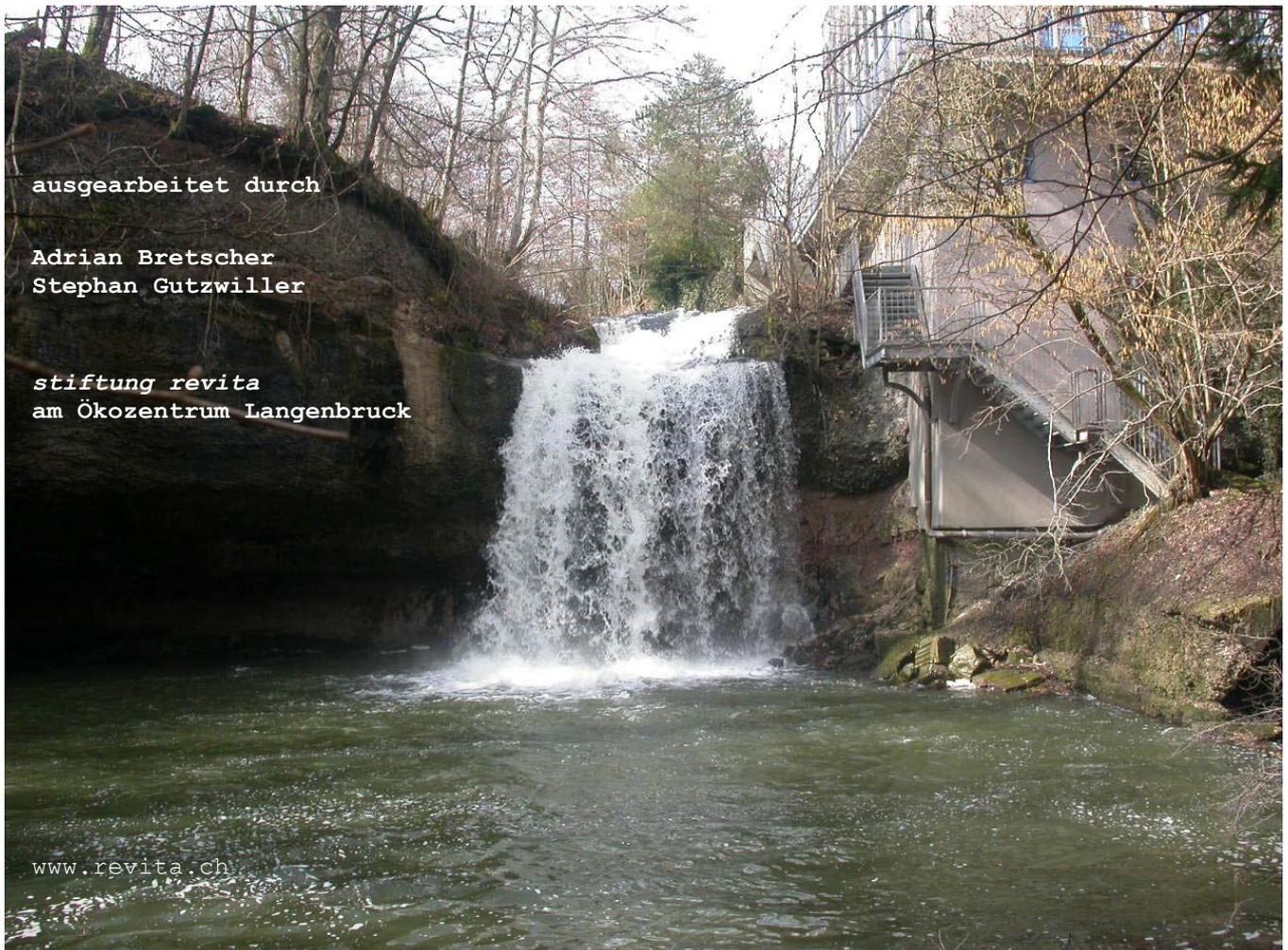


Bericht Juni 2003

Vorstudie Kleinwasserkraftwerk WERAP Immobilien AG, Bubikon ZH

Revitalisierung des 100-jährigen Kraftwerkes



Inhalt

1	Zusammenfassung	2
2	Grundlagen	3
2.1	Anlagepläne, Lage des Kraftwerkes	3
2.2	Aus der Geschichte	4
2.3	Technische Grössen des Kraftwerkes	5
2.4	Hydrologische Daten	6
2.5	Rechtliche Situation	8
3	Umweltaspekte	8
3.1	Kontinuität des Fliessgewässeres	8
3.2	Schutzanliegen	9
3.3	Schall- und Schwingungsemissionen	11
4	Aufwand / Ertrag und Wirtschaftlichkeit	12
4.1	Zugrundegelegte wirtschaftliche Parameter	12
4.2	Kostenschätzung, Gewinn-/Verlustrechnung	12
5	Empfehlungen für das weitere Vorgehen	16
6	Literatur- und Informationsgrundlagen	17
7	Anhang	18
7.1	Fotos Kraftwerksanlagen	18

Diese Arbeit ist mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

1 Zusammenfassung

Die Wasserkraft beim Büro- und Produktionsgebäude der WERAP Immobilien AG in Bubikon (Kanton Zürich) wurde anfangs 19. Jahrhundert erstmals zur Streichgarnproduktion genutzt. Seit 1908 bestand eine Wasserrechtskonzession, die 1970 nach der Stilllegung des Kraftwerkes gelöscht wurde. Die Turbine aus dem Jahre 1928 produzierte mittels Generator, welcher nicht mehr vorhanden ist, Strom für den Eigenbedarf.

Kurz vor dem natürlichen, 13 Meter hohen Wasserfall wird maximal 500 l/s des Schwarzwasseres in einem Druckrohr der Francis-Spiralturbine zugeführt. Sie verfügt über Nennleistung von knapp 50 kW. Nach der Turbine fliesst das Wasser durch einen kurzen Unterwasserstollen in den Kolk des Wasserfalles zurück. Ein Wehr zur kontrollierten Dotierung von Trieb- und Restwasser sowie Verhinderung von Geschiebeeintrag in das Druckrohr ist nicht mehr vorhanden.

Da von der Schwarz keinerlei Abflussmessungen vorliegen, wurde zur Erstellung der Abflussstatistik die Messdaten der Jahre 1951 bis 2001 des Aabaches bei Mönchaltorf verwendet, dessen Einzugsgebiet an jenes halb so grosse der Schwarz angrenzt. Entsprechend dem Einzugsgebietverhältnis wurden die Daten für die Schwarz umgerechnet. Es resultiert eine durchschnittliche Abflussmenge Q_{347} von 82 l/s, was einer Mindestrestwassermenge nach Art. 31 GSchG von 68 l/s entspricht. Diese Restwassermenge soll wegen des ‚natürlichen Bildes des Giessen‘ des Wasserfalles auf 100 l/s erhöht werden. Die potenzielle Stromproduktion beläuft sich auf 190'000 bis 200'000 kWhW pro Jahr.

Da der natürliche Wasserfall für Fische seit jeher unpassierbar ist, ist der Bau einer Fischaufstiegshilfe nicht erforderlich. Der unter Schutz stehende Nagelfluhfels, über welchen das Wasser abfällt, verbietet gar einen Eingriff zur Erstellung z.B. eines Umgehungsgerinnes.

Um die Hochwassersicherheit zu gewährleisten, ist ein neues Wehr derart zu dimensionieren, dass mindestens 26.5 m³/s abgeführt werden kann (ungefähres 20-Jahres-Abflussereignis).

Mit Hilfe der Annuitätsmethode errechnen sich die Strom-Gestehungskosten für die drei untersuchten Sanierungs-Varianten auf 17.6 bis 20 Rappen pro kWh. Dabei wird für die Amortisierung des Kostenaufwandes der Revitalisierung ein Zinssatz von 4.0% sowie eine Lebensdauer der Anlageteile von 30 (alte Turbine nach Sanierung) bis 80 Jahre (Erdbauarbeiten) verwendet. Durch mögliche Beiträge Dritter von rund 100'000 CHF an die Sanierung des denkmalschützerisch wertvollen Anlage-Ensembles mit einem heute einmaligen Turbinentyp könnten die Gestehungskosten auf wirtschaftliche 15 Rappen pro kWh gesenkt werden.

2 Grundlagen

2.1 Anlagepläne, Lage des Kraftwerkes

Das Kleinwasserkraftwerk der WERAP Immobilien AG (kurz Kraftwerk WERAP AG) befindet sich in Bubikon bei Rüti im Kanton Zürich, direkt an der Grenze zur Gemeinde Dürnten (Abbildung 1). Das Flüsschen Schwarz stürzt an der Stelle der ehemaligen Spinnereifabrik und heutigen Gebäude der WERAP AG rund 13 Meter über eine natürliche Doppelschwelle in die Tiefe (Abbildung 10, Titelbild).

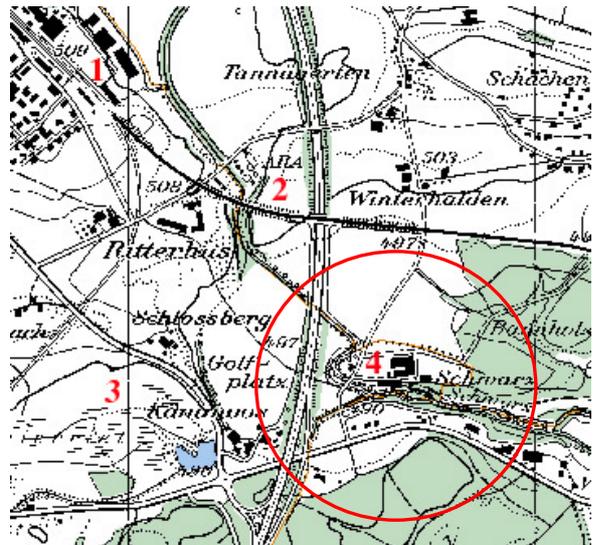


Abbildung 1: Kartenausschnitte aus: www.gis.zh.ch [4]

Links: Die Lage des Kraftwerkes der WERAP AG, Bubikon im Zürcher Oberland, markiert mit rotem Kreis. Kartenausschnitt 1:200'000

Unten: 1 Bahnhof Bubikon; 2 ARA Dürnten (Bubikon), 11301; 3 Kämmoos; 4 Kraftwerk WERAP AG an der Schwarz.

Kartenausschnitt 1:25'000.



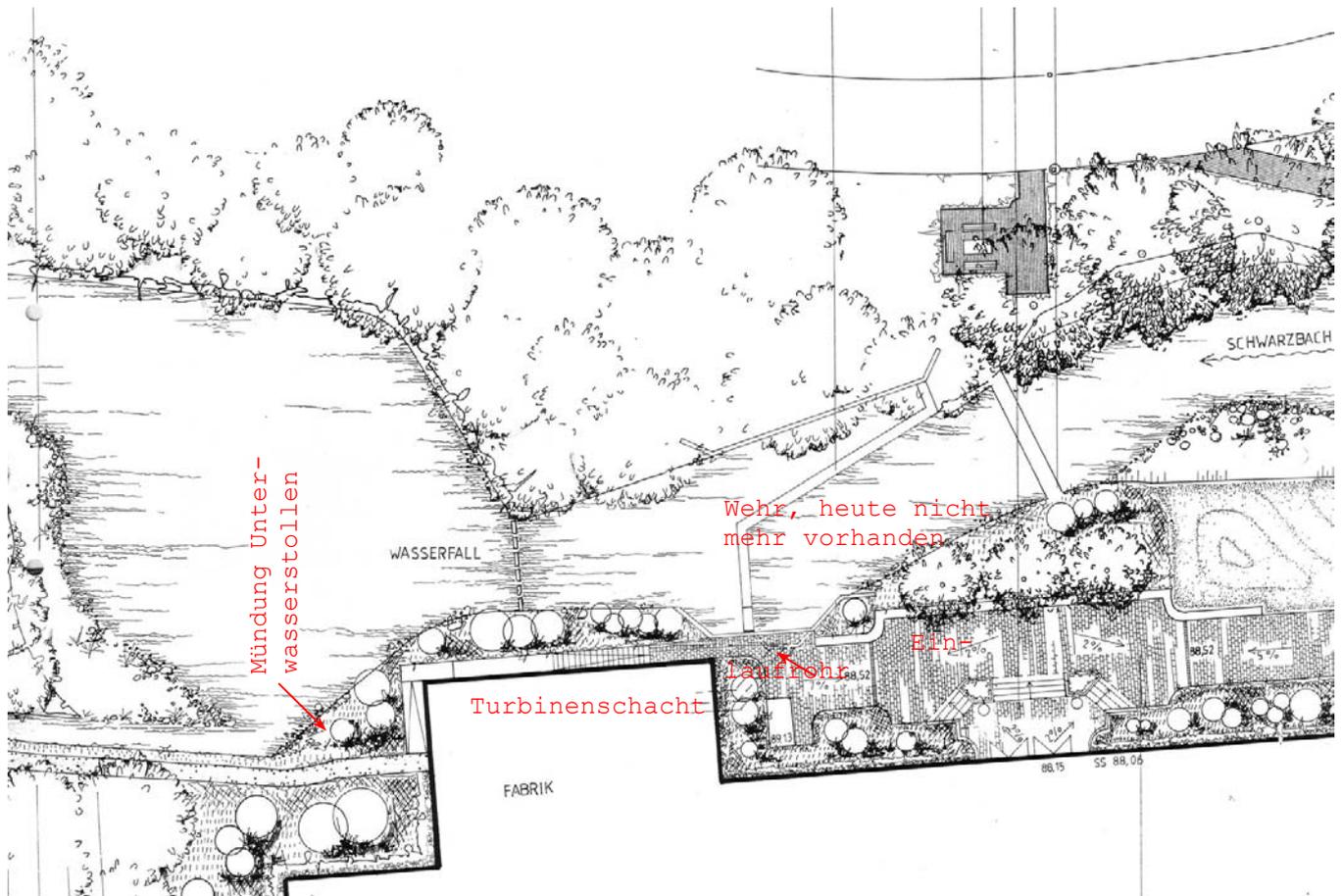


Abbildung 2: Handskizze der Kraftwerksanlagen und Umgebung, Masstab etwa 1 : 400. Aus [6], 1988.

2.2 Aus der Geschichte

Einst schlängelte sich das dunkle Wasser der Schwarz vom Dürntner Ried her durch ödes Sumpfgelände. Weder Bubikon noch Dürnten interessierten sich für diese unwirtliche Gegend, bis zwei Bubiker Unternehmer ihre Spinnereifabrik an den Bachlauf stellten, um die Wasserkraft zu nutzen. Nun erwachten die beiden Gemeinden, und es erhob sich ein Seilziehen um die Gemeindezugehörigkeit des einträglichen und darum steuertechnisch interessanten Unternehmens. Bubikon gewann; 1825 wurde die heutige Grenze fixiert.

Ein halbes Jahrhundert produzierte die Spinnerei an der Schwarz ihr Streichgarn. 1870 musste sie aber in der Textilkrise ihrer überalterten Maschinen wegen den Konkurs anmelden. Nach mehreren Besitzerwechseln übernahm die Streichgarn-Spinnerei Heusser-Staub, Uster, den Betrieb und gliederte eine Weberei an. Während fast hundert Jahren waren hier 50-80 Arbeiterinnen und Arbeiter beschäftigt.

1972/74 wurden Weberei und Spinnerei stillgelegt und die Fabrikräume vermietet. Nach einem Grossbrand blieb nur noch der Abbruch des einst so imposanten Gebäudes. An seiner Stelle entstand 1988 ein sechsstöckiges Geschäftshaus der 1971 gegründeten WERAP AG (Techcenter), welche elektronische Baugruppen herstellt.

Einst wurde die Kraft des Wassers von einem Wasserrad über Drahtseile auf die fünf Etagen der Spinnerei übertragen. Um die Jahrhundertwende wurde diese Anlage durch eine Turbine mit Generator ersetzt. Als schliesslich der eigene Strom teurer zu stehen kam als die von der Elektrizitäts-Genossenschaft Bubikon gelieferte Energie,

DIS-Projekt Nr. : 100117	Programm Kleinwasserkraftwerke	Mit Unterstützung des
DIS-Vertrags Nr. : 150135	Vorstudie Kraftwerk WERAP AG, Bubikon	Bundesamtes für Energie
	stiftung revita, Juni 2003	Seite 5

wurde diese Anlage stillgelegt. Die neue Fabrik soll eine moderne Turbinenanlage erhalten.

(Text: übernommen von der Informationstafel bei der Fussgängerbrücke des Techcenters, teilweise ergänzt.)

2.3 Technische Grössen des Kraftwerkes

In eckiger Klammer steht die Nummer der jeweiligen Informationsgrundlage, welche auf Seite 17 aufgeführt ist.

Aufnahme der bestehenden Anlagekomponenten (7. März 2003)

Das Flüsschen Schwarz unterquert nach der ARA Dürnten (Bubikon) die Kantonsstrasse und fliesst nach einer S-Kurve zum 13 Meter hohen Absturz neben dem Techcenter Schwarz. Heute zweigt der „Oberwasserkanal“ in Form eines metallenen Einlassrohres mit einem Durchmesser von zirka 100 cm unmittelbar vor dem Absturz ab. Früher - vor dem Neubau des Techcenters 1988 - lag dieses Einlassrohr etwa 15 Meter weiter flussaufwärts (bei der Fussgängerbrücke, Abbildung 2). An der Einlassstelle befindet sich zum jetzigen Zeitpunkt keinerlei Einrichtungen zur Stauung, Lenkung oder Kanalisierung des Wasserstromes. Je nach Wasserführung fliesst daher unkontrolliert Wasser und Geschwemmsel in das Rohr. Dies führte u.a. dazu, dass die Rohrwand in der zweiten 90-Grad-Kurve von aufprallendem Geschiebmaterial geschwächt wurde und heute ein etwa 20 cm grosses Loch aufweist (Abbildung 13). Die Einmündung des Rohres in die Francis-Spiralturbine befindet sich auf halber Fallhöhe, wodurch der „Stoss- und Zieheffekt“ des Wassers ausgenutzt wird. Die Turbine ist in einem sehr schlechten Zustand (Abbildung 15), ebenso die mechanischen Wasserregulierungs-Vorrichtungen. Ein Transmissionsriemen für die Transmissions-Schwungräder fehlt, das obere Rad wurde der Vollständigkeit halber an die neue, von oben selbsttragende Betondecke montiert (Abbildung 14). Ein Generator zur Stromerzeugung ist nicht vorhanden, jedoch wurden beim Neubau des Tschcenters die nötigen elektrischen Anschlüsse zur Stromwegleitung und -verteilung bis direkt oberhalb des Turbinenschachtes installiert. Nach der Turbinierung fällt das Wasser 6 Meter durch ein Metall-Saugrohr in den Unterwasserstollen. Dieser tritt unmittelbar nach dem Absturz wieder ans Tageslicht (Abbildung 11, Abbildung 18). Ursprünglich war dieser Stollen vom Wasserfallkolk getrennt und führte das turbinierte Wasser unter dem Niveau des Kolkes weiter in den Unterwasserkanal (Abbildung 19), welcher nach etwa 200 Metern in die Schwarz mündet. Damit konnte noch etwas Fallhöhe gewonnen werden.

Ausbauwassermenge und Fallhöhe

Ausbauwassermenge:	0.5 m ³ /s
Gefälle des Absturzes:	13 m
Bruttogefälle:	13 m
Nettogefälle bei Normalwasser:	12 m
Staukote (geplant 1988):	487.70 m.ü.M. [7]
Flussole	486.45 m.ü.M. [7]

Elektromechanische Komponenten

Turbine

Typ: Francis-Spiralturbine [1]
 Hersteller: Joh. Rieter, Winterthur [1]
 Baujahr: 1908 [1]
 Nenndurchfluss: 0.5 m³/s [7]
 Nennleistung P_n: 65 PS = 48.5 kW [8]
 Nenndrehzahl n_n: 350 min⁻¹ [2]
 Durchbrenndrehzahl n_D: 1.85x 350 = 648 min⁻¹

Generator

Der alte Generator stammte von der Firma BBC und wurde 1988 ausgebaut. In einer Offerte von 1987 der Firma Hans Bieri Kradolf wurden 4 Varianten für Asynchron-Generatortypen von BBC und Elprom mit einer Leistung von 45 bis 55 kW und einer Drehzahl von 1000 Umdrehungen pro Minute vorgeschlagen.

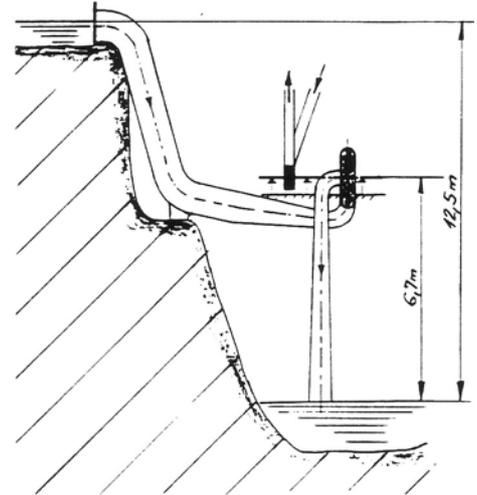


Abbildung 3: Lage der Turbine in der Mitte der Fallhöhe. Handskizze, aus [2].

Jährliche Energieproduktion

Da die Anlage bereits seit anfangs 1970-er Jahre nicht mehr in Betrieb ist, liegen keinerlei Angaben über die Energieproduktion vor. Unter Verwendung der erstellten Abfluss-Statistik im folgenden Kapitel wird in Kapitel 4.2 auf Seite 12 eine Jahresenergieproduktion von rund 200'000 kWh berechnet.

2.4 Hydrologische Daten

Abflussmengen

Von der Schwarz liegen weder beim Amt für Wasser, Energie und Luft AWEL (ehem. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau AGW) noch bei den Kläranlagen Dürnten (Bubikon) und Rüti Abflussmessungen vor. Daher verwendete das damalige AGW 1988 zur Erstellung einer Abfluss-Statistik der Schwarz (Dauerlinie) die Abflussdaten des Wildbaches bei Wetzikon, welcher mit 20.5 km² ein ähnlich grosses Einzugsgebiet aufweist wie die Schwarz mit 20.0 km². Gemäss Aussage von Herrn Hans-Rudolf Lang des AWEL eignet sich der Wildbach jedoch aus folgenden Gründen schlecht als Vergleichsgewässer zur Beschreibung der Abflussdynamik der Schwarz:

- Die Kläranlage von Hinwil beeinflusst das Abflussverhalten des Wildbaches stark und führt zu einer künstlichen Vergrösserung des Einzugsgebietes.
- Die Eisbahn in Wetzikon bezieht grössere Wassermengen aus dem Wildbach. Dies führt vor allem bei Niedrigwasser zu einer merklichen Absenkung der Abflussmenge.
- Der Abfluss des Wildbaches ist durch den direkten Oberflächenabfluss dominiert. Die Schwarz hingegen liegt im Einzugsgebiet des Kämmoos (Abbildung 1, unten), welches durch seine Wasserspeicherkapazität zu gedämpftem Abflussverhalten der Schwarz führt.

Daher wird von den Autoren nach Absprache mit dem AWEL vorgeschlagen, den Aabach bei Mönchaltorf als Vergleichsgewässer heranzuziehen. Dessen Einzugsgebiet ist bezüglich Speicherverhalten und Topographie jenem der Schwarz viel ähnlicher (Aussage AWEL). Es werden für die Erstellung der bestmöglichen Wassermengen-Dauerlinie der Schwarz also die Wasserabflussdaten des Aabaches verwendet [5]. Da das Einzugsgebiet des Aabaches 46 km², jenes der Schwarz nur 20 km² beträgt (Abbildung 4), werden dabei alle Abflussmengen des Aabaches mit dem Faktor 20/46 multipliziert. Daraus ergibt

sich die einzugsbereinigte Dauerlinie des Aabaches in Abbildung 5 (dunkelblau), welche für alle weiteren Überlegungen verwendet wird.

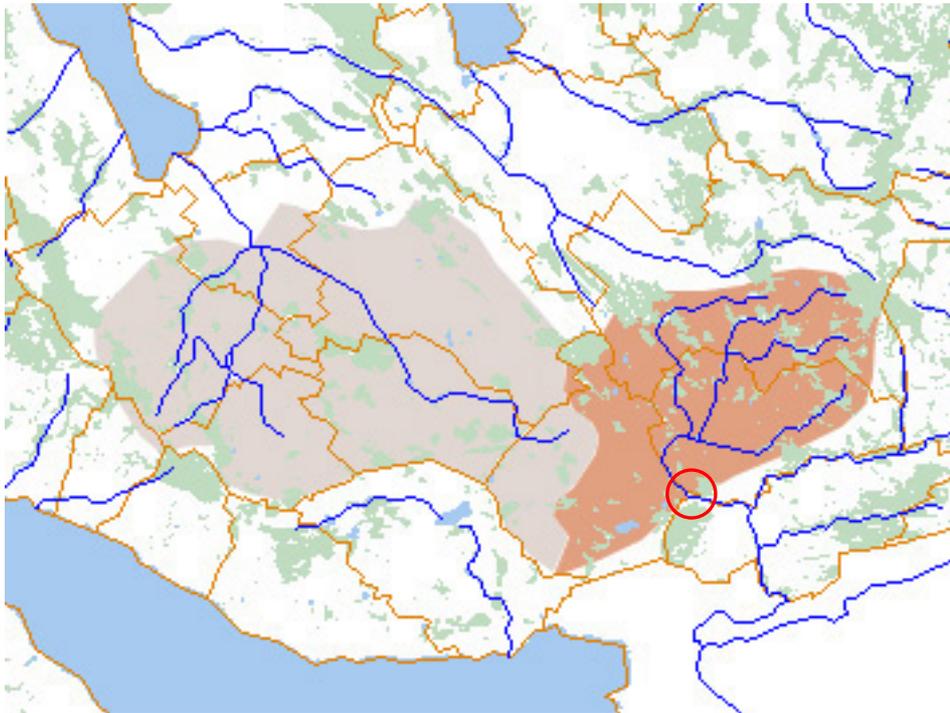


Abbildung 4:

Einzugsgebiet der Schwarz beim Kraftwerk WERAP AG in Bubikon (20 km², braunrot eingefärbt) und des Aabaches bei Mönchaltorf (46 km², hellgrau eingefärbt).

Kartenausschnitt 1:130'000

Aus: www.gis.zh.ch, Einzugsgebiete nachträglich eingetragen, [4].

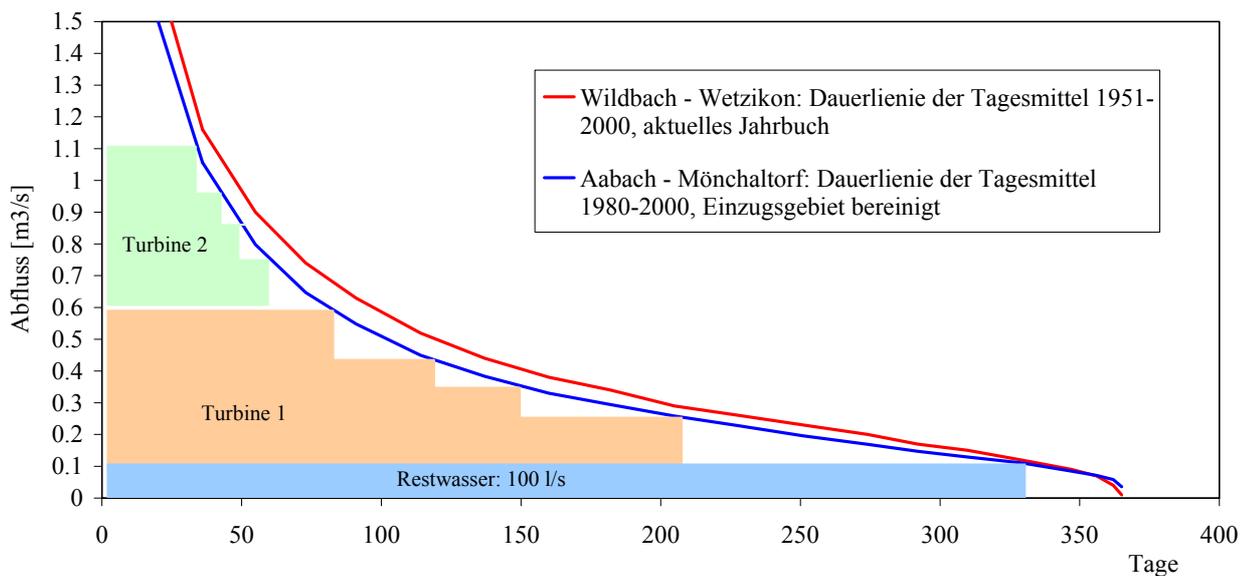


Abbildung 5: Abflussdauerlinien der Fliessgewässer Wildbach bei Wetzikon gemäss online-Jahrbuch (rot) und Aabach bei Mönchaltorf, um den Faktor 20/46 verringert (dunkelblau). Die dunkelblaue Kurve gibt durch diese Anpassung (Einzugsgebietbereinigung) an das lediglich 20 km² grosse Einzugsgebiet der Schwarz (Aabach: 46 km²) deren tatsächlichen Abfluss beim Kraftwerk WERAP AG bestmöglich wieder. Aus [5].

Die eingezeichneten Flächen entsprechen der möglichen Energieproduktion von rund 200'000 kWh pro Jahr mit Hilfe von zwei Turbinen mit einem Schluckvermögen von 500 l/s und einem nötigen Minimaldurchfluss von 165 l/s (Sanierungs-Variante B).

DIS-Projekt Nr. : 100117	Programm Kleinwasserkraftwerke	Mit Unterstützung des
DIS-Vertrags Nr. : 150135	Vorstudie Kraftwerk WERAP AG, Bubikon	Bundesamtes für Energie
	stiftung revita, Juni 2003	Seite 8

Zum Stauwehr fließen jährlich etwa 15 Mio. Kubikmeter Wasser, was durchschnittlich rund 0.48 Kubikmetern pro Sekunde entspricht. Abbildung 5 macht deutlich, dass das Energiepotential des Schwarzwassers etwa an 80 Tagen pro Jahr mit einer Turbine nur zu einem Bruchteil ausgenutzt werden kann, da das Wasserangebot die Kapazität der Turbine von 500 l/s klar übersteigt. Die Installation einer zweiten Turbine könnte die Nutzung der Wasserkraft um zirka 20% steigern. Mögliche Sanierungs-Varianten werden in Abschnitt 4.2 näher untersucht.

Restwassermenge

Wird die Abflussdauerlinie der Mess-Station Aabach - Mönchaltorf um den Faktor 20/46 verringert, ergibt sich für die Jahre 1980 bis 2000 eine durchschnittliche Abflussmenge Q_{347} von 83 l/s. Daraus ergibt sich eine Mindestrestwassermenge nach Artikel 31 Gewässerschutz-Gesetz von 68 l/s. In einem Vorentscheid des Zürcher Regierungsrates von 1988 zu einem ersten Revitalisierungsvorhaben wurde eine Mindestrestwassermenge von 100 l/s vorgeschrieben - dies nach Abwägung der entgegenstehenden öffentlichen Interessen ‚Landschaftsschutz‘ (Wahrung des Bildes des natürlichen Wasserfalles direkt nach dem Wehr) und ‚Denkmalflege‘ (Erhalt der technikgeschichtlich interessanten Kraftwerksanlagen), [1]. Somit sind ganzjährig (mindestens am Tage) 100 l/s Restwasser zu dotieren, sofern die Schwarz überhaupt soviel Wasser führt, was an etwa 335 Tagen pro Jahr zu erwarten ist (siehe auch Abschnitt 3.1).

2.5 Rechtliche Situation

Besitzverhältnisse, Wasserrecht

Das Kraftwerk ist heute im Besitz der WERAP AG, deren Büroräumlichkeiten im Kraftwerksgebäude an der Techcenterstrasse 2 in Bubikon untergebracht sind. Die Wasserkraftnutzung an der Schwarz findet ihre rechtliche Grundlage in der ursprünglich unbeschränkten Wasserrechtskonzession Nr. 21 des Bezirks Hinwil von 1908, welche 1970 aufgehoben wurde [1, 8]. Für eine erfolgreiche Revitalisierung ist daher eine neue Konzession nötig.

3 Umweltaspekte

3.1 Kontinuität des Fließgewässeres

Restwasser

Beim Kraftwerk WERAP AG fällt die Schwarz in einem natürlichen zweistufigen Wasserfall 13 Meter in die Tiefe. Um das ‚natürliche Bild des Giessen‘ sowie die ‚eindrückliche Wirkung des Wasserfalls‘ nicht zu beeinträchtigen, ist laut Gemeinderat Rüti (1988) eine Mindestrestwassermenge von 100 l/s zu knapp bemessen [1]. Unter Abwägung der weiteren öffentlichen Interessen kommt der Zürcher Regierungsrat zum Schluss, dass 100 l/s genügen - auch, da diese Restwassermenge deutlich über derjenigen gemäss GSchG von 68 l/s liegt (siehe Abschnitt 2.4). Ein sinnvoller Kompromis bestünde allenfalls darin, die Restwasserdosierung tageszeitlich zu variieren: Tagsüber würde beispielsweise 150 l/s dotiert, nachtsüber lediglich 50 l/s.

Aus fischereilicher Sicht ist die Restwassermengenregelung unproblematisch, da die Restwasserstrecke sich nur über die horizontale Distanz des Wasserfalles von rund 10 Metern erstreckt. Dies unter der Voraussetzung, dass der ehemalige rund 200 Meter lange Unterwasserkanal nicht mehr reaktiviert wird, sondern das turbinierte Wasser direkt nach dem Austritt aus dem Unterwasserstollen in den Kolk des Wasserfalles eingeleitet wird.

Geschwemmsel

Zurzeit wird Geschwemmsel unkontrolliert in das Einlassrohr gespült. Dies führte wie bereits erwähnt zu einer starken Beschädigung der Wand des Druckrohres. Um dies und andere Schäden z.B. an der Turbine in Zukunft zu verhindern, sollte die neue Wasserfassung folgende Funktionen erfüllen:

Funktion:	Beispiel Ausführung:
→ Rückhalt schwimmendes Geschwemmsel	→ Tauchwand vor dem Einlass in das Druckrohr
→ Geschiebespülung des Stauraumes während Hochwasser, automatische Hochwasserentlastung	→ Kippwehr (links)ufrig neben dem Schützenwehr
→ Rückhalt/Abtransport grobes Geschiebe	→ Regulierbares Grundablassrohr, welches auch als Restwasserdotierrohr dienen kann

Fischwanderung

Durch den natürlichen Absturz wird die Fischwanderung beim Kraftwerk WERAP AG seit jeher unterbunden. „In einem solchen Falle ist es überflüssig, eine Fischaufstiegshilfe zu erbauen“ [3]. Aus ökologischer Sicht ist es nicht prioritär, aus rechtlicher Sicht nicht nötig, eine Fischaufstiegshilfe zu erstellen. Für die Erstellung einer Aufstiegshilfe (z.B. Umgehungsgerinne) spricht zwar die wünschenswerte Vernetzung längerer Gewässerabschnitte zur Kompensation künstlicher Hindernisse an der Schwarz und die Schaffung von zusätzlichem Lebensraum für die aquatische Fauna. Der Bau eines Umgehungsgerinnes wäre jedoch nur bei gleichzeitiger Zerstörung der unter Schutz stehenden natürlichen geologischen Formationen möglich. Somit kann und muss auf eine Fischaufstiegshilfe verzichtet werden.

3.2 Schutzanliegen

Hochwassersicherheit

In den vergangenen 21 Jahren wurde am Vergleichsgewässer Aabach eine Abflussspitze von 46.5 m³ pro Sekunde gemessen. Diese Angabe wurde verwendet, um die empirische Formel von Müller (1943) zu parametrisieren und für die Schwarz bei Bubikon die zu erwartende Hochwasserspitze zu berechnen:

$$Q_{\max} = E \cdot 0.3 \frac{12}{\sqrt[3]{E}} = 20 \cdot 0.3 \frac{12}{\sqrt[3]{20}} = 26.5 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$$

E = Einzugsgebiet der Schwarz beim Kraftwerk WERAP

AG

Die Abflussspitze wird vermutlich zusätzlich durch die Wasserspeicherkapazität des Kämmoos verringert. Bei Auslegung der neu zu erstellende Wasserfassung auf einen Abfluss von 27 m³ pro Sekunde ist somit die Hochwassersicherheit für ein 20-jähriges Ereignis gewährt.

Natur- und Landschaftsschutz, Heimatschutz

Zitat aus dem Vorentscheid des Regierungsrates von 1988 [1]: „Der erwähnte, für das genutzte Gefälle massgebliche Wasserfall ist samt dem anschliessenden Bachlauf der Schwarz (Abbildung 16 und 15) bis zum sogenannten Giessenweiher im Inventar der Natur- und Landschaftsschutzobjekte von überkommunaler Bedeutung als regionales Schutzobjekt enthalten. Gemäss dem festgesetzten Schutzziel ist diese (seit der Aufgabe der ehemaligen Kraftproduktion) weitgehend unberührte Bachlandschaft und der imposante Wasserfall vollständig zu erhalten. Dem genannten Schutzziel stehen andererseits denkmalpflegerische Interessen entgegen: Die technikgeschichtlich interessante und bis heute weitgehend original erhalten gebliebene Kraftanlage enthält eine Francis-Spiralturbine, welche 1908 von Joh. Rieter, Winterthur, anstelle einer Girardturbine im einstigen Wasserradhaus installiert wurde. Dieser Turbinentyp war

einst in fabriкеeigenen Wasserkraftanlagen weit verbreitet, ist heute nur noch vereinzelt anzutreffen und verschwindet allmählich. Eine Wiederinbetriebnahme der Anlage ist deshalb aus denkmalpflegerischen Gründen zu unterstützen.“ Der Vorentscheid des Regierungsrates aus dem Jahre 1988 verliert nach zwei Jahren seine Gültigkeit, kann aber für weitere Diskussionen als Grundlage verwendet werden.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen weitere Schutzobjekte und Lebensraumpotentiale auf, welche in unmittelbarer Nähe zum Kraftwerk liegen. Sowohl die Feuchtgebiete als auch die geologischen Schutzobjekte werden jedoch durch einen Kraftwerksbetrieb wegen der kurzen Restwasserstrecke nicht beeinträchtigt. Der Erosion der schützenswerten geologischen Schwelle wird durch die Umleitung der Wassermassen über eine Turbine gar Einhalt geboten.

Das Turbinenhaus sowie alle darin enthaltenen historisch wertvollen Anlagekomponenten sind in einem äusserst desolaten Zustand. Für eine Sanierung im Sinne des Denkmalschutzes ist mit hohen Mehrkosten zu rechnen. Um eine wirtschaftliche Revitalisierung zu ermöglichen, sind Beiträge durch Dritte unentbehrlich (Kultursponsoring, kantonale Denkmalpflege).

Alle aufgeführten Schutzziele sollen bei der Ausarbeitung des notwendigen Konzessionsgesuches sorgfältig abgewogen werden.



Abbildung 6:

Natur- und Landschaftsschutzinventar

Aus: www.gis.zh.ch [4].

Legende:

-  Landschaftsentwicklungskonzept-Gebiete
-  Landschaftsschutzobjekt: geologisches/geomorphologisches Objekt
-  Landschaftsschutzobjekt: Heckenreicher Hang
-  geschützte Feuchtbiotope (in Schutzverordnung)
-  Lage des Kraftwerkes WERAP AG

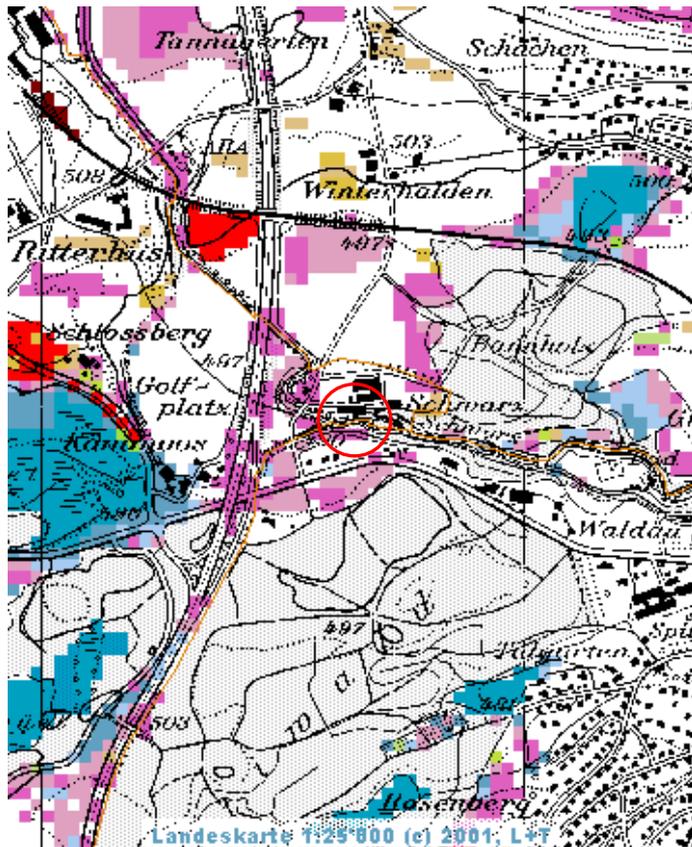


Abbildung 7:

Lebensraumpotenziale. Aus: www.gis.zh.ch [4].

Legende:

- Lebensraum Feuchtgebiet, inventariert (1)
- Beste Pot. f. Feuchtgebietsergänzung > 50% (11)
- Pot. f. Feuchtgebietsergänzung 45% (145)
- Pot. f. Feuchtgebietsergänzung 40% (140)
- Pot. f. Feuchtgebietsergänzung 35% (135)
- Lebensraum Trockenstandorte (2)
- Beste Pot. f. Magerwiesen > 55% (21)
- Pot. f. Magerwiesen 55% (255)
- Pot. f. Magerwiesen 50% (250)
- Pot. f. Magerwiesen 45% (245)
- Pot. f. Magerwiesen 40% (240)
- Pot. f. Magerwiesen 35% (235)
- Pot. f. Magerwiesen (wechselfeucht) 45% (345)
- Pot. f. Magerwiesen (wechselfeucht) 40% (340)
- Pot. f. Magerwiesen (wechselfeucht) 35% (335)

Abbildung 7 zeigt Lebensraumpotenziale auf, welche in der Umgebung des Kraftwerkes liegen. Sie könnten bei einer möglichen Ökostromzertifizierung als Grundlage für die Auswahl geeigneter Projekte zur Verwendung der Ökofonds-Gelder dienen.

Altlasten

Altlasten im Bereich der Kraftwerksanlagen sind bis anhin nicht bekannt. Bei der Revitalisierung ist bei einzelnen Bauteilen auf eine besonders sorgfältige Entsorgung zu achten.

3.3 Schall- und Schwingungsemissionen

Zur Zeit kann keine Aussage über die Schall- und Schwingungsemissionen der bestehenden Anlage gemacht werden, da sie nicht in Betrieb ist. Potentielle Schallemissionen dürften vom Tosen des Wasserfalls jedoch weitgehend übertönt werden. Die Übertragung der Schwingungen auf das darüberliegende Techcenter ist durch entsprechende Massnahmen zu verhindern. Hilfreich dabei ist die Tatsache, dass das Gebäude statisch unabhängig vom darunterliegenden Turbinenhaus ist; somit ist kein fester Kontakt zwischen den beiden Einheiten nötig.

4 Aufwand / Ertrag und Wirtschaftlichkeit

4.1 Zugrundegelegte wirtschaftliche Parameter

Da keine Betriebsdaten des Kleinwasserkraftwerkes Bubikon (KWKW Bubikon) vorliegen, wird die in Abschnitt 2.4 dargelegte Abflussstatistik der Schwarz herangezogen, um den potentiellen Stromertrag abschätzen zu können. Die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des Kraftwerkes basiert auf der Annuitätsmethode. Dabei wird für die Amortisierung des Kostenaufwandes der Revitalisierung ein Zinssatz von 4.0% verwendet. Die Angaben über die Lebensdauer der einzelnen Anlageteile stammen aus der DIANE-Publikation *Nutzen statt aufgeben*, 1994 [9].

4.2 Kostenschätzung, Gewinn-/Verlustrechnung

Für die Berechnung der Gesteungskosten wird zunächst der potenzielle Stromertrag bestimmt. Dazu wird die einzugsbereinigte Abfluss-Dauerlinie des Aabaches verwendet. Gerechnet wurde mit einer konstanten Restwassermenge von 100 l/s. Des weiteren wurden die jährlichen Kosten mit Hilfe der Annuitätenmethode bestimmt.

Potenzieller Stromertrag

Im folgenden wurde der potentielle Stromertrag für drei Turbinen mit unterschiedlichen technischen Daten und Einsatzzeiten berechnet. Die zuletzt aufgeführte Turbine 3 mit höherem Schluckvermögen (700 l/s) und besserer Niedrigwasserausnutzung (bis 1/6 des maximalen Schluckvermögens) käme beim Ersatz der bestehenden Turbine zum Einsatz (Sanierungsvariante C, siehe nächster Abschnitt ,Kosten').

Turbine 1: alte Francis-Turbine:

zusätzlich zu Turbine 2

Nettofallhöhe h_n		12.5 m
Turbinenschluckvermögen Q_{max}		500 l/s
minimale Wassermenge für Turbinenbetrieb		
Q_{min}	1/3 Q_{max}	167 l/s
Restwassermenge Q_R (+ Turbinenwasser Turbine 2)		100 (600) l/s
Ausfallzeit		5 %
Gesamtwirkungsgrad		0.7
maximale elektrische Leistung P_{e1}		44 kW
Potenzieller Stromertrag Turbine 1		148'500 (49'000) kWh pro Jahr

Turbine 2, neue Francis-Turbine:

Nettofallhöhe h_n		12.5 m
Turbinenschluckvermögen Q_{max}		500 l/s
minimale Wassermenge für Turbinenbetrieb		
Q_{min}	1/3 Q_{max}	167 l/s
Restwassermenge Q_R		100 l/s
Ausfallzeit		3 %
Gesamtwirkungsgrad		0.7

DIS-Projekt Nr. : 100117	Programm Kleinwasserkraftwerke	Mit Unterstützung des
DIS-Vertrags Nr. : 150135	Vorstudie Kraftwerk WERAP AG, Bubikon	Bundesamtes für Energie
	stiftung revita, Juni 2003	Seite 13

maximale elektrische Leistung P_{e1}	44 kW
Potenzieller Stromertrag Turbine 2	151'700 kWh pro Jahr

Turbine 3, neue Francis-Turbine:

Nettofallhöhe h_n		12.5 m
Turbinenschluckvermögen Q_{max}		700 l/s
minimale Wassermenge für Turbinenbetrieb		
Q_{min}	$1/6 Q_{max}$	117 l/s
Restwassermenge Q_R		100 l/s
Ausfallzeit		3 %
Gesamtwirkungsgrad		0.7
maximale elektrische Leistung P_{e1}		61 kW
Potenzieller Stromertrag Turbine 3		189'000 kWh pro Jahr

Kosten

Bei der Bestimmung der Kosten für die Ausführung des Kraftwerkprojektes sowie für die Ingenieurhonorare wurde teilweise auf die Offerte der f.meier & partner ag von 1988 zurückgegriffen [7].

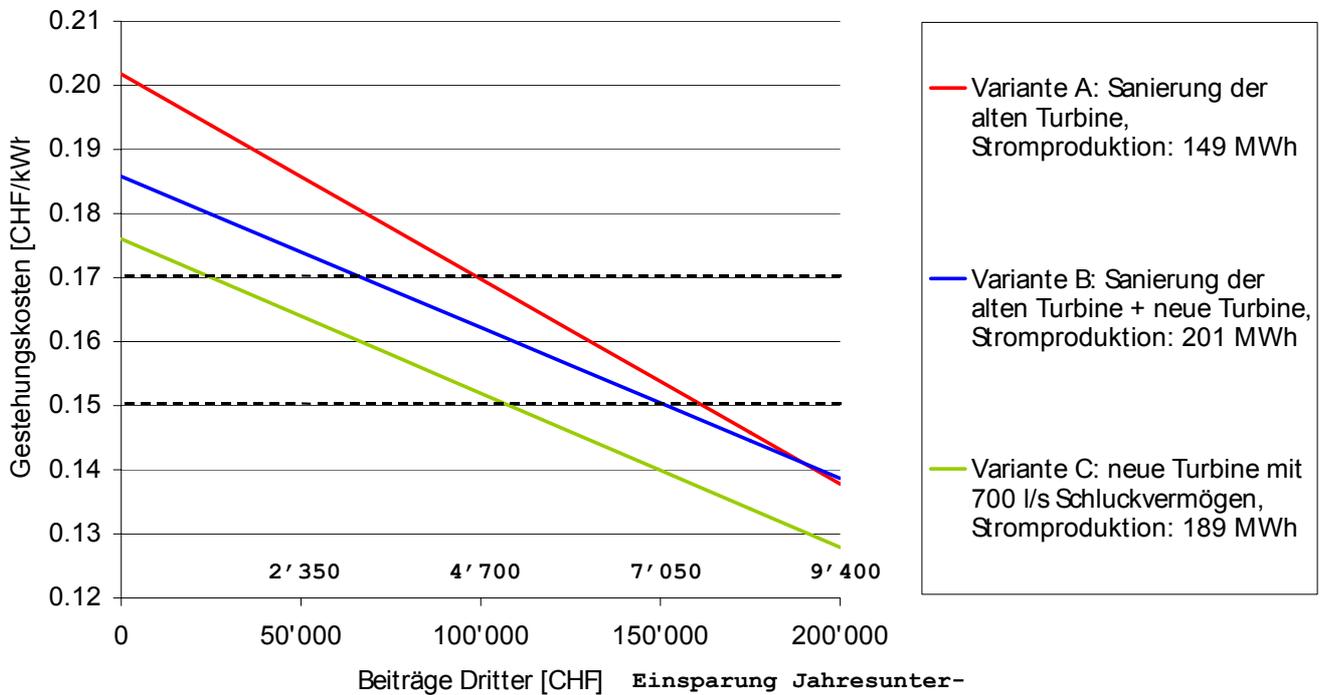
Es wurden die Gestehungskosten für drei Sanierungs-Varianten berechnet.

- **Variante A:** Revision der alten Francis-Spiralturbine (Turbine 1)
- **Variante B:** Revision der alten Francis-Spiralturbine plus Installation einer neuen, gleich grossen Francisturbine (Turbine 2, Abbildung 5).
- **Variante C:** Installation einer neuen Francis-Turbine mit einem Schluckvermögen von 700 l/s und besserer Niedrigwasserausnutzung von 1/6 des maximalen Schluckvermögens (Turbine 3).

In folgender Tabelle ist die detaillierte Kostenrechnung für die Sanierungsvarianten A, B und C aufgestellt:

Zinssatz: 4%			Sanierungs- Variante A		Sanierungs- Variante B		Sanierungs- Variante C	
	Anlageteile in Jahren	Annuitätsfaktor	Annuität = Jah- reskosten [CHF/a]	totale Kosten [CHF]	Annuität = Jah- reskosten [CHF/a]	totale Kosten [CHF]	Annuität = Jah- reskosten [CHF/a]	totale Kosten [CHF]
<u>Erstellungskosten in CHF:</u>								
Revision Turbine 1	30	0.0578	2'892	50'000	2'892	50'000		
neue Turbine 2	50	0.0466			4'655	100'000		
neue Turbine 3	50	0.0466					5'586	120'000
Generator und Steuerung	40	0.0505	1'768	35'000	2'274	45'000	1'768	35'000
Mechanische Teile, Rechen, Schütze	50	0.0466	2'793	60'000	3'491	75'000	2'793	60'000
Erd- und Baumeisterarbeiten, UWK	80	0.0418	4'181	100'000	4'181	100'000	4'181	100'000
Total Baukosten				245'000		370'000		315'000
Durchschnittlicher Annuitäts- faktor			0.0475		0.0473		0.0455	
Konzessionsverfahren			1'425	30'000	1'418	30'000	1'365	30'000
Projektmanagement und Ingeni- eurkosten	15%		1'745	36'750	2'624	55'500	2'149	47'250
Risiko und Unvorhergesehenes	10%		1'163	24'500	1'749	37'000	1'433	31'500
Bruttoaufwand für Revitalisie- rung				336'250		492'500		423'750
Beiträge Dritter			0	0	0	0	0	0
Nettoaufwand				336'250		492'500		423'750
Unterhalt Personal			10'000		10'000		10'000	
Unterhalt Material			4'000		4'000		4'000	
Total Jahreskosten			29'967		37'284		33'276	
Stromproduktion		kWh/a		148'500		200'700		189'000
Stromgestehungskosten		CHF/kWh		0.202		0.186		0.176
<u>Bilanz 1:</u>								
Stromverkauf Wasserstrom		15 CHF/kWh	22'282		30'105		28'356	
Gewinn / Verlust			-7'686		-7'179		-4'919	
<u>Bilanz 2:</u>								
Stromverkauf Naturstrom		17 CHF/kWh	25'253		34'119		32'137	
Gewinn / Verlust			-4'715		-3'165		-1'138	

Die obige Berechnung zeigt, dass eine Sanierung des Kraftwerkes WERAP AG ohne Beiträge durch Dritte für alle drei Sanierungs-Varianten nicht wirtschaftlich ist. Dies auch, wenn der produzierte Strom als Naturstrom zu 17 Rappen pro kWh verkauft werden kann. Am besten schneidet Variante C ab. Abbildung 8 zeigt die Abhängigkeit der



Gestehungskosten von der Beitragshöhe durch Dritte respektive durch Einsparungen bei den Unterhaltskosten.

Abbildung 8: Gestehungskosten in Abhängigkeit der Beiträge durch Dritte der drei untersuchten Sanierungsvarianten. Die kleineren fettgedruckten Zahlen oberhalb der x-Achse geben die Jahreskosten an, welche eingespart werden müssten, um dieselbe Gestehungskostenreduktion ohne Beiträge Dritter zu erreichen (Beiträge Dritter multipliziert mit dem durchschnittlichen Annuitätsfaktor von 0.047).

Variante A ist in jedem Fall nicht wirtschaftlich und auch wegen der geringen Stromproduktion von nur 149'000 kWh uninteressant. Variante B ist aus denkmalpflegerischer Sicht weiter zu verfolgen, da sie die Wiederinbetriebnahme der alten Turbine vorsieht. Bei Variante C resultieren trotz geringerer Stromproduktion als bei Variante B deutlich tiefere Gestehungskosten. Bereits mit einer verhältnismässig geringen Senkung der jährlichen Unterhaltskosten von 4'700 CHF respektive einem Beitrag Dritter von 100'000 CHF können die Gestehungskosten unter 0.15 CHF/kWh gesenkt werden.

5 Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Das Kleinwasserkraftwerk in Bubikon ZH ist ein interessanter Zeitzeuge der industriellen Entwicklung in der Schweiz. Die Rieter-Spiralturbine aus dem Jahre 1908 hat Seltenheitswert. Es sollte daher nach Möglichkeit die Sanierungs-Variante B angestrebt werden. Die *stiftung revita* empfiehlt folgendes Vorgehen für eine erfolgreiche Sanierung:

1. Konzessionsgesuch einleiten: Absprache mit zuständigen Behörden, Fischerei, Denkmal-, Natur- und Heimatschutz. Abklären, ob allenfalls auf die Sanierung der alten Turbine zugunsten der wirtschaftlichsten Sanierungs-Variante, Variante C, verzichtet werden kann.
2. Ausarbeitung der definitiven Sanierungsvariante.
3. Ausarbeitung von Finanzierungsmassnahmen (Trägerschaft, Beiträge Dritter, Unterhaltskosten) → Entscheidungsgrundlage für definitive Entscheidung, ob saniert wird.
4. Optional: Ökostromzertifizierung einleiten
5. Planung und Koordination der nötigen Sanierungsarbeiten:
 - Erneuerung der Wasserfassung (Restwasser, Hochwasserschutz, Geschwemm-sel)
 - Sanierung des Druckrohres
 - Revision der alten Turbine (Turbine 2), je nach Variante
 - Installation einer neuen Turbine (Turbine 1), je nach Variante
 - Installation eines neuen Generators
 - Sanierung des Unterwasserstollens
6. Nach erfolgter Inbetriebnahme: Energieproduktion zwecks Kontrolle erheben, Finanzierung und Unterhalt sicherstellen.

6 Literatur- und Informationsgrundlagen

- [1] Honegger, E., 1988. *Projektstudie über eine Kraftanlage an der Schwarz bei Bubikon/Rüti*. Vorentscheid des Regierungsrates.
- [2] Zeitungsbericht: *Altes Wasserkraftwerk wird instand gestellt - interessante Baustelle an der Schwarz beim Chämnoos zu besichtigen*. Der Zürcher Oberländer, 1990.
- [3] Zaugg, C., Pedroli, J.-C., 1997. *Fische und Kleinwasserkraftwerke*. DIANE 10, Aktionsprogramm Energie 2000.
- [4] online-Kartenmaterial des Kantons Zürich: www.gis.zh.ch. März 2003.
- [5] online-Wasserstatistik des Amtes für Wasser, Energie und Luft AWEL: www.wasserwirtschaft.zh.ch.
- [6] Umgebungsplan des Büro- und Gewerbehause, Bubikon, Nr. 87201.2.8.; 11. März 1988. Architekt Givabau AG, 8600 Dübendorf.
- [7] f.meier & partner, 1988. *Honorarofferte für die Bauingenieurleistungen*. Gerichtet an WERAP AG.
- [8] Eidgenössisches Departement des Innern, 1928. *Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz*.
- [9] Nüssli, W., DIANE Klein-Wasserkraftwerke, Bundesamt für Energie. *Nutzen statt aufgeben*. 1994.

7 Anhang

7.1 Fotos Kraftwerksanlagen



Abbildung 9:

Flusslauf der Schwarz oberhalb des Wasserfalles beim Industriegebäude der WERAP AG (blaugrauer Bau im Hintergrund)



Abbildung 10: Wassereinlauf in Druckrohr

Oben: Beim Neubau des Industriegebäudes der WERAP AG 1989 neu erstelltes Turbinenwasser-Einlaufrohr links direkt vor dem Wasserfall (Durchmesser rund 100 cm).

Unten: Einlaufrohr auf der linken Flussseite direkt vor dem Wasserfall in der Übersicht.





Abbildung 11: Der 13 Meter hohe, zweistufige Wasserfall, entstanden über einer harten Nagelfluh-Platte. Rechts liegt das Turbinenhaus mit Metalltreppe. Wenig rechts darunter mündet der Unterwasserstollen in den Kolk des Wasserfalles.



Abbildung 12:

Druckrohr mit einem Durchmesser von zirka 100 cm. Oben: senkrecht nach Einlauf. Unten: Rohrbogen mit anschliessendem mechanischen Öffnungsregler.

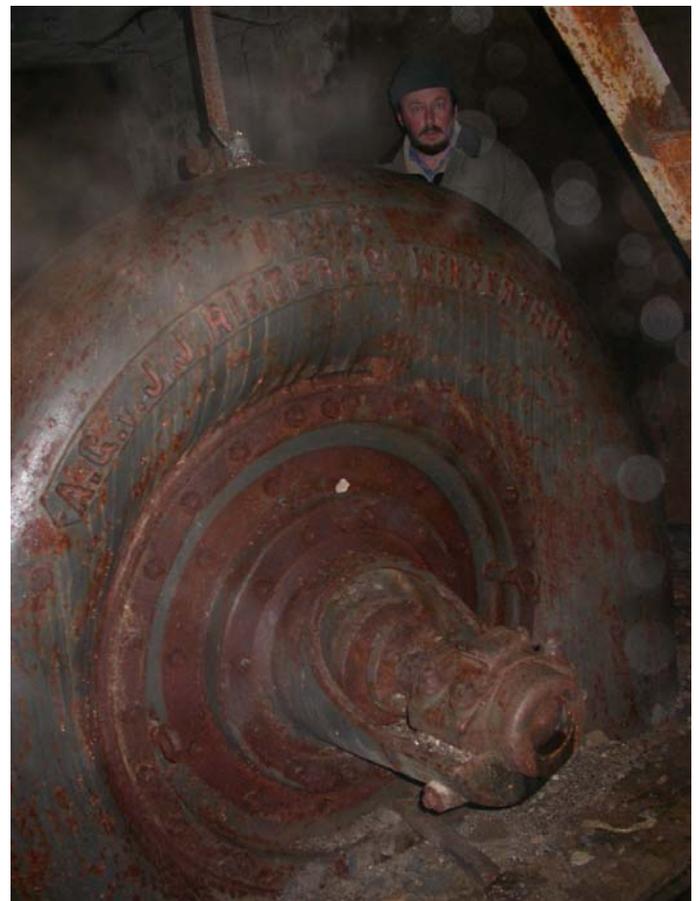


Abbildung 15:

Francis-Spiralturbine von A.G: J.J. Rieter, Winterthur. Durchmesser rund 185 cm.



Abbildung 13 (oben):

Durchgerostetes Druckrohr auf der Rohrunterseite beim Bogen vor dem Einlauf in die Turbine



Abbildung 14 (rechts):

Transmissionsschwungräder zur Übertragung der Kraft von der Turbine mittels Riemen.



Abbildung 16:

Naturnahe Schwarz nach dem Wasserfall, welcher im Hintergrund zu sehen ist. Sicht flussaufwärts.



Abbildung 17:

Naturnahe Schwarz nach dem Wasserfall. Sicht flussabwärts.

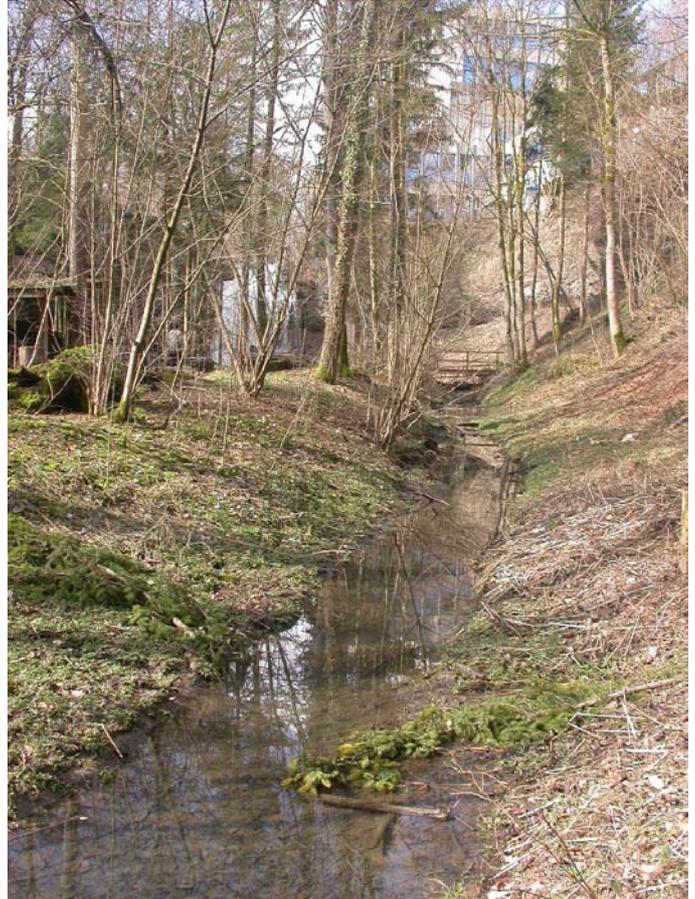


Abbildung 18 (oben):

Mündung Unterwasserstollen. Ursprünglich verlief der Stollen mit tieferem Wasserpegel als der Wasserfallkolk unterirdisch weiter und führte über einen etwa 250 Meter langen offenen Unterwasserkanal in die in die Schwarz zurück.

Abbildung 19 (rechts):

250 Meter langer offener, naturnaher Unterwasserkanal. Heute vom Unterwasserstollen abgetrennt.



Alle Bilder im Anhang wurden von Mitarbeitern der *stiftung revita* anlässlich einer Begehung am 7. März 2003 erstellt.