeben und mit Formaldehyd (3-4%) fixiert.

### *Verarbeitung der Kieselalgenproben*

Die im Feld mit Lugol fixierten Proben wurden im Labor zu mikroskopisch untersuchten Präparaten weiterverarbeitet. Zuerst wurden die Proben von grösseren Bestandteilen getrennt, dann mit Salzsäure entkalkt und durch eine Heissoxidation mittels Schwefelsäure und Kaliumnitrat von organischen Bestandteilen gereinigt. Anschliessend sind die Proben gewaschen und die suspendierten Silikatschalen auf 3 Konzentrationen verdünnt worden. Die Suspensionen wurden auf Deckgläser aufgetragen und getrocknet. Die Deckgläser mit den präparierten Schalen wurden auf einen Objektträger gebracht und in das brechungsintensive Kunstharz Naphrax (d = 1.73) eingebettet.

### *Bestimmung und Auszählung*

Aus je einem der Präparate wurden ca. 500 Schalen bis zur Art und wo erforderlich, bis zur Unterart bestimmt. Von jeder taxonomischen Einheit zählte man die einzelnen Individuen und ermittelte die relative Häufigkeit nach der Formel:

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

wobei N<sub>i</sub> die Anzahl gezählte Schalen der Art i und N die Gesamtzahl der gezählten Schalen einer Probe sind. Die erhaltenen Daten konnten zur Bestimmung des Kieselalgenindex DI-CH, der

Differentialartengruppen nach Lange-Bertalot [4] des Trophieindex nach Schiefele und Kohmann [6] weiter ausgewertet werden.

*Ermittlung des DI-CH*

Der Kieselalgenindex DI-CH wurde aus einer gesamtschweizerischen Auswertung chemisch-physikalischer, hydrografischer und Kieselalgen-Daten von Niederhauser und Hürlimann [2] für die Beurteilung der Gewässerqualität auf Stufe F entwickelt.

Er berechnet sich nach folgender Formel:

$$DI-CH = \frac{\sum_{i=1}^n D_i * G_i * H_i}{\sum_{i=1}^n G_i * H_i}$$

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	

**Tab. A3: Bewertung des Kieselalgenindex (DI-CH) anhand von 5 Zustandsklassen des Modulstufen-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 wurden die Gewässergüteklassen nach LAWA zugeordnet.

Gewässergütestufe		Prozentualer Anteil der Differentialartengruppen
I	<b>oligosprob</b> Unbelastet bis sehr gering belastet	hs ≥ 90% s + t + r ≤ 10%
I-II	<b>oligosprob – β- mesosaprob</b> gering belastet	hs ≥ 10% 50% ≤ s ≤ 90%
II	<b>β- mesosaprob</b> mässig belastet	hs ≤ 10% oder hs + s > 50% ; s ≥ 50% t + r < 50%
II-III	<b>β-α- mesosaprob</b> kritisch belastet	10% < hs + s < 50% 50% ≤ t + r < 90%
III	<b>α- mesosaprob</b> stark verschmutzt	hs + s ≤ 10% ; t ≥ 50% r < 50%
III-IV	<b>α- mesosaprob-polysaprob</b> sehr stark verschmutzt	10% < hs + s + t < 50% r ≥ 50%
IV	<b>polysaprob</b> übermässig verschmutzt	hs + s + t ≤ 10% ; r ≥ 90%

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

In neueren Untersuchungen, unter Berücksichtigung von Quellgewässern, haben HOFMANN [7] und REICHARDT [8] die Einteilung von Lange-Bertalot revidiert und um eine hochsensible Differentialartengruppe erweitert. Die revidierte Zuordnung der Gewässergüteklassen zu den Häufigkeitsverteilungen der 4 Differentialartengruppen wird in Tabelle A4 gezeigt. Sie wurde für diese Untersuchung übernommen.

*Ermittlung der Trophie*

Zur Indikation des Nährstoffgehaltes (Trophie) in Fließgewässern haben Schiefele und Kohmann [6] anhand einer chemischen Untersuchung und der Zusammensetzung der Kieselalgen-Gemeinschaft an 31 verschiedenen Fließgewässern in

Deutschland die artspezifischen Nährstoffpräferenzen von 105 Kieselalgenarten festgelegt.

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

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

Analog zum Saprobienindex von Zelinka und Marvan wird ein Trophieindex nach der folgenden Formel bestimmt.

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

$TDI_{PS}$  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 wurden in dieser Untersuchung mit dem kombinierten Index ermittelt. Die Bandbreite des Tropical Diatom Index wurde nach Tabelle A5 in 7 Trophiestufen unterteilt.