

Limnex AG  
Neumarktplatz 18  
*Limnologie* 5200 Brugg  
044 313 13 00  
*Gewässerökologie* info@limnex.ch  
www.limnex.ch  
*Hydrometrie*



## Sanierung von Schwall/Sunk im Kanton Zürich – Beschlossene Planung



Brugg, den 15. Dezember 2014

## Impressum

**Auftraggeber:** AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft  
Abteilung Wasserbau  
Sektion Gewässernutzung  
Walcheplatz 2  
8090 Zürich

**Auftragnehmer:** Limnex AG  
Neumarktplatz 18  
5200 Brugg



**Bearbeitung:** David Tanno (Limnex AG)  
Kurt Wächter (Limnex AG)

**Version:** 15. Dezember 2014 mit Integration Mühle Heiterthal (WR i0048) nach Rückmeldung BAFU gemäss Mail vom 16.02.2015 (Kap. 4.5/ 6.1/ 6.2/ 7.5)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Ausgangslage und Zielsetzung</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Vorhandene Datengrundlagen</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Ausscheidungsverfahren von schwallerzeugenden Kraftwerkszentralen ...</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Kein Schwall/Sunk im Sinne des GSchG</b> .....	<b>9</b>
<b>3.2 Prüfung Schwall/Sunk-Verhältnis</b> .....	<b>9</b>
3.2.1 Notausgang .....	10
3.2.2 Abkürzung .....	10
3.2.3 Sonderfälle .....	11
<b>4. Beurteilung der wesentlichen Beeinträchtigung</b> .....	<b>12</b>
<b>4.1 WR d0048 Horgen</b> .....	<b>12</b>
4.1.1 Kraftwerksbetrieb .....	12
4.1.2 Bewertete Indikatoren .....	12
4.1.3 Zusammenfassung .....	18
<b>4.2 WR f0031 Pilgersteg</b> .....	<b>19</b>
4.2.1 Kraftwerksbetrieb .....	19
4.2.2 Bewertete Indikatoren .....	19
4.2.3 Zusammenfassung .....	25
<b>4.3 WR f0084 Tiefenhof</b> .....	<b>26</b>
4.3.1 Kraftwerksbetrieb .....	26
4.3.2 Bewertete Indikatoren .....	26
4.3.3 Zusammenfassung .....	31
<b>4.4 WR f0066 Neutal</b> .....	<b>32</b>
4.4.1 Kraftwerksbetrieb .....	32
4.4.2 Bewertete Indikatoren .....	32
4.4.3 Zusammenfassung .....	37
<b>4.5 WR i0048 Mühle Heiterthal</b> .....	<b>38</b>
4.6.1 Kraftwerksbetrieb .....	38
4.6.2 Bewertete Indikatoren .....	38
4.5.3 Zusammenfassung .....	42
<b>4.6 WR h0043 Pfäffikon</b> .....	<b>44</b>
4.6.1 Kraftwerksbetrieb .....	44
4.6.2 Bewertete Indikatoren .....	44
4.6.3 Zusammenfassung .....	48
<b>5. Definitiv sanierungspflichtige und nicht sanierungspflichtige Kraftwerke</b>	<b>49</b>
<b>5.1 Definitiv nicht sanierungspflichtige Kraftwerke</b> .....	<b>49</b>
<b>5.2 Definitiv sanierungspflichtige Kraftwerke</b> .....	<b>50</b>
<b>6. Ökologisches Potenzial und Grad der Beeinträchtigung</b> .....	<b>51</b>
<b>6.1 Ökologisches Potenzial</b> .....	<b>51</b>
<b>6.2 Grad der Beeinträchtigung</b> .....	<b>53</b>
<b>7. Sanierungsmassnahmen</b> .....	<b>54</b>
<b>7.1 WR d0048 Horgen</b> .....	<b>54</b>
<b>7.2 WR f0031 Pilgersteg</b> .....	<b>55</b>
<b>7.3 WR f0084 Tiefenhof</b> .....	<b>57</b>
<b>7.4 WR f0066 Neutal</b> .....	<b>57</b>
<b>7.5 WR i0048 Mühle Heiterthal</b> .....	<b>58</b>
<b>7.6 WR h0043 Pfäffikon</b> .....	<b>58</b>
<b>8. Literaturverzeichnis</b> .....	<b>60</b>

<b>Anhang.....</b>	<b>62</b>
<b>Anhang 1: Berechnungsmethodik Schwall/Sunk-Verhältnis .....</b>	<b>62</b>
<b>Anhang 2: Bewertungsmethodik Indikatoren .....</b>	<b>63</b>
<b>Anhang 3: Untersuchungsstandorte .....</b>	<b>72</b>
<b>Anhang 4: Artenliste Makrozoobenthos .....</b>	<b>75</b>
<b>Anhang 5: Artenliste Kieselalgen .....</b>	<b>77</b>
<b>Anhang 6: Temperaturmonitoring in Zürcher Schwallstrecken.....</b>	<b>80</b>

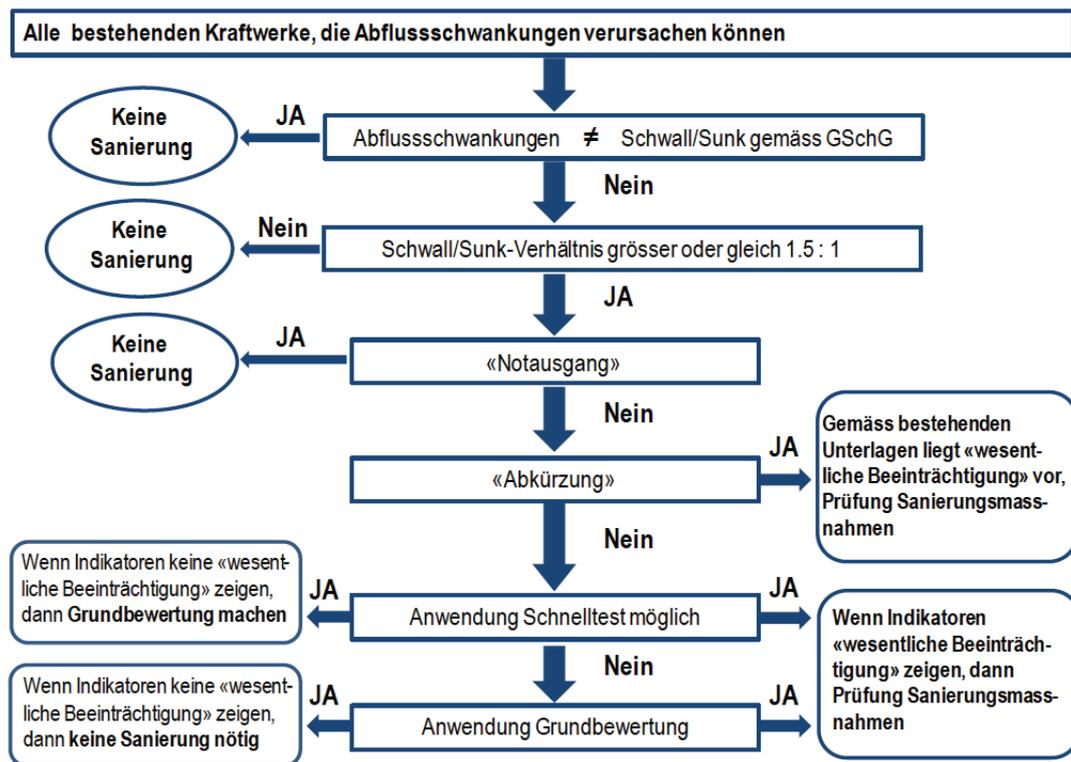
# 1. Ausgangslage und Zielsetzung

Seit dem 1.1.2011 ist das revidierte Gewässerschutzgesetz in Kraft. Neu wird in Art. 39a geregelt, dass schwallerzeugende Kraftwerksanlagen, welche eine wesentliche Beeinträchtigung im Gewässer verursachen, saniert werden müssen.

Im Rahmen der ersten Phase der von den Kantonen auszuführenden strategischen Planung im Bereich Schwall/Sunk, wurde vom Kanton Zürich ein Zwischenbericht erstellt (Limnex 2013). Der Zwischenbericht wurde zuhanden des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) eingereicht und beurteilt. An einer bilateralen Besprechung zwischen dem BAFU und dem Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) am 11.09.13 wurde der Zwischenbericht detailliert besprochen und Fragen im Hinblick auf den Schlussbericht geklärt. Die Anmerkungen und Änderungsvorschläge des BAFU zu den Beurteilungen der Kraftwerke sind detailliert im Sitzungsprotokoll und der offiziellen Stellungnahme des BAFU aufgeführt.

Ausgehend vom Feedback des BAFU erstellte die Limnex AG den Schlussbericht zur strategischen Planung im Bereich Schwall/Sunk gemäss Stellungnahme des BAFU. Der Zwischenbericht floss dabei massgeblich in den vorliegenden Schlussbericht ein und wurde durch neue Untersuchungen und Erkenntnisse ergänzt.

Das methodische Vorgehen orientiert sich am nachfolgend dargestellten Ablaufschema aus der Vollzugshilfe *Sanierung Schwall/Sunk - Strategische Planung* des BAFU (Abb. 1, Baumann et al. 2012):



**Abbildung 1:** Übersicht über die Bestimmung der wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall/Sunk im Rahmen der kantonalen Planung (übernommen aus Baumann et al. 2012).

## 2. Vorhandene Datengrundlagen

Folgende Grundlagen wurden für die Erstellung des Schlussberichts verwendet:

- Zwischenbericht Schwall/Sunk (Limnex 2013)
- Sitzungsprotokoll und Stellungnahme BAFU
- Stammdaten des AWEL zu technischen Kennzahlen der Anlagen
- Wasserrechtliche Konzessionen mit Nebenbestimmungen
- Angaben der Betreiber zu Betriebsweise der Anlagen
- Abflussdaten von kantonalen Messstellen
- Befischungsdaten der Jona (ALN)
- Geoportal des Kantons Zürich
- Geoportal des Bundes

### 3. Ausscheidungsverfahren von schwallerzeugenden Kraftwerkszentralen

Der Kanton Zürich erstellte eine Liste mit 13 Kraftwerken, die theoretisch Abflussschwankungen verursachen können. Auf Anregung des BAFU kamen für den Schlussbericht noch 15 weitere Anlagen dazu. Dabei handelt es sich um die 13 Anlagen der Aabach-Kette und um 2 Kraftwerke, die nach der Studie von Pfändler et al. (2012) potenziell Schwall/Sunk verursachen können. In Tabelle 1 sind die 28 möglicherweise schwallverursachenden Kraftwerke aufgelistet. Dabei wurden zum Teil aber auch Kraftwerke berücksichtigt, deren Abflussschwankungen nach dem GSchG nicht als Schwall/Sunk-Phänomen gelten. Sie wurden als nicht sanierungspflichtig ausgeschieden. Die im Sanierungsverfahren verbleibenden Kraftwerke wurden auf ihr Schwall/Sunk-Verhältnis geprüft. Kraftwerke, die ein Schwall/Sunk-Verhältnis  $< 1.5 : 1$  aufweisen, schieden als nicht sanierungspflichtig aus der weiteren Untersuchung aus. Bei allen anderen Werken waren vertiefte Abklärungen und Untersuchungen notwendig, um eine allfällige wesentliche Beeinträchtigung nachzuweisen oder auszuschliessen. Die Methodik zur Bestimmung des Schwall/Sunk-Verhältnisses orientierte sich am Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Hydrologie (Pfändler et al. 2011) und wird im Anhang detailliert beschrieben.

**Tabelle 1:** Liste der möglicherweise schwallerzeugenden Kraftwerkszentralen im Kanton Zürich mit Angaben zu Betreiber, Rückgabegewässer und Einzugsgebiet (EZG). Die mit ★ gekennzeichneten Werke gehören zur Kraftwerkskette in Kollbrunn, die mit \* gekennzeichneten Werke gehören zur Aabach-Kette (Abb. 2). Die mit 1 gekennzeichneten Kraftwerke verursachen gemäss Studie von Pfändler et al. (2012) potenziell Schwall/Sunk.

Kantonale-Nr.	Name der Zentrale	Betreiber	Rückgabegewässer	Einzugsgebiet
d0048	Horgen	Gemeindewerke Horgen	Aabach	Zürichsee
f0031	Pilgersteg	Andreas Rohrer	Jona	Zürichsee
f0084	Tiefenhof	Andreas Rohrer	Jona	Zürichsee
f0066	Neutal	Andreas Rohrer	Jona	Zürichsee
i0048	Mühle Heiterthal	Kunz Mühle Heiterthal AG	Bolsterenbach	Töss
h0043	Pfäffikon	Gemeindewerke Pfäffikon	Dorfbach	Pfäffikersee
c0008	Bonstetten	Gemeinde Bonstetten	Isenbach	Reppisch
i0100	Kollbrunn 1★	Bühler Hermann AG	Töss	Rhein
i0049	Kollbrunn 2★	AXPO Kleinwasserkraft	Töss	Rhein
h0035	Sennhof★	Bühler Hermann AG	Töss	Rhein
i0078	Leisental★	Bühler Hermann AG	Töss	Rhein
i0056	Klostermühle Töss	Unger & Gisler AG	Töss	Rhein
i0057	Niedertöss	Unger & Gisler AG	Töss	Rhein
c0065	Zwillikon <sup>1</sup>	Zwillikon Weiher AG	Jonen	Rheuss
d0100	Waldhalde <sup>1</sup>	EKZ	Sihl	Limmat
f0159	Schönau*	ADEV Energiegenossenschaft	Aa (Seeausfluss)	Greifensee
f0161	Dürsteler*	Dürsteler & Co. AG	Aabach	Greifensee
f0164	Floos*	ADEV Energiegenossenschaft	Aabach	Greifensee
f0165	Aathal*	ADEV Energiegenossenschaft	Aabach	Greifensee
f0167	Unter-Aathal*	Agensa AG	Aabach	Greifensee
g0031 a u. b	Trümppler*	Energie AG Uster	Aabach	Greifensee
g0038	BUAG*	Baumwollspinnerei Uster AG	Aabach	Greifensee
g0039	Zellweger*	Stadtverwaltung Uster	Aabach	Greifensee
g0042	Schliiffi*	Schliiffi AG	Aabach	Greifensee
g0043	Turicum*	Turicum Niederuster AG	Greifensee	Greifensee
g0115	Lenzlinger Söhne AG*	Lenzlinger Söhne AG	Aabach	Greifensee
f0155	Regulierwehr*	AWEL Kanton ZH	Aabach	Greifensee



**Abbildung 2:** Geografische Skizze zu den möglicherweise schwallverursachenden Kraftwerken im Kanton Zürich. Die Dreiecke markieren die Wasserrückgaben (rot: Kraftwerke, die im Rahmen der Schwall/Sunk-Abklärungen 2013-2014 untersucht wurden; schwarz: Anlagen der Aabach-Kette, die in einem separaten Bericht behandelt werden).

### 3.1 Kein Schwall/Sunk im Sinne des GSchG

Die folgenden Kraftwerke verursachen keinen Schwall/Sunk im Sinne des GSchG und werden als **nicht sanierungspflichtig** aus dem Verfahren ausgeschieden.

#### *Bonstetten (WR c0008)*

Bei dieser Anlage handelt es sich um einen reinen Schaubetrieb, der während Führungen an Wochenenden kurzzeitig in Betrieb ist. Nach Vollzugshilfe gilt das nicht als Schwall/Sunk im Sinne des GSchG, weshalb das Kraftwerk als **nicht sanierungspflichtig** aus dem Verfahren ausgeschieden wird.

#### *Kraftwerks-Kette Kollbrunn (WR i0100, i0049, i0078, h0035)*

Diese vier Kraftwerke bilden eine Kette, wobei das turbinierete Wasser von einem Kraftwerk zum nächsten weitergegeben wird. Das oberste Werk ist Kollbrunn 1, das unterste, welches das Triebwasser in die Töss zurückgibt, ist die Zentrale Leisental. Zwischen der Fassung Kollbrunn 1 und der Rückgabe Leisental befindet sich in der Töss noch eine weitere Fassung, die das Wasser des Zwischeneinzugsgebiets fasst. Da diese vier Anlagen als reine Laufkraftwerke betrieben werden scheiden sie als **nicht sanierungspflichtig** aus dem Verfahren aus.

#### *Klostermühle Töss, Niedertöss (WR i0056, i0057)*

Diese beiden Werke werden als reine Laufkraftwerke betrieben. Bei der Zentrale Klostermühle Töss wird das Wasser gefasst und in einem Unterwasserkanal an die Zentrale Niedertöss weitergeleitet. Dort erfolgt die Rückgabe in die Töss. Diese beiden Werke verursachen keinen Schwall/Sunk im Sinne des GSchG und werden als **nicht sanierungspflichtig** aus dem Verfahren ausgeschieden.

#### *Waldhalde (WR d0100)*

Das Kraftwerk Waldhalde verursacht gemäss der Studie von Pfaundler et al. (2012) potenziell Schwall/Sunk. Es wird jedoch als reines Laufkraftwerk betrieben. Der Speicher darf gemäss Konzession nicht genutzt werden. Das KW Waldhalde verursacht deshalb keinen Schwall/Sunk im Sinne des GSchG und wird als **nicht sanierungspflichtig** aus dem Verfahren ausgeschieden.

### 3.2 Prüfung Schwall/Sunk-Verhältnis

In Tabelle 2 sind die Abflussverhältnisse und daraus resultierende Schwall/Sunk-Verhältnisse ( $V_{S/S}$ ) für die verbleibenden Kraftwerke aufgelistet. Sie weisen alle ein Schwall/Sunk-Verhältnis  $> 1,5 : 1$  auf und müssen genauer untersucht werden. Einige Anlagen können jedoch aufgrund von bestehenden Datengrundlagen über die Abkürzung (Kap. 3.2.2) ohne weitere Untersuchungen als **sanierungspflichtig** eingestuft werden.

**Tabelle 2:** Abflussverhältnisse und das daraus resultierende Schwall/Sunk-Verhältnis ( $V_{S/S}$ ). Die mit \* gekennzeichneten Werke gehören zur Aabach-Kette.

Kantonale-Nr.	Name der Zentrale	Ausbauwassermenge [l/s]	Dotierung [l/s]	Sunk im Gewässer (Dotierung + $Q_{347}$ Zwischeneinzugsgebiet)	Schwall/Sunk-Verhältnis [-]
d0048	Horgen	240	2	16	16.0
f0031	Pilgersteg	1'500	66	266	5.9
f0084	Tiefenhof	2'130	30	32.4	66.7
f0066	Neutal	275	20	20	14.8
i0048	Mühle Heiterthal	60	7	7	9.57
h0043	Pfäffikon	350	-	26.1	14.4
f0159	Schönau*	1'800	0	0	> 1.5 : 1
f0161	Dürsteler*	2'700	0	0	> 1.5 : 1
f0164	Floos*	3'000	140	140	22.4
f0165	Aathal*	3'000	140	140	22.4
f0167	Unter-Aathal*	3'000	140	140	22.4
g0031 a u. b	Trümpfer*	2'600	140	140	19.6
g0038	BUAG*	3'500	150	150	24.3
g0039	Zellweger*	3'750	150	150	26.0
g0042	Schliiffi*	3'200	50	50	65.0
g0043	Turicum*	3'200	0	0	> 1.5 : 1
g0115	Lenzlinger Söhne AG*	4'000	0	0	> 1.5 : 1
f0155	Regulierwehr*	-	-	-	-

### 3.2.1 Notausgang

Die Möglichkeit des Notausgangs wurde für keine der aufgeführten Anlagen in Anspruch genommen.

### 3.2.2 Abkürzung

Die in Tabelle 1 aufgeführten 13 Anlagen, die zur Aabach-Kette gehören, werden hier als ein „Kraftwerk“ behandelt. Die Sanierungspflicht wurde durch detaillierte Untersuchungen 2010 schon ausgewiesen (Limnex & WFN 2010). In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Untersuchungen zusammenfassend dargestellt. Sie wurden nach den Vorgaben der Vollzugshilfe nachträglich aufbereitet. Genauere Details finden sich im Fachbericht von Limnex und WFN (2010). Die Daten zur Wassertemperatur liegen für einen ungenügend langen Zeitraum vor, weshalb deren Bewertung noch als provisorisch zu betrachten ist. Die Messungen werden fortgeführt.

**Tabelle 3:** Ergebnisse der Studie von Limnex & WFN (2010) nach Vollzugshilfe ausgewertet. Es wurden nicht alle 12 Indikatoren der Grundbewertung erhoben. \* Die Temperaturdaten werden seit Januar 2014 erhoben. Die Bewertung ist als provisorisch anzusehen.

Indikator	Wildbach oberhalb ARA Hinwil	1 Wildbach Hinwil	2 Wildbach unterhalb ARA	3 Aabach Seeausfluss	4 Aabach unterhalb ARA	5 Aabach Oberuster	6 Aabach Niederuster
<b>Fische</b>							
F1	gut		gut		unbefriedigend		gut
F4	sehr gut		unbefriedigend		unbefriedigend		unbefriedigend
F5		sehr gut	mässig	gut	mässig	schlecht	schlecht
<b>Benthos</b>							
B1							
B2		18	12	14	14	15	14
B3			6.4	6.83	5.01	4.6	5.21
B4		15	7	8	8	14	10
<b>Temperatur</b>							
Q1*				schlecht			

<span style="color: blue;">■</span>	sehr gut
<span style="color: green;">■</span>	gut
<span style="color: yellow;">■</span>	mässig
<span style="color: orange;">■</span>	unbefriedigend
<span style="color: red;">■</span>	schlecht

Für den gesamten Aabach ist ein Massnahmenkonzept erstellt worden, welches die verschiedenen Sanierungspflichten berücksichtigt und koordiniert. Die Koordination mit dem Bereich Fischgängigkeit ist dabei zentral. Diese Planung ist aber nicht Gegenstand dieses Berichts, sondern wird separat erstellt. Zur Zeit läuft die Geldbeschaffung für dieses Projekt. Die Sanierung wird als prioritär eingestuft. Die Umsetzungsfrist für die Sanierung wird deshalb auf das Jahr 2020 festgelegt.

### 3.2.3 Sonderfälle

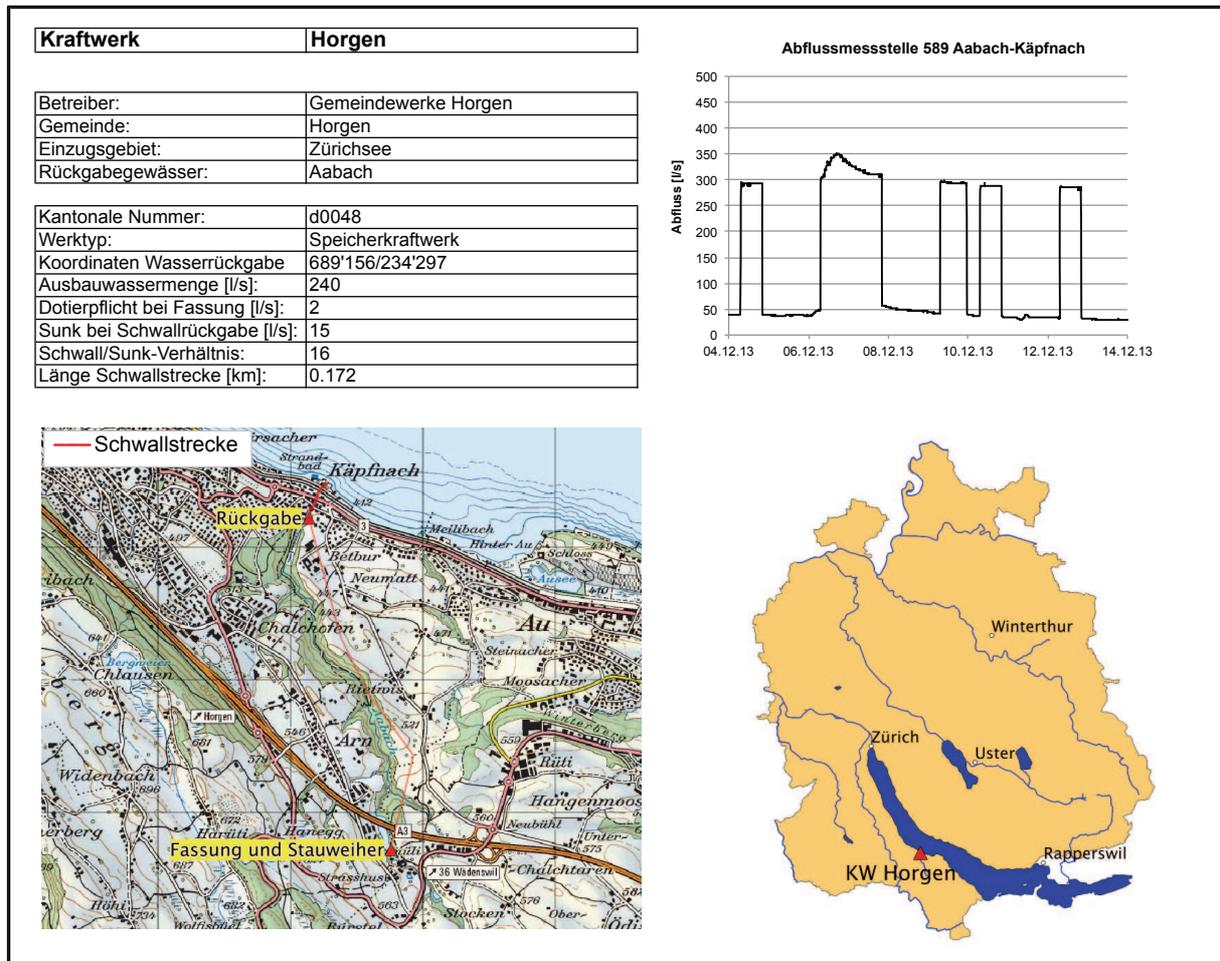
#### Zwillikon (WR c0065)

Dieses Kraftwerk ist wegen einer defekten Turbine seit über zwei Jahren nicht mehr in Betrieb. Der Betreiber, die Zwillikon Weiher AG, steht vor dem Konkurs und will die Anlage nicht weiter betreiben. Bis zum Ablauf der Sanierungsfrist wird dieses Kraftwerk nicht mehr existieren. Es ist geplant, dass Pro Natura den Speicherweiher übernimmt. Eine Wiederinbetriebnahme der Anlage wird ausgeschlossen. Deshalb ist dieses Kraftwerk als **nicht sanierungspflichtig** aus dem Verfahren auszuscheiden.

## 4. Beurteilung der wesentlichen Beeinträchtigung

Für die nunmehr noch verbleibenden Anlagen wurden Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden dokumentiert sind. Die detaillierte Beschreibung der Methodik findet sich in Anhang 2.

### 4.1 WR d0048 Horgen



#### 4.1.1 Kraftwerksbetrieb

Das Kraftwerk Horgen besitzt einen Speicherweiher mit einem Volumen von 78'000 m<sup>3</sup>. Dieser Weiher wird täglich bewirtschaftet, wie der Auszug der Abflussganglinie bei der Messstation Aabach-Käpfnach (ca. 90m unterhalb Wasserrückgabe) zeigt.

#### 4.1.2 Bewertete Indikatoren

##### Ökomorphologie

Die ganze Schwallstrecke, wie auch der untere Teil der Restwasserstrecke (unmittelbar vor der Wasserrückgabe), weisen eine stark beeinträchtigte bis naturferne Ökomorphologie auf. Der Böschungs-

fuss ist im grössten Teil der Schwallstrecke beidseits undurchlässig verbaut (betoniert). Weiter bachaufwärts bis zum Speicherweiher ist die Ökomorphologie hingegen wenig beeinträchtigt bis naturnah.

#### Wasserqualität

Der Diatomeen-Index Schweiz (DI-CH) nach Hürlimann & Niederhauser (2007; Zweiteichung) lag in der Restwasserstrecke bei 3.73 und in der Schwallstrecke bei 4.32. Beide Stellen liegen somit im mit „gut“ bewerteten Bereich (Zustandsklasse 2). Der Anteil von Arten mit Präferenz für O<sub>2</sub>-reiches Wasser lag in der Restwasserstrecke bei 12.2%, in der Schwallstrecke bei 32.8%. Der Anteil überschreitet 50% nicht, was zu einer zuverlässigeren Bewertung des DI-CH führt. Basierend auf den erhobenen Daten kann davon ausgegangen werden, dass es sich um ein unbelastetes Gewässer handelt.

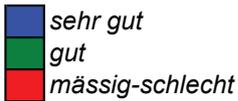
#### F2 - Stranden von Fischen

Am 06.02.14 wurde im Aabach ein Schwallmonitoring durchgeführt. Dabei wurde eine Multiparametersonde im Gewässer unterhalb der Rückgabestelle exponiert, welche die Parameter Pegel, Wassertemperatur und Trübung erfasste (Messintervall 1 Minute, vgl. Karte im Anhang). Die Turbine wurde regulär auf Vollast hoch- und nach 45 Minuten wieder heruntergefahren.

Die maximale Pegelrückgangrate lag bei 1.2 cm/min (Tab.4), weshalb dieser Teilindikator mit „mässig-schlecht“ bewertet wurde.

Das Schwallmonitoring wurde bei einem Sunkabfluss von 56 l/s durchgeführt. Dieser Abfluss ist viel grösser als der zu erwartende Niederwasserabfluss bei der Rückgabestelle (ca.15 l/s). Aufgrund der Kanalisierung betrug der geschätzte Anteil trockenfallender Flächen über den ganzen Abschnitt ca. 25%. Lokal fielen jedoch auch bis zu 50% trocken. Wir gehen davon aus, dass bei Niederwasser mehr als 30% der Gewässersohle trockenfallen. Aus diesem Grund wird auch dieser Teilindikator mit „mässig-schlecht“ beurteilt.

**Tabelle 4:** Bewertung des Indikators F2 – „Stranden von Fischen“ im Aabach Horgen.

	Aabach Horgen	
Pegelrückgangrate [cm/min]	-1.2	
Anteil trockenfallender Flächen [%]	> 30	
Anzahl gestrandeter Fische [Ind.]	-	
Gesamtbewertung		

Beide Teilindikatoren aggregiert, ergeben für diesen Indikator eine „mässig-schlechte“ Bewertung (Tab. 4).

#### F5 – Fischereiliche Produktivität

Das theoretische jährliche Ertragsvermögen (JHE) lag sowohl in der Schwallstrecke als auch in der Restwasserstrecke im unbefriedigenden Bereich und deutet auf ein ertragarmes Gewässer hin (Tab. 5). Wie die Ergebnisse bei Indikator B1 zeigen, unterscheiden sich die beiden Strecken kaum. Deshalb ist hier auch nicht der Schwallbetrieb für die Beeinträchtigung verantwortlich, sondern die Makrozoobenthosbiomasse, die nach Vuille (1997) auf ein ertragarmes Gewässer hindeutet sowie die stark beeinträchtigte Ökomorphologie. Dieser Indikator wird für die Beurteilung der Sanierungspflicht nicht berücksichtigt.

**Tabelle 5:** Bewertung des Indikators F5 – „Fischereiliche Produktivität“ im Aabach Horgen.

	Restwasserstrecke	Schwallstrecke
JHE [kg]	22	22
Bewertung		


#### B1 – Biomasse Makrozoobenthos

Die Makrozoobenthos-Beprobung erfolgte am 11.3.14 gemäss dem Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Makrozoobenthos. Es wurde eine Stelle in der Schwallstrecke und eine Referenzprobe in der Restwasserstrecke entnommen. Die Restwasserstrecke eignet sich aber nur bedingt als Referenz, da sie hydrologisch beeinflusst ist. Durch den Vergleich der beiden Proben wird der Schwalleinfluss auf die Wasserwirbellosenfauna nur eingeschränkt sichtbar.

Die Biomasse erreichte oder übertraf den höhenabhängigen Sollwert nach Jungwirth et al. (1980) an beiden Stellen. Der Indikator B1 wird daher mit „sehr gut“ bewertet (Tab. 6).

**Tabelle 6:** Bewertung des Indikators B1 – „Biomasse des Makrozoobenthos“ im Aabach Horgen.

	Restwasserstrecke	Schwallstrecke
Biomasse [g/m <sup>2</sup> ]	13	14
Sollwert Biomasse [g/m <sup>2</sup> ]	13	13
Bewertung		


#### B2 – Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Makrozoobenthos Stufe F

Der Index Biologique Schweiz (IBCH) liegt in der Restwasserstrecke bei 14, in der Schwallstrecke bei 8 (Tab. 7). Dieser deutliche Unterschied darf nur schwach gewichtet werden. Er kommt dadurch zustande, dass in der Schwallstrecke nur ein Individuum der Steinfliege *Brachyptera risi* (Familie Taeniopterygidae) gefunden wurde (in der Restwasserstrecke 4). Diese Art besitzt einen hohen Indikatorwert, wird für den IBCH allerdings erst ab drei gefundenen Individuen wirksam. Wären drei Tiere dieser Art gefunden worden, läge der IBCH in der Schwallstrecke bei 13 und würde ebenfalls mit „gut“ bewertet werden. Anhand dieses Indikators lässt sich keine wesentliche Beeinträchtigung der Wasserwirbellosenfauna begründen. Deshalb wird dieser Indikator nicht für die Gesamtbewertung berücksichtigt.

**Tabelle 7:** Bewertung des Indikators B2 – „MSK Modul Makrozoobenthos“ im Aabach Horgen.

	Restwasserstrecke	Schwallstrecke
IBCH	14	8
Bewertung		


### B3 – Längenzonation Makrozoobenthos

Die Schwallstrecke kann aufgrund des Gefälles und der Gewässerbreite dem Metarithral (untere Forellenregion) zugeordnet werden (Huet 1949). Der Längenzonationsindex (LZI) liegt an beiden Stellen im erwarteten Bereich (Abweichung  $\leq 0.25$  Einheiten). Ein Vergleich der beiden LZI-Werte zeigt, dass der Schwallbetrieb keine Rhithralisierung unterhalb der Wasserrückgabe bewirkt, wie sie in Schwallstrecken oft beobachtet wird (z. B. Cereghino et al. 2002). Der Indikator B3 wird daher mit „sehr gut“ bewertet (Tab. 8).

**Tabelle 8:** Bewertung des Indikators B3 – „Längenzonation“ im Aabach Horgen.

	Restwasserstrecke	Schwallstrecke	
Längenzonationsindex	4.22	4.13	
Sollwert (nach Huet 1949)	4 (Metarithral)	4 (Metarithral)	
Bewertung			<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: #0056b3; margin-right: 5px;"></span> <i>sehr gut</i></div> <div style="display: flex; align-items: center;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: #008000; margin-right: 5px;"></span> <i>gut</i></div> <div style="display: flex; align-items: center;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: #ffff00; margin-right: 5px;"></span> <i>mässig</i></div> <div style="display: flex; align-items: center;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: #ff8c00; margin-right: 5px;"></span> <i>unbefriedigend</i></div> <div style="display: flex; align-items: center;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: #ff0000; margin-right: 5px;"></span> <i>schlecht</i></div> </div>

### B4 – Eintags-, Stein- und Köcherfliegen Familien (EPT-Familien)

In der Restwasserstrecke wurden 9 EPT-Familien gefunden (Bewertung „gut“), in der Schwallstrecke 6 (Bewertung „mässig“). Die Arten, die in der Schwallstrecke fehlten, sind:

*Habrophlebia lauta* – Leptophlebiidae (Ephemeroptera)

*Ecdyonurus* sp. – Heptageniidae (Ephemeroptera)

*Leuctra* sp. – Leuctridae (Plecoptera)

Der deutliche Unterschied in der Anzahl EPT-Familien führen wir hauptsächlich auf den täglichen Schwallbetrieb zurück. Dieses Ergebnis wird auch durch die Beobachtung gestützt, dass sich das Artenspektrum der fädigen Algen ab der Wasserrückgabe deutlich verändert. Der Indikator B4 wird daher mit „mässig“ bewertet (Tab. 9).

**Tabelle 9:** Bewertung des Indikators B4 – „EPT Familien“ im Aabach Horgen.

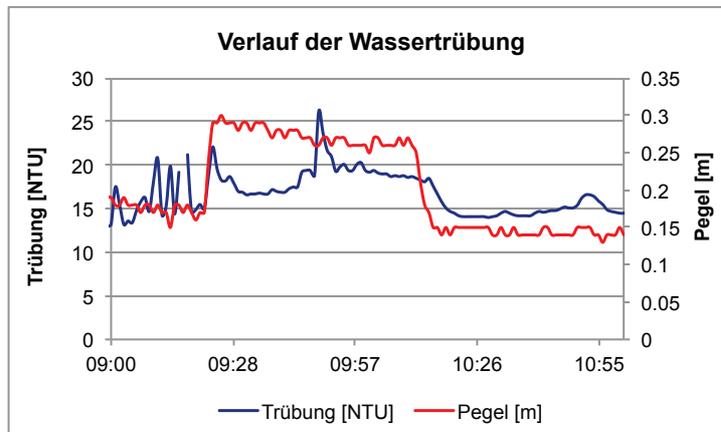
	Restwasserstrecke	Schwallstrecke	
Anzahl EPT-Familien	9	6	
Bewertung			<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: #0056b3; margin-right: 5px;"></span> <i>sehr gut</i></div> <div style="display: flex; align-items: center;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: #008000; margin-right: 5px;"></span> <i>gut</i></div> <div style="display: flex; align-items: center;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: #ffff00; margin-right: 5px;"></span> <i>mässig</i></div> <div style="display: flex; align-items: center;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: #ff8c00; margin-right: 5px;"></span> <i>unbefriedigend</i></div> <div style="display: flex; align-items: center;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: #ff0000; margin-right: 5px;"></span> <i>schlecht</i></div> </div>

### H1 – Innere Kolmation

Die innere Kolmation wurde mit drei verschiedenen Methoden bewertet. Die einzelnen Bewertungen wurden dann zu einem Kolmationswert aggregiert (Methodik siehe Anhang). Es zeigte sich, dass die innere Kolmation in der Schwallstrecke im Vergleich zur Restwasserstrecke leicht erhöht ist (Tab. 10). Es ist jedoch schwierig, die erhöhte Kolmation auf den Schwallbetrieb zurückzuführen, da auch natürlicherweise erhöhte Kolmation auftreten kann. Der Kolmationsindikator nach Schälchli (2002) ist in solchen Fällen oft erhöht und muss daher vorsichtig interpretiert werden.

Ein Trübstoffmonitoring während des oben erwähnten Schwallversuches zeigte, dass ein geringer Auswascheffekt beim Schwallanstieg stattfindet. Die mittlere Schwebstofffracht betrug 17 mg/l, mit einer maximal gemessenen Konzentration von 32 mg/l. Die Wassertrübung, gemessen in Nephelo-

metric Turbidity Units (NTU), betrug maximal 26 NTU, was einer sehr niedrigen Trübung entspricht (Abb. 3).



**Abbildung 3:** Verlauf der Wassertrübung in NTU (blaue Linie) und des Pegels (rote Linie) während des Schwallmonitorings am 06.02.14.

Aufgrund der erhobenen Daten wird die Kolmation in der Restwasserstrecke mit „mässig“ und in der Schwallstrecke mit „unbefriedigend“ bewertet. Da jedoch Zweifel bestehen, wie stark der Schwallbetrieb die Kolmation in diesem Gewässer beeinflusst, wird dieser Indikator für die Gesamtbewertung nicht verwendet.

**Tabelle 10:** Bewertung des Indikators H1 – „Innere Kolmation“ im Aabach Horgen. Die Methodik unterscheidet sich von der Vollzugshilfe.

	Restwasserstrecke	Schwallstrecke
Innere Kolmation (Schälchli 2002)	4	5
Innere Kolmation (Strohmeier et al. 2004)	4	4
Innere Kolmation (MSK Äusserer Aspekt)	2 (mittel)	2 (mittel)
Innere Kolmation aggregiert	mässig	unbefriedigend

■ sehr gut  
■ gut  
■ mässig  
■ unbefriedigend  
■ schlecht

#### A1 – Mindestabfluss

Der Sunkabfluss bei der Wasserrückgabe setzt sich aus dem dotierten Restwasser von 2 l/s und dem  $Q_{347}$  des Zwischeneinzugsgebiets (ZEG) zusammen und beträgt ca. 15 l/s. Das natürliche  $Q_{347}$  bei der Wasserrückgabe beträgt ca. 46 l/s (kleinste Zuflüsse mit  $Q_{347} < 1$  l/s nicht quantifizierbar). Somit müsste der Sunkabfluss gemäss Art. 31 Abs. 1 GSchG 50 l/s betragen. Da diese Vorgabe nicht erfüllt ist, wird der Indikator A1 mit „schlecht“ bewertet. Die Restwassersanierung nach Art. 80 GSchG wurde bei diesem Werk noch nicht vorgenommen.

**Tabelle 11:** Bewertung des Indikators A1 – „Mindestabfluss“ im Aabach Horgen.

	Aabach Horgen	
Sunk (inkl. $Q_{347}$ -ZEZG) [l/s]	ca. 15	<div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> gut <div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> schlecht
natürlicher $Q_{347}$ bei Rückgabe [l/s]	ca. 46	
Sunk gemäss GSchG Art. 31 [l/s]	50	
Bewertung		

#### Q1 – Temperatur

Es wurde je ein Temperaturlogger in der Restwasserstrecke und in der Schwallstrecke exponiert, welche die Wassertemperatur in einem Intervall von 10 Minuten aufzeichneten. Die Auswertung dieser Daten nach Dübendorfer et al. (2011) zeigte für die Schwallstrecke eine klare Beeinträchtigung an. Die grosse Temperaturänderungsrate (Tab. 12) zeigt, dass innerhalb kurzer Zeit starke Temperaturschwankungen auftreten. Da diese in der Restwasserstrecke ca. 40 m weiter flussaufwärts nicht auftreten, kann daraus geschlossen werden, dass sie durch Schwall/Sunk verursacht werden. Die geringe Restwasserführung dürfte zu einer starken Erwärmung der Wassertemperatur führen, die durch den Schwall innerhalb weniger Minuten wieder abgekühlt wird. Die Temperaturmessungen liegen jedoch erst für 7 Monate vor und sind daher noch als provisorisch zu betrachten.

**Tabelle 12:** Bewertung des Indikators Q1 – „Temperatur“ im Aabach Horgen.

	Restwasserstrecke	Schwallstrecke	
$TR_{\text{Schwall/Sunk}}$ [°C/h]	2.4	9.54	<div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> sehr gut <div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> gut <div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></div> mässig <div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></div> unbefriedigend <div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> schlecht
Korrekturfaktoren	-	-	
Bewertung			

### 4.1.3 Zusammenfassung

Anhand der erhobenen Daten wurden drei von neun Indikatoren mit „schlecht“ (F2, A1, Q1) und ein Indikator mit „mässig“ (B4) bewertet. Drei Indikatoren wurden aufgrund von methodischen Unsicherheiten nicht bewertet. Demnach verursacht das KW Horgen eine wesentliche Beeinträchtigung im Aabach und ist somit **sanierungspflichtig**. Die Sanierung dieses Kraftwerks wird als prioritär eingestuft.

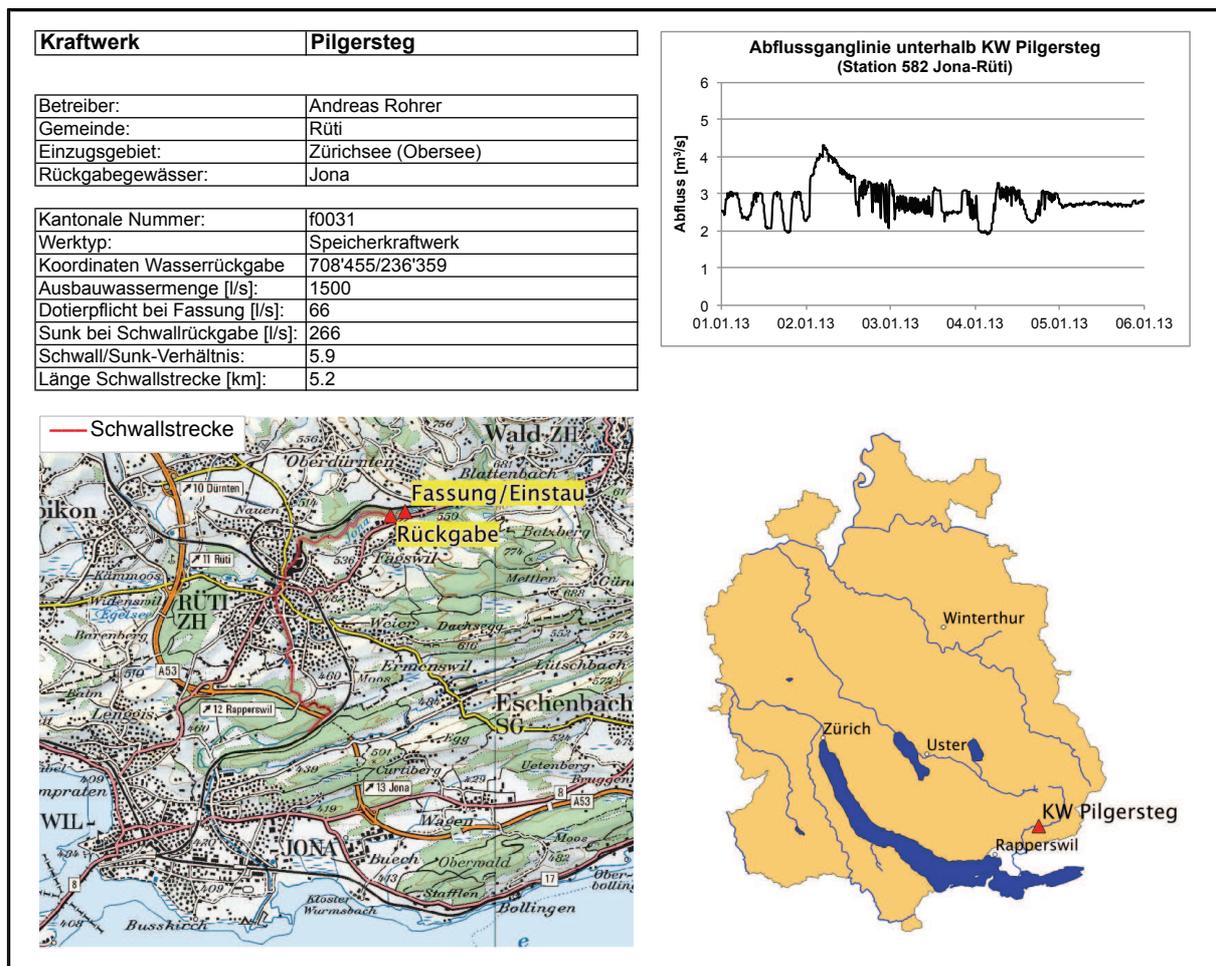
**Tabelle 13:** Zusammenfassung der Indikatorbewertungen für die Schwallstrecke im Aabach Horgen. Indikatoren, die für die Gesamtbewertung nicht berücksichtigt wurden, sind mit einem **X** gekennzeichnet.

Indikatoren	
F2 - Stranden von Fischen	
F5 - Fischereiliche Produktivität	x
B1 - Biomasse MZB	
B2 - MSK Modul MZB	x
B3 - Längenzonation MZB	
B4 - EPT-Familien	
H1 - Innere Kolmation	x
A1 - Mindestabfluss	
Q1 - Temperatur	

	sehr gut
	gut
	mässig
	unbefriedigend
	schlecht

**X** = Nicht bewertet

## 4.2 WR f0031 Pilgersteg



### 4.2.1 Kraftwerksbetrieb

Das Kraftwerk Pilgersteg besitzt eine Stauhaltung mit einem Stauvolumen von rund 57'000 m<sup>3</sup>. Das nutzbare Wasser wird über eine Druckleitung auf zwei Francisturbinen mit Ausbauwassermengen von 1'200 l/s resp. 300 l/s geleitet. Die 2012 erteilte Konzession schreibt vor, dass wenn der natürliche Abfluss es zulässt, die Turbinen mit 200 l/s im Dauerbetrieb zu laufen haben. Das Stapeln von Wasser und somit ein Schwall/Sunk-Betrieb ist jedoch weiterhin möglich. Besonders dann, wenn die grosse Turbine nicht genug ausgelastet ist, wird Wasser aufgestaut, um die volle Ausbauwassermenge auszunützen.

### 4.2.2 Bewertete Indikatoren

#### Ökomorphologie

Die Untersuchungen wurden im Tannertobel durchgeführt. Dabei handelt es sich um eine Schlucht mit naturnaher Ökomorphologie.

## Wasserqualität

Der Diatomeen-Index Schweiz (DI-CH) nach Hürlimann & Niederhauser (2007; Zweiteichung) lag in der Schwallstrecke bei 3.31 und liegt somit im sehr guten Bereich (Zustandsklasse 1). Der Anteil von Arten mit Präferenz für O<sub>2</sub>-reiches Wasser lag bei 15 %. Der Anteil überschreitet 50% nicht, was zu einer zuverlässigeren Bewertung des DI-CH führt. Basierend auf den erhobenen Daten kann davon ausgegangen werden, dass es sich um einen unbelasteten Gewässerabschnitt handelt.

### F1 – Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Fische Stufe F

Die Bewertung dieses Indikators basiert auf Befischungsdaten des Amtes für Landschaft und Natur (ALN), welche im Rahmen einer Nicht-Besatz-Kontrolle im Herbst 2012 erhoben wurden. Die Befischungstrecke lag ausgangs Tannertobel, ca. 1.3 km unterhalb der Wasserrückgabe. Die Ökomorphologie ist in diesem Abschnitt stark beeinträchtigt. Flussaufwärts befinden sich einige künstliche Abstürze (> 2m) mit betonierten Tossbecken.

Insgesamt wurden beim Befischungsdurchgang 230 Bachforellen pro Hektar gezählt. Weitere Arten wurden keine registriert. Aufgrund der Fischregion würde man aber Begleitarten der Bachforelle erwarten (z.B. Groppe, Schmerle oder Elritze). Sowohl die Gesamtdichte der Population als auch die Dichte an Sömmerlingen sind für das Mittelland zu gering. Deformationen oder sonstige Anomalien wurden keine festgestellt.

Die stark beeinträchtigte Ökomorphologie könnte hier massgeblich für das vorhandene Defizit verantwortlich gemacht werden. Aber auch die unnatürlichen Abflussschwankungen, welche durch den Kraftwerksbetrieb entstehen, können Mitverursacher sein.

Der Indikator F1 wird mit „unbefriedigend“ bewertet (Tab. 14).

**Tabelle 14:** Bewertung des Indikators F1 – „MSK Modul Fische Stufe F“ in der Jona unterhalb KW Pilgersteg.

Parameter	Punkte	Bewertung
1a) Artenspektrum	2	Massive Artreduktion
1b) Dominanzverhältnis	0	Dominanz der Indikatorart
2) Altersklassen/Reproduktion	4	sehr geringe 0+Dichte
3) Fischdichte	4	gering
4) Deformationen/Anomalien	0	keine
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>unbefriedigend</b>

### F2 - Stranden von Fischen

Am 19.02.14 wurde in der Jona ein Schwallmonitoring durchgeführt. Dabei wurden zwei Sonden im Gewässer exponiert, welche die Parameter Pegel, Wassertemperatur und Trübung erfassten (Messintervall 1 Minute, vgl. Karte im Anhang). Die obere Sonde befand sich 200 m unterhalb der Rückgabestelle, die untere ca. 1 km. Die Turbinen wurde regulär auf Volllast hoch- und nach 30 Minuten wieder heruntergefahren.

Die Pegelrückgangsrate lag an der oberen Stelle bei 0.83 cm/min und an der unteren Stelle bei 0.4 cm/min (Tab. 15). Die Schlucht hat somit einen dämpfenden Effekt auf den Schwallrückgang. Nach Vollzugshilfe liegt dieser Wert im guten Bereich. Aufgrund der natürlichen Morphologie scheint uns diese Bewertung hier aber zu optimistisch. Wie neuere Untersuchungen zeigen, sind auch Pegelrückgangsraten unter 0.5 cm/min problematisch (Schmutz et al. 2014). Diese Einschätzung wird auch durch das Stranden von zwei jungen Bachforellen im unteren Teil der Schlucht bestätigt (Tab. 15;

Abb. 4). Die Pegeländerungsrate bei der unteren Sonde wird deshalb nach Expertenmeinung mit „mässig-schlecht“ bewertet.

Der Anteil trockenfallender Flächen lag bei über 30 %. Die so simulierte Situation entsprach aber nicht den Gegebenheiten, wie sie durch die neue Konzession geregelt sind. Der eigentliche Sunkabfluss beträgt 266 l/s. Dieser setzt sich aus der Restwasserdotierung bei der Staumauer und dem Dauerbetrieb der Turbinen mit 200 l/s zusammen. Am Tag des Schwallmonitorings betrug der Sunk jedoch nur 66 l/s, da die Turbinen ganz abgestellt wurden. Bei einem Sunk von 266 l/s ist davon auszugehen, dass deutlich weniger Flächen trockenfallen. Deshalb wird dieser Teilindikator mit „gut“ bewertet.

Der Indikator F2 wird aufgrund der erhöhten Pegeländerungsraten mit „mässig-schlecht“ bewertet (Tab. 15).



**Abbildung 4:** Auf einer Kiesbank um unteren Teil der Schlucht (Tannertobel) gestrandete junge Bachforelle (0+).

**Tabelle 15:** Bewertung des Indikators F2 – „Stranden von Fischen“ in der Jona unterhalb KW Pilgersteg. \* Pegeländerungsrate nach Expertenmeinung bewertet (Abweichung von Bewertungsmethodik nach Vollzugshilfe).

	Pilgersteg oben	Pilgersteg unten	
Pegelrückgangrate [cm/min]	-0.83	-0.4*	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-bottom: 5px;"></div> sehr gut           <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-bottom: 5px;"></div> gut           <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> mässig-schlecht         </div>
Anteil trockenfallender Flächen [%]	< 30	< 30	
Anzahl gestrandeter Fische [Ind.]	1	2	
Gesamtbewertung			

#### F4 – Reproduktion der Fische

Mit 120 Bachforellen-Sömmerlingen pro Hektar kann die natürliche Reproduktion als „schlecht“ beurteilt werden (Tab. 16). Inwieweit der Schwallbetrieb dafür verantwortlich ist, lässt sich nicht beantworten, da die Befischung in einem Abschnitt mit stark beeinträchtigter Ökomorphologie durchgeführt wurde. Anhand dieses Indikators kann nicht mit Sicherheit eine Sanierungspflicht nachgewiesen werden.

**Tabelle 16:** Bewertung des Indikators F4 – „Reproduktion Fische“ in der Jona unterhalb KW Pilgersteg.

	Jona Pilgersteg	
Sömmerlinge pro Hektar	120	
Bewertung		 schlecht

 sehr gut

 gut

 mässig

 unbefriedigend

 schlecht

#### F5 – Fischereiliche Produktivität

Der theoretische Jahreshektarertrag (JHE) nach Vuille (1997) deutet im naturnahen Tannertobel auf ein produktives Fischgewässer hin (Tab. 17). Die naturnahe Ökomorphologie mit vielen Unterständen und Flachufeln würde das begünstigen. In der stark beeinträchtigten Strecke, in der die Abfischung 2012 durchgeführt wurde, beträgt der Jahreshektarertrag 42 kg/ha und liegt immer noch im guten Bereich. Die Ergebnisse der Abfischung decken sich nicht mit dem theoretischen JHE. Nach Vollzugshilfe ist der Indikator F5 aber mit „sehr gut“ zu bewerten.

**Tabelle 17:** Bewertung des Indikators F5 – „Fischereiliche Produktivität“ in der Jona unterhalb KW Pilgersteg.

	Jona Pilgersteg	
JHE [kg]	84	
Bewertung		 sehr gut

 sehr gut

 gut

 mässig

 unbefriedigend

 schlecht

#### B1 – Biomasse Makrozoobenthos

Das Makrozoobenthos wurde ca. 200m unterhalb der Wasserrückgabestelle beprobt. Die Biomasse betrug das doppelte des höhenabhängigen Sollwerts und ist mit „sehr gut“ zu bewerten (Tab. 18).

**Tabelle 18:** Bewertung des Indikators B1 – „Biomasse des Makrozoobenthos“ in der Jona unterhalb KW Pilgersteg.

	Jona Pilgersteg	
Biomasse [g/m <sup>2</sup> ]	21.6	
Sollwert Biomasse [g/m <sup>2</sup> ]	10.5	
Bewertung		 sehr gut

 sehr gut

 gut

 mässig

 unbefriedigend

 schlecht

#### B2 – Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Makrozoobenthos Stufe F

Der Index Biologique Schweiz (IBCH) lag mit einem Wert von 14 im guten Bereich (Tab. 19). Er ist durch genügend Tiere mit hohem Indikatorwert gut abgestützt und die Bewertung kann damit als zuverlässig betrachtet werden.

**Tabelle 19:** Bewertung des Indikators B2 – „MSK Modul Makrozoobenthos“ in der Jona unterhalb KW Pilgersteg.

	Jona Pilgersteg	
IBCH	14	
Bewertung		 gut

 sehr gut

 gut

 mässig

 unbefriedigend

 schlecht

### B3 – Längenzonation Makrozoobenthos

Anhand der abiotischen Parameter Gefälle, Gewässerbreite und Temperatur wird die untere Forellenregion (Metarhithral) erwartet. Der Längenzonationsindex (LZI) weicht nur um 0.16 Einheiten vom Erwartungswert 4.00 ab (Tab. 20). Der Indikator B3 wird deshalb nach Vollzugshilfe mit „sehr gut“ bewertet.

**Tabelle 20:** Bewertung des Indikators B3 – „Längenzonation“ in der Jona unterhalb KW Pilgersteg.

	Jona Pilgersteg	
Längenzonationsindex	4.16	
Sollwert (nach Huet 1949)	4 (Metarhithral)	
Bewertung		

### B4 – Eintags-, Stein- und Köcherfliegen Familien (EPT-Familien)

Die Anzahl EPT-Familien beträgt 9 und wird mit „gut“ bewertet (Tab. 21).

**Tabelle 21:** Bewertung des Indikators B4 – „EPT Familien“ in der Jona unterhalb KW Pilgersteg.

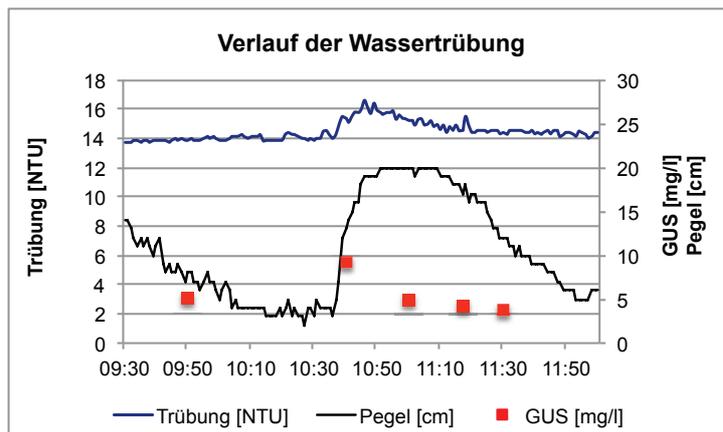
	Jona Pilgersteg	
Anzahl EPT-Familien	9	
Bewertung		

### H1 – Innere Kolmation

Die innere Kolmation lag in der Schwallstrecke, ca. 200 m unterhalb der Rückgabestelle, im mittleren Bereich. Im Vergleich zur Referenzstelle (oberhalb des KW Neutal) ohne Einfluss von Kraftwerken ist sie erhöht. Im Bereich der benetzten Sohle unterschied sie sich jedoch nur minim von der Referenzstelle (Tab. 22). Der Unterschied in der Bewertung ist einzig auf die Methode nach Schälchli (2002) zurückzuführen, die am Benetzungsrand erhoben wird. Die eher geringe Schwebstoffkonzentration von maximal 9 mg/l, die während des Schwallmonitorings gemessen wurde, deutet nicht auf eine schwallbedingte Kolmation hin (Abb. 5). Nach Vollzugshilfe liegt dieser Wert im guten Bereich. Auch wird die Wassertrübung durch den Schwall kaum erhöht. Sie liegt mit einem Maximum von 17 Nephelometric Turbidity Units (NTU), was praktisch klarem Wasser entspricht, ebenfalls im niedrigen Bereich.

**Tabelle 22:** Bewertung des Indikators H1 – „Innere Kolmation“ in der Jona unterhalb KW Pilgersteg. Die Methodik unterscheidet sich von der Vollzugshilfe.

	Referenzstelle	Jona Pilgersteg	
Innere Kolmation (Schälchli 2002)	1.5	3.5	
Innere Kolmation (Strohmeier et al. 2004)	3	3.5	
Innere Kolmation (MSK Äusserer Aspekt)	2 (mittel)	2 (mittel)	
Innere Kolmation aggregiert			



**Abbildung 5:** Verlauf der Wassertrübung in NTU (blaue Linie) und des Pegels (schwarze Linie), sowie der Schwebstoffkonzentration (Gesamte ungelöste Stoffe GUS, rote Vierecke) während des Schwallmonitorings am 06.02.14.

Der Indikator H1 wird gemäss Tabelle 22 mit „mässig“ bewertet. Aufgrund der verschiedenen Untersuchungen ist aber nicht von einer Beeinträchtigung der Gewässerorganismen durch die innere Kolonisation auszugehen.

#### A1 – Mindestabfluss

Durch den Dauerbetrieb der Turbinen mit 200 l/s erfüllt der Sunkabfluss die Anforderungen nach Art. 31 GSchG bei der Wasserrückgabe (Tab. 23). Der Indikator A1 wird mit „gut“ bewertet.

**Tabelle 23:** Bewertung des Indikators A1 – „Mindestabfluss“ in der Jona unterhalb KW Pilgersteg.

	Jona Pilgersteg
Sunk (inkl. $Q_{347}$ -ZEZG) [l/s]	200
natürlicher $Q_{347}$ bei Rückgabe [l/s]	190-200
Sunk gemäss GSchG Art. 31 [l/s]	143
Bewertung	

gut  
 schlecht

### 4.2.3 Zusammenfassung

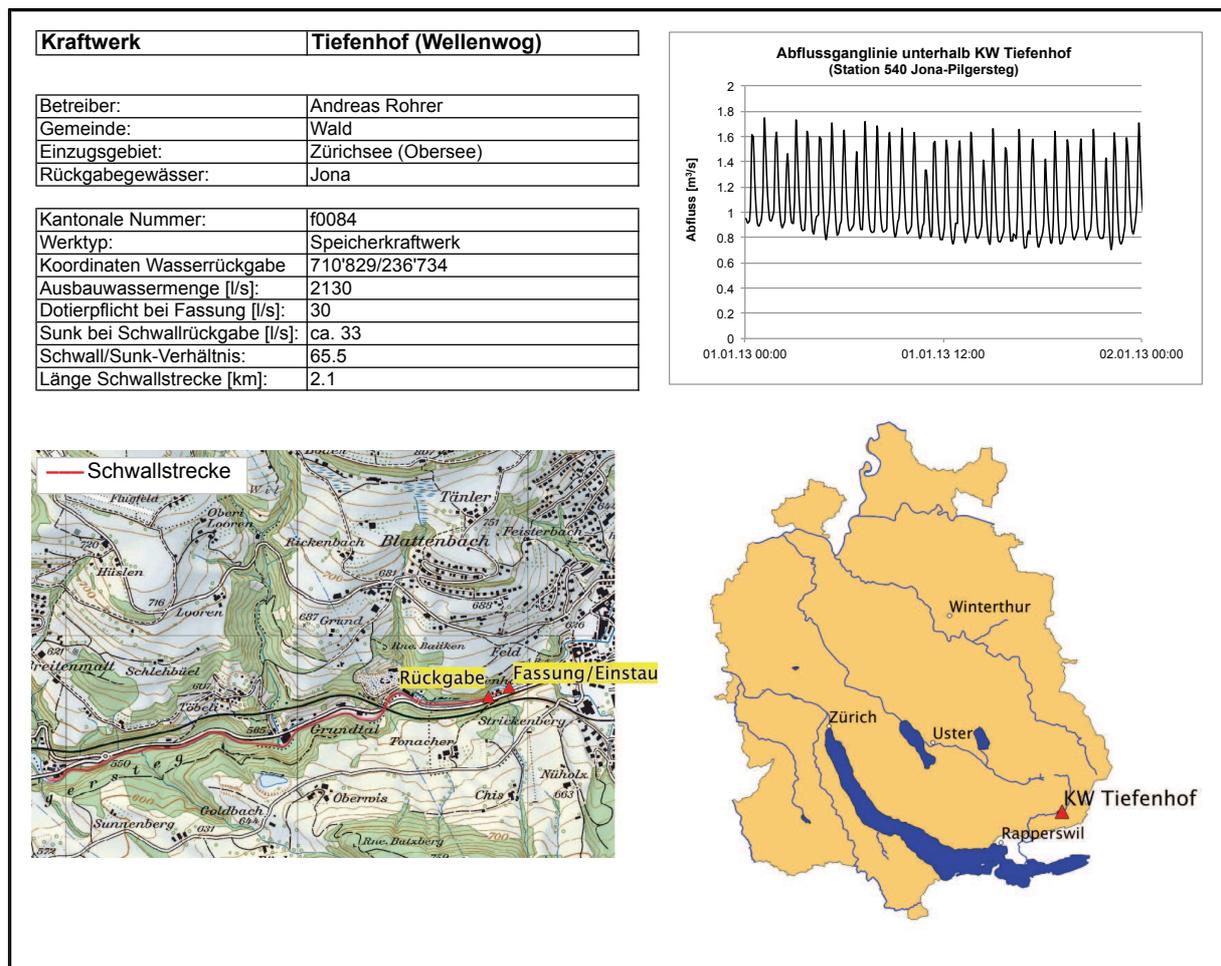
Das Kleinkraftwerk Pilgersteg ist aufgrund des schwallspezifischen Indikators F2 als **sanierungspflichtig** einzustufen (Tab. 24). Die Defizite bei den anderen Indikatoren (F1, F4, H1) können nicht mit Sicherheit auf den Schwallbetrieb zurückgeführt werden. Sie werden für die Gesamtbewertung nur schwach gewichtet. Die Sanierung wird bei diesem Kraftwerk als prioritär eingestuft.

**Tabelle 24:** Zusammenfassung der Indikatorbewertungen für die Schwallstrecke in der Jona unterhalb KW Pilgersteg.

Indikatoren	
F1 - MSK-Modul Fische	unbefriedigend
F2 - Stranden von Fischen	schlecht
F4 - Reproduktion Fische	schlecht
F5 - Fischereiliche Produktivität	sehr gut
B1 - Biomasse MZB	sehr gut
B2 - MSK Modul MZB	gut
B3 - Längenzonation MZB	sehr gut
B4 - EPT-Familien	gut
H1 - Innere Kolmation	mässig
A1 - Mindestabfluss	gut

	sehr gut
	gut
	mässig
	unbefriedigend
	schlecht

### 4.3 WR f0084 Tiefenhof



#### 4.3.1 Kraftwerksbetrieb

Das Kraftwerk Tiefenhof wird zur Zeit als Laufkraftwerk betrieben. Das Stapeln von Wasser wie ursprünglich angedacht ist nur sehr begrenzt möglich, da der Stauraum stark verlandet ist. Die Steuerung des Kraftwerks ist sehr alt und für den Betreiber schwierig zu regulieren. Es kommt immer wieder vor, dass die Steuerung beim Wechsel von der kleinen auf die grössere Turbine die Anlage abschaltet. Dadurch entstehen im Gewässer Abflussschwankungen, wie der Auszug der Abflussganglinie bei der kantonalen Messstelle Jona Pilgersteg zeigt (siehe Übersichtsdarstellung oben). Das Schwall/Sunk-Verhältnis überschreitet dabei oft den Grenzwert von 1.5 : 1.

#### 4.3.2 Bewertete Indikatoren

##### Ökomorphologie

Zwei Drittel der Schwallstrecke weisen eine stark beeinträchtigte bis naturferne Ökomorphologie auf. Der Rest liegt im Bereich „wenig beeinträchtigt“ bis „naturnah“. Die Untersuchungsstelle für Makrozoobenthos und das Schwallmonitoring liegt in einem stark beeinträchtigtem Abschnitt.

## Wasserqualität

Der Diatomeen-Index Schweiz (DI-CH) lag an der Untersuchungsstelle bei 3.35. Das entspricht der Zustandsklasse 1 und wird mit „sehr gut“ bewertet. Der Anteil von O<sub>2</sub>-reiches Wasser bevorzugenden Kieselalgen-Arten lag mit 34.8% unter 50%, weshalb die Bewertung des DI-CH als zuverlässig betrachtet wird. Basierend auf diesen Ergebnissen kann davon ausgegangen werden, dass es sich um einen unbelasteten Gewässerabschnitt handelt.

### F1 – Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Fische Stufe F

Für die Bewertung dieses Indikators wurden Befischungsdaten des Amtes für Landschaft und Natur (ALN) verwendet, die im Rahmen einer Nicht-Besatz-Kontrolle im Spätsommer 2012 erhoben wurden. Die Befischungstrecke lag ca. 1.7 km unterhalb der Rückgabestelle (500 m unterhalb Untersuchungsstandort Limnex). Die Daten wurden nach Schager & Peter (2004) ausgewertet.

Es zeigte sich, dass die Fischfauna von der erwarteten Artengemeinschaft, typspezifischen Altersstruktur und Abundanz abwich. Bei den Befischungen wurden nur Bachforellen gefangen. Aufgrund der Bioregion und der Höhenlage würde man aber noch weitere Arten, wie zum Beispiel Groppen erwarten. Auch die Dichte an Bachforellen-Sömmerlingen und die generelle Bachforellendichte sind für das Mittelland zu gering. Deformationen oder sonstige Anomalien wurden bei der Befischung nicht festgestellt. Der Indikator F1 wird daher mit „mässig“ bewertet (Tab. 25). Nach Einschätzung des zuständigen Fischereiaufsehers ist der Zustand unterhalb des Dorfes Wald schlecht.

Da die Ökomorphologie in der befischten Strecke naturnah ist, kann sie nicht direkt als Erklärung für die Beeinträchtigung herangezogen werden. Als Ursache kommen das Ausschwemmen von Sand, Schlamm und Geröll aus der Stauhaltung im April 2011 in Frage. Dieser Störfall hatte ein Fischsterben in der Jona unterhalb des Kraftwerks zur Folge. Dadurch wurde die Altersstruktur der Bachforellenpopulation verändert und die Naturverlaichung in der kolmatierten Flusssohle erschwert. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Geschiebeproblematik im Zusammenhang mit dem Kraftwerksbetrieb für die Beeinträchtigung mitverantwortlich ist. Ob und in welchem Ausmass die Abflussschwankungen, welche durch die mangelhafte Steuerung verursacht werden, die Fischpopulationen zusätzlich beeinträchtigen, lässt sich hier nicht beantworten, sicher aber sind solche Schwankungen sehr naturfern.

**Tabelle 25:** Bewertung des Indikators F1 – „MSK Modul Fische Stufe F“ in der Jona unterhalb KW Tiefenhof.

Parameter	Punkte	Bewertung
1a) Artenspektrum	2	Massive Artreduktion
1b) Dominanzverhältnis	0	Dominanz der Indikatorart
2) Altersklassen/Reproduktion	3	geringe 0+Dichte
3) Fischdichte	4	gering
4) Deformationen/Anomalien	0	keine
Total	<b>9</b>	<b>mässig</b>

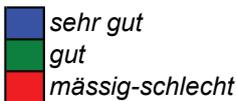
## F2 - Stranden von Fischen

Am 19.02.14 wurde in der Jona ein Schwallmonitoring durchgeführt. Dabei wurde eine Sonde im Gewässer unterhalb der Rückgabestelle exponiert, welche die Parameter Pegel, Wassertemperatur und Trübung erfasste (Messintervall 1 Minute, vgl. Karte im Anhang). Die Turbine wurde regulär auf Volllast hoch- und nach 30 Minuten wieder heruntergefahren.

Die maximale Pegelrückgangsrate lag bei 1.1 cm/min (Tab. 26). Bei Sunk fielen auf den Kiesbänken bis zu 50% der Fläche trocken. Wir erachten diese Stellen als potenzielle Strandungsflächen von Jungfischen.

Der Indikator F2 wird aufgrund der beiden Teilindikatoren mit „mässig-schlecht“ bewertet (Tab. 26).

**Tabelle 26:** Bewertung des Indikators F2 – „Stranden von Fischen“ in der Jona unterhalb KW Tiefenhof.

	Jona Tiefenhof	
Pegelrückgangsrate [cm/min]	-1.1	
Anteil trockenfallender Flächen [%]	> 30	
Anzahl gestrandeter Fische [Ind.]	-	
Gesamtbewertung		

## F4 – Reproduktion der Fische

Dieser Indikator ist ein Teilaspekt des Indikators F1 (s.o.). Die Dichte an Bachforellen-Sömmerlingen ist mit 542 Individuen pro Hektar für das Mittelland gering. Die natürliche Reproduktion der Bachforellen ist im untersuchten Abschnitt beeinträchtigt. Darum wurde dieser Indikator mit „unbefriedigend“ bewertet (Tab. 27).

**Tabelle 27:** Bewertung des Indikators F4 – „Reproduktion der Fische“ in der Jona unterhalb KW Tiefenhof.

	Jona Tiefenhof	
Sömmerlinge pro Hektar	542	
Bewertung		

## F5 – Fischereiliche Produktivität

Der Jahreshektarenertrag liegt mit 42 kg im sehr guten Bereich und deutet auf ein ertragreiches Fischgewässer hin (Tab. 28). Dieser theoretische Wert steht in starkem Kontrast zu der tatsächlich vorgefundenen Fischfauna. Diese ist je nach Einschätzung mässig bis stark beeinträchtigt (siehe F1).

**Tabelle 28:** Bewertung des Indikators F5 – „Fischereiliche Produktivität“ in der Jona unterhalb KW Tiefenhof.

	Jona Tiefenhof	
JHE [kg]	42	
Bewertung		

### B1 – Biomasse Makrozoobenthos

Die Biomasse übertraf in der Schwallstrecke den höhenabhängigen Sollwert nach Jungwirth et al. (1980) bei weitem (ca. 250% des Sollwertes). Der Indikator B1 wurde somit als „sehr gut“ bewertet (Tab. 29).

**Tabelle 29:** Bewertung des Indikators B1 – „Biomasse Makrozoobenthos“ in der Jona unterhalb KW Tiefenhof.

	Jona Tiefenhof	
Biomasse [g/m <sup>2</sup> ]	21.8	
Sollwert Biomasse [g/m <sup>2</sup> ]	8.7	
Bewertung		

### B2 – Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Makrozoobenthos Stufe F

Der Index Biologique Schweiz (IBCH) lag in der Schwallstrecke des KW Tiefenhof bei 14 und wird nach Stucki (2010) mit „gut“ bewertet (Tab. 30). Der IBCH bei der Referenzstelle, welche 5.6 km weiter flussaufwärts liegt (ca. 200 Höhenmeter Unterschied), erreichte den Wert von 13 und wird ebenfalls mit „gut“ bewertet. Somit ist kein negativer Einfluss durch den Kraftwerksbetrieb erkennbar.

**Tabelle 30:** Bewertung des Indikators B2 – „MSK Modul Makrozoobenthos“ in der Jona unterhalb KW Tiefenhof.

	Jona Tiefenhof	
IBCH	14	
Bewertung		

### B3 – Längenzonation Makrozoobenthos

Die Schwallstrecke kann anhand des Gefälles, der Breite und der Temperatur dem Metarhithral (untere Forellenregion) zugeordnet werden. Der erwartete Längenzonationsindex (LZI) würde für das Makrozoobenthos somit 4.00 betragen (Tab. 31). Der LZI in der Schwallstrecke weicht nur minimal vom Erwartungswert ab. Der Kraftwerksbetrieb scheint in diesem Fall keine Rhithralisierung des Makrozoobenthos zu bewirken. Der Indikator B3 ist deshalb mit „sehr gut“ zu bewerten.

**Tabelle 31:** Bewertung des Indikators B3 – „Längenzonation“ in der Jona unterhalb KW Tiefenhof.

	Jona Tiefenhof	
Längenzonationsindex	4.03	
Sollwert (nach Huet 1949)	4 (Metarhithral)	
Bewertung		

## B4 – Eintags-, Stein- und Köcherfliegen Familien (EPT-Familien)

Die Anzahl EPT-Familien lag bei 10 und wurde deshalb mit „gut“ bewertet (Tab. 32). An der Referenzstelle ohne Kraftwerkseinfluss wurden ebenfalls 10 EPT-Familien gefunden. Dieser Parameter ist somit durch den Kraftwerksbetrieb nicht beeinträchtigt.

**Tabelle 32:** Bewertung des Indikators B4 – „EPT-Familien“ in der Jona unterhalb KW Tiefenhof.

	Jona Tiefenhof	
Anzahl EPT-Familien	10	
Bewertung		



## H1 – Innere Kolmation

Der Vergleich der inneren Kolmation in der Schwallstrecke des KW Tiefenhof mit der Referenzstelle zeigt einen deutlichen Unterschied. Besonders die innere Kolmation nach Schälchli (2002) ist in der Schwallstrecke erhöht (Tab. 33). Dieser deutliche Unterschied ist aber mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die Störfälle zurückzuführen, bei denen Schlamm und Sand während Stunden aus der Stauhaltung eingetragen wurden und ein Fischsterben verursachten. Ein solcher Zwischenfall ereignete sich 2011 und 2013.

Ein Trübstoffmonitoring während des Schwalldurchganges am 19.2.14 zeigte, dass es nur einen geringen Auswascheffekt während des Schwallanstiegs gab. Die maximale Konzentration an ungelösten Stoffen (GUS) betrug 14 mg/l.

Es ist somit davon auszugehen, dass nicht der Schwallbetrieb, sondern hauptsächlich die Geschiebe-problematik zu der erhöhten Kolmation unterhalb des Kraftwerks führt.

**Tabelle 33:** Bewertung des Indikators H1 – „Innere Kolmation“ in der Jona unterhalb KW Tiefenhof.

	Referenzstelle	Jona Tiefenhof	
Innere Kolmation (Schälchli 2002)	1.5	3.5	
Innere Kolmation (Strohmeier et al. 2004)	3	4	
Innere Kolmation (MSK Äusserer Aspekt)	2 (mittel)	2 (mittel)	
Innere Kolmation aggregiert			



## A1 – Mindestabfluss

Das Restwasser wird bei diesem Kraftwerk durch ein Leck im Wehr „dotiert“. Es ist allerdings nicht quantifiziert, wie viel Wasser tatsächlich in die Restwasserstrecke gelangt. Laut Konzession besteht die Pflicht zur Dotation von 30 l/s. Das natürliche  $Q_{347}$  beträgt bei der Rückgabe ca. 194 l/s. Gemäss Art. 31 GSchG müsste der Sunk bei der Wasserrückgabe aber 145 l/s betragen, weshalb dieser Indikator mit „schlecht“ bewertet wird (Tab. 34). Unsicherheiten in der Bestimmung des  $Q_{347}$  müssen allerdings berücksichtigt werden. Ein niedrigeres  $Q_{347}$  würde aber an der Bewertung dieses Indikators nichts ändern, da nach Art. 31 GSchG mindestens 50 l/s dotiert werden müssten.

**Tabelle 34:** Bewertung des Indikators A1 – „Mindestabfluss“ in der Jona unterhalb KW Tiefenhof.

	Jona Tiefenhof	
Sunk (inkl. Q <sub>347</sub> -ZEZG) [l/s]	ca. 33	<div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> gut <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> schlecht
natürlicher Q <sub>347</sub> bei Rückgabe [l/s]	194	
Sunk gemäss GSchG Art. 31 [l/s]	145	
Bewertung		

### 4.3.3 Zusammenfassung

Das Kraftwerk Tiefenhof wird zur Zeit als Laufkraftwerk betrieben. Abflussschwankungen entstehen, wenn aufgrund des Zuflusses Turbinen zu- oder abgeschaltet werden. Die Untersuchungen zeigen, dass bei den Fischen in der Schwallstrecke grosse Probleme bestehen. Eine wichtige Komponente ist hier das Ausspülen von Feinsedimenten aus der Stauhaltung bei Hochwasserereignissen. Inwiefern der reguläre Betrieb der Anlage im heutigen Regime negative Folgen für die Fischfauna hat, kann mit den vorhandenen Grundlagen nicht schlüssig beantwortet werden. Hinsichtlich Makrozoobenthos besteht unter dem heutigen Betriebsregime (Laufbetrieb mit grossen Regulierungsschwankungen) offenbar keine Beeinträchtigung. Das Schwallmonitoring zeigte aber klar, dass im Falle eines Schwallbetriebes mit der heute gültigen Restwassermenge eine wesentliche Beeinträchtigung im Gewässer verursacht wird. Wir gehen davon aus, dass das Makrozoobenthos im Falle eines häufigen Schwallbetriebes beeinträchtigt wird.

Aufgrund von zwei mit „schlecht“ bewerteten Indikatoren (Tab.24) ist dieses Kraftwerk **sanierungspflichtig**. Die Sanierung wird als prioritär eingestuft.

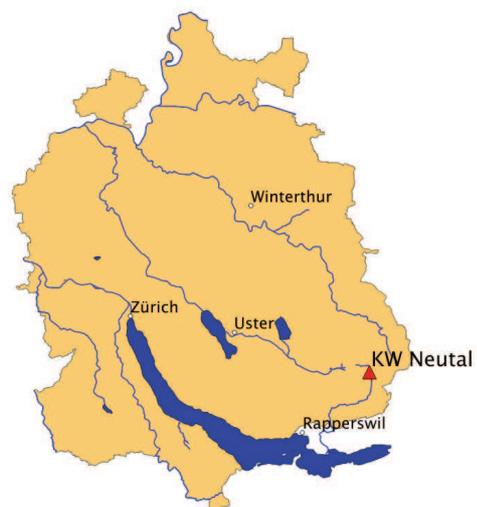
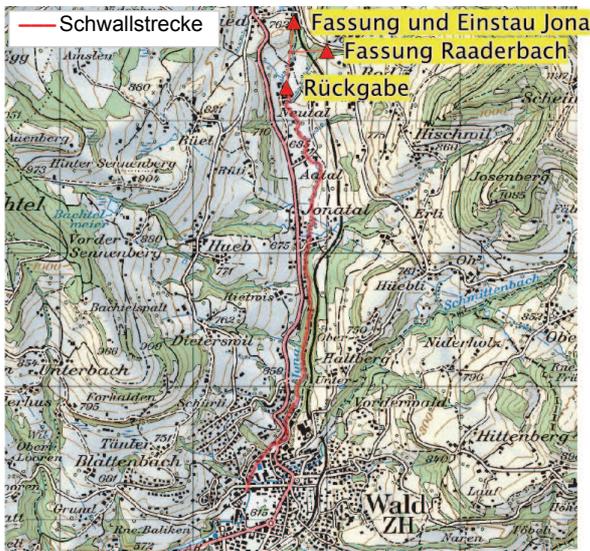
**Tabelle 35:** Zusammenfassung der Indikatorbewertungen für die Schwallstrecke in der Jona unterhalb KW Tiefenhof. Indikatoren, die für die Gesamtbewertung nicht berücksichtigt wurden, sind mit einem **X** gekennzeichnet.

Indikatoren	
F1 - MSK-Modul Fische	
F2 - Stranden von Fischen	
F4 - Reproduktion Fische	
F5 - Fischereiliche Produktivität	
B1 - Biomasse MZB	
B2 - MSK Modul MZB	
B3 - Längenzonation MZB	
B4 - EPT-Familien	
H1 - Innere Kolmation	<b>X</b>
A1 - Mindestabfluss	

**X** = Nicht bewertet

## 4.4 WR f0066 Neutal

Kraftwerk	Neutal
Betreiber:	Andreas Rohrer
Gemeinde:	Wald
Einzugsgebiet:	Zürichsee (Obersee)
Rückgabegewässer:	Jona
Kantonale Nummer:	f0066
Werktyp:	Speicherkraftwerk
Koordinaten Wasserrückgabe	711'689/240'230
Ausbauwassermenge [l/s]:	275
Dotierpflicht bei Fassung [l/s]:	20
Sunk bei Schwallrückgabe [l/s]:	20
Schwall/Sunk-Verhältnis:	14.7
Länge Schwallstrecke [km]:	4.0



### 4.4.1 Kraftwerksbetrieb

Dieses Kraftwerk wird zur Zeit als Laufkraftwerk betrieben. Die Turbine wird aus zwei Fassungen mit Wasser gespeist. Die eine ist eine Stauffassung in der Jona und die andere fasst das Wasser des Raaderbaches. Diese Fassung hat keine Möglichkeit zur Speicherung. Die Stauffassung ist stark verlandet und ein Stapeln von Wasser ist somit kaum möglich. Falls die Stauhaltung ausgebaggert würde, wäre ein Schwallbetrieb gemäss Konzession aber möglich.

### 4.4.2 Bewertete Indikatoren

#### Ökomorphologie

In der Schwallstrecke kommen alle Ökomorphologietypen von naturfern bis naturnah vor. Etwa 60 % der Schwallstrecke sind jedoch stark beeinträchtigt bis naturfern. Der Abschnitt, in welchem das Schwallmonitoring und die Makrozoobenthosbeprobung durchgeführt wurde, weist eine stark beeinträchtigte Ökomorphologie auf.

## Wasserqualität

Der Diatomeen-Index Schweiz (DI-CH) lag an der Untersuchungsstelle bei 2.76. Das entspricht der Zustandsklasse 1 und wird mit „sehr gut“ bewertet. Der Anteil von O<sub>2</sub>-reiches Wasser bevorzugenden Kieselalgen-Arten lag mit 9% unter 50%, weshalb die Bewertung des DI-CH als zuverlässig betrachtet wird. In der Referenzstelle lag der DI-CH bei 3.38 was ebenfalls der Zustandsklasse 1 entspricht. Basierend auf diesen Ergebnissen kann davon ausgegangen werden, dass es sich um einen unbelasteten Gewässerabschnitt handelt.

## F1 – Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Fische Stufe F

Für die Bewertung dieses Indikators wurden Befischungsdaten des Amtes für Landschaft und Natur (ALN) verwendet, die im Rahmen einer Nicht-Besatz-Kontrolle im Herbst 2012 erhoben wurden. Die Befischungstrecke lag ca. 2.7 km unterhalb der Rückgabestelle des KW Neutal. Die Daten wurden nach Schager & Peter (2004) ausgewertet. Die Ökomorphologie in der befischten Strecke ist wenig beeinträchtigt bis naturnah.

Aufgrund der Fischregion und der Höhenlage würde man auch in dieser Strecke zusätzliche Arten erwarten. Die Fischdichte ist hier allerdings höher als unterhalb des Dorfes Wald. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit der Erfahrung des zuständigen Fischereiaufsehers, wonach in diesem Abschnitt eine grössere Forellenpopulation vorkommt. Allerdings scheint es auch hier Probleme mit der Naturverlaichung zu geben, da der Anteil von 0+-Bachforellen an der Gesamtpopulation mit 37 % sehr klein ist. Inwieweit der heutige Betrieb des Kraftwerks dafür verantwortlich ist, kann hier nicht beantwortet werden.

Der Indikator F1 wird für den befischten Abschnitt mit „mässig“ bewertet (Tab. 36).

**Tabelle 36:** Bewertung des Indikators F1 – „MSK Modul Fische Stufe F“ in der Jona unterhalb KW Neutal.

Parameter	Punkte	Bewertung
1a) Artenspektrum	2	Massive Artreduktion
1b) Dominanzverhältnis	0	Dominanz der Indikatorart
2) Altersklassen/Reproduktion	4	0+ / >0+ kleiner als 0.40
3) Fischdichte	0	hohe Fischdichte
4) Deformationen/Anomalien	0	keine
Total	<b>6</b>	<b>mässig</b>

## F2 - Stranden von Fischen

Am 20.02.14 wurde in der Jona unterhalb des KW Neutal ein Schwallmonitoring durchgeführt. Dabei wurde eine Sonde im Gewässer unterhalb der Rückgabestelle exponiert, welche die Parameter Pegel, Wassertemperatur und Trübung erfasste (Messintervall 1 Minute, vgl. Karte im Anhang). Die Turbine wurde regulär auf Vollast hoch- und nach 10 Minuten wieder heruntergefahren. Da der Weiher sehr stark verlandet ist, konnte der Schwall nicht länger als 10 Minuten gefahren werden.

Die maximale Pegelrückgangsrage lag bei 0.64 cm/min (Tab. 37), weshalb dieser Teilindikator mit „mässig-schlecht“ bewertet wurde.

Bei Sunk fielen im Durchschnitt etwa 20% der benetzten Breite trocken. Das Schwallmonitoring wurde allerdings bei erhöhtem Basisabfluss durchgeführt. Bei minimalem Abfluss ist davon auszugehen, dass mehr als 30% der bei Schwall benetzten Flächen trockenfallen. Das ist sowohl vor als auch nach der Einmündung des Raaderbaches (anhand Einzugsgebietsgrösse geschätztes  $Q_{347} = 6 \text{ l/s}$ ) der Fall.

Flussabwärts kommen diverse kleinere Zuflüsse hinzu, deren  $Q_{347}$  schwer quantifizierbar ist. Je mehr Zuflüsse dazukommen, desto abgeschwächer wird der Schwall und desto weniger Flächen fallen bei Sunk trocken. Es ist aufgrund der Messdaten aber nicht möglich, genauere Aussagen zu machen, wo die Grenze des Schwalleinflusses liegt. Der Teilindikator „trockenfallende Flächen“ wird ebenfalls mit „mässig-schlecht“ bewertet.

Der Indikator F2 wird aufgrund der beiden Teilindikatoren mit „mässig-schlecht“ bewertet (Tab. 37).

**Tabelle 37:** Bewertung des Indikators F2 – „Stranden von Fischen“ in der Jona unterhalb KW Neutal.

	Jona Neutal
Pegelrückgangrate [cm/min]	-0.64
Anteil trockenfallender Flächen [%]	> 30
Anzahl gestrandeter Fische [Ind.]	-
Gesamtbewertung	

sehr gut

gut

mässig-schlecht

#### F4 – Reproduktion der Fische

Die Dichte an Bachforellen-Sömmerlingen liegt mit 1125 für das Mittelland im mässigen Bereich (Tab. 38). Die natürliche Reproduktion der Bachforellen ist in diesem Abschnitt beeinträchtigt. Ob dieses Ergebnis mit dem Kraftwerksbetrieb zusammenhängt, ist nicht klar. Aufgrund des heutigen Betriebsregimes ist jedoch nicht von einer Beeinträchtigung auszugehen.

**Tabelle 38:** Bewertung des Indikators F4 – „Reproduktion der Fische“ in der Jona unterhalb KW Neutal.

	Jona Schwallstrecke Neutal
Sömmerlinge pro Hektar	1125
Bewertung	

sehr gut

gut

mässig

unbefriedigend

schlecht

#### F5 – Fischereiliche Produktivität

Die fischereiliche Produktivität liegt in diesem Abschnitt im guten bis sehr guten Bereich. Für die Bewertung wurde ein Abschnitt mit stark beeinträchtigter Ökomorphologie verwendet, was in der Bewertung „gut“ resultierte. Im naturnahen Abschnitt der Schwallstrecke läge der theoretische Jahreshektarertrag im sehr guten Bereich.

**Tabelle 39:** Bewertung des Indikators F5 – „Fischereiliche Produktivität“ in der Jona unterhalb KW Neutal.

	Jona Neutal
JHE [kg]	34
Bewertung	

sehr gut

gut

mässig

unbefriedigend

schlecht

### B1 – Biomasse Makrozoobenthos

Die Biomasse erreichte in der Schwallstrecke  $22.6 \text{ g/m}^2$ , was ca. 340% des Sollwerts entspricht. Sie war jedoch kleiner als die Biomasse bei der Referenzstelle. Ob der Kraftwerksbetrieb für diesen Unterschied verantwortlich ist, lässt sich nicht feststellen. Der Indikator B1 ist mit „sehr gut“ zu bewerten (Tab. 40).

**Tabelle 40:** Bewertung des Indikators B1 – „Biomasse Makrozoobenthos“ in der Jona unterhalb KW Neutal.

	Referenzstelle	Jona Neutal
Biomasse [ $\text{g/m}^2$ ]	30.2	22.6
Sollwert Biomasse [ $\text{g/m}^2$ ]	6.2	6.7
Bewertung		

	sehr gut
	gut
	mässig
	unbefriedigend
	schlecht

### B2 – Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Makrozoobenthos Stufe F

Der Index Biologique Schweiz (IBCH) erreichte in der Schwallstrecke des KW Neutal einen Wert von 14 und wurde mit „gut“ bewertet. In der Referenzstelle, die ca. 800 m flussaufwärts liegt, erreichte der IBCH den Wert 13. Anhand dieses Indikators ist keine Beeinträchtigung des Makrozoobenthos festzustellen.

**Tabelle 41:** Bewertung des Indikators B2 – „MSK Modul Makrozoobenthos“ in der Jona unterhalb KW Neutal.

	Referenzstelle	Jona Neutal
IBCH	13	14
Bewertung		

	sehr gut
	gut
	mässig
	unbefriedigend
	schlecht

### B3 – Längenzonation Makrozoobenthos

Der Längenzonationsindex (LZI) zeigt für die Schwallstrecke die untere Forellenregion (Metarhithral) an (Tab. 42). Ab LZI-Werten kleiner als 3.5 wird die Biozönose allerdings der oberen Forellenregion zugeordnet. Die Untersuchungsstelle befindet sich also im Übergangsbereich zur oberen Forellenregion. Anhand der abiotischen Parameter ist ebenfalls eine Übergangszone zu erwarten. Das wird auch durch die Referenzprobe verdeutlicht, welche ca. 800 m weiter flussaufwärts genommen wurde und dem Epirhithral (obere Forellenregion) zugeordnet wird (LZI 3.25). Die Abweichung vom Sollwert beträgt in der Schwallstrecke somit 0.06 Einheiten.

Als zusätzlichen Indikator zur Bewertung der standortgerechten Zusammensetzung kann der Rhithron-Ernährungstypen-Index (RETI) nach Schweder (1992) herangezogen werden. Der RETI basiert auf der Zuordnung aller erfassten Wasserwirbellosen zu bestimmten Ernährungstypen. Es wird angenommen, dass in Bachoberläufen unter den Primärkonsumenten Weidegänger und Zerkleinerer dominieren. Für den RETI wird dabei der Anteil von Weidegängern und Zerkleinerern am gesamten Makrozoobenthos berechnet. Für rhithrale Gewässer werden Werte grösser 0.5 erwartet. Im Gewässerlauf nimmt der RETI jedoch ab. Der RETI lag in der Schwallstrecke bei 0.61, was die Dominanz von Weidegängern und Zerkleinerern anzeigt. Somit deutet nichts auf eine Störung der Biozönose hin.

Der Indikator B3 wird aus diesen Gründen mit „sehr gut“ bewertet.

**Tabelle 42:** Bewertung des Indikators B3 – „Längenzonation“ in der Jona unterhalb KW Neutal.

	Referenzstelle	Jona Neutal	
Längenzonationsindex	3.25	3.56	
Sollwert (nach Huet 1949)	3 (Epirithral)	3.5 (Übergang Meta- zu Epirithral)	
Bewertung			<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="background-color: blue; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></div> <i>sehr gut</i></div> <div style="background-color: green; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></div> <i>gut</i>

#### B4 – Eintags-, Stein- und Köcherfliegen Familien (EPT-Familien)

Die Anzahl EPT-Familien liegt mit 13 im sehr guten Bereich. Die Referenzstelle oberhalb der Fassung mit 10 EPT-Familien wird sogar übertroffen. Anhand dieses Indikators ist keine Beeinträchtigung zu erkennen.

**Tabelle 43:** Bewertung des Indikators B4 – „EPT-Familien“ in der Jona unterhalb KW Neutal.

	Referenzstelle	Jona Neutal	
Anzahl EPT-Familien	10	13	
Bewertung			<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="background-color: blue; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></div> <i>sehr gut</i></div> <div style="background-color: green; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></div> <i>gut</i>

#### H1 – Innere Kolmation

Die Bewertung der inneren Kolmation kann hier nicht abschliessend beurteilt werden, da die Erhebung der inneren Kolmation nach Schälchli (2002) in der Schwallstrecke nicht möglich war (Kanalisation). Im benetzten Bereich lässt sich kein Unterschied der Kolmation zwischen Schwall- und Referenzstrecke erkennen. Der Indikator H1 wird mit „gut“ bewertet.

**Tabelle 44:** Bewertung des Indikators H1 – „Innere Kolmation“ in der Jona unterhalb KW Neutal.

	Referenzstelle	Jona Neutal	
Innere Kolmation (Schälchli 2002)	1.5	-	
Innere Kolmation (Strohmeier et al. 2004)	3	3	
Innere Kolmation (MSK Äusserer Aspekt)	2 (mittel)	2 (mittel)	
Innere Kolmation aggregiert			<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="background-color: blue; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></div> <i>sehr gut</i></div> <div style="background-color: green; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></div> <i>gut</i>

#### A1 – Mindestabfluss

Bei der Fassung werden gemäss den Angaben des Betreibers 20 l/s dotiert. Beobachtungen vor Ort deuten aber darauf hin, dass diese Wassermenge oft unterschritten wird. Die Konzession schreibt keine Restwasserdotierung vor. Genauere Abklärungen zu diesem Sachverhalt sind noch notwendig. Da bis zur Rückgabestelle nur ein kleiner Zufluss hinzukommt, entsprechen die dotierten 20 l/s dem Sunkabfluss. Das natürliche  $Q_{347}$  bei der Rückgabe entspricht ca. 11 l/s. Gemäss Art. 31 GSchG ist dieser Sunkabfluss zu niedrig, weshalb der Indikator A1 mit „schlecht“ bewertet wird (Tab. 45).

**Tabelle 45:** Bewertung des Indikators A1 – „Mindestabfluss“ in der Jona unterhalb KW Neutal.

	Jona Neutal	
Sunk (inkl. Q <sub>347</sub> -ZEZG) [l/s]	20	
natürlicher Q <sub>347</sub> bei Rückgabe [l/s]	11	
Sunk gemäss GSchG Art. 31 [l/s]	50	
Bewertung		

#### 4.4.3 Zusammenfassung

Mit dem Schwallmonitoring wurde eine Situation simuliert, die im heutigen Betriebsregime nicht vorkommt, da das Kraftwerk wegen des verlandeten Speichers als Laufkraftwerk betrieben wird. Gemäss Konzession wäre die Nutzung des Speichers aber erlaubt. Es zeigte sich, dass bei einem allfälligen Schwallbetrieb eine wesentliche Beeinträchtigung für das Gewässer entstehen würde (vgl. Indikator F2). Es kann davon ausgegangen werden, dass ein regelmässiger Schwallbetrieb einen negativen Einfluss sowohl auf die Benthos- als auch auf die Fischfauna haben wird.

Im heutigen Betriebsregime zeigen alle biologischen Indikatoren (ausser F4) einen unbeeinträchtigten Zustand an.

Aufgrund von zwei mit „schlecht“ beurteilten Indikatoren, ist dieses Kraftwerk als **sanierungspflichtig** einzustufen (Tab. 46). Die Sanierung dieses Kraftwerks hat eine niedrige Priorität.

**Tabelle 46:** Zusammenfassung der Indikatorbewertungen für die Schwallstrecke in der Jona unterhalb KW Neutal.

Indikatoren	
F1 - MSK-Modul Fische	
F2 - Stranden von Fischen	
F4 - Reproduktion Fische	
F5 - Fischereiliche Produktivität	
B1 - Biomasse MZB	
B2 - MSK Modul MZB	
B3 - Längenzonation MZB	
B4 - EPT-Familien	
H1 - Innere Kolmation	
A1 - Mindestabfluss	

## 4.5 WR i0048 Mühle Heiterthal

Kraftwerk	Mühle Heiterthal
Betreiber:	Familie Kunz
Gemeinde:	Schlatt
Einzugsgebiet:	Töss
Rückgabegewässer:	Bolsterenbach
Kantonale Nummer:	i0048
Werktyp:	Mühle mit Speicherweiher
Koordinaten Wasserrückgabe	702'553/258'837
Ausbauwassermenge [l/s]:	60
Dotierpflicht bei Fassung [l/s]:	7
Sunk bei Schwallrückgabe [l/s]:	7
Schwall/Sunk-Verhältnis:	9.57
Länge Schwallstrecke [km]:	3.04



### 4.6.1 Kraftwerksbetrieb

Die Mühle Heiterthal ist kein Kraftwerk zur Stromproduktion. Es handelt sich um einen Mühlbetrieb, der das Wasser aus einem Speicherweiher für den Betrieb einer Turbine nutzt. Die maximale Ausbauwassermenge beträgt 60 l/s. Die Anlage verfügt aber über keinen Generator. Die Turbine unterstützt ein elektrisch betriebenes Mahlwerk. Dies ist nötig, weil für einen Betrieb des Mahlwerks nur mit Strom vom Netz der Netzanschluss zu schwach angelegt ist. Durch den Betrieb der Mühle findet im Bolsterenbach täglich Schwall/Sunk statt.

### 4.6.2 Bewertete Indikatoren

#### Ökomorphologie

Die Ökomorphologie des Bolsterenbachs reicht von naturfremd bis naturnah. Im Bereich der Probenahmestellen ist sie jedoch naturnah. Somit ist die Voraussetzung für die zuverlässige Bewertung der Makrozoobenthos-Indikatoren erfüllt.

#### Wasserqualität

Der Diatomeen-Index Schweiz (DI-CH) nach Hürlimann & Niederhauser (2007; Zweiteichung) lag sowohl bei der Referenzstelle oberhalb der Fassung als auch in der Schwallstrecke bei ca. 4.3. Beide Stellen liegen somit im mit „gut“ bewerteten Bereich (Zustandsklasse 2). Der Anteil von Arten mit Prä-

ferenz für O<sub>2</sub>-reiches Wasser lag in der Restwasserstrecke bei 4.4%, in der Schwallstrecke bei 18.4%. Der Anteil überschreitet 50% nicht, was zu einer zuverlässigeren Bewertung des DI-CH führt. Basierend auf den erhobenen Daten kann davon ausgegangen werden, dass es sich um ein unbelastetes Gewässer handelt.

Die Voraussetzung für die zuverlässige Bewertung der Makrozoobenthos-Indikatoren ist somit erfüllt.

## F2 - Stranden von Fischen

Am 04.02.14 wurde im Bolsterenbach ein Schwallmonitoring durchgeführt. Dabei wurden zwei Sonden im Gewässer unterhalb der Rückgabestelle exponiert, welche die Parameter Pegel, Wassertemperatur und Trübung erfassten (Messintervall 1 Minute, vgl. Karte im Anhang). Die Turbine wurde regulär auf Vollast hoch- und nach ca. 30 Minuten wieder heruntergefahren.

Die Pegelrückgangsrate überschreitet den Grenzwert von 0.5 cm/min nicht, weshalb dieser Teilindikator mit „gut“ bewertet wird (Tab. 47). Der Anteil trockenfallender Flächen betrug am Tag des Monitorings ca. 5 %. Dies ist auf den erhöhten Sunkabfluss von 50 l/s an diesem Tag zurückzuführen. In einer Niederwassersituation beträgt der Sunkabfluss aber lediglich 7 l/s (entspricht Restwasserdotierung). Es kann davon ausgegangen werden, dass bei 7 l/s mehr als 30 % der Sohle trockenfallen.

Für die Gesamtbewertung des Indikators wird der *worst case* verwendet. Der Indikator F2 wird deshalb mit „schlecht“ bewertet (Tab. 47).

**Tabelle 47:** Bewertung des Indikators F2 – Stranden von Fischen im Bolsterenbach.

	Bolsterenbach oben	Bolsterenbach unten
Pegelrückgangsrate [cm/min]	-0.5	-0.4
Anteil trockenfallender Flächen [%]	> 30	> 30
Anzahl gestrandeter Fische [Ind.]	-	-
Gesamtbewertung		

	sehr gut
	gut
	mässig-schlecht

## B1- Biomasse Makrozoobenthos

Die Biomasse erreichte oder übertraf den höhenabhängigen Sollwert nach Jungwirth et al. (1980) an beiden Stellen. Der Indikator B1 wird daher mit „sehr gut“ bewertet (Tab. 48).

**Tabelle 48:** Bewertung des Indikators B1 – Biomasse des Makrozoobenthos im Bolsterenbach.

	Referenzstelle	Schwallstrecke
Biomasse [g/m <sup>2</sup> ]	12.2	26.9
Sollwert Biomasse [g/m <sup>2</sup> ]	9.0	9.3
Bewertung		

	sehr gut
	gut
	mässig
	unbefriedigend
	schlecht

## B2- Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Makrozoobenthos Stufe F

Der Index Biologique Schweiz (IBCH) lag zwischen 12 und 14 (Tab. 49). In der Schwallstrecke erreichte er einen höheren Wert als in der Referenzstrecke. Das kann auf die etwas unterschiedliche Substratzusammensetzung der beiden Stellen zurückgeführt werden. In der Referenzstelle dominierte

lehmiger Untergrund, während in der Schwallstrecke Steine zwischen 5 und 20 cm dominierten. In der Schwallstrecke lässt sich anhand dieses Indikators keine Beeinträchtigung erkennen.

**Tabelle 49:** Bewertung des Indikators B2 – MSK Modul Makrozoobenthos im Bolsterenbach.

	Referenzstelle	Schwallstrecke
IBCH	12	14
Bewertung	mässig	gut

sehr gut

gut

mässig

unbefriedigend

schlecht

### B3 – Längenzonation Makrozoobenthos

Der Längenzonations-Index (LZI) nach Zelinka & Marvan (1961) zeigt an beiden Stellen die untere Forellenregion (Metharithral) an. Diese Fischregion wird aufgrund der Gewässerbreite und des Gefälles erwartet. Die Abweichungen des LZI vom Erwartungswert sind kleiner als 0.25 Einheiten, weshalb dieser Indikator mit „sehr gut“ bewertet wird (Tab. 50). Das Makrozoobenthos kann somit als standortgerecht eingestuft werden.

**Tabelle 50:** Bewertung des Indikators B3 – Längenzonation im Bolsterenbach. Metharithral = untere Forellenregion.

	Referenzstelle	Schwallstrecke
Längenzonationsindex	4.22	3.99
Sollwert (nach Huet 1949)	4 (Metharithral)	4 (Metharithral)
Bewertung	sehr gut	sehr gut

sehr gut

gut

mässig

unbefriedigend

schlecht

### B4 – Eintags-, Stein- und Köcherfliegen Familien (EPT-Familien)

Die Schwallstrecke liegt mit 13 gefundenen EPT-Familien im mit „sehr gut“ bewerteten Bereich (Tab. 51). Dass in der Referenzstelle weniger Familien gefunden wurden, kann mit dem lehmigen Untergrund erklärt werden. Es ist aus der Literatur bekannt, dass ein lehmiger bzw. siltiger Untergrund generell nicht das bevorzugte Substrat von vielen EPT-Arten darstellt (Gore et al. 2001).

**Tabelle 51:** Bewertung des Indikators B4 – EPT Familien im Bolsterenbach.

	Referenzstelle	Schwallstrecke
Anzahl EPT-Familien	10	13
Bewertung	gut	sehr gut

sehr gut

gut

mässig

unbefriedigend

schlecht

### H1 – Innere Kolmation

Die Bewertung der inneren Kolmation ist aufgrund der unterschiedlichen Substratzusammensetzung an der Referenzstelle und in der Schwallstrecke schwierig und sollte vorsichtig interpretiert werden. Sie scheint aber nicht durch den Schwallbetrieb erhöht zu sein. Da die Sachlage bei diesem Indikator unklar ist, wird er für die Gesamtbewertung nicht berücksichtigt.

**Tabelle 52:** Bewertung des Indikators H1 – „Innere Kolmation“ im Bolsterenbach.

	Referenzstelle	Schwallstrecke
Innere Kolmation (Schälchli 2002)	-	-
Innere Kolmation (Strohmeier et al. 2004)	5	4
Innere Kolmation (MSK Äusserer Aspekt)	2 (mittel)	2 (mittel)
Innere Kolmation aggregiert		

### A1 – Mindestabfluss

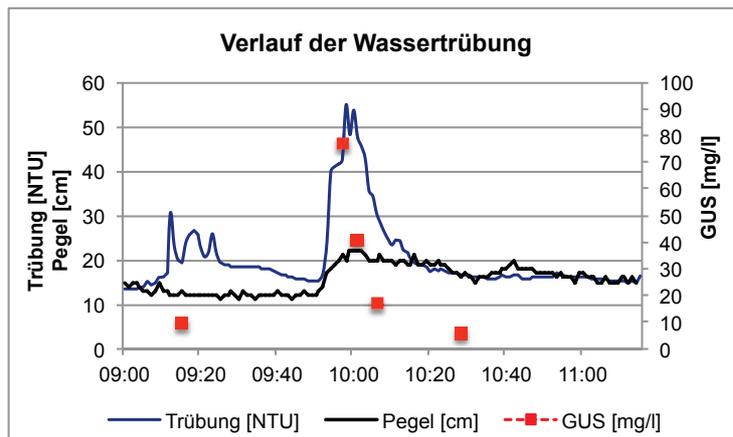
Der Mindestabfluss prüft, ob der Sunkabfluss den Anforderungen von Art. 31-33 GSchG entspricht oder nicht. Dabei wird nicht die Restwassermenge bei der Fassung bewertet, sondern der Sunkabfluss bei der Wasserrückgabe. Da zwischen der Fassung und der Wasserrückgabe keine Zuflüsse hinzukommen entspricht der Sunkabfluss in einer Niederwassersituation dem dotierten Restwasser von 7 l/s. Das natürliche  $Q_{347}$  beträgt bei der Wasserrückgabe ca. 15 l/s (Daten AWEL). Gemäss Art. 31 GSchG müsste der Sunkabfluss 50 l/s betragen. Die Anforderungen des GSchG sind somit nicht erfüllt. Der Indikator A1 wird deshalb mit „schlecht“ bewertet (Tab. 53).

**Tabelle 53:** Bewertung des Indikators A1 – Mindestabfluss im Bolsterenbach.

	Bolsterenbach	
Sunk (inkl. $Q_{347}$ -ZEZG) [l/s]	7	<div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> gut <div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> schlecht
natürlicher $Q_{347}$ bei Rückgabe [l/s]	15	
Sunk gemäss GSchG Art. 31 [l/s]	50	
Bewertung		

### Wassertrübung

Der Verlauf der Wassertrübung und der Schwebstoffkonzentration ist in Abbildung 6 abgebildet. Beim Schwallanstieg gab es einen kurzen Auswascheffekt, mit einer maximalen Schwebstoffkonzentration von 77 mg/l und einer maximalen Trübung von 55 NTU (Nephelometric Turbidity Units). Diese Trübungsspitze dauerte jedoch nur wenige Minuten. Nach Newcombe & Jensen (1996) stellt dieser Trübungsspeak keine Gefährdung für Forellen dar.



**Abbildung 6:** Verlauf der Wassertrübung und der Schwebstoffkonzentration während des Schwallversuches am 04.02.14. Die schwarze Linie zeigt den Verlauf des Pegels, die blaue Linie den Verlauf der Wassertrübung in Nephelometric Turbidity Units (NTU, gemessen von einer Trübungssonde). Die roten Punkte zeigen die gemessene Schwebstoffkonzentration (Gesamte ungelöste Stoffe GUS) in mg/l.

#### Q1 – Temperatur

Die Bewertung des Temperaturmoduls nach Dübendorfer et al. (2011) ergibt einen guten Zustand in der Schwallstrecke (Tab. 54). Es treten zwar kleinere Temperaturschwankungen auf, diese sind nach MSK aber nicht als problematisch zu bewerten. Die Messreihe liegt erst für 4 Monate vor und ist daher noch als provisorisch zu betrachten. Die Messungen werden noch fortgeführt.

**Tabelle 54:** Bewertung des Indikators Q1 – „Temperatur“ im Bolsterenbach.

	Schwallstrecke	
TR <sub>Schwall/Sunk</sub> [°C/h]	2.2	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></span> sehr gut</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></span> gut</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></span> mässig</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-right: 5px;"></span> unbefriedigend</div> <div style="display: flex; align-items: center;"><span style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></span> schlecht</div> </div>
Korrekturfaktoren	-	
Bewertung		

#### 4.5.3 Zusammenfassung

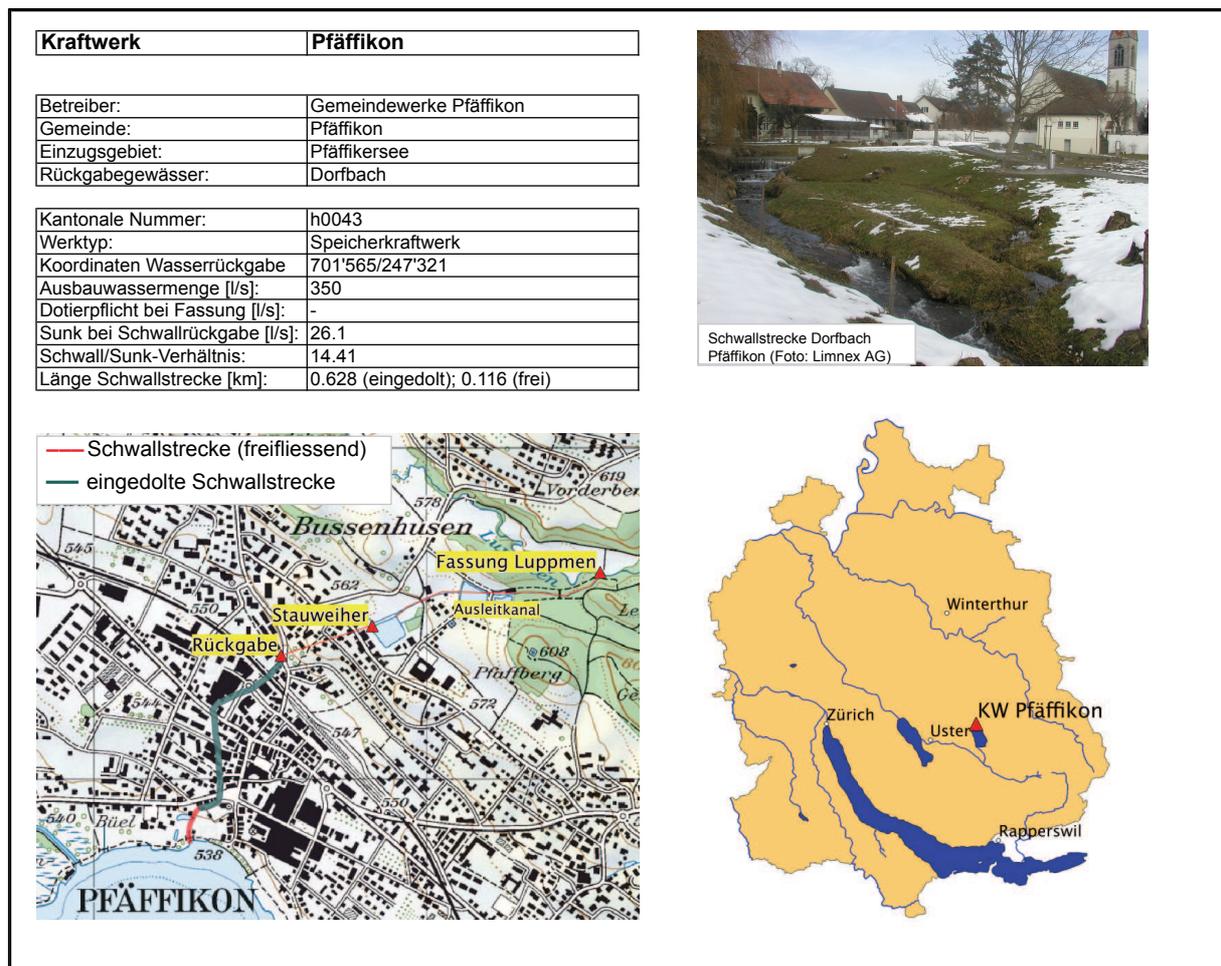
Die Mühle Heiterthal ist aufgrund von zwei mit „schlecht“ bewerteten Indikatoren **sanierungspflichtig** (Tab. 55). Wie das Schwallmonitoring gezeigt hat, kann der Schwallanstieg und –Rückgang als moderat eingestuft werden. Der Pegel steigt und sinkt eher langsam, was für die Gewässerfauna besser verträglich ist. Die Temperaturschwankungen sind ebenfalls moderat. Zudem finden keine starken Wassertrübungen während des Schwallanstiegs statt, die zu einer Beeinträchtigung führen könnten. Als heikel ist hingegen das potenzielle Trockenfallen von Lebensräumen bei Niederwasser zu bewerten. Durch die ungenügende Restwassermenge besteht ein Strandrungsrisiko für Fische und Wirbellose bei Sunk.

**Tabelle 55:** Zusammenfassung der Indikatorbewertungen für die Schwallstrecke im Bolsterenbach unterhalb der Mühle Heiterthal.

Indikatoren	
F2 - Stranden von Fischen	
F5 - Fischereiliche Produktivität	<b>x</b>
B1 - Biomasse MZB	
B2 - MSK Modul MZB	
B3 - Längenzonation MZB	
B4 - EPT-Familien	
H1 - Innere Kolmation	<b>x</b>
A1 - Mindestabfluss	
Q1 - Temperatur	

**X** = Nicht bewertet

## 4.6 WR h0043 Pfäffikon



### 4.6.1 Kraftwerksbetrieb

Dieses Kraftwerk fasst das Wasser in der Luppmen (Einzugsgebiet Töss), leitet es aus und speichert es in einem Weiher, von wo es täglich während 2 bis 3 Stunden abturbiniert und in den Dorfbach in Pfäffikon (Einzugsgebiet Greifensee) eingeleitet wird.

### 4.6.2 Bewertete Indikatoren

#### Ökomorphologie

Der Dorfbach ist grösstenteils eingedolt und verläuft mitten durch das Dorf. Im eingedolten Teil befindet sich auch die Rückgabestelle. Vor der Mündung in den Pfäffikersee kommt dann ein kurzer, freigelegter Abschnitt von ca. 116 m Länge. Hier weist der Dorfbach eine wenig beeinträchtigte Ökomorphologie auf.

## Wasserqualität

Die Wasserqualität wurde anhand des Saprobien-Index nach Zelinka & Marvan (1961) bewertet. Dazu wurde die Makrozoobenthosprobe vom 04.04.13 begezogen, welche auch für die Indikatoren B1-B4 benötigt wurde. Der Saprobienindex lag mit 1.62 in der Zustandsklasse I-II (oligo-betamesosaprob), was auf organisch unbelastete bis ganz gering belastete Gewässer hindeutet. Somit können auch die Breitband-Indikatoren zuverlässig bewertet werden.

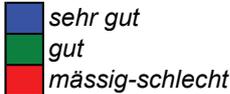
## F2 - Stranden von Fischen

Am 04.04.13 wurde im Dorfbach ein Schwallmonitoring durchgeführt. Dabei wurde eine Multiparametersonde im Dorfbach exponiert, welche die Parameter Pegel, Wassertemperatur und Trübung erfasste (Messintervall 1 Minute; vgl. Karte im Anhang). Die Turbine wurde hochgefahren und während 1.5 Stunden auf Vollast betrieben. Danach wurde sie wieder regulär heruntergefahren. Die benetzte Breite wurde bei Sunk und bei Schwall an drei repräsentativen Stellen gemessen.

Die maximalen Pegeländerungsraten lagen beim Anstieg und beim Rückgang des Schwalls mit 1.4 bzw. 0.8 cm/min über den geforderten 0.5 cm/min und wurden daher als „mässig-schlecht“ beurteilt (Tab. 56).

Bei den drei Querprofilen fielen folgende Anteile trocken: QP1 34%, QP2 24% und QP3 46%. Im Mittel ergab das einen Anteil von knapp 35%, was über den in der Vollzugshilfe geforderten 30% liegt und somit zu einer „mässig-schlechten“ Beurteilung führt (Tab. 56).

**Tabelle 56:** Bewertung des Indikators F2 – „Stranden von Fischen“ im Dorfbach Pfäffikon.

	Dorfbach	
Pegelrückgangsrates [cm/min]	-0.8	
Anteil trockenfallender Flächen [%]	35	
Anzahl gestrandeter Fische [Ind.]	-	
Gesamtbewertung		

Beide Teilindikatoren aggregiert ergeben für diesen Indikator eine „mässig-schlechte“ Bewertung (Tab. 56)

## F5 – Fischereiliche Produktivität

Der theoretische fischereiliche Jahreshektarertrag liegt mit 124 kg im sehr guten Bereich (Tab. 57). Es handelt sich hier aber um einen theoretischen Wert, der mangels fischereilicher Daten nicht verifiziert werden kann.

**Tabelle 57:** Bewertung des Indikators F5 – „Fischereiliche Produktivität“ im Dorfbach Pfäffikon.

	Dorfbach
JHE [kg]	124
Bewertung	

	sehr gut
	gut
	mässig
	unbefriedigend
	schlecht

### B1 – Biomasse Makrozoobenthos

Die Biomasse des Makrozoobenthos lag mit 30 g/m<sup>2</sup> weit über dem nach Jungwirth et al. (1980) berechneten Sollwert der Biomasse von 9.2 g/m<sup>2</sup>. Somit konnte dieser Indikator mit „sehr gut“ bewertet werden.

**Tabelle 58:** Bewertung des Indikators B1 – „Biomasse Makrozoobenthos“ im Dorfbach Pfäffikon.

	Dorfbach
Biomasse [g/m <sup>2</sup> ]	30
Sollwert Biomasse [g/m <sup>2</sup> ]	9.2
Bewertung	

	sehr gut
	gut
	mässig
	unbefriedigend
	schlecht

### B2 – Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Makrozoobenthos Stufe F

Der Index Biologique Schweiz (IBCH) lag mit 8 im unbefriedigenden Bereich. Es wurden keine Arten mit hohem Indikatorwert gefunden und Steinfliegen fehlten komplett. Aufgrund dieser Resultate und der erfüllten Voraussetzungen für die Bewertung der Breitband-Indikatoren (Ökomorphologie und Wasserqualität), kann eine Beeinträchtigung durch den Kraftwerksbetrieb nachgewiesen werden (Tab. 59).

**Tabelle 59:** Bewertung des Indikators B2 – „MSK Modul Makrozoobenthos“ im Dorfbach Pfäffikon.

	Dorfbach
IBCH	8
Bewertung	

	sehr gut
	gut
	mässig
	unbefriedigend
	schlecht

### B3 – Längenzonation Makrozoobenthos

Anhand der abiotischen Parameter Gefälle und benetzte Breite sowie der Nähe zum See wird die zu erwartende Bioregion dem Epipotamal zugeordnet. Aufgrund der kurzen Strecke ist aber keine genaue Bestimmung des Gefälles anhand von Kartenmaterial möglich. Zusätzlich befindet sich in der Schwallstrecke ein Absturz von gut 1.2 m Höhe. Deshalb wurde das mittlere Gefälle im Feld auf ca. 3-4 ‰ geschätzt. Die mittlere Breite liegt bei ca. 3 Metern. Aufgrund dieser abiotischen Parameter würde man eine biozönotische Region an der Grenze von Epipotamal und Hyporhithral (Äschenregion) erwarten. Der Längenzonationsindex (LZI) zeigt mit einem Wert von 4.19 die untere Forellenregion (Metarhithral) an (Tab. 60). Er liegt damit mehr als eine Einheit unter dem Sollwert, was zu der Bewertung „schlecht“ führt. Es ist allerdings schwierig, die Klassifizierung aufgrund der abiotischen Parameter auf solche kurzen Gewässerabschnitte anzuwenden. Die Bewertung dieses Indikators ist deshalb unzuverlässig.

**Tabelle 60:** Bewertung des Indikators B3 – „Längenzonation“ im Dorfbach Pfäffikon.

	Dorfbach
Längenzonationsindex	4.19
Sollwert (nach Huet 1949)	6 (Epipotamal)
Bewertung	

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht

B4 – Eintags-, Stein- und Köcherfliegen Familien (EPT-Familien)

Mit vier gefundenen EPT-Familien wird dieser Indikator mit „unbefriedigend“ bewertet (Tab. 61).

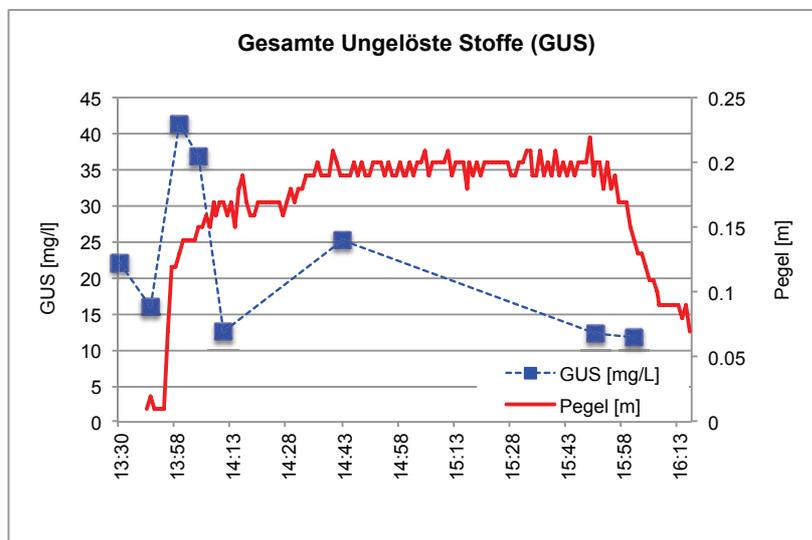
**Tabelle 61:** Bewertung des Indikators B4 – „EPT-Familien“ im Dorfbach Pfäffikon.

	Dorfbach
Anzahl EPT-Familien	4
Bewertung	

- sehr gut
- gut
- mässig
- unbefriedigend
- schlecht

H1 – Innere Kolmation

Die Beurteilung der inneren Kolmation anhand der verwendeten Kolmationsindikatoren war aufgrund des schlammigen Untergrundes nicht möglich. Die äussere Kolmation (Ablagerungen auf grösseren Steinen) war gering bis gar nicht vorhanden, die erhebliche Kickfahne deutete hingegen auf eine erhöhte innere Kolmation.



**Abbildung 7:** Verlauf der Schwebstoffkonzentration (Gesamte ungelöste Stoffe GUS, blaue Vierecke) und des Pegels (rote Linie) während des Schwallmonitorings am 04.04.13.

Die Schwebstoffkonzentration (gesamte ungelöste Stoffe GUS) wurde während des Kraftwerkschwalls ermittelt (Abb. 7). Beim Schwallanstieg gab es einen kurzen Auswascheffekt von Feinmaterial mit einem Konzentrationspeak von 41.5 mg/l. Nach ca. 10 Minuten sank die GUS-Konzentration wieder in den Ausgangsbereich von 15 bis 25 mg/l.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen als zusätzliche Information dienen, werden aber nicht für die Gesamtbeurteilung berücksichtigt.

## A1 – Mindestabfluss

Da der Dorfbach in Pfäffikon nicht gefasst wird und somit keine Restwasserstrecke im eigentlichen Sinn darstellt, kann der Indikator A1 nicht bewertet werden.

## Q1 – Temperatur

Die Bewertung des Temperaturmoduls nach Dübendorfer et al. (2011) ergibt einen schlechten Zustand in der Schwallstrecke (Tab. 62). Besonders in den Sommermonaten treten sehr starke, kurzfristige Temperaturänderungen auf. Die Messreihe liegt erst für 9 Monate vor und ist daher noch als provisorisch zu betrachten. Die Messungen werden noch fortgeführt.

**Tabelle 62:** Bewertung des Indikators Q1 – „Temperatur“ im Dorfbach Pfäffikon. \* Da die eindeutige Zuordnung zu einer biozönotischen Region problematisch ist, kann hier kein Korrekturfaktor nach Dübendorfer et al. (2011) bestimmt werden. Aufgrund der hohen Temperaturänderungsraten würde ein Korrekturfaktor aber nichts an der Bewertung ändern.

	Dorfbach
TR <sub>Schwall/Sunk</sub> [°C/h]	17.4
Korrekturfaktoren	*
Bewertung	

	sehr gut
	gut
	mässig
	unbefriedigend
	schlecht

## 4.6.3 Zusammenfassung

Aufgrund der erhobenen Parameter lässt sich im Dorfbach eine wesentliche Beeinträchtigung durch den Schwallbetrieb nachweisen. Drei Indikatoren zeigen dabei einen schlechten und zwei einen unbefriedigenden Zustand. Deutlich zu erkennen ist auch der negative Einfluss des Betriebes auf die Wasserwirbellosen (Tab. 63). Allerdings ist dieser Abschnitt zu kurz, um eine zuverlässige, gewässerökologische Bewertung durchführen zu können. Das KW Pfäffikon ist aufgrund der erhobenen Indikatoren als **sanierungspflichtig** einzustufen. Die Sanierung dieses Kraftwerks hat eine niedrige Priorität.

**Tabelle 63:** Zusammenfassung der Indikatorbewertungen für den Dorfbach Pfäffikon.

Indikatoren	
F2 - Stranden von Fischen	
F5 - Fischereiliche Produktivität	
B1 - Biomasse MZB	
B2 - MSK Modul MZB	
B3 - Längenzonation MZB	
B4 - EPT-Familien	
H1 - Innere Kolmation	x
A1 - Mindestabfluss	x
Q1 - Temperatur	

## 5. Definitiv sanierungspflichtige und nicht sanierungspflichtige Kraftwerke

Im Folgenden sind die definitiv **nicht sanierungspflichtigen** und die definitiv **sanierungspflichtigen** Kraftwerke im Sinne einer Zusammenfassung aufgelistet.

### 5.1 Definitiv nicht sanierungspflichtige Kraftwerke

kein Schwall/Sunk im Sinne des GSchG

<i>c0008</i>	<i>Bonstetten</i>
<i>i0100</i>	<i>Kollbrunn 1</i>
<i>i0049</i>	<i>Kollbrunn 2</i>
<i>h0035</i>	<i>Sennhof</i>
<i>i0078</i>	<i>Leisental</i>
<i>i0056</i>	<i>Klostermühle Töss</i>
<i>i0057</i>	<i>Niedertöss</i>
<i>d0100</i>	<i>Waldhalde</i>

**Total 8**

Sonderfälle

<i>c0065</i>	<i>Zwillikon</i>
--------------	------------------

**Total 1**

**Total 9 nicht sanierungspflichtige Kraftwerke.**

## 5.2 Definitiv sanierungspflichtige Kraftwerke

Abkürzung

*Kraftwerke der Aabach-Kette*

<i>f0159</i>	<i>Schönau</i>
<i>f0161</i>	<i>Dürsteler</i>
<i>f0164</i>	<i>Floos</i>
<i>f0165</i>	<i>Aathal</i>
<i>f0167</i>	<i>Unter-Aathal</i>
<i>g0031a/b</i>	<i>Trümpfer (2 Anlagen)</i>
<i>g0038</i>	<i>BUAG</i>
<i>g0039</i>	<i>Zellweger</i>
<i>g0042</i>	<i>Schliiffi</i>
<i>g0043</i>	<i>Turicum</i>
<i>g0115</i>	<i>Lenzlinger Söhne AG</i>
<i>f0155</i>	<i>Regulierwehr Pfäffikersee (Spezialfall)</i>

**Total 13**

Grundbewertung (nicht alle Indikatoren erhoben, teilw. alternative Methodik angewandt)

<i>d0048</i>	<i>Horgen</i>
<i>f0031</i>	<i>Pilgersteg</i>
<i>f0084</i>	<i>Tiefenhof</i>
<i>f0066</i>	<i>Neutal</i>
<i>i0048</i>	<i>Mühle Heiterthal</i>
<i>h0043</i>	<i>Pfäffikon</i>

**Total 6**

**Total 19 sanierungspflichtige Kraftwerke bzw. Anlagen.**

## 6. Ökologisches Potenzial und Grad der Beeinträchtigung

### 6.1 Ökologisches Potenzial

Das ökologische Potenzial wurde anhand der in Tabelle 64 aufgelisteten Kriterien bewertet. Jedes Kriterium hat dabei zwei bis drei Bewertungsklassen, die mit 0 bis 2 Punkten bewertet werden. Durch aufsummieren der Punkte ergibt sich das ökologische Potenzial (Tab. 64).

**Tabelle 64:** Kriterien und Bewertungsmethodik für das ökologische Potenzial in den Schwallstrecken im Kanton Zürich.

Kriterien	Klassen	Punkte	Punkte	ökol. Potenzial
naturnahe Ökomorphologie ( > 50 % der Schwallstrecke)	Ja	1	6-8	gross
	Nein	0		
hydrologische Beeinträchtigung (Restwasserproblematik und Schwall-Sunk)	sehr stark	0		
	stark	1		
	mittel	2		
potenzielles Seeforellen Laichgewässer	Ja	1	0-2	gering
	Nein	0		
Biodiversität Makrozoobenthos (MZB) (Diversitätsindex nach Wihlm & Dorris 1968)	sehr gross (> 3)	2		
	gross (2-3)	1		
	klein-mittel (< 2)	0		
Rote Liste Arten (Gefährdungsstufen: VU, EN, CR)	vorhanden	1		
	nicht vorhanden	0		
Vernetzungsfunktion longitudinal (z. B. mit Zürichsee)	gross	1		
	gering	0		

In Tabelle 65 ist die Bewertung des ökologische Potenzials für den IST und den SOLL-Zustand in den betroffenen Gewässern aufgeführt. Das ökologische Potenzial für den zukünftigen Zustand (SOLL-Zustand) kann zu diesem Zeitpunkt erst grob abgeschätzt werden. Die Planungen zur Sanierung der Fischgängigkeit, des Geschiebehaushalts und der Revitalisierung von Fliessgewässern gaben aber wertvolle Anhaltspunkte ab.

**Tabelle 65:** Bewertung des ökologischen Potenzials im IST- und Soll-Zustand (nach Schwallensanierung) für die sechs Kraftwerke und ihre betroffenen Gewässer. Für jedes Kriterium wurden Punkte gemäss Tabelle 64 vergeben. Das ökologische Potenzial ergibt sich durch Aufsummieren der Punkte.

Kraftwerk Gewässer Abschnitt	Horgen Aabach		Pilgersteg Jona		Tiefenhof Jona		Neutal Jona		Mühle Heiterthal Bolsterenbach		Präffikon Dorfbach	
	Rückgabe bis Zürichsee	ökol. Pot. IST/SOLL-Zustand	Rückgabe bis nächste Fassung (Kt. SG)	ökol. Pot. IST-Zustand	Rückgabe bis Stauhaltung Pilgersteg	ökol. Pot. IST-Zustand	Rückgabe bis Fassung WR f0082 in Wald	ökol. Pot. IST-Zustand	Rückgabe bis Mündung in Töss	ökol. Pot. IST-Zustand	Rückgabe bis Pfäffikersee	ökol. Pot. IST-Zustand
Länge [km]	0.17		5.2		2.1		4.0		3.04		0.74	
ökol. Potenzial	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
ökol. Pot. IST-Zustand	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
ökol. Pot. SOLL-Zustand	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
Ökomorphologie (> 50%)	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
hydrologische Beeinträchtigung	0	2	1	2	1	2	1	2	0	2	1	2
potenz. Seeforellen Laichgewässer	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiversität MZB	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
Rote Liste Arten	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Vernetzungsfunktion	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Total	2	5	6	7	4	5	5	6	5	7	4	5
ökologisches Potenzial	gering	mittel	gross	gross	mittel	mittel	mittel	gross	mittel	gross	mittel	mittel

## 6.2 Grad der Beeinträchtigung

Der Grad der Beeinträchtigung ergibt sich gemäss Vollzugshilfe aus der Anzahl Indikatoren, die einen schlechten, unbefriedigenden oder mässigen Zustand anzeigen (Signalfarben rot bis gelb). Es werden drei Stufen des Grades der Beeinträchtigung unterschieden: „mässig“, „stark“ und „sehr stark“. Der Grad der Beeinträchtigung wird gemäss den folgenden Kriterien bewertet:

Beeinträchtigung (Anzahl Indikatoren):

- **mittel:**
  - 3 x „mässig“ oder
  - 2 x „unbefriedigend“
  
- **stark:**
  - 1 x „schlecht“ oder
  - mehr als 3 x „mässig“ oder
  - mehr als 2 x „unbefriedigend“
  
- **sehr stark:**
  - $\geq 2$  x „schlecht“ oder
  - 1 x „schlecht“ und  $\geq 2$  x „mässig“ oder „unbefriedigend“

In Tabelle 66 ist der Grad der Beeinträchtigung, basierend auf den Indikatorbewertungen, für jedes Kraftwerk und die betroffenen Gewässerabschnitte angegeben.<sup>1</sup> Er wird für alle 6 sanierungspflichtigen Kraftwerke als „sehr stark“ eingestuft.

**Tabelle 66:** Herleitung des Grades der Beeinträchtigung für die sechs sanierungspflichtigen Kraftwerke anhand der bewerteten Indikatoren (Signalfarben gelb bis rot).

Kraftwerk	Gewässer	Abschnitt	Indikatoren					Grad der Beeinträchtigung
Horgen	Aabach	Rückgabe bis Zürichsee	F2	A1	Q1	B4		sehr stark
Pilgersteg	Jona	Rückgabe bis nächste Fassung (Kt. SG)	F1	F2	F4	H1		sehr stark
Tiefenhof	Jona	Rückgabe bis Stauhaltung Pilgersteg	F1	F2	F4	A1	H1	sehr stark
Neutal	Jona	Rückgabe bis Stauhaltung Tiefenhof	F1	F2	F4	A1		sehr stark
Mühle Heiterthal	Bolsterenbach	Rückgabe bis Töss	F2	A1				sehr stark
Pfäffikon	Dorfbach	Rückgabe bis Pfäffikersee	F2	B2	B3	B4	Q1	sehr stark

<sup>1</sup> Eine Aggregation des Grades der Beeinträchtigung war hier nicht notwendig, da pro Schwallstrecke nur ein Gewässerabschnitt definiert wurde.

## 7. Sanierungsmassnahmen

Im Folgenden sind mögliche Sanierungsmassnahmen für jedes Kraftwerk aufgeführt. Diese wurden in Zusammenarbeit mit dem AWEL und dem ALN erarbeitet. Die Kraftwerksbetreiber wurden noch nicht miteinbezogen. Bei der Erarbeitung der Vorschläge wurden die anderen Sanierungsplanungen wie Fischgängigkeit, Geschiebe und Revitalisierung in den betroffenen Einzugsgebieten mitberücksichtigt. Der grösste Koordinationsbedarf besteht dabei beim Aabach Horgen, während es in den anderen Gewässern nur wenige Berührungspunkte zu den anderen Planungen gibt. Zu jeder der vorgeschlagenen Massnahmen wurde gemäss Vollzugshilfe eine Abschätzung zur Machbarkeit, Verhältnismässigkeit, dem ökologischen Nutzen und den Kosten gemacht. Die Machbarkeit bezieht sich auf die Platzverhältnisse sowie die Topographie. Die Abschätzung zur Verhältnismässigkeit basiert auf der Länge des betroffenen Abschnitts, der Grösse der Wasserkraftanlage (Ausbauwassermenge, Leistung) und dem voraussichtlichen Aufwand. Der ökologische Nutzen einer Massnahme kann ohne Untersuchungen bzw. Modellierungen nicht verlässlich bewertet werden. Wenn aber eine Massnahme ein Gewässer komplett von Schwall/Sunk befreit, wie zum Beispiel eine Direktableitung in einen See, kann davon ausgegangen werden, dass ein grosser Nutzen besteht. Die Gliederung der Kostenschätzung erfolgte gemäss dem Modul *Sanierung Wasserkraftanlagen – Finanzierung* (BAFU 2013) in 5 Klassen:

- sehr gering: < 2 Mio.
- gering: 2 – 10 Mio.
- mittel: 10 – 25 Mio.
- hoch: 25 – 50 Mio.
- sehr hoch: > 50 Mio.

### 7.1 WR d0048 Horgen

#### Bauliche Massnahmen

Vorschläge für bauliche Massnahmen beim KW Horgen sind in Tabelle 67 aufgelistet. Die morphologische Aufwertung der Schwallstrecke zur Verminderung der Schwallauswirkungen wird stark favorisiert. Diese Massnahme könnte mit der Sanierung Fischgängigkeit in der Schwallstrecke gekoppelt werden. Der Aabach Horgen ist ein Seeforellenlaichgewässer, bei dem mehrere Hindernisse saniert werden müssen, um die freie Fischwanderung zu gewährleisten. Eine weitere Massnahme ist die Direktableitung des grössten Teils des Schwalls in den Zürichsee. Der abgeleitete Anteil würde dabei vom Abfluss in der Restwasserstrecke abhängen. Bei Niederwasser wäre er demnach kleiner, damit der Seeforellenaufstieg gewährleistet werden kann. Die Machbarkeit dieser Massnahme ist allerdings unklar. Bei beiden Massnahmen ist von einem grossen ökologischen Nutzen auszugehen.

**Tabelle 67:** Vorschläge für bauliche Massnahmen beim KW Horgen. \*Die Kostenschätzung gilt nur für die reinen Baukosten, ohne Planungskosten, Landbedarf oder betriebliche Auswirkungen.

d0048 Horgen	Bauliche Massnahme	Machbarkeit	Verhältnismässigkeit	Ökologischer Nutzen	geschätzte Kosten* [CHF]
1	Morphologische Aufwertung des Vorfluters zur Dämpfung der Schwall/Sunk-Auswirkungen (koordiniert mit Sanierung Fischgängigkeit)	machbar	verhältnismässig	gross	< 2 Mio.
2	Direktableitung des grössten Teils des Schwalls in den Zürichsee, abgestimmt auf die Wasserführung in der Restwasserstrecke (wichtig für Seeforellenaufstieg)	unklar	unklar	gross	2-10 Mio.

### Betriebliche Massnahmen

Vorschläge für betriebliche Massnahmen sind in Tabelle 68 aufgelistet. Für eine Erhöhung der Restwassermenge von Art. 80 Abs. 1 auf Art. 31 GSchG muss zuerst die Restwassersanierung nach Art. 80 Abs. 2 GSchG durchgeführt werden. Durch den erhöhten Sunk würden weniger potenzielle Strandungsf lächen in der Wasserwechselzone entstehen. In Kombination mit einem verlangsamten An- und Zurückfahren der Turbinen wird eine deutliche Verbesserung bei der Bewertung des Indikators F2 erwartet.

**Tabelle 68:** Vorschläge für betriebliche Massnahmen beim KW Horgen.

d0048 Horgen	Betriebliche Massnahme	Machbarkeit	Verhältnismässigkeit	Ökologischer Nutzen	geschätzte Kosten [CHF]
1	Erhöhung des Sunkabflusses durch Erhöhung der Restwassermenge von (Art. 80 Abs. 1 auf Art. 31 GSchG) Voraussetzung: RW-Sanierung nach Art. 80 Abs. 2 GSchG	machbar	unklar	gross	unbekannt
2	Langsameres oder stufenweises An- und Zurückfahren der Turbinen	machbar	verhältnismässig	gross	unbekannt

Die Umsetzungsfrist für die Sanierungsmassnahmen (baulich oder betrieblich) wird auf das Jahr 2020 festgelegt.

## 7.2 WR f0031 Pilgersteg

### Bauliche Massnahmen

In der Konzession von 2012 wurde der Einbau einer neuen Maschinengruppe zur möglichst kontinuierlichen Bewirtschaftung des Wasserangebots als bauliche Massnahme vorgesehen. Diese Massnahme wurde bereits umgesetzt. Eine weitere bauliche Massnahme wäre der Einbau einer dritten Turbine mit einer Ausbauwassermenge von ca. 800 l/s, um das ganze Abflussspektrum abzudecken. Wegen Denkmalpflegeauflagen wird diese Massnahme aber als kaum machbar erachtet (Tab. 69).

**Tabelle 69:** Vorschläge für bauliche Massnahmen beim KW Pilgersteg. \*Die Kostenschätzung gilt nur für die reinen Baukosten, ohne Planungskosten, Landbedarf oder betriebliche Auswirkungen.

f0031 Pilgersteg	Bauliche Massnahme	Machbarkeit	Verhältnismässigkeit	Ökologischer Nutzen	geschätzte Kosten* [CHF]
1	Einbau der neuen Maschinengruppe gemäss Konzession (bereits erfolgt)	machbar	verhältnismässig	gross	< 2 Mio.
2	Einbau einer dritten Turbine mit einer Ausbauwassermenge von ca. 800 l/s, um einen kontinuierlichen Laufbetrieb zu gewährleisten	unklar	unklar	gross	< 2 Mio.

### Betriebliche Massnahmen

Betriebliche Massnahmen sind bereits konzidiert und bestehen aus einem Dauerbetrieb der Turbinen mit 200 l/s sowie aus einem verlangsamten Anfahren der Turbinen. Diese Massnahmen sind somit umgesetzt. Allerdings müsste noch ein Monitoring gemacht werden, um die ökologisch sinnvollste An- und Rückfahrgeschwindigkeit der Turbinen zu ermitteln (Indikator F2). Die betriebliche Massnahme, welche stark favorisiert wird, ist der vollständige Verzicht auf Speicherbetrieb (Tab. 70). Der Betreiber stapelt im heutigen Betrieb das Wasser bei geringen Zuflüssen um die grosse Turbine (AWM 1'200 l/s) im optimale Bereich betreiben zu können. Die Kosten für die betrieblichen Massnahmen können zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abgeschätzt werden.

**Tabelle 70:** Vorschläge für betriebliche Massnahmen beim KW Pilgersteg.

f0031 Pilgersteg	Betriebliche Massnahme	Machbarkeit	Verhältnismässigkeit	Ökologischer Nutzen	geschätzte Kosten [CHF]
1	Kein Speicherbetrieb fahren (stark favorisierte Lösung)	machbar	verhältnismässig	gross	unbekannt
2	Erhöhung des Sunkabflusses durch Dauerbetrieb der Turbine mit 200 l/s	machbar	verhältnismässig	gross	unbekannt
3	Langsameres oder stufenweises An- und Zurückfahren der Turbinen	machbar	verhältnismässig	gross	unbekannt

Die Umsetzungsfrist für die baulichen sowie betrieblichen Massnahmen wird auf das Jahr 2020 festgelegt.

### 7.3 WR f0084 Tiefenhof

Der Betreiber und das AWEL haben eine Vereinbarung unterzeichnet, dass beim Betrieb des KW Tiefenhof auf die Nutzung des Speichervolumens verzichtet wird. Diese Massnahme wurde unter anderem auch getroffen, um einen naturnahen Geschiebetrieb zu gewährleisten. Das Geschiebe sammelte sich in der Stauhaltung an und wurde bei Hochwasserereignissen und bei Wehrfehlstellungen in die Jona ausgespült. Die Störfälle hatten jeweils ein Fischsterben im Unterwasser des Kraftwerks zur Folge (vgl. Kap. 4.3). Mit der neuen Vereinbarung verursacht das KW Tiefenhof kein Schwall/Sunk mehr und kann als saniert betrachtet werden. Weitere Sanierungsmassnahmen im Bereich Schwall/Sunk sind deshalb nicht notwendig.

### 7.4 WR f0066 Neutal

#### Bauliche Massnahmen

Als bauliche Massnahmen kommen ein Rückhaltevolumen zur Dämpfung eines allfälligen Schwallbetriebes oder der Rückbau der Stauffassung in eine Lauffassung in Frage (Tab. 71). Letztere wäre mit einer endgültigen Umstellung auf Durchlaufbetrieb verbunden. In Anbetracht der heutigen Betriebsweise und der Grösse des Kraftwerks wäre ein Rückhaltevolumen jedoch unverhältnismässig. Angaben zur Verhältnismässigkeit des Fassungsrückbaus zu einer Lauffassung können noch nicht gemacht werden.

**Tabelle 71:** Vorschläge für bauliche Massnahmen beim KW Neutal. \*Die Kostenschätzung gilt nur für die reinen Baukosten, ohne Planungskosten, Landbedarf oder betriebliche Auswirkungen.

f0066 Neutal	Bauliche Massnahme	Machbarkeit	Verhältnismässigkeit	Ökologischer Nutzen	geschätzte Kosten* [CHF]
1	Rückhaltevolumen zur Dämpfung der Schwall/Sunk-Auswirkungen	unklar	nicht verhältnismässig	mittel	< 2 Mio.
2	Rückbau der Stauffassung in eine Lauffassung	machbar	unklar	mittel	< 2 Mio.

#### Betriebliche Massnahmen

Die favorisierte Sanierungsmassnahme ist der Verzicht auf Speicherbetrieb (Tab. 72). Im heutigen Zustand wird das Kraftwerk ohnehin als Laufkraftwerk betrieben, da der Stauraum fast vollständig verlandet ist. Durch eine Regelung, wie sie beim KW Tiefenhof getroffen wurde, könnte dieses Kraftwerk voraussichtlich ohne grossen Aufwand saniert werden. Falls der Betreiber in Zukunft den Speicher wieder bewirtschaften will, wäre eine weitere betriebliche Massnahme das langsamere oder stufenweise An- und Zurückfahren der Turbinen. Dadurch könnte die Pegeländerungsrate und somit die Bewertung des Indikators F2 verbessert werden. Die Machbarkeit dieser Massnahme kann noch nicht beurteilt werden.

**Tabelle 72:** Vorschläge für betriebliche Massnahmen beim KW Neutal.

f0066 Neutal	Betriebliche Massnahme	Machbarkeit	Verhältnismässigkeit	Ökologischer Nutzen	geschätzte Kosten [CHF]
1	Kein Speicherbetrieb fahren (stark favorisierte Lösung)	machbar	verhältnismässig	gross	unbekannt
2	Langsameres oder stufenweises An- und Zurückfahren der Turbinen	unklar	verhältnismässig (wenn techn. machb.)	gross	unbekannt

Die Umsetzungsfrist für die Sanierung dieses Kraftwerks wird auf das Jahr 2025 festgelegt.

## 7.5 WR i0048 Mühle Heiterthal

Kombination von baulichen und betrieblichen Massnahmen

Mit einer Kombination von baulichen und betrieblichen Massnahmen könnte auf den Schwallbetrieb verzichtet werden. Die Mühle wird im heutige Zustand mit Strom und der mechanisch erzeugten Kraft der Turbine betrieben. Der Betrieb der Mühle nur mit Strom ist wegen des schwachen Netzanschlusses nicht möglich. Wenn der Netzanschluss ausgebaut wird, könnte die Anlage komplett mit Strom vom Netz betrieben werden. Zusätzlich zu dieser Massnahme müsste ein Stromgenerator eingebaut werden, damit gleichmässig Strom ans Netz zurückgegeben werden kann. Dies könnte in Kombination mit dem Dauerbetrieb der Turbine auf einer niedrigen Wassermenge erfolgen. Allenfalls müsste für diese Lösung aber die Turbine ersetzt werden.

Die vorgeschlagene Massnahme hätte einen grossen ökologischen Nutzen, da der Bolsterenbach komplett von Schwall/Sunk befreit würde. Die Massnahme wird als machbar und verhältnismässig erachtet. Die Kosten dafür werden auf < 2 Mio. geschätzt.

Die Umsetzungsfrist wird auf das Jahr 2027 festgelegt.

## 7.6 WR h0043 Pfäffikon

Bauliche Massnahmen

Die favorisierte bauliche Massnahme ist die Direktableitung des Schwalls in den Pfäffikersee. Die Ableitung würde aber nicht bei der Wasserrückgabe sondern erst ab Ende des eingedolten Abschnitts der Schwallstrecke erfolgen. Der ökologische Nutzen wird bei dieser Massnahme grösser eingeschätzt, als bei einer Teilrevitalisierung der Schwallstrecke (Tab. 73). Da diese bereits zum Teil revitalisiert wurde, kann eine zusätzliche Aufwertung nicht mehr viel verbessern.

**Tabelle 73:** Vorschläge für bauliche Massnahmen beim KW Pfäffikon. \*Die Kostenschätzung gilt nur für die reinen Baukosten, ohne Planungskosten, Landbedarf oder betriebliche Auswirkungen.

h0043 Pfäffikon	Bauliche Massnahme	Machbarkeit	Verhältnismässigkeit	Ökologischer Nutzen	geschätzte Kosten* [CHF]
1	Direktableitung des Schwall in den Pfäffikersee	machbar	unklar	mittel	< 2 Mio.
2	Morphologische Aufwertung des Vorfluters zur Dämpfung der Schwall/Sunk-Auswirkungen bzw. zur Vermeidung von Fischfallen	machbar	verhältnismässig	klein bis mittel	< 2 Mio.

### Betriebliche Massnahmen

Als betriebliche Massnahmen kommen das langsamere oder stufenweise An- und Zurückfahren der Turbine sowie der Dauerbetrieb der Turbine auf einer minimalen Wassermenge in Frage. Beide Massnahmen können den Indikator F2 verbessern, indem einerseits geringere Pegeländerungsraten und andererseits weniger trockenfallende Flächen auftreten. Der Nutzen wird bei beiden Massnahmen als gross eingeschätzt. Die Machbarkeit ist bei beiden noch unklar.

**Tabelle 74:** Vorschläge für betriebliche Massnahmen beim KW Pfäffikon.

h0043 Pfäffikon	Betriebliche Massnahme	Machbarkeit	Verhältnismässigkeit	Ökologischer Nutzen	geschätzte Kosten [CHF]
1	Langsameres oder stufenweises An- und Zurückfahren der Turbinen	unklar	verhältnismässig (wenn techn. machb.)	gross	unbekannt
2	Erhöhung des Sunkabflusses durch Dauerbetrieb der Turbine auf minimaler Wassermenge (z.B. 10 % der Ausbauwassermenge)	unklar	verhältnismässig (wenn techn. machb.)	gross	unbekannt

Die Umsetzungsfrist für die Sanierung dieses Kraftwerks wird auf das Jahr 2030 festgelegt.

## 8. Literaturverzeichnis

- BAFU 2011: Liste der National Prioritären Arten. Arten mit nationaler Priorität für die Erhaltung und Förderung, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr.1103: 132 S.
- Baumann, P., Kirchhofer, A., Schälchli, U. 2012: Sanierung Schwall/Sunk-Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1203: 126 S.
- Binderheim E., Göggel W. 2007: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Äusserer Aspekt. Umwelt-Vollzug Nr. 0701. Bundesamt für Umwelt, Bern. 43 S.
- Cereghino R., Cugny P., Lavandier P. 2002: Influence of intermittent hydropeaking on the longitudinal zonation patterns of benthic invertebrates in a mountain stream. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 87, 47-60.
- DIN 38 410 Teil 2 1989: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser und Schlammuntersuchung; Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung; Verfahren zur Bestimmung des Saprobienindex (M2). Beuth Verlag, Berlin.
- Dübendorfer Ch., Moser D., Kemptner T., Egloff L., Müller V., Wanner P., Baumann P., Kirchhofer A. 2011: Expertenbericht zu einem Modul Temperatur im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.
- Dückelmann, H. 2001: Seehöhen-Biomassen-Beziehung des Makrozoobenthos in österreichischen Fliessgewässern. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien: 81 S. + Anhang.
- Gore, J.A., Layzer, J.B, Mead, J. 2001: Macroinvertebrate instream flow studies after 20 years: a role in stream management and restoration. *Regulated Rivers: Research & Management* 17: 527-542.
- Halleraker, J.H., Saltveit, S.J., Harby, A., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.-P., Kohler, B. (2003). Factors Influencing Stranding of Wild Juvenile Brown Trout (*Salmo trutta*) during Rapid and Frequent Flow Decreases in an Artificial Stream. *River Research and Applications* 19: 589 - 603.
- Huet, M. 1949. Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courants. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* 11: 333–351.
- Hürlimann J., Niederhauser P. 2007: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 0740. Bundesamt für Umwelt, Bern. 130 S.
- Hütte, M., Niederhauser, P. 1998: Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz. *Mitteilungen zum Gewässerschutz* Nr. 27. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 49 S.
- Jungwirth, M., Moog, O., Winkler, H. 1980: Vergleichende Fischbestandaufnahmen an elf niederösterreichischen Fliessgewässerstrecken. *Jubiläumsschrift der Österreichischen Fischereigesellschaft*, Wien, 81-104.
- Lubini, V., Knispel, S., Sartori, M., Vicentini, H., Wagner, A. 2012: Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug Nr. 1212: 111 S.
- Newcombe, C.P., Jensen, J.O.T. 1996: Channel suspended sediment and fisheries: A synthesis for quantitative assessment of risk and impact. *North American Journal of Fisheries Management*, 16 (4), 693-727.
- Pfaundler M. et al. 2011: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie – Abflussregime Stufe F (flächen-deckend). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1107: 113 S.

- Pfaundler M. et al. 2012: Schlussbericht zur Schwall/Sunk-Studie Schweiz: Schweizweite Übersicht zu potenziell Schwall/Sunk-verursachenden Wasserkraftanlagen und der betroffenen Fließgewässerstrecken.
- Schager, E., Peter, A. 2004: Fische Stufe F. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 44. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern: 63 S.
- Schälchli, U. (2002): Innere Kolmation. Methoden zur Erkennung und Bewertung. Bericht im Auftrag von Fischnetz c/o EAWAG, Dübendorf: 22 S.
- Schmutz, S., Bakken, T.H., Friedrich, T., Greimel, A., Harby, A., Jungwirth, M., Melcher, A., Unfer, G., Zeiringer, B. 2014: Response of fish communities to hydrological and morphological alterations in hydropeaking rivers of Austria. *River Res. Applic.* (2014). DOI:10.1002/rra
- Strohmeier P., Bruckner G., Schlumprecht H. und Strätz C. (2005): Verschlammung und Versandung oberfränkischer Fließgewässer. Hrsg.: Bezirk Oberfranken, Bezirksfischereiverband Oberfranken, Landesfischereiverband Bayern.
- Stucki, P. 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Makrozoobenthos Stufe F. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 61 S.
- Vuille T. 1997: Ertragsvermögen der Patentgewässer im Kanton Bern. Bericht Fischereiinspektorat des Kantons Bern: 81 S.
- Zelinka, M., Marvan, P. 1961: Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archiv für Hydrobiologie* 57: 389-407.

## Anhang

### Anhang 1: Berechnungsmethodik Schwall/Sunk-Verhältnis

Die Methode zur Bestimmung des Schwall/Sunk-Verhältnisses ( $V_{S/S}$ ) orientiert sich am Modulstufenkonzept (MSK) Modul Hydrologie (Pfaundler et al. 2011) und beschränkt sich auf das reine  $V_{S/S}$  ohne Korrekturfaktoren.

Zur Bestimmung des Schwalls wurden Betriebsdaten der Zentralen und Angaben des Kantons zu natürlichen Abflüssen verwendet. Für alle Kraftwerke wurde grundsätzlich die empfohlene Berechnungsmethode nach Pfaundler et al. (2011) gewählt:

$$Q_{\text{Schwall}} = Q_{\text{Turbine}} + Q_{\text{Rest}}$$

Wobei  $Q_{\text{Turbine}}$  der maximalen Ausbauwassermenge in  $\text{m}^3/\text{s}$  oder  $\text{l}/\text{s}$  entspricht.  $Q_{\text{Rest}}$  ist die Restwassermenge oberhalb der Wasserrückgabe (= Summe aller Dotierwassermengen gemäss Konzessionen im Einzugsgebiet und Niederwasserabfluss  $Q_{347}$  des Zwischeneinzugsgebiets im Referenzzustand).

Der Sunkabfluss wurde ebenfalls aus Betriebsdaten und Daten des Kantons entnommen. Er ergibt sich aus der Restwasserdotation und dem natürlichen Niederwasserabfluss des Zwischeneinzugsgebiets.

$$Q_{\text{Sunk}} = Q_{\text{Rest}}$$

Das Schwall/Sunk-Verhältnis entspricht folglich:

$$V_{S/S} = (Q_{\text{Turbine}} + Q_{\text{Rest}}) / Q_{\text{Rest}}$$

## Anhang 2: Bewertungsmethodik Indikatoren

Es wurden die folgenden Indikatoren der Grundbewertung gemäss Vollzugshilfe Sanierung Schwall/Sunk (Baumann et al. 2012) untersucht:

- *F1 - MSK-Modul Fische Stufe F*
- *F2 - Stranden von Fischen*
- *F4 - Reproduktion der Fischfauna*
- *F5 - Fischereiliche Produktivität*
- *B1 - Biomasse Makrozoobenthos*
- *B2 - MSK-Modul Makrozoobenthos Stufe F*
- *B3 - Längenzonation Makrozoobenthos*
- *B4 - Anzahl EPT Familien*
- *A1 - Mindestabfluss*
- *H1 - Innere Kolmation*
- *Q1 - Temperatur*
  
- *Wasserqualität (Nährstoffbelastung)*
- *Ökomorphologie*

Indikator F1 – MSK Modul Fische Stufe F

Für die Bewertung des Indikators F1 wurden bestehende Befischungsdaten eines Nicht-Besatzjahres verwendet. Tabelle A2.1 zeigt die 4 zu untersuchenden Parameter und deren Bewertung gemäss Modul-Stufen-Konzept Modul Fische nach Schager & Peter (2004).

**Tabelle A2.1: Bewertung nach Modul-Stufen-Konzept (MSK) Modul Fische Stufe F (Schager & Peter 2004).**

Parameter 1	Artenspektrum und Dominanzverhältnis					Punkte
<b>a.) Artenspektrum</b>						
	-standortgerechtes Artenspektrum entsprechend der Fischregion					0
	-mässig verändertes Artenspektrum in Bezug auf die Fischregion/das erwartete Artenspektrum (wenige/individuelle Arten fehlen oder sind nicht fischregionstypisch, einzelne Exoten)					1
	-untypisches Artenspektrum					2
<b>b.) Dominanzverhältnis</b>						
	-Dominanz der Indikatorarten/weiterer typischer Arten					0
	-Dominanz der toleranten Arten					1
	-Dominanz der untypischen Arten					2
Parameter 2	Populationsstruktur					
<b>a.) Bachforelle (Altersklassen und 0+-Fischdichte)</b>						
	-sehr gut					0
	-gut					1
	-mittel					2
	-schlecht					3
	-sehr schlecht					4
<b>b.) Wanderarten, Äsche, Kleinfischarten (0+-Fischdichte bzw. verschiedene Altersstadien)</b>						
	-vorhanden					0
	-nicht vorhanden					4
Parameter 3	Fischdichte der Indikatorarten					
<b>a.) Bachforellendichte (Ind./ha)</b>						
		Mittelland	Jura	Voralpen	Alpen	
	-hoch	> 2500	> 3500	> 2000	> 500	0
	-mittel	1000-2500	1000-3500	500-2000	200-500	2
	-gering	< 1000	< 1000	< 500	< 200	4
<b>b.) durchschnittliche Dichte aller anderen Indikatorarten</b>						
	-hoch					0
	-mittel					2
	-gering					4
Parameter 4	Deformationen/Anomalien					
	keine bzw. vereinzelt (< 1 %)					0
	Wiederkehrend (1-5 %)					2
	Häufig (> 5 %)					4

Bewertung	Zustand	Punktezahl
	sehr gut	0-1
	gut	2-5
	mässig	6-9
	unbefriedigend	10-13
	schlecht	14-16

#### Indikator F2 – Stranden von Fischen

Die Erhebungen für den Indikator F2 wurden im Rahmen eines Schwallmonitorings durchgeführt. Dabei wurden eine bis zwei Pegelsonden in der Schwallstrecke installiert, und der Pegel in einem Intervall von 1 Minute aufgezeichnet. Auf diese Weise wurden die Pegeländerungsraten (massgebend: Pegelrückgangsraten) gemessen und allfällige Dämpfungseffekte flussabwärts erfasst.

Der Anteil trockenfallender Flächen wurde nach Möglichkeit durch das Messen der benetzten Breite bei Sunk und bei Schwall an mehreren repräsentativen Querprofilen erhoben. Bei schlechter Zugänglichkeit des Gewässers wurde der Flächenverlust bei Sunk geschätzt.

Nach dem Schwalldurchgang wurde auf einer Länge von 100 m nach gestrandeten Tieren gesucht. Wenn keine gestrandeten Jungfische entdeckt werden, heisst das jedoch nicht, dass Stranden nicht möglich ist. Es ist gut möglich, dass im untersuchten Abschnitt keine Jungfische vorkommen und somit auch nicht stranden können. Zudem ist aus der Literatur bekannt, dass gestrandete Jungfische

sich ins Sediment zurückziehen können und daher schlecht nachweisbar sind (Halleraker et al. 2003). Aus diesem Grund wurde dieser Parameter nicht bewertet (Tab. A2.2).

Für die Gesamtbewertung des Indikators F2 wurde das schlechtere Ergebnis (*worst case*) der Teilaspekte „trockenfallende Flächen“ und „Pegelrückgangsrate“ verwendet.

**Tabelle A2.2:** Bewertung der Strandungsgefahr (Indikator F2).

Bewertung	Zustand	Trockenfallende Flächen [%]	Pegelrückgangsrate [cm/min]
	sehr gut	< 10 %	< 0.3 cm/min
	gut	10-30 %	0.3-0.5 cm/min
	mässig-schlecht	> 30 %	> 0.5 cm/min

#### Indikator F4 – Reproduktion der Fischfauna

Die Reproduktion der Fischfauna wurde ebenfalls anhand bestehender Befischungsdaten (vgl. F1 MSK Fische Stufe F) bewertet (Tab. A2.3). Dabei wurde die Dichte von Bachforellen-Sömmerlingen pro Hektar Wasserfläche berechnet.

**Tabelle A2.3:** Bewertung der Reproduktion der Fischfauna nach Schager & Peter (2004).

Bewertung	Zustand	Bachforellensömmerlingsdichte n/ha		
		Alpen	Voralpen	Jura
	sehr gut	> 400	> 2000	> 2500
	gut	300-400	1000-2000	1500-2500
	mässig	200-300	500-1000	1000-1500
	unbefriedigend	100-200	250-500	250-1000
	schlecht	< 100	< 250	< 250

## Indikator F5 – Fischereiliche Produktivität

Die Berechnung des Jahreshektarertrag (JHE) anhand der Makrozoobenthosbiomasse basiert auf dem Ansatz nach Vuille (1997; Tab. A2.4 u. A2.5):

$$\text{JHE} = 10 \times B \times k_1 \times k_2 \times k_3$$

B: Bonitätsfaktor

**Tabelle A2.4:** Bestimmung des Bonitätsfaktors mittels Makrozoobenthosbiomasse nach Vuille (1997).

	Nährtierbestand [g/m <sup>2</sup> ]	Bonitätsfaktor
"arme Gewässer"	0 - 1.5	0.5
	1.5 - 3	1
	3 - 4.5	1.5
	4.5 - 6	2
	6 - 8	2.5
	8 - 10	3
	10 - 15	3.5
	15 - 20	4
"mittlere Gewässer"	20 - 25	4.5
	25 - 30	5
	30 - 35	5.5
	35 - 40	6
	40 - 45	6.5
	45 - 50	7
	50 - 55	7.5
	55 - 60	8
"reiche Gewässer"	60 - 65	8.5
	65 - 70	9
	70 - 80	9.5
	> 80	10

k<sub>1</sub>: Temperaturkoeffizient

k <sub>1</sub> = 0.75	Sommertemperaturen < 12°C
k <sub>1</sub> = 1.00	Sommertemperaturen > 12 °C
k <sub>1</sub> = 1.25	Sommertemperaturen > 16°C
k <sub>1</sub> = 1.50	Sommertemperaturen > 18°C
k <sub>1</sub> = 1.75	Seeausflüsse im Flachland

k<sub>2</sub>: Raumkoeffizient

Um diesen Faktor zu bewerten, wurde abweichend von Vuille (1997) die Ökomorphologie nach MSK als Vereinfachung herangezogen (ohne Berücksichtigung der Längsvernetzung). Die Bewertung des Raumkoeffizienten erfolgte anhand von folgenden Kriterien:

k <sub>2</sub> = 0.5	Klasse 4 (naturfremd/künstlich)
k <sub>2</sub> = 0.75	Klasse 3 (stark beeinträchtigt)
k <sub>2</sub> = 1	Klasse 2 (wenig beeinträchtigt)
k <sub>2</sub> = 1.5	Klasse 1 (natürlich/naturnah)

k<sub>3</sub>: Fischregion

k<sub>3</sub> = 1           Forellenregion  
k<sub>3</sub> = 1.25       Äschenregion  
k<sub>3</sub> = 1.5        Barbenregion  
k<sub>3</sub> = 2           Brachsmenregion

**Tabelle A2.5:** Bewertung der Fischereilichen Produktivität nach Vuille (1997).

Bewertung	Zustand	Jahreshektarertrag JHE		
		< 500 m. ü. M.	500-100 m. ü. M.	> 1000 m.ü.M.
sehr gut	sehr gut	≥ 60 kg	≥ 40 kg	≥ 30 kg
gut	gut	41-60 kg	31-40 kg	21-30 kg
mässig	mässig	31-40 kg	21-30 kg	11-20 kg
unbefriedigend	unbefriedigend	21-30 kg	11-20 kg	6-10 kg
schlecht	schlecht	≤ 20 kg	≤ 10 kg	≤ 5 kg

#### Indikator B1 – Makrozoobenthos Biomasse

Die Beprobung des Makrozoobenthos erfolgte nach Modulstufenkonzept Makrozoobenthos Stufe F im vorgesehenen Zeitfenster (Stucki 2010). Die Biomasse der Proben wurde als Frischgewicht (Abtropfgewicht) mit einer Mikrowaage gewogen. Anschliessend wurde die Biomasse mit dem Sollwert für die jeweilige Höhenlage verglichen (Jungwirth et al. 1980; Dückelmann 2001; Tab. A2.6).

$$\text{Sollwert Biomasse} = 1 / [(0.000261 \times H) - 0.032]$$

H = Meereshöhe [ m. ü. M.]

**Tabelle A2.6:** Bewertung der Makrozoobenthos-Biomasse nach Baumann et al. (2012).

Bewertung	Zustand	Anteil an der Soll-Biomasse
sehr gut	sehr gut	> 80 %
gut	gut	> 60 - 80 %
mässig	mässig	> 45 - 60 %
unbefriedigend	unbefriedigend	> 30 - 45 %
schlecht	schlecht	< 30 %

#### Indikator B2 – MSK Makrozoobenthos Stufe F

Der IBCH beurteilt den Grad der Beeinträchtigung eines Gewässers anhand der Zusammensetzung des Makrozoobenthos auf Familienniveau. Der schweizerische IBCH entspricht zur Zeit noch dem französischen IBGN (Indice biologique global normalisé). Er soll in den kommenden Jahren den schweizerischen Verhältnissen angepasst werden. Die Berechnungsmethode wird detailliert in Stucki (2010) beschrieben (Tab. A2.7).

**Tabelle A2.7:** Bewertung des IBCH nach Stucki (2010).

Bewertung	Zustand	IBCH
	sehr gut	17-20
	gut	13-16
	mässig	9-12
	unbefriedigend	5-8
	schlecht	0-4

#### Indikator B3 – Längenzonation Makrozoobenthos

Um diesen Indikator zu bewerten, wurde die semi-quantitative Makrozoobenthosprobe (vgl. Indikator B1 und B2) auf Art- bzw. Gattungsniveau bestimmt. Bei Unsicherheiten in der Bestimmung wurden in einzelnen Fällen Experten für die jeweiligen Gruppen beigezogen (Eintagsfliegen: André Wagner, Köcherfliegen und Steinfliegen: Verena Lubini). Anhand dieser Daten wurde der Längenzonierungsindex (LZI) nach Zelinka & Marvan (1961) berechnet. Dieser wird mit der erwarteten Bioregion verglichen, die anhand der abiotischen Parameter Gewässerbreite, Gefälle und Temperatur berechnet wird (Huet 1949; Marrer 1981). Zudem konnte die Abweichung des LZI von einer schwallunbeeinflussten Referenzstelle für die Bewertung herangezogen werden. Abweichungen des LZI von der erwarteten Bioregion werden wie folgt bewertet (Tab. A2.8):

**Tabelle A2.8:** Bewertung des Längenzonierungsindex nach Zelinka & Marvan (1961).

Bewertung	Zustand	Abweichung vom Sollwert
	sehr gut	< ± 0.25 Einheiten
	gut	± 0.25 bis < ± 0.5 Einheiten
	mässig	± 0.5 bis < ± 0.75 Einheiten
	unbefriedigend	± 0.75 bis ± 1 Einheit
	schlecht	> 1 Einheit

#### Indikator B4 – Anzahl EPT-Familien

Für diesen Indikator wird dieselbe semi-quantitative Makrozoobenthosprobe wie für die Indikatoren B1-B3 verwendet und die Anzahl Eintags-, Stein- und Köcherfliegen-Familien (EPT-Familien) bestimmt (Tab. A2.9).

**Tabelle A2.9:** Bewertung der Anzahl EPT-Familien nach Baumann et al. (2012).

Bewertung	Zustand	Anzahl EPT-Familien
	sehr gut	> 12
	gut	8-12
	mässig	5-7
	unbefriedigend	2-4
	schlecht	< 2

#### Indikator A1 – Mindestabfluss

Bei diesem Indikator wird geprüft, ob der Sunkabfluss bei der Wasserrückgabe die Anforderungen an die gesetzlichen Restwassermengen nach GSchG Art. 31 – 33 erfüllt oder nicht. Hierzu wird das natürliche  $Q_{347}$  bei der Wasserrückgabe herangezogen. Dieser stammt entweder aus Messdaten oder wurde anhand der Einzugsgebietsfläche modelliert.

**Tabelle A2.10:** Restwassermenge gemäss Art. 31 GSchG.

Bewertung	Zustand	Restwassermenge Art. 31-33 GSchG
	gut	Anforderung erfüllt
	schlecht	Anforderung nicht erfüllt

#### Indikator H1 – Innere Kolmation

Abweichend von der Methode der Vollzugshilfe wurde die innere Kolmation nicht mittels GUS-Proben (gesamte ungelöste Stoffe) bewertet, da wir der Ansicht sind, dass diese Methode für kleinere Gewässer nicht geeignet ist. Die innere Kolmation wurde stattdessen anhand drei verschiedener Methoden bewertet:

- *Innere Kolmation nach Schälchli et al. (2002):*  
Bewertet die innere Kolmation am Ufer im trockenen Bereich der Gewässersohle mit einer 5-Stufigen Skala (1 = keine Kolmation, 5 = vollständige Kolmation). Abweichend von der Standardmethode wurde eine Skala mit 0.5er-Schritten gewählt.
- *Innere Kolmation nach Strohmeier et al. (2005):*  
Im benetzten Bereich wird an einer Stelle mit Strömungen von 0.3 - 0.5 m/s ins Sediment gekickt und die Länge der Kickfahne anhand einer 5-Stufigen Skala bewertet (1 = keine Kolmation, 5 = vollständige Kolmation).
- *Innere Kolmation gemäss MSK-Modul „Äusserer Aspekt“ (Binderheim & Göggel 2007):*  
Kraftaufwand für die Entfernung von Steinen aus dem benetzten Bereich des Bachbetts (Abpflasterung). Bewertung in 3-Stufiger Skala: 1 = Steine können ohne Widerstand entfernt werden, 3 = Steine können nicht ohne Hilfsmittel entfernt werden.

Diese drei Indikatoren können je nach Gewässer zu unterschiedlichen Bewertungen der inneren Kolmation führen. Aus diesem Grund wurden die Bewertungen dieser drei Parameter zu einem einzigen Wert aggregiert. Dafür wurde aus den drei Bewertungen das gewichtete Mittel gebildet, um die Kolmation nach MSK Äusserer Aspekt gleich stark zu berücksichtigen, wie die anderen beiden Indikatoren.

**Tabelle A2.11:** Bewertung der aggregierten inneren Kolmation.

Bewertung	Zustand	Aggregierte innere Kolmation
	sehr gut	1 - 1.9
	gut	2 - 2.9
	mässig	3 - 3.9
	unbefriedigend	4 - 4.9
	schlecht	5

#### Indikator Q1 – Temperatur

Die Temperatur wurde über einen längeren Zeitraum (7-10 Monate) in den Schwallstrecken und als Referenz jeweils oberhalb der Wasserrückgabe mit Temperaturdatenloggern (HOBO Data Loggers) gemessen. Diese zeichneten die Wassertemperatur in einem Intervall von 10 Minuten auf. Diese Messreihen wurden nach Dübendorfer et al. (2011) analysiert und die Temperaturänderungsraten wie folgt bewertet (Tab. A2.12):

**Tabelle A2.12:** Bewertung der Temperaturänderungsraten nach Vollzugshilfe Schwall/Sunk.

Bewertung	Zustand	Temperaturänderungsrate [°C/h]
sehr gut	sehr gut	$\leq 1.25^{\circ}\text{C/h}$
gut	gut	$1.25^{\circ}\text{C/h} < \text{TR} \leq 2.5^{\circ}\text{C/h}$
mässig	mässig	$2.5^{\circ}\text{C/h} < \text{TR} \leq 3.75^{\circ}\text{C/h}$
unbefriedigend	unbefriedigend	$3.75^{\circ}\text{C/h} < \text{TR} \leq 5^{\circ}\text{C/h}$
schlecht	schlecht	$\text{TR} > 5^{\circ}\text{C/h}$

#### Korrekturfaktoren

Verschlechterung um 1 Klasse wenn:  
 $TA_{\text{Schwall/Sunk}} > TA_{\text{Ref}}$  und  $PM = 3-5$  sowie  $P95 = 6-9$   
 oder  $TA_{\text{Schwall/Sunk}} > 1.5 * TA_{\text{Ref}}$   
 oder  $PM > 5$  sowie  $P95 > 9$

Verschlechterung um 2 Klassen wenn:  $TA_{\text{Schwall/Sunk}} > 1.5 * TA_{\text{Ref}}$  und  $PM > 5$  sowie  $P95 > 9$

Da eine Messreihe von mindestens einem Jahr (besser 5-Jahren) für die Bewertung notwendig ist, werden die Messungen weitergeführt. Dennoch ist der Einfluss des Schwallbetriebs auf die Wassertemperatur in den meisten Fällen bereits nach wenigen Wochen Monitoring erkennbar. Die Langzeitmessungen dienen vorwiegend der breiteren Abstützung der Bewertung.

#### Ökomorphologie

Die Ökomorphologie wurde basierend auf dem GIS-Layer „Ökomorphologie F – Abschnitte“, welcher auf dem Geoportal des Bundes heruntergeladen werden kann, bewertet.

#### Wasserqualität (Nährstoffbelastung)

Die Bewertung der Wasserqualität erfolgte anhand von Kieselalgenanalysen. Die Kieselalgen wurden bei jeder Untersuchungsstelle durch Abschaben einer definierten Fläche auf drei bis fünf über das Bachbett verteilten Steinen gewonnen. Die vereinigte Probe wurde mit Formol fixiert und gemäss MSK im Labor weiterverarbeitet. Die Aufbereitung der Proben und Bestimmung der Arten erfolgte durch den Spezialisten Joachim Hürlimann (Aqua Plus, Zug) im Unterauftrag. Neben der Taxazahl und dem Diversitätsindex wurde der DI-CH (Diatomeen Index Schweiz) bestimmt, welcher die Güte eines Fließgewässers indiziert. Anhand des DI-CH wurde darauf jedes Gewässer in eine der fünf Zustandsklassen eingeteilt (1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = mässig, 4 = unbefriedigend, 5 = schlecht; Tab. A2.13).

Weiter wurde für alle Untersuchungsstellen die Summe sauerstoffbeeinflusster Arten ermittelt. Sie zeigt an, ob sich viele Arten mit ausgeprägter Vorliebe für O<sub>2</sub>-reiches Wasser in der Probe befinden. Steigt deren Anteil über 50 %, so kann eine bestehende Nähr- oder Schadstoffbelastung des Wassers durch die gute Belüftung „wettgemacht“ werden, die Wasserqualität könnte also zu gut indiziert sein.

**Tabelle A2.13:** Bewertung des Kieselalgenindex (DI-CH) nach Hürlimann & Niederhauser (2007).

Bewertung	Klasse	DI-CH	Zustand
1	1	1.0 - 3.49	sehr gut
2	2	3.5 - 4.49	gut
3	3	4.5 - 5.49	mässig
4	4	5.5 - 6.49	unbefriedigend
5	5	6.5 - 8.0	schlecht

Zusätzlich zum DI-CH wurde der Saprobitäts-Index nach Zelinka & Marvan (1961) anhand der Makrozoobenthosproben berechnet. Der Saprobitäts-Index ist ein traditionelles Mass für die Beurteilung von

Fließgewässern. Je nach organischer Belastung eines Gewässers bildet sich eine spezielle Population von Makroinvertebraten aus, für die ein entsprechender Index berechnet wird. Den einzelnen Wasserwirbelosentaxa wird dabei zuerst ein artspezifischer Index sowie ein Indikationsgewicht zugeordnet und daraus der Saprobitäts-Index der beprobten Population bestimmt. Der Index kann Werte zwischen 1 (unbelastete Gewässer) und 4 (übermässig belastetes Gewässer) annehmen (Tab. A2.14).

**Tabelle A2.14:** Saprobitätsstufe und Index (DIN, 1989).

Saprobitätsstufe	Saprobitäts-Index	Belastungsstufe
I oligosaprob	1.00 – 1.49	unbelastet
I-II oligo- bis betamesosaprob	1.50 – 1.79	gering belastet
II beta-mesosaprob	1.80 – 2.29	mässig belastet
II-III beta- bis alphamesosaprob	2.30 – 2.69	deutlich verschmutzt
III alphamesosaprob	2.70 – 3.19	stark verschmutzt
III-IV alphameso- bis polysaprob	3.20 – 3.49	sehr stark verschmutzt
IV polysaprob	3.50 – 4.00	übermässig verschmutzt

### Anhang 3: Untersuchungsstandorte



Abbildung A3.1: Untersuchungsstandorte für das Schwallmonitoring, Makrozoobenthosuntersuchungen und Temperaturmonitoring bei den Kraftwerken Horgen und Pfäffikon.

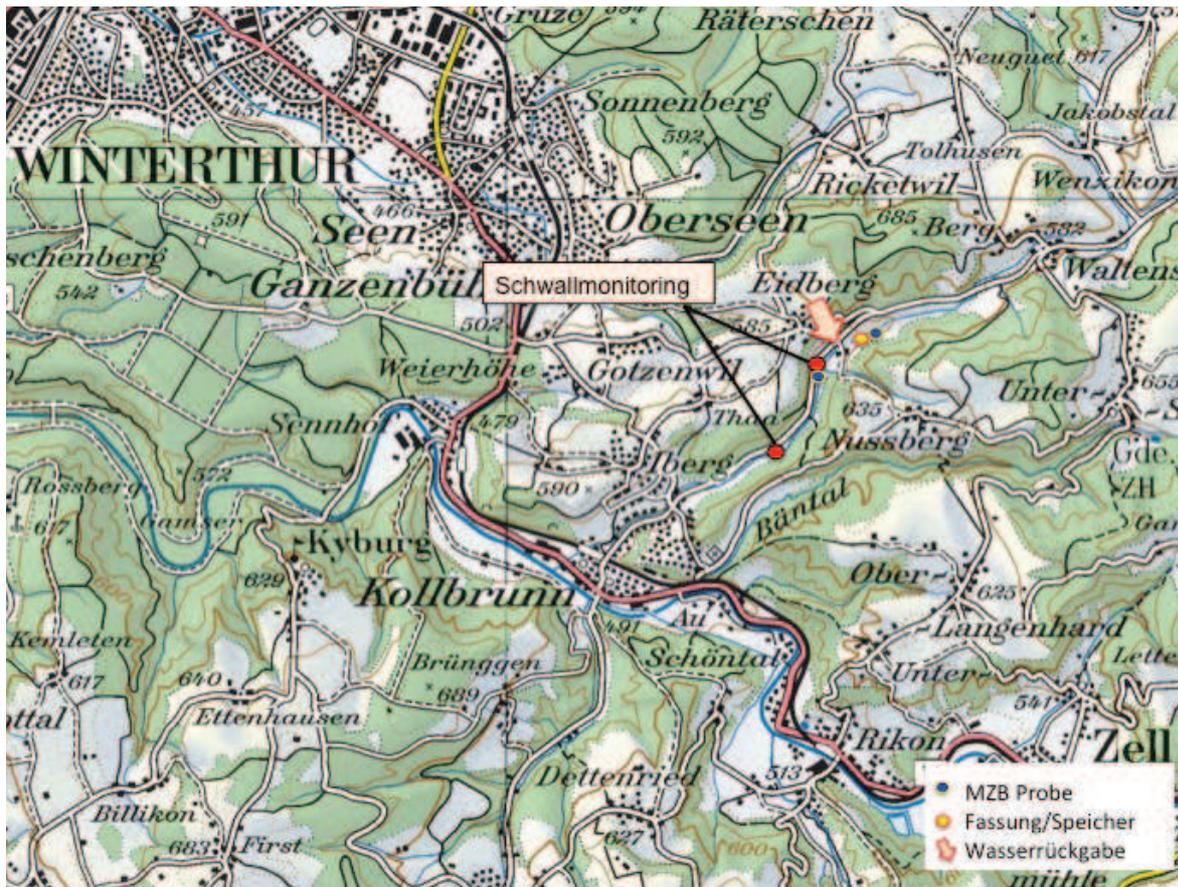
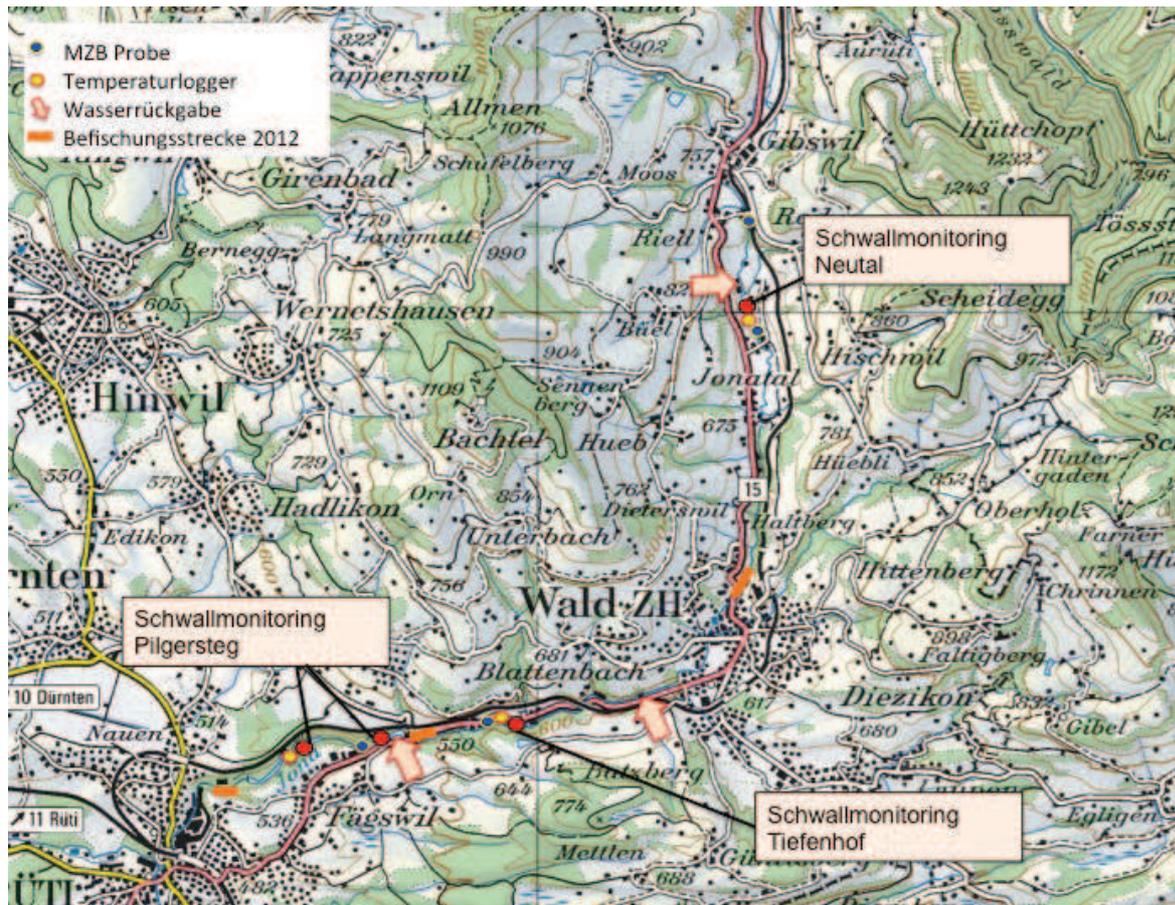


Abbildung A3.2: Untersuchungsstandorte für das Schwallmonitoring und die Makrozoobenthosuntersuchungen.



**Abbildung A3.3:** Untersuchungsstandorte für das Schwallmonitoring, Makrozoobenthosuntersuchungen, Abfischungen und Temperaturmonitoring bei den Kraftwerken an der Jona (Pilgersteg, Tiefenhof und Neutal).

## Anhang 4: Artenliste Makrozoobenthos

Untersuchungsstellen	Horgen 1	Horgen 2	Jona 1	Jona 2	Jona 3	Jona 4	Pfäffikon	Heiterthal 1	Heiterthal 2
Gewässer	Aabach	Aabach	Jona	Jona	Jona	Jona	Dorfbach	Bolsteren- bach	Bolsteren- bach
Art der Strecke	RW	SS	Ref	SS	SS	SS	SS	Ref	SS
Höhe über Meer [m]	410	408	745	695	561	488	540	548	534
Datum der Probenahme	11.03.14	11.03.14	11.03.14	10.03.14	10.03.14	10.03.14	04.04.13	10.03.14	10.03.14
<b>TAXA</b>									
<b>Steinfliegen (Plecoptera)</b>									
<i>Brachyptera risi</i>	8	2		256	250	644			
<i>Brachyptera</i> sp.			396					200	4
<i>Nemoura</i> sp.									300
<i>Nemoura mortoni</i>			532	48					
<i>Protonemura</i> sp.			194		2				
<i>Amphinemura</i> sp.								48	
<i>Leuctra</i> sp.	48		202	2	2	242		56	2
<i>Siphonoperla torrentium</i>								4	
<i>Isoperla grammatica</i>			156	2	254	20			
<b>Steinfliegen Total</b>	<b>56</b>	<b>2</b>	<b>1480</b>	<b>308</b>	<b>508</b>	<b>906</b>		<b>308</b>	<b>306</b>
<b>Köcherfliegen (Trichoptera)</b>									
<i>Halesus radiatus</i>								60	6
<i>Odontocerum albicorne</i>				2				2	50
<i>Rhyacophila tristis</i>			14	74	4	4		2	18
<i>Rhyacophila</i> s. str. sp.	16	30	96	24	26	78	2		160
<i>Rhyacophila pubescens</i>				2			6		
<i>Hydropsyche</i> sp.	202	160	246	54	2	4			60
<i>Hydropsyche angustipennis</i>							30		
<i>Potamophylax cingulatus</i>	2	2	2	4	2			8	12
<i>Sericostoma personatum</i>									4
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	58	8				4			
<i>Plectrocnemia conspersa</i>				2					
cf. <i>Tinodes unicolor</i>				48					
Trichoptera Gen. sp.				2					
<i>Limnephilus germanus</i> [VU] [4]							2		
<b>Köcherfliegen Total</b>	<b>278</b>	<b>200</b>	<b>358</b>	<b>212</b>	<b>34</b>	<b>90</b>	<b>40</b>	<b>72</b>	<b>310</b>
<b>Eintagsfliegen (Ephemeroptera)</b>									
<i>Ephemera danica</i>				2				24	4
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>			98		50	148		2	48
<i>Habroplebia lauta</i>	2								
<i>Baetis rhodani</i>	864	628	294	480	630	390	10	198	360
<i>Baetis</i> sp.			240						
<i>Baetidae</i> Gen. sp.	2								
<i>Serratella ignita</i>									2
<i>Rhithrogena semicolorata</i> -Gr.									452
<i>Rhithrogena</i> sp.			352	98	288	192			
<i>Ecdyonurus</i> sp.	16		58	156	64	28		58	4
<i>Epeorus assimilis</i>			10	16		2			
<b>Eintagsfliegen Total</b>	<b>884</b>	<b>628</b>	<b>1'052</b>	<b>752</b>	<b>1'032</b>	<b>760</b>	<b>10</b>	<b>282</b>	<b>870</b>
<b>Zweiflügler (Diptera): Zuckmücken</b>									
Orthoclaadiinae Gen. sp.	634	256	578	156	162	358	1'876	6	336
Tanytopodinae Gen. sp.							336		
Chironominae Gen. sp.						48	6		
<b>Zuckmücken Total</b>	<b>634</b>	<b>256</b>	<b>578</b>	<b>156</b>	<b>162</b>	<b>406</b>	<b>2'218</b>	<b>6</b>	<b>336</b>
<b>Zweiflügler (Diptera): Kriebelmücken</b>									
<i>Simulium</i> sp.	62	122	50	50	200			4	802
<b>Kriebelmücken Total</b>	<b>62</b>	<b>122</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>200</b>			<b>4</b>	<b>802</b>
<b>Zweiflügler (Diptera): Übrige</b>									
Ceratopogonidae Gen. sp.								2	
<i>Atherix ibis</i>	4	2	10	10	4	6			
<i>Clinocerinae</i> Gen. sp.							2		
Limoniidae Gen. sp.									2
<i>Dicranota</i> sp.		2	4	4	2	24			52
<i>Antocha</i> sp.	144	154			4	2			
<i>Limnophora</i> sp.	2	2							
Tabanidae Gen. sp.					2		4		2
<i>Tipula</i> sp.						2			2
<b>Übrige Zweiflügler Total</b>	<b>150</b>	<b>160</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>34</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>58</b>

Untersuchungsstellen	Horgen 1	Horgen 2	Jona 1	Jona 2	Jona 3	Jona 4	Pfäffikon	Heiterthal 1	Heiterthal 2
Gewässer	Aabach	Aabach	Jona	Jona	Jona	Jona	Dorfbach	Bolsteren- bach	Bolsteren- bach
Art der Strecke	RW	SS	Ref	SS	SS	SS	SS	Ref	SS
Höhe über Meer [m]	410	408	745	695	561	488	540	548	534
Datum der Probenahme	11.03.14	11.03.14	11.03.14	10.03.14	10.03.14	10.03.14	04.04.13	10.03.14	10.03.14

Übrige Taxa									
<i>Gammarus fossarum</i>	42	124	102	148	54		912	1'162	248
<i>Gammarus pulex</i>						242			
<i>Eiseniella tetraedra</i>	6	2	6	4	4	2		2	32
Nematoda Gen. sp.									2
<i>Cordulegaster boltoni</i>								4	
<i>Limnius</i> sp.	2	2		48	104	8	337	120	412
<i>Elmis</i> sp.							481		
<i>Orectochilus villosus</i> [VU]									2
Coleoptera Gen. sp.					2				
<i>Ancyclus fluviatilis</i>	2	2							
<i>Radix</i> sp.		4							
<i>Pisidium</i> sp.							2		
<i>Dugesia</i> sp.							4		
Oligochaeta Gen. sp.							6		
Lumbricidae Gen. sp.							18		
Hirudinea Gen. sp.							2		
<i>Erpobdella</i> sp.	6					2			
<b>Übrige Taxa Total</b>	<b>58</b>	<b>134</b>	<b>108</b>	<b>200</b>	<b>164</b>	<b>254</b>	<b>1'762</b>	<b>1'288</b>	<b>696</b>

<b>TOTAL Individuendichte Ind./m<sup>2</sup></b>	<b>2'122</b>	<b>1'502</b>	<b>3'640</b>	<b>1'692</b>	<b>2'112</b>	<b>2'450</b>	<b>4'036</b>	<b>1'962</b>	<b>3'378</b>
--	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Gefährungskategorien Rote Liste nach IUCN 2001: CR = vom Aussterben bedroht, EN = stark gefährdet,

VU = verletzlich, NT = potenziell gefährdet (auf der Vormerkliste)

Prioritäre Arten für die Schweiz: 1 = sehr hoch, 2 = hoch, 3 = mittel, 4 = mässig

RW = Restwasser, SS = Schwall/Sunk, Ref = unbeeinflusste Referenz

## Anhang 5: Artenliste Kieselalgen

Untersuchungsstellen	Horgen 1	Horgen 2	Heiterthal 1	Heiterthal 2	Jona 1	Jona 2	Jona 3	Jona 4
Gewässer	Aabach	Aabach	Bolsteren- bach	Bolsteren- bach	Jona	Jona	Jona	Jona
Art der Strecke	RW	SS	Ref	SS	Ref	SS	SS	SS
Höhe über Meer [m]	410	408	548	534	745	695	561	488
Datum der Probenahme	11.03.14	11.03.14	10.03.14	10.03.14	11.03.14	10.03.14	10.03.14	10.03.14
<b>Zählliste</b>								
Achnanthes biasolettiana var. sublinearis sensu AquaPlus GRUNOW in Van Heurck Type de Synopsis 11 (siehe Achnanthesbuch Tafel 43, Fig.30, 31)							0.8	
Achnanthes laevis OESTRUP								
Achnantheidium affine (GRUNOW) CZARNECKI								
Achnantheidium caledonicum (LANGE-BERTALOT) LANGE-BERTALOT								
Achnantheidium lineare sensu lato								
Achnantheidium minutissimum var. jackii (RABENHORST) LANGE-BERTALOT								
Achnantheidium minutissimum var. minutissimum (KUETZING) CZARNECKY	49.5	10.6	49.5	8.6	17.6	43.0	11.6	17.0
Achnantheidium pfisteri LANGE-BERTALOT						0.2		
Achnantheidium pyrenaicum (HUSTEDT) KOBAYASI					4.6	23.8	6.8	2.0
Adiatha minuscula var. muralis (GRUNOW) LANGE-BERTALOT		0.4			0.4	0.6		0.2
Amphora copulata (KUETZING) SCHOEMAN & ARCHIBALD								0.2
Amphora inariensis KRAMMER						0.4		
Amphora indistincta LEVKOV	0.6		2.2	0.4	1.0			
Amphora pediculus (KUETZING) GRUNOW	3.6	14.6	3.2	1.0	5.0	0.4	1.2	3.4
Caloneis lancetula (SCHULZ) LANGE-BERTALOT & WITKOWSKI	0.8	0.8		0.8	1.6	0.6	1.0	1.0
Cocconeis pediculus EHRENBERG		0.4						
Cocconeis placentula var. euglypta sensu Krammer & Lange-Bertalot 1991 Fig 53/9, 5 und sensu Hofmann et al. 2011 Fig 19/7	0.2	2.0	1.0	1.4	0.4		0.2	0.4
Craticula accomoda (HUSTEDT) D.G.MANN		0.2						
Craticula molestiformis (HUSTEDT) LANGE-BERTALOT			0.2					
Cyclostephanos dubius (FRICKE) ROUND		0.2						
Cyclotella meneghiniana KUETZING		0.2						
Cymatopleura elliptica (BREBISSON) W.SMITH	0.2							
Cymbella affinis KUETZING sensu KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986)								
Cymbella excisa var. excisa KUETZING							0.2	0.8
Delicata delicatula (KUETZING) KRAMMER						0.4	0.2	0.8
Denticula tenuis KUETZING								
Diatoma problematica LANGE-BERTALOT		5.0					0.6	
Diatoma tenue C.AGARDH								
Diatoma vulgare BORY DE SAINT-VINCENT				0.6	0.2		2.6	0.4
Encyonema minutum (HILSE) D.G.MANN	1.0	0.8		0.8	2.2	4.8	3.4	8.2
Encyonema silesiacum var. silesiacum (BLEISCH) D.G.MANN		0.8			1.2		0.6	0.8
Encyonema ventricosum (AGARD) GRUNOW	1.8	0.8		0.4	1.0	0.6	1.8	8.4
Encyonopsis microcephala (GRUNOW) KRAMMER								
Eolimna minima (GRUNOW) LANGE-BERTALOT				0.6				0.8
Eolimna subminuscula (MANGUIN) LANGE-BERTALOT			1.2					
Fallacia subhamulata (GRUNOW) D.G.MANN							0.8	1.0
Fistulifera saprophila (LANGE-BERTALOT & BONIK) LANGE-BERTALOT	1.0							
Fragilaria arcus (EHRENBERG) CLEVE								
Fragilaria brevistriata var. brevistriata GRUNOW								
Fragilaria capucina var. austriaca (GRUNOW) LANGE-BERTALOT								
Fragilaria capucina var. gracilis (OESTRUP) HUSTEDT								
Fragilaria capucina var. vaucheriae (KUETZING) LANGE-BERTALOT	1.0	1.0		1.0	0.6	0.6		
Fragilaria germaninii LANGE-BERTALOT & REICHARDT								
Fragilaria incognita REICHARDT								
Fragilaria ulna (NITZSCH) LANGE-BERTALOT		1.2						0.2
Gomphonema angustivalva REICHARDT					1.0			
Gomphonema angustum sensu LANGE-BERTALOT								
Gomphonema cymbellinum REICHARDT & LANGE-BERTALOT		0.4						
Gomphonema elegantissimum REICHARDT & LANGE-BERTALOT				1.0	1.2	0.8		
Gomphonema lateripunctatum REICHARDT & LANGE-BERTALOT						0.2		
Gomphonema micropus KUETZING	0.2				0.6			
Gomphonema olivaceoides HUSTEDT								

Untersuchungsstellen	Horgen 1	Horgen 2	Heiterthal 1	Heiterthal 2	Jona 1	Jona 2	Jona 3	Jona 4
Gewässer	Aabach	Aabach	Bolsteren- bach	Bolsteren- bach	Jona	Jona	Jona	Jona
Art der Strecke	RW	SS	Ref	SS	Ref	SS	SS	SS
Höhe über Meer [m]	410	408	548	534	745	695	561	488
Datum der Probenahme	11.03.14	11.03.14	10.03.14	10.03.14	11.03.14	10.03.14	10.03.14	10.03.14
Gomphonema olivaceum var. olivaceum (HORNEMANN) BREBISSON	3.6	5.6			2.6	1.8	2.2	
Gomphonema pumilum (GRUNOW) REICHARDT & LANGE-BERTALOT						0.4		
Gomphonema tergestinum FRICKE	0.6	0.4						
Gomphonema truncatum EHRENBERG								
Gomphonema variostigmatum Arbeitsname E. Reichardt 2002								
Mayamaea atomus (KUETZING) LANGE-BERTALOT	3.2	0.8	17.6		1.0	1.6	0.6	
Mayamaea excelsa (KRASSKE) LANGE-BERTALOT			0.2					
Melosira varians C.AGARDH				1.0				
Meridion circulare var. circulare (GREVILLE) C.AGARDH							0.8	
Navicula absoluta HUSTEDT							0.2	
Navicula antonii LANGE-BERTALOT	0.4	3.0	0.4	1.6	0.6	2.0	1.2	
Navicula associata LANGE-BERTALOT	0.8							
Navicula cryptocephala var. cryptocephala KUETZING								
Navicula cryptotenella LANGE-BERTALOT	4.6	6.6		7.4	17.0	2.8	6.4	1.6
Navicula gregaria DONKIN	4.4	12.8	2.6	23.8		0.6	0.6	5.2
Navicula lanceolata (C.AGARDH) EHRENBERG		3.4	0.2	7.6				
Navicula reichardtiana LANGE-BERTALOT	2.6	1.6		2.2	1.4	3.8	8.0	4.2
Navicula splendidula VAN LANDINGHAM								0.2
Navicula tripunctata (O.F.MUELLER) BORY DE SAINT-VINCENT	2.8	7.6	0.2	10.0	5.2	2.0	2.4	1.2
Nitzschia archibaldii LANGE-BERTALOT						0.4		
Nitzschia dissipata (KUETZING) GRUNOW	12.0	10.2	14.6	18.0	12.8	1.8	18.2	28.2
Nitzschia fonticola GRUNOW	0.4	1.8	0.2	1.8	14.4	4.8	25.2	9.8
Nitzschia frustulum (KUETZING) GRUNOW						0.6		
Nitzschia hantzschiana RABENHORST	0.2							
Nitzschia heufleriana GRUNOW	0.2	0.6		0.2				0.6
Nitzschia linearis var. linearis (C.AGARDH) W.SMITH			0.4	0.4				
Nitzschia palea var. palea (KUETZING) W.SMITH	0.4			0.8		0.6		1.8
Nitzschia perminuta (GRUNOW) M.PERAGALLO								0.6
Nitzschia recta var. recta HANTZSCH	1.0	1.2		1.4	6.0		1.8	
Nitzschia sociabilis HUSTEDT	0.8	1.0	0.4	3.2			0.4	
Nitzschia sublinearis HUSTEDT		0.4						
Planothidium frequentissimum var. frequentissimum (LANGE-BERTALOT) LANGE-BERTALOT	0.4		1.0					
Planothidium lanceolatum (BREBISSON ex KUETZING) LANGE-BERTALOT		0.4	2.8	0.4				
Psammothidium lauenburgianum (HUSTEDT) BUKHTIYAROVA & ROUND			0.2					
Reimeria sinuata (GREGORY) KOCIOLEK & STOERMER		1.4						
Rhoicosphenia abbreviata (C.AGARDH) LANGE-BERTALOT	1.0	1.8	0.4	1.8				
Sellaphora joubaudii (GERMAIN) ABOAL	0.4			0.2				
Sellaphora seminulum (GRUNOW) D.G.MANN				0.8	0.4			
Simonsenia delognei (GRUNOW) LANGE-BERTALOT				0.4		0.4		0.8
Stephanodiscus parvus STOERMER & HAKANSSON							0.2	
Surirella angusta KUETZING				0.2				
Surirella brebissonii var. kuetzingii KRAMMER & LANGE-BERTALOT	0.4		1.4	0.2				
Surirella crumena BREBISSON			0.2					
Surirella subsalsa W.SMITH								0.2
Tabularia fasciculata (C.AGARDH) WILLIAMS & ROUND					0.2			
Sellaphora joubaudii (GERMAIN) ABOAL	0.4							
Sellaphora seminulum (GRUNOW) D.G.MANN					0.4			
Simonsenia delognei (GRUNOW) LANGE-BERTALOT						0.4		0.8
Stephanodiscus parvus STOERMER & HAKANSSON							0.2	
Surirella angusta KUETZING								
Surirella brebissonii var. kuetzingii KRAMMER & LANGE-BERTALOT	0.4							
Surirella crumena BREBISSON								
Surirella subsalsa W.SMITH								0.2
Tabularia fasciculata (C.AGARDH) WILLIAMS & ROUND					0.2			

Untersuchungsstellen		Horgen 1	Horgen 2	Heiterthal 1	Heiterthal 2	Jona 1	Jona 2	Jona 3	Jona 4
Gewässer		Aabach	Aabach	Bolsterenbach	Bolsterenbach	Jona	Jona	Jona	Jona
Art der Strecke		RW	SS	Ref	SS	Ref	SS	SS	SS
Höhe über Meer [m]		410	408	548	534	745	695	561	488
Datum der Probenahme		11.03.14	11.03.14	10.03.14	10.03.14	11.03.14	10.03.14	10.03.14	10.03.14
Statistik Zählliste	Anzahl gezählter Schalen	501	500	501	500	501	500	500	500
	Taxazahl	31	34	22	32	26	27	28	28
	Diversität (Log. Basis 2)	3.03	4.13	2.46	3.70	3.66	2.88	3.57	3.50
DI-CH (Zweiteichung)	DI-CH Index (Zweiteichung)	3.73	4.32	4.37	4.31	3.38	2.76	3.35	3.31
	Zustandsklasse (Zweiteichung)	2	2	2	2	1	1	1	1
	sehr gut < 2.5	0.0	0.0	0.0	1.0	6.8	25.6	8.0	3.6
	sehr gut > 2.5	57.5	20.6	49.5	10.6	26.7	51.4	20.6	35.6
	gut	25.3	33.6	18.2	45.2	56.9	16.0	66.8	48.0
	mässig	5.6	29.8	7.2	15.6	6.0	2.8	3.2	4.6
	unbefriedigend	9.0	15.2	21.4	24.8	1.6	2.8	1.2	5.2
	schlecht	1.4	0.6	1.2	2.2	0.8	1.2	0.0	2.8
nicht definiert	1.2	0.2	2.6	0.6	1.2	0.2	0.2	0.2	
Differential- artenanalyse	hypersensible Arten	0.0	0.0	0.0	1.0	2.2	1.4	0.0	0.0
	sensible bis hypersensible Arten	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	24.2	7.0	2.8
	sensible Arten	83.4	54.8	67.3	59.4	82.8	68.0	86.8	84.0
	sensible bis tolerante Arten	3.6	24.4	3.4	8.6	5.0	0.4	1.8	3.4
	tolerante Arten	6.6	19.4	8.2	28.2	2.6	3.2	2.4	6.2
	resistente Arten	4.6	1.4	19.0	2.2	1.8	2.8	0.8	2.8
	nicht definiert	1.8	0.0	2.2	0.6	1.0	0.0	1.2	0.8
VanDam Sauerstoff	ca. 100%	53.1	14.0	49.7	11.2	26.5	74.4	24.8	38.8
	> 75%	28.7	45.6	37.1	38.4	47.7	12.8	55.4	43.0
	> 50%	6.6	15.8	6.4	19.0	19.8	4.6	7.2	3.2
	> 30%	5.8	12.8	4.0	26.0	0.4	1.2	0.8	7.8
	ca. 10%	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	nicht definiert	5.8	11.4	2.8	5.4	5.6	7.0	11.8	7.2
O2 sensible Arten	Summe sauerstoffbeeinflusster Arten	12.2	32.8	4.4	18.4	27.3	9.0	34.8	14.8
VanDam Stickstoff	N-autotroph (sensibel)	3.6	2.0	0.0	2.2	9.0	31.0	13.2	21.0
	N-autotroph (tolerant)	86.0	85.0	77.8	88.8	83.6	58.2	74.2	68.2
	fakultativ N-heterotroph	1.0	0.6	0.4	2.4	0.8	0.6	0.2	1.0
	obligat N-heterotroph	3.6	1.0	18.8	0.8	1.0	2.8	0.6	1.8
nicht definiert	5.8	11.4	3.0	5.8	5.6	7.4	11.8	8.0	
Trophie/ Saprobie	Trophieindex Schmedtje	2.2	2.4	2.3	2.5	2.2	1.9	2.3	2.2
	Saprobieindex Östereich	2.0	2.1	2.3	2.1	1.9	1.7	2.0	2.0

**Legende Qualitätsstufe BUWAL Modul Kieselalgen  
Stufe F (Zweiteichung)**

1: sehr gut (DI-CH 1.0 bis 3.49)

2: gut (DI-CH 3.5 bis 4.49)

3: mässig (DI-CH 4.5 bis 5.49)

4: unbefriedigend (DI-CH 5.5 bis 6.49)

5: schlecht (DI-CH 6.5 bis 8.0)



# Nachtrag zum Schlussbericht Sanierung Schwall/Sunk

Temperaturmonitoring in Zürcher Schwallstrecken



Auftraggeber:  
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft  
Abteilung Wasserbau  
Walcheplatz 2  
8090 Zürich

# 1 Einleitung

Im Rahmen der Abklärungen zu Schwall/Sunk im Kanton Zürich wurden in verschiedenen Schwallstrecken Temperaturdatenlogger exponiert. Anhand der hochaufgelösten Temperaturdaten soll die Frage geklärt werden, ob durch den Schwallbetrieb kurzzeitige Temperaturschwankungen (Indikator Q1) entstehen, die gemäss MSK-Modul Temperatur (Dübendorfer et al. 2011) als Beeinträchtigung einzustufen sind. Die Bewertungen der Wassertemperatur im Schlussbericht Sanierung Schwall/Sunk (Limnex 2014) basieren auf Messreihen von weniger als einem Jahr und sind damit mässig bis gut abgestützt. Im vorliegenden Bericht werden die Messreihen durch weitere Daten ergänzt.

# 2 Vorgehen

Es wurden zwischen Februar 2014 und April 2015 insgesamt 10 Temperaturdatenlogger in 6 Gewässern exponiert:

- Aa (Seeausfluss)/Aabach Wetzikon -> 2 Datenlogger
- Wildbach Wetzikon -> 1 Datenlogger
- Aabach Horgen -> 2 Datenlogger
- Jona -> 3 Datenlogger
- Bolsterenbach -> 1 Datenlogger
- Dorfbach Pfäffikon -> 1 Datenlogger

Die Datenlogger zeichneten die Wassertemperatur in einem Intervall von 10 Minuten auf, wie es von der Vollzugshilfe Sanierung Schwall/Sunk (Baumann et al. 2012) vorgesehen ist. Für die Bewertung des Indikators Q1 (Temperatur) wurde jeweils eine Messreihe von einem Jahr verwendet. An einzelnen Messstellen gab es jedoch Datenlücken, die durch verschiedene Störungen (Sabotage der Messeinrichtung, Trockenfallen der Logger oder Verlust der Logger bei Hochwasser) oder einen späteren Expositionszeitpunkt entstanden sind. An den Stellen im Aabach Horgen, Aabach Wetzikon und im Bolsterenbach liegen deshalb nur Messreihen von 6-10 Monaten vor.

Das Bewertungsschema der Temperaturschwankungen ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Berechnung der Temperaturkennwerte ist in Baumann et al. (2012) detailliert beschrieben. Die Bewertung des Indikators Q1 kann dabei um 1 bis 2 Klassen verschlechtert werden, wenn die in Tabelle 1 aufgeführten Kriterien erfüllt sind (Korrekturfaktoren).

**Tabelle 1** Bewertungsschema des Indikators Q1 (Temperatur) anhand von Temperaturänderungsrate, Tagesamplitude (TA) und Anzahl Temperaturpeaks pro Tag (PM/P95) nach Vollzugshilfe (Baumann et al. 2012).

Bewertung	Zustand	Temperaturänderungsrate [°C/h]
sehr gut	sehr gut	$\leq 1.25^{\circ}\text{C/h}$
gut	gut	$1.25^{\circ}\text{C/h} < \text{TR} \leq 2.5^{\circ}\text{C/h}$
mässig	mässig	$2.5^{\circ}\text{C/h} < \text{TR} \leq 3.75^{\circ}\text{C/h}$
unbefriedigend	unbefriedigend	$3.75^{\circ}\text{C/h} < \text{TR} \leq 5^{\circ}\text{C/h}$
schlecht	schlecht	$\text{TR} > 5^{\circ}\text{C/h}$

### Korrekturfaktoren

Verschlechterung um 1 Klasse wenn:  $T_{A_{\text{Schwall/Sunk}}} > T_{A_{\text{Ref}}}$  und  $\text{PM} = 3-5$  sowie  $\text{P95} = 6-9$   
 oder  $T_{A_{\text{Schwall/Sunk}}} > 1.5 * T_{A_{\text{Ref}}}$   
 oder  $\text{PM} > 5$  sowie  $\text{P95} > 9$

Verschlechterung um 2 Klassen wenn:  $T_{A_{\text{Schwall/Sunk}}} > 1.5 * T_{A_{\text{Ref}}}$  und  $\text{PM} > 5$  sowie  $\text{P95} > 9$

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Aa (Seeausfluss), Aabach und Wildbach Wetzikon

Es wurde je ein Datenlogger in Aa/Seeausfluss, Aabach und Wildbach exponiert (Abb. 1). Der Datenlogger im Wildbach lieferte wichtige Informationen, welche Grundbelastung bezüglich Temperaturschwankungen der Wildbach in den Aabach mitbringt (z.B. von ARA).



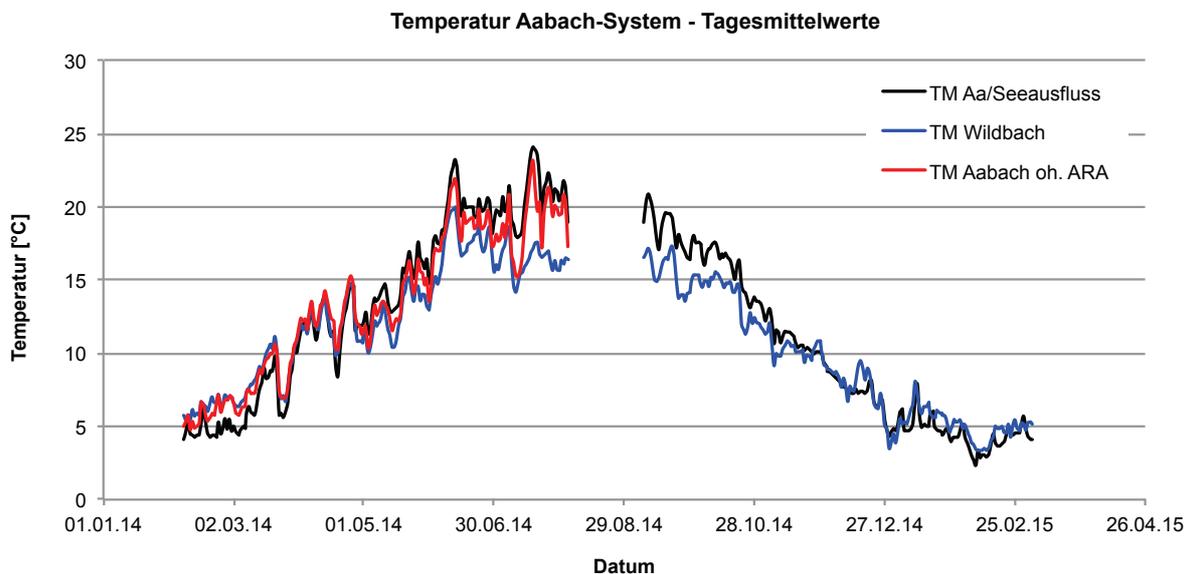
**Abbildung 1** Übersichtskarte zur Position der Datenlogger in der Aa (Seeausfluss), Aabach und Wildbach (rote Kreise). Quelle Karte: swisstopo.

Wie Tabelle 2 zeigt, liegt im Wildbach gemäss Vollzugshilfe keine Beeinträchtigung durch kurzzeitige Temperaturschwankungen vor. In der Aa (Seeausfluss) und im Aabach traten jedoch starke Temperaturschwankungen auf, welche durch den Schwallbetrieb verursacht wurden. Die Temperaturänderungsraten lagen zwischen 10 und 12 °C/h und wurden gemäss Vollzugshilfe mit „schlecht“ bewertet. An keiner der drei Stellen kam ein Korrekturfaktor zur Anwendung.

**Tabelle 2** Bewertung der Temperatur nach Modul-Stufen-Konzept. Aufgelistet sind die Temperaturänderungsrate (90%-Perzentil) und allfällige Korrekturfaktoren. \*In der Aa ist es nicht möglich eine Referenzamplitude zu bestimmen, da es sich um einen Seeausfluss handelt. Deshalb kann hier nicht ermittelt werden, ob ein Korrekturfaktor zur Anwendung kommt.

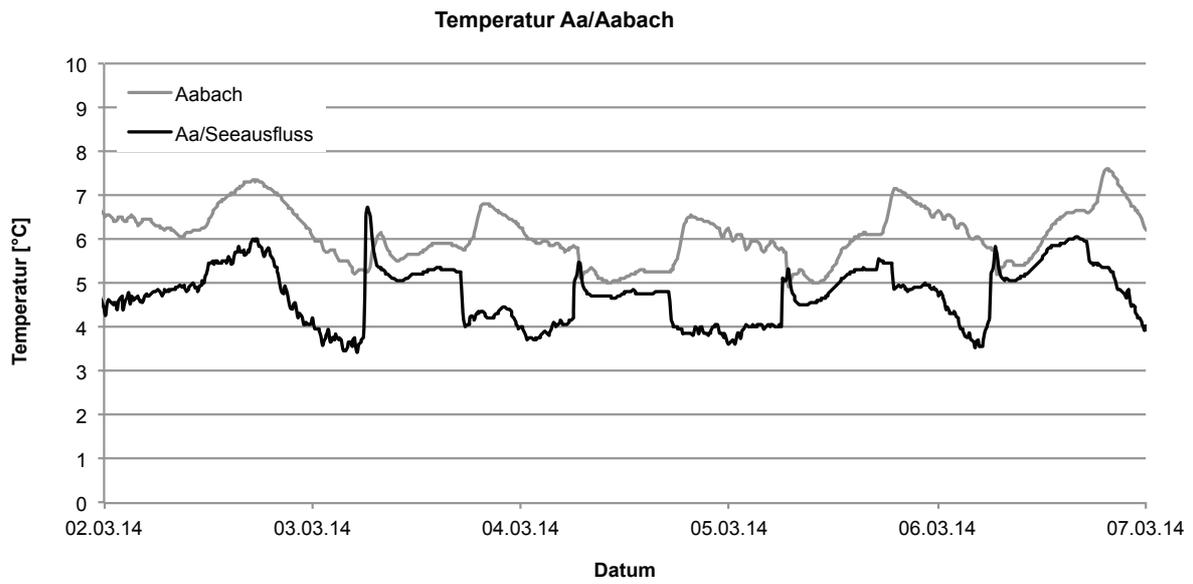
	Aa/Seeausfluss	Wildbach	Aabach, oh. ARA	
TR <sub>Schwall/Sunk</sub> [°C/h]	12	2.4	10.2	
Korrekturfaktoren	*	-	-	
Bewertung				<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> sehr gut</li> <li><span style="color: green;">■</span> gut</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> mässig</li> <li><span style="color: orange;">■</span> unbefriedigend</li> <li><span style="color: red;">■</span> schlecht</li> </ul>

Der Verlauf der Temperaturganglinien ist in Abbildung 2 dargestellt. Es zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen dem seebeeinflussten Aa/Aabach und dem Wildbach. Während der Wildbach im Winter wärmer war als die Aa (Seeausfluss) und der Aabach, war es im Sommerhalbjahr gerade umgekehrt. Die Temperatur des Aabachs lag dabei mehrheitlich zwischen jener der Aa und des Wildbachs, was mit der Durchmischung der beiden Gewässer erklärt werden kann.



**Abbildung 2** Temperaturganglinien (TM=Tagesmittelwerte) der Aa (Seeausfluss), des Aabachs und des Wildbachs. Die Datenlücke ist durch einen vollen Speicher der Logger entstanden. Der Logger im Aabach konnte nur einmal ausgelesen werden.

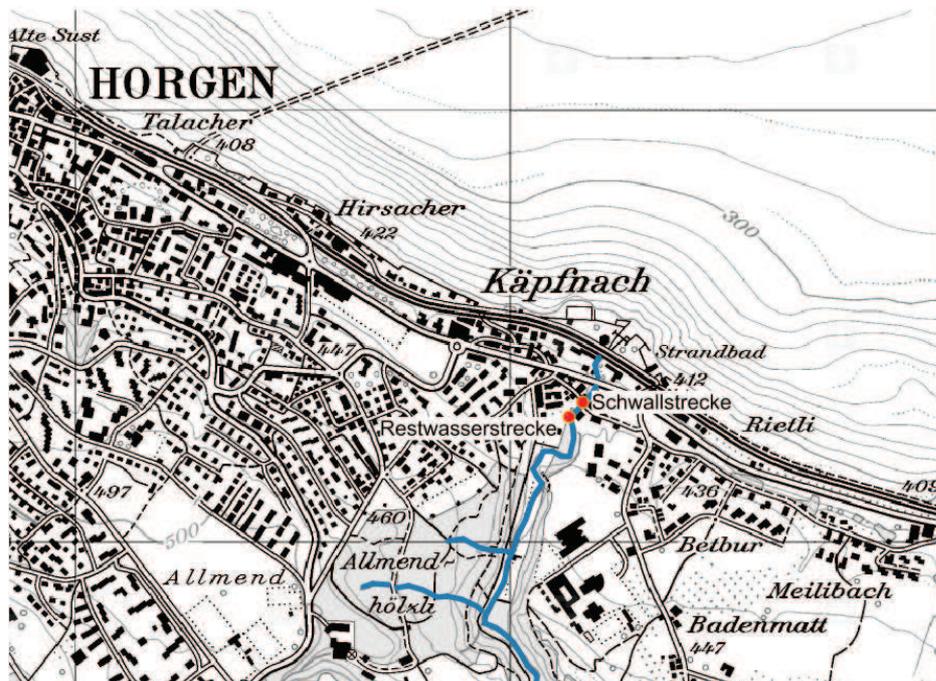
Abbildung 3 zeigt einen Auszug aus der Temperaturganglinie mit hochaufgelösten Daten (10-Minuten-Intervall). Dabei sind die Schwälle, die an Werktagen und zu Arbeitszeiten auftreten, als Temperaturpeaks in der Aa und im Aabach ersichtlich. Die Zeitverzögerung zwischen den beiden Messstellen betrug ca. 10 Stunden.



**Abbildung 3** Auszug der Temperaturganglinien (10-Minuten-Intervall) der Aa (Seeausfluss, schwarz) und des Aabachs (grau) Wetzikon.

### 3.2 Aabach Horgen

Im Aabach Horgen wurde je ein Datenlogger in der Restwasserstrecke und in der Schwallstrecke exponiert (Abb. 4). Die Distanz zwischen den beiden Loggern betrug ca. 25 m (unmittelbar vor und nach der Wasserrückgabe).



**Abbildung 4** Übersichtskarte zur Position der Datenlogger im Aabach Horgen (rote Kreise). Quelle Karte: swisstopo.

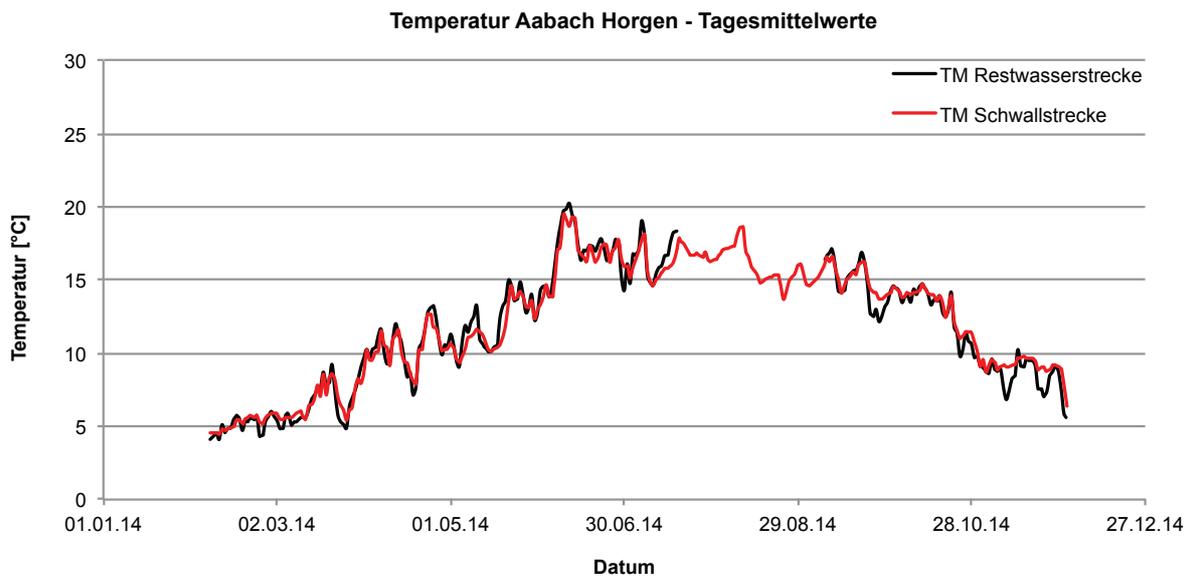
Wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist, verursacht der Schwallbetrieb des Kraftwerks Horgen Temperaturschwankungen im Aabach, die nach Vollzugshilfe mit „schlecht“ bewertet wurden. Die Temperaturänderungsrate betrug dabei 9.6 °C/h. In der ganzen Bemessungsperiode von Februar bis November 2014 traten in der Schwallstrecke Temperaturänderungsraten > 5°C/h auf. In der Restwasserstrecke hingegen lag die Temperaturänderungsrate gemäss Vollzugshilfe im guten Bereich. Ein Korrekturfaktor kam an beiden Stellen nicht zur Anwendung.

**Tabelle 3** Bewertung der Temperatur nach Modul-Stufen-Konzept. Aufgelistet sind die Temperaturänderungsrate (90%-Perzentil) und allfällige Korrekturfaktoren.

	Restwasserstrecke	Schwallstrecke	
TR <sub>Schwall/Sunk</sub> [°C/h]	2.4	9.6	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-bottom: 5px;"></div> sehr gut           <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-bottom: 5px;"></div> gut           <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> mässig           <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-bottom: 5px;"></div> unbefriedigend           <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> schlecht         </div>
Korrekturfaktoren	-	-	
Bewertung			

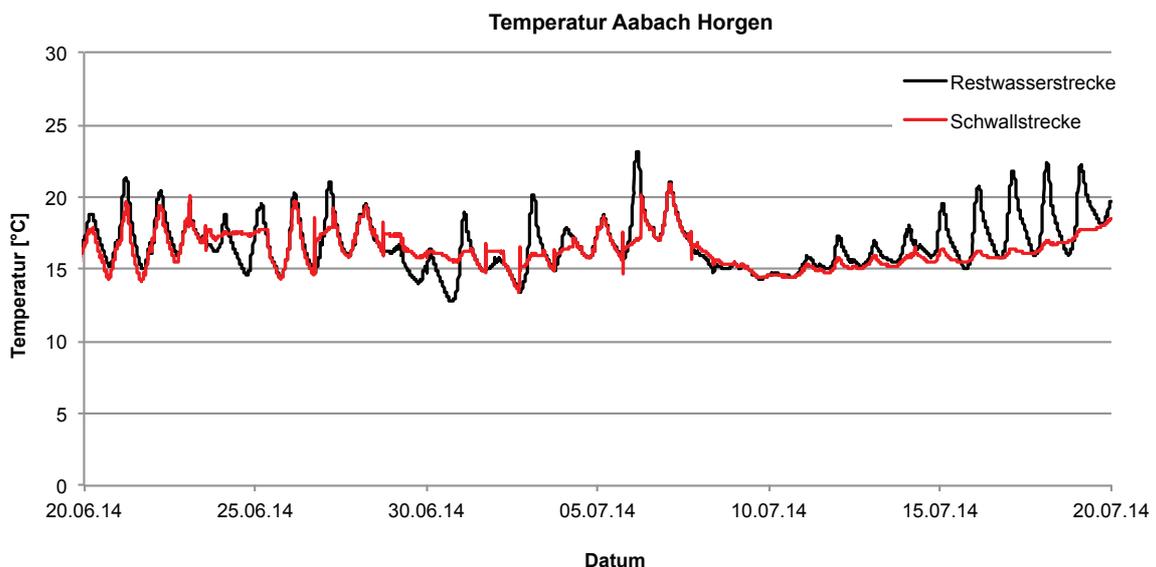
Abbildung 5 zeigt den Verlauf der Temperaturganglinien in der Restwasser- und in der Schwallstrecke. Die Kurven zeigen deutliche Abweichungen voneinander, die auf den Schwallbetrieb zurückzuführen sind. In den Sommermonaten kühlt der Schwall das Gewässer eher ab, während er im Spätwinter und im Herbst tendenziell zu einer Erwärmung führt<sup>1</sup>. Die Unterschiede zwischen den beiden Stellen betragen im Mittel 0.7°C.

<sup>1</sup> Aufgrund einer technischen Störung des Loggers konnte der Hochwinter nicht aufgezeichnet werden.



**Abbildung 5** Temperaturganglinien (TM=Tagesmittelwerte) des Aabachs Horgen in der Restwasserstrecke (schwarz) und in der Schwallstrecke (rot). Die Datenlücke in der Restwasserstrecke ist durch das Trockenfallen des Loggers nach einem Hochwasser entstanden.

Abbildung 6 zeigt einen Ausschnitt der beiden Ganglinien mit hochaufgelösten Temperaturdaten (10-Minuten-Intervall) von Juni bis Juli 2014. Es lässt sich deutlich erkennen, wie der Schwallbetrieb des KW Horgen das Temperaturregime verändert. Besonders im Juli ist die Abkühlung durch das Triebwasser ausgeprägt.



**Abbildung 6** Auszug der Temperaturganglinien (10-Minuten-Intervall) des Aabachs Horgen in der Restwasserstrecke (schwarz) und in der Schwallstrecke (rot).

### 3.3 Jona

In der Jona wurde je unterhalb der drei betrachteten Kraftwerke (Pilgersteg, Tiefenhof und Neutal) ein Logger exponiert (Abb. 7). Die Daten standen für den Schlussbericht Schwall/Sunk noch nicht zur Verfügung. Es gilt zu beachten, dass nur das KW Pilgersteg in geringem Ausmass einen Schwallbetrieb fährt. Die Kraftwerke Tiefenhof und Neutal werden gemäss den Angaben des Betreibers als reine Laufkraftwerke<sup>2</sup> betrieben (Limnex 2014) und verursachen somit keine Temperaturschwankungen.



Abbildung 7 Übersichtskarte zur Position der Datenlogger in der Jona (rote Kreise). Quelle Karte: swisstopo.

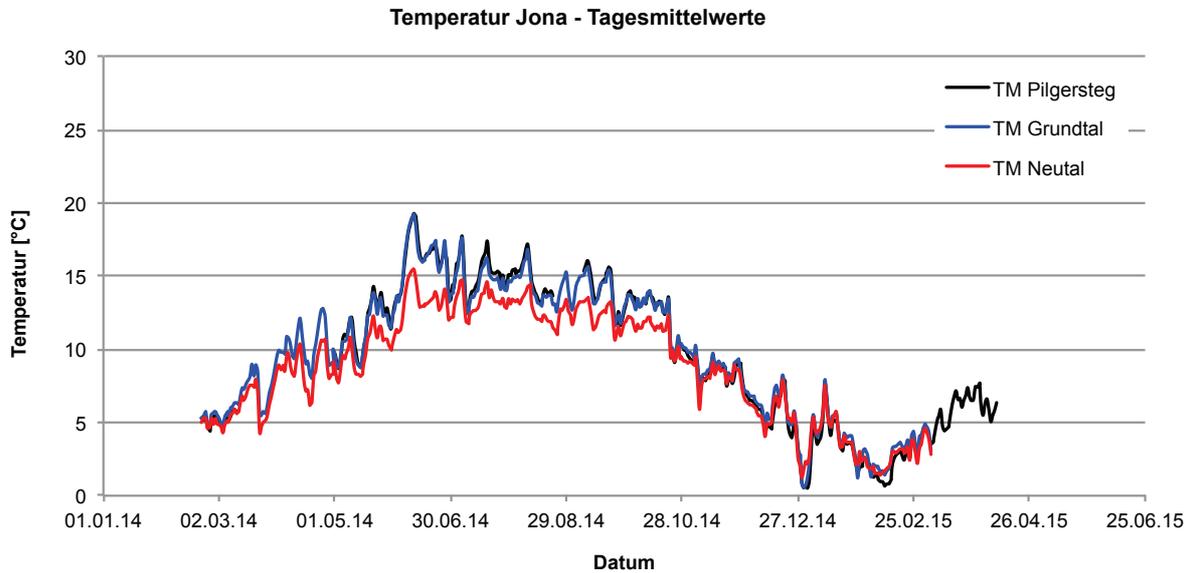
Wie Tabelle 4 zu entnehmen ist, besteht unterhalb der Kraftwerke Pilgersteg und Tiefenhof kein Problem bezüglich kurzzeitigen Temperaturschwankungen. Die Temperaturänderungsraten wurden entsprechend mit „gut“ bzw. „sehr gut“ bewertet. Unterhalb des KW Neutal traten jedoch abrupte Temperaturänderungen auf. Das Kraftwerk kann aber nicht für diese Schwankungen verantwortlich sein, da der Speicher fast komplett verlandet ist und nur ein minimales Speichervolumen zur Verfügung steht. Ein Korrekturfaktor kam an keiner der drei Stellen zur Anwendung.

**Tabelle 4** Bewertung der Temperatur nach Modul-Stufen-Konzept. Aufgelistet sind die Temperaturänderungsrate (90%-Perzentil) und allfällige Korrekturfaktoren.

	Pilgersteg	Grundtal	Neutal	
TR <sub>Schwall/Sunk</sub> [°C/h]	1.2	1.5	4.03	
Korrekturfaktoren	-	-	-	
Bewertung	sehr gut	gut	unbefriedigend	schlecht

<sup>2</sup> Gemäss Konzession dürften beide Anlagen ihren Speicher nutzen. Beim KW Tiefenhof haben das AWEL und der Betreiber aber eine Vereinbarung unterzeichnet, womit sich der Betreiber verpflichtet, auf Speicherbetrieb zu verzichten. Vgl. dazu Limnex (2014).

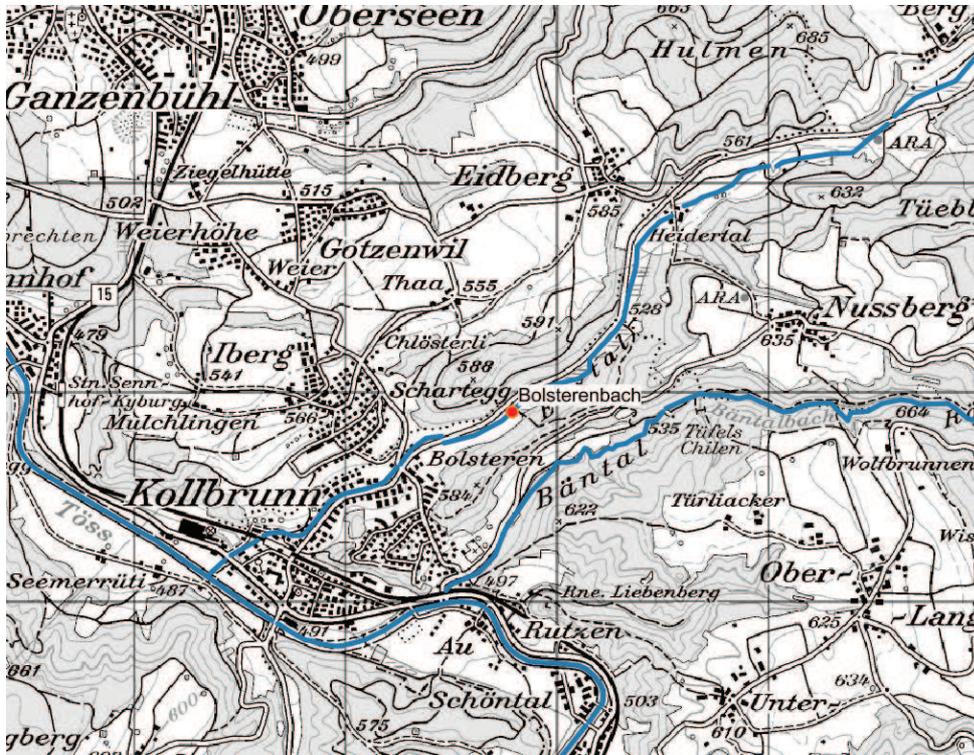
Die Temperaturganglinien der drei Messstellen sind in Abbildung 8 dargestellt. Erwartungsgemäss fand flussabwärts (Neutal bis Pilgersteg) eine Erwärmung statt. Sie betrug für die Bemessungsperiode (März 2014 bis April 2015) im Durchschnitt  $1.3^{\circ}\text{C}$ . Die Kurven der Messstellen Grundtal und Pilgersteg unterschieden sich jedoch kaum.



**Abbildung 8** Temperaturganglinien (TM=Tagesmittelwerte) der Jona, bei Pilgersteg (schwarz), Grundtal (uh. KW Tiefenhof; blau) und Neutal (rot). Die Datenlücke (März-April 2014) bei der Messstelle Pilgersteg ist durch Sabotage der Messeinrichtung entstanden.

### 3.4 Bolsterenbach Heiterthal

Im Bolsterenbach wurde ein Datenlogger ca. 1.3 km nach der Wasserrückgabe der Mühle Heiterthal exponiert (Abb. 9).



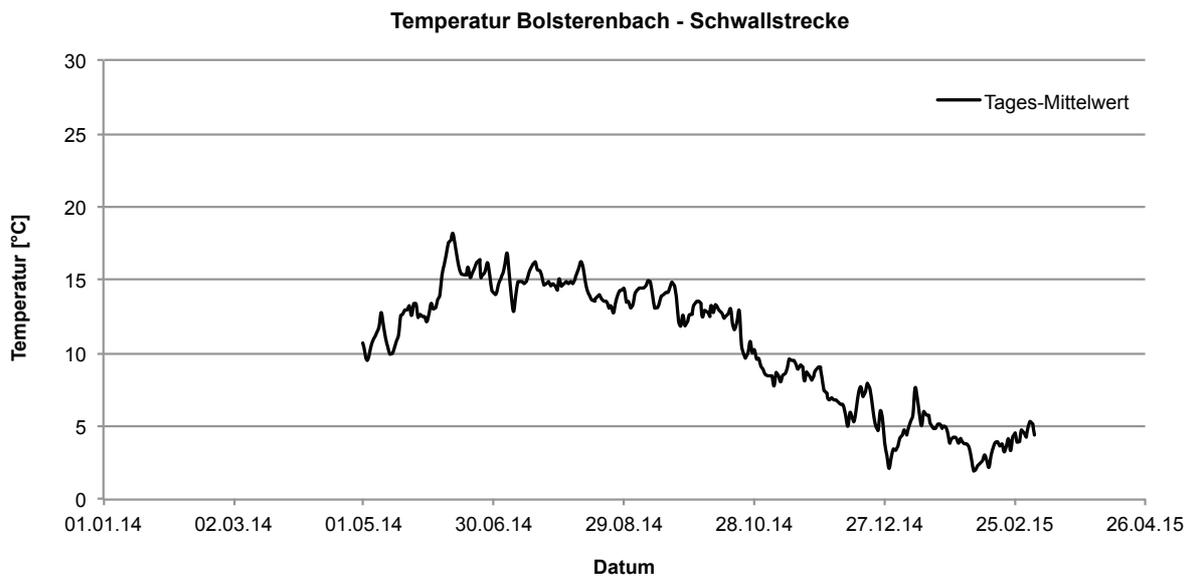
**Abbildung 9** Übersichtskarte zur Position des Datenloggers im Bolsterenbach (roter Kreis). Quelle Karte: swisstopo.

Wie aus Tabelle 5 zu entnehmen ist, führt der Betrieb der Mühle Heiterthal gemäss MSK nicht zu einer Beeinträchtigung der Wassertemperatur. Die Temperaturänderungsrate lag bei 1.8°C/h und wurde mit „gut“ bewertet. Es ist dabei aber zu erwähnen, dass der Bolsterenbach nur ungenau einer Fischregion zugeordnet werden kann und die Bestimmung einer Referenzamplitude deshalb erschwert ist. Aufgrund der Faktoren Gefälle, Temperatur und anhand des Makrozoobenthos (Limnex 2014) wurde die Messstelle der unteren Forellenregion zugeordnet. Ein Korrekturfaktor kam aufgrund dieser Zuordnung nicht zur Anwendung.

**Tabelle 5** Bewertung der Temperatur nach Modul-Stufen-Konzept. Aufgelistet sind die Temperaturänderungsrate (90%-Perzentil) und allfällige Korrekturfaktoren.

	Bolsterenbach	
TR <sub>Schwall/Sunk</sub> [°C/h]	1.8	
Korrekturfaktoren	-	
Bewertung		

In Abbildung 10 ist die Temperaturganglinie von Mai 2014 bis März 2015 dargestellt. Wegen des späteren Expositionszeitpunkts im Vergleich zu den anderen Loggern, liegen hier nur Daten über 10 Monate vor.



**Abbildung 10** Temperaturganglinien (TM=Tagesmittelwerte) des Bolsterenbachs.

### 3.5 Dorfbach Pfäffikon

Im Dorfbach Pfäffikon wurde ein Datenlogger ca. 700 m nach der Wasserrückgabe bzw. 40 m nach Ende des eingedolten Abschnitts exponiert (Abb. 11). Die Wassertemperatur wurde während eines Jahres in einem Intervall von 10 Minuten aufgezeichnet.

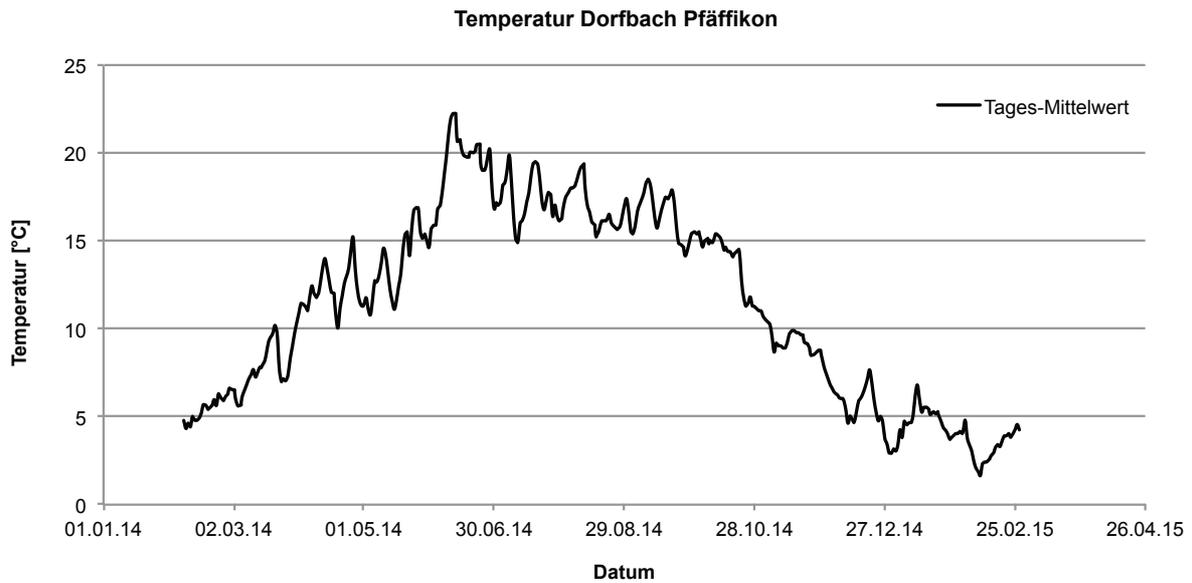


**Abbildung 11** Übersichtskarte zur Position des Datenloggers im Dorfbach Pfäffikon (roter Kreis). Quelle Karte: swisstopo.

Die Pegeländerungsrate betrug für die Bemessungsperiode  $18.7^{\circ}\text{C/h}$  und wurde nach Vollzugshilfe mit „schlecht“ bewertet (Tab. 6). Ein Korrekturfaktor konnte nicht bestimmt werden, da eine eindeutige Zuordnung des Dorfbaches zu einer Fischregion nicht möglich war. Aufgrund der hohen Temperaturänderungsrate würde ein Korrekturfaktor aber nichts an der Bewertung ändern. Der Schwallbetrieb des KW Pfäffikon führt demnach zu einer wesentlichen Beeinträchtigung der Wassertemperatur in diesem kurzen Abschnitt des Dorfbachs.

**Tabelle 6** Bewertung der Temperatur nach Modul-Stufen-Konzept. Aufgelistet ist die Temperaturänderungsrate (90%-Perzentil). \*Kein Korrekturfaktor bestimmt.

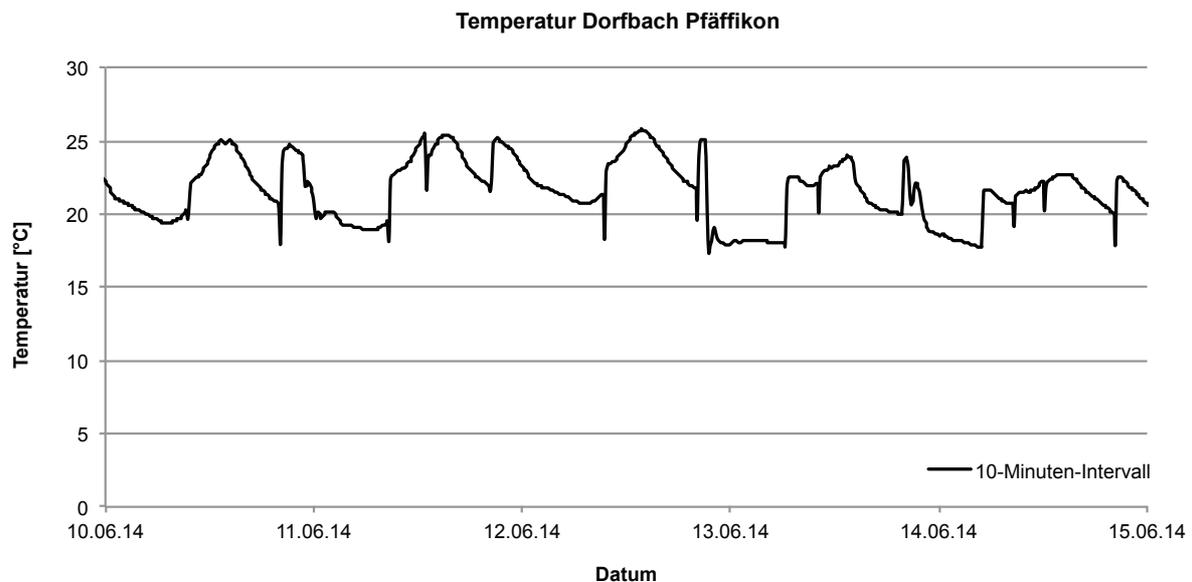
	Dorfbach	
TR <sub>Schwall/Sunk</sub> [ $^{\circ}\text{C/h}$ ]	18.7	
Korrekturfaktoren	*	
Bewertung		



**Abbildung 12** Temperaturganglinien (TM=Tagesmittelwerte) des Dorfbachs Pfäffikon.

Abbildung 12 zeigt die Ganglinie der Tagesmittelwerte in Bemessungsjahr. Es zeigte sich, dass im Sommerhalbjahr hohe Temperaturen in der Schwallstrecke auftreten. Das ist vor allem auf die niedrigen Sunkabflüsse zurückzuführen, welche in extremen Situationen lediglich 10 l/s betragen können. Im oberen Teil der Schwallstrecke fliesst das Wasser bei niedrigen Abflüssen nur sehr langsam und kann sich dadurch stärker erwärmen.

Der Schwallbetrieb führt zu abrupten Temperaturänderungen, wie der Auszug aus der Ganglinie mit hochaufgelösten Daten in Abbildung 13 zeigt.



**Abbildung 13** Auszug der Temperaturganglinien (10-Minuten-Intervall) des Dorfbachs Pfäffikon in der Schwallstrecke.

## 4 Literatur

Baumann, P., Kirchhofer, A., Schälchli, U. (2012): Sanierung Schwall/Sunk-Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1203: 126 S.

Dübendorfer Ch., Moser D., Kemptner T., Egloff L., Müller V., Wanner P., Baumann P., Kirchhofer A. (2011): Expertenbericht zu einem Modul Temperatur im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.

Limnex (2014): Sanierung von Schwall/Sunk im Kanton Zürich - Beschlossene Planung. Bericht im Auftrag des AWEL, Sektion Gewässernutzung, 79S.