



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

STADTWERK WINTERTHUR TRINKWASSERKRAFTWERK GANZENBÜHL KONZESSIONSPROJEKT



Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Brunner Richard, HOLINGER AG

Schaffhauserstrasse 87, 8400 Winterthur, www.holinger.com



Programm
Kleinwasserkraftwerke
www.kleinwasserkraft.ch

Impressum

Datum: 5. Januar 2007

Unterstützt vom Bundesamt für Energie

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter: bruno.guggisberg@bfe.admin.ch

Projektnummer: 101852

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Abstract	4
1 Einleitung	5
2 Grundlagen	5
2.1 Grundlagendokumente	5
2.2 Heutige Situation	5
2.2.1 Grundwasserfassungen Hornsagi	5
2.2.2 Fallheberendschacht	6
2.2.3 Zubringerleitung Tösstal	7
2.2.4 Reservoir Ganzenbühl	7
2.3 Eigentumsverhältnisse	8
3 Projekt	8
3.1 Konzept	8
3.1.1 Abgeklärte Varianten	9
3.1.2 Hydraulische Randbedingungen	9
3.1.3 Druckschläge	10
3.2 Projektbeschrieb	10
3.2.1 Turbinenpumpe	10
3.2.2 Rohrleitungen, Armaturen	10
3.3 Kostenschätzung / Wirtschaftlichkeit	11
3.3.1 Investitionskostenschätzung und Betriebskosten	11
3.3.2 Stromproduktion	12
3.3.3 Gestehungskosten	12
3.3.4 Finanzierung / Rückvergütung	12
4 Schlussfolgerungen / Weiteres Vorgehen	13
Anhang	14



ZUSAMMENFASSUNG

Das Trinkwasserkraftwerk Ganzenbühl des Stadtwerkes Winterthur nutzt das Höhenpotenzial der Zubringerleitung Tösstal. Die Installation der Turbinenanlage ist im Erdgeschoss des Reservoirs Ganzenbühl vorgesehen.

Die Turbinierung erfolgt mittels 2 Turbinenpumpen im Parallelbetrieb. Die Durchflussmenge durch die Turbinen beträgt konstant 200 l/s bei einer Nettofallhöhe von rund 10 m.

Mit der projektierten Anlage kann bei einer Leistung von 13 kW eine Energieproduktion von 110'000 kWh pro Jahr erzeugt werden.

Bei notwendigen Investitionskosten von Fr. 380'000.- (inkl. MwSt.) ergeben sich Gestehungskosten von Rp. 18/kWh.

Das vorliegende Konzessionsprojekt beschreibt die notwendigen Ausbauten, die daraus entstehenden Kosten und die zu erwartende Stromproduktion.

Mit dem vorgeschlagenen Projekt kann Energie umweltschonend und wirtschaftlich interessant produziert werden. Damit kann ein ökologischer Beitrag zur heutigen Energieproduktion geleistet werden.

ABSTRACT

The drinking water power station Ganzenbühl of the Stadtwerk Winterthur uses the potential of the supply pipeline Tösstal. The turbine installation is intended to build in the ground floor of the reservoir Ganzenbühl.

For the power production two reversible pumps are selected (parallel operation). The flow rate of the reversible pumps is 200 l/s with 10 m head.

With that planned turbine the middle output is 13 kW and in one year the production of power reaches 110'000 kWh.

The investment amounts Fr. 380'000.- (tax incl.). The production cost is Rp. 18/kWh.

The present concession project describes the project elements, the costs and the current production which can be expected.

With this drinking water power station energy can be produced environmental-safe and economically interesting. This will surely contribute an ecological involvement for the today's power production.



1 EINLEITUNG

Die Wasserversorgung der Stadt Winterthur bezieht rund 75 % ihres Trinkwassers (rund 8 Millionen Kubikmeter pro Jahr) aus dem Tösstal. Aus 4 Vertikalbrunnen im Bereich Hornsagi wird das Grundwasser mittels Fallheberleitungen zum Fallheberendschacht gefördert. Vom Fallheberendschacht Hornsagi wird das Grundwasser in einer 6.9 km langen Druckleitung (DN 700 und DN 800 mm) bis zum Reservoir Ganzenbühl geleitet.

Eine von der Zürcher Hochschule Winterthur durchgeführte Projektarbeit „Potenzialabschätzung für Trinkwasserturbिनierung im Gebiet des Stadtwerks Winterthur“, kommt zum Schluss, dass im Reservoir Ganzenbühl mit der Erstellung eines Trinkwasserkraftwerkes wirtschaftlich Energie produziert werden kann.

Das Stadtwerk Winterthur, Abteilung Technik und Wasser, beauftragt die HOLINGER AG mit der Ausarbeitung dieses Konzessionsprojektes.

2 GRUNDLAGEN

2.1 Grundlagendokumente

- Potentialabschätzung für Trinkwasserturbinen im Gebiet des Stadtwerks Winterthur, Zürcher Hochschule Winterthur, Projektarbeit Abteilung Maschinenbau und Energietechnik, Prof. Dr. J. Borth und Martin Zavodsky, Juli 2006
- Ausführungsplanunterlagen Reservoir Ganzenbühl, Zubringerleitung Tösstal, Fallheberendschacht Hornsagi, Stadtwerk Winterthur
- Jahresstatistiken Betrieb Wasser 2000 – 2005, Stadtwerk Winterthur

2.2 Heutige Situation

Im Anhang Nr. 1 ist ein Übersichtsplan (Massstab ca. 1:30'000) der Situation dargestellt.

2.2.1 Grundwasserfassungen Hornsagi

Die Grundwasserfassungen Hornsagi liegen im Tösstal bei Rämismühle in der Gemeinde Zell rund 7 km östlich des Reservoirs Ganzenbühl. Das Trinkwasser der 4 Vertikalbrunnen wird ohne Fremdenergie mittels 6 Fallheberleitungen dem Fallheberendschacht Hornsagi zugeführt. Die Förderleistung dieser Fallheberleitungen wird bestimmt durch die aktuellen Grundwasserstände und das Wasserniveau im Fallheberendschacht und liegt bei etwa durchschnittlich 240 l/s.

In der Nacht wird bei Bedarf zusätzlich das Grundwasserpumpwerk Hornwiden zugeschaltet, welches ebenfalls Grundwasser in den Fallheberendschacht fördert. Die Leistung dieses Pumpwerkes beträgt 85 l/s. Das heisst bei Betrieb des Pumpwerkes können insgesamt etwa 325 l/s via Zubringerleitung Tösstal zum Reservoir Ganzenbühl geleitet werden. Die saisonalen Schwankungen sind eher gering. Im Anhang Nr. 2 ist der Volumenstrom als Dauerkurve von Juni 05 – Juni 06 dargestellt.

Die Qualität des geförderten Grundwassers ist gut und wird nicht aufbereitet.





Bild Nr. 1: Vertikalbrunnen Hornsagi, Beginn Fallheberleitung

2.2.2 Fallheberendschacht

Der Fallheberendschacht wird versorgt von der Grundwasserfassung Hornsagi und dem Grundwasserpumpwerk Hornwiden und besteht aus drei Kammern: einem Heberauslausraum, einem Stauraum (Inhalt 52 m³) und einem Abflussraum (Inhalt 48 m³).

Der Wasserstand im Fallheberendschacht wird durch die Regulierklappe im Reservoir Ganzenbühl geregelt. Der Wasserstand soll tief (521.50 m.ü.M.) gehalten werden, damit die Förderleistung der Fallheberleitung optimiert wird und keine Luft angesaugt wird.

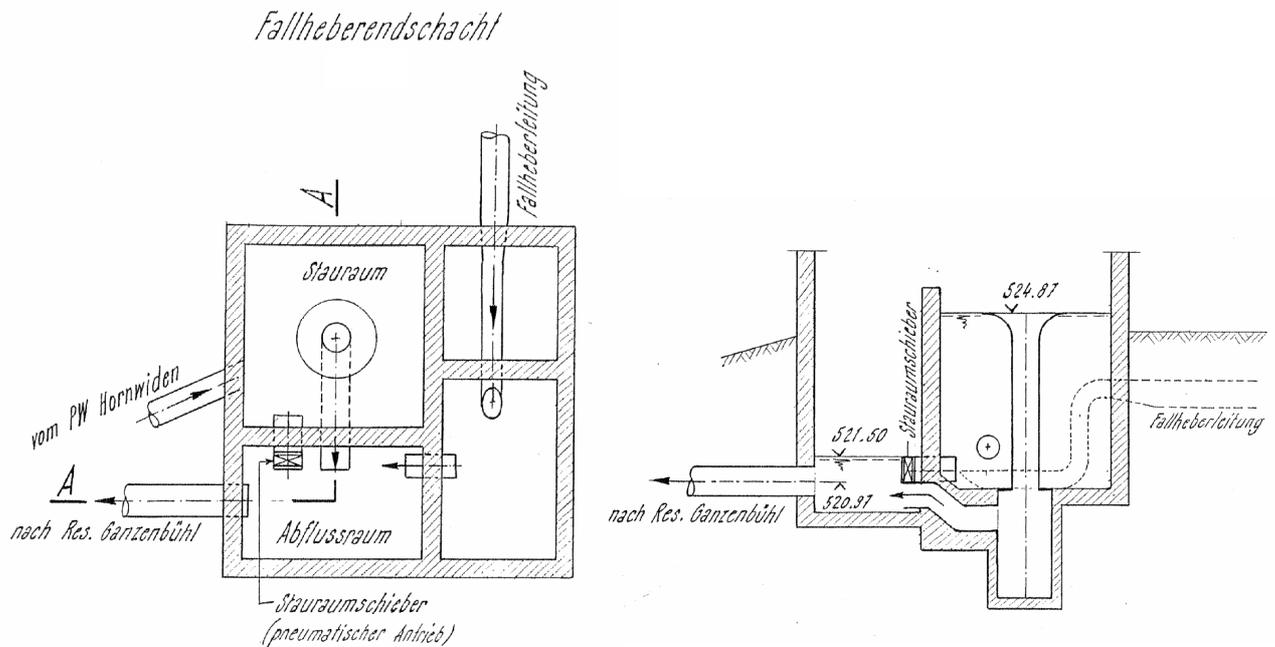


Bild 2: Fallheberendschacht Grundriss und Schnitt



2.2.3 Zubringerleitung Tösstal

Die Freigefälle-Druckleitung verbindet den Fallheberenschacht und das Reservoir Ganzenbühl. Die Leitung weist eine Länge von 6'930 m auf und ist in Faserzement mit Durchmesser 700 mm und 800 mm (Triplex-Kupplungen mit drei Gummiringen, 12 – 15 bar), sowie in Guss mit Zementmörtelinnenbeschichtung und PUR-Aussenbeschichtung erstellt worden. Zwischen den beiden Bauwerken sind keine Zu- und Abflüsse von Trinkwasser vorhanden. Zur manuellen Entlüftung der Druckleitung sind an den drei Hochpunkten Unterflurhydranten errichtet worden. Das Alter der Leitung beträgt zwischen 9 und 20 Jahre.

Das Längenprofil ist im Anhang Nr. 3 dargestellt.

Der effektive Höhenunterschied zwischen den Wasserspiegeln des Fallheberenschachtes und dem Reservoir Ganzenbühl beträgt 12.25 m.

2.2.4 Reservoir Ganzenbühl

Das Reservoir Ganzenbühl besteht aus zwei Kammern mit einem Volumen von insgesamt 6'000 m³ und versorgt die Hauptzone der Stadt Winterthur sowie mit dem Stufenpumpwerk die Zone Isler, Oberseen und Sennhof. Im Erdgeschoss der Vorkammer befindet sich die Regulierklappe (Ringkolbenschieber) für Zuleitung des Grundwassers von Hornsagi. In Abhängigkeit des Niveaus im Fallheberenschacht wird der Durchfluss zum Reservoir geregelt. Beim Über, bzw. Unterschreiten eines definierten Regelbandes (Niveau Fallheberenschacht) wird auf Durchflussregulierung umgeschaltet. Mit dieser Umschaltung kann verhindert werden, dass bei schnellen Zuflussänderungen der Wasserstand Hornsäge zu tief oder zu hoch steigt.

Die Steuerung und die Regulierung des Ringkolbenschiebers sind mit Notstrom versorgt.



Bild 3: Zubringerleitung Tösstal mit Absperrklappe, Durchflussmessung (MID) und Ringkolbenschieber

Zur Bestimmung der Nettofallhöhe wurde im Rahmen der Projektarbeit eine Differenzdruck-Messkampagne, vor und nach dem Ringkolbenschieber, durchgeführt. Die nachfolgende Abbildung zeigt aufgrund dieser Messkampagne deutlich die Abhängigkeit der Nettofallhöhe mit dem Volumenstrom.



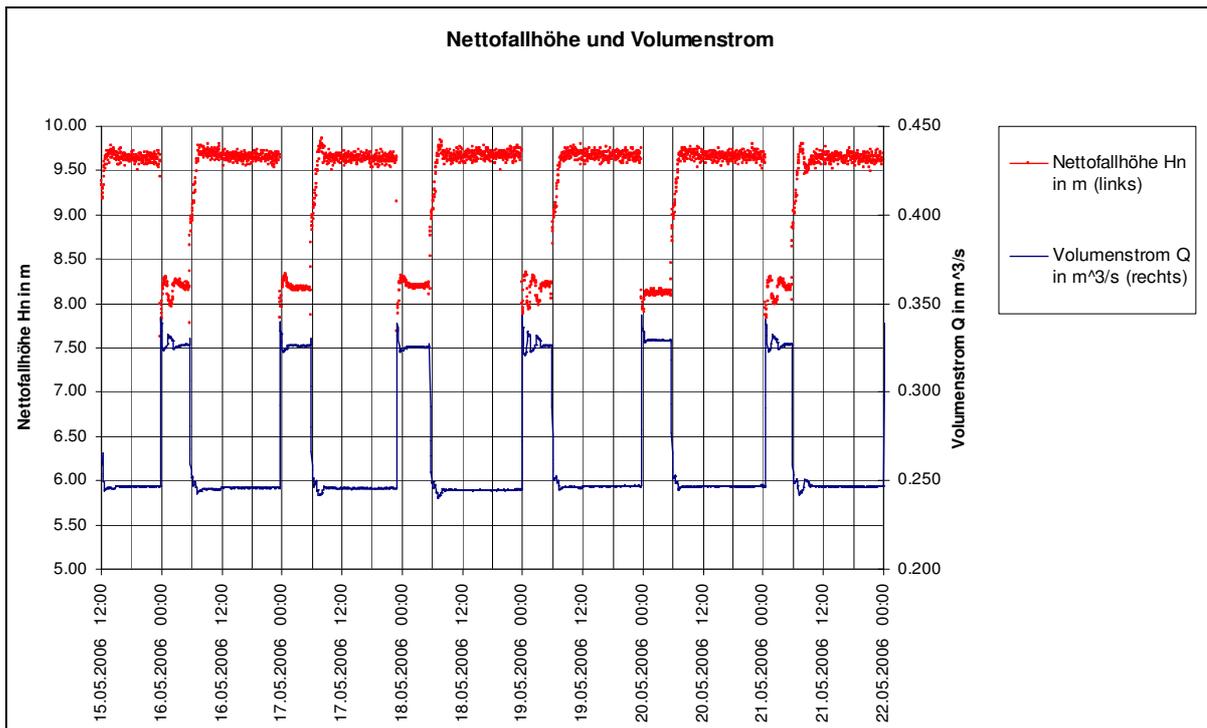


Bild 4: Nettofallhöhe und Volumenstrom

2.3 Eigentumsverhältnisse

Sämtliche Anlagen und Grundstücke sind im Eigentum des Stadtwerks Winterthur. Als Trägerschaft für das Trinkwasserkraftwerk ist ebenfalls das Stadtwerk Winterthur vorgesehen.

3 PROJEKT

3.1 Konzept

Das vorliegende Konzept sieht vor, das dem Reservoir Ganzenbühl praktisch permanent zufließende Trinkwasser für Energiegewinnung zu nutzen. Die Nettofallhöhe beträgt bei einem Volumenstrom von 240 l/ s rund 9.6 m. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten weist die Ableitung von der Turbine in Reservoir ein Gegengefälle von rund 3 m auf.

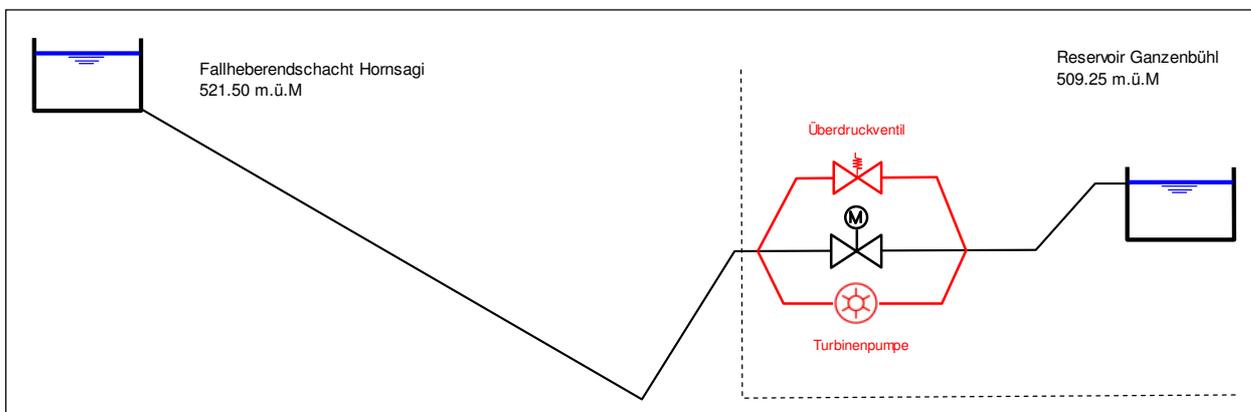


Bild 5: Konzeptskizze



Die Energienutzung sieht eine Rückwärtslaufende Pumpturbine mit Asynchrongenerator vor.

3.1.1 Abgeklärte Varianten

Der Einsatz von Francis-, resp. Peltonturbine mit Gegendruck ist für die gegebenen Randbedingungen (wenig Fallhöhe) gemäss Angaben der Hersteller nicht wirtschaftlich einsetzbar.

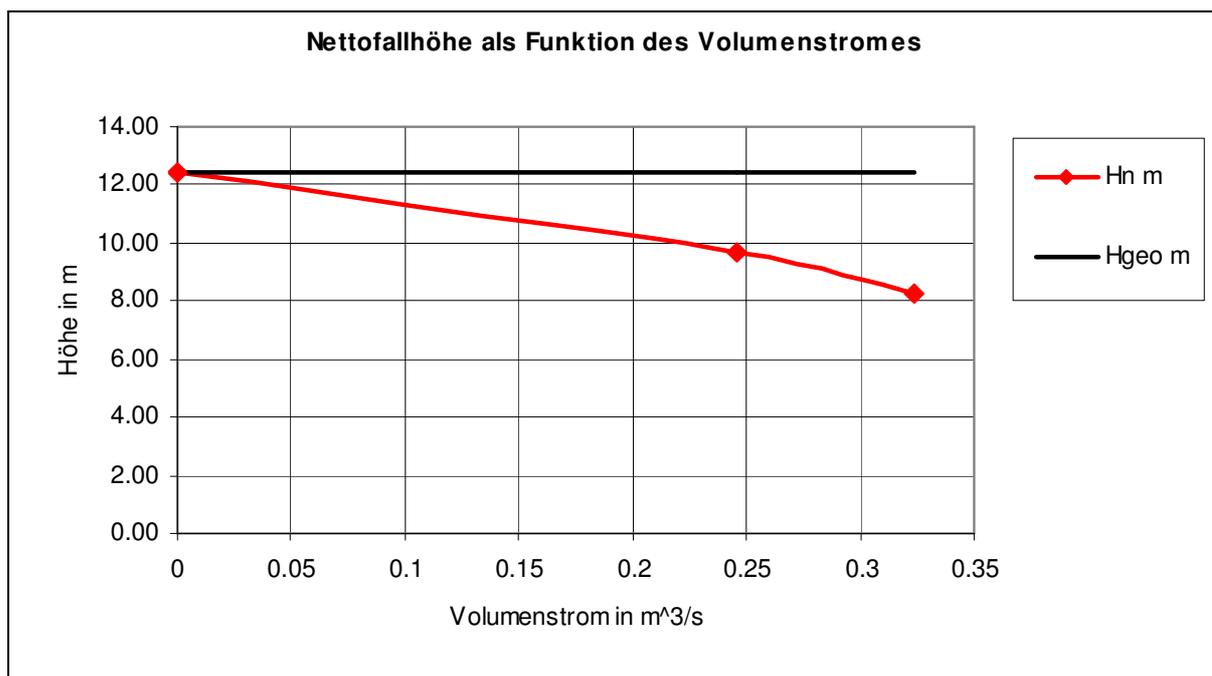
Durchströmturbinen wie zum Beispiel das Fabrikat von Ossberger haben den Vorteil, dass sie unterschiedliche Zulaufmengen verarbeiten können, sind aber aufgrund des Gegengefälles im Turbinenablauf in diesem Fall nicht geeignet.

Eine Rückwärtslaufende Pumpturbine kann mit dem vorhandenen Gegendruck eingesetzt werden. Aufgrund des vorgesehenen Asynchrongenerators ist aber nur eine konstante Wassermenge nutzbar. Damit kann die bestehende Durchflussregelung weiterhin genutzt werden.

3.1.2 Hydraulische Randbedingungen

Nettofallhöhe

Die Berechnung der Nettofallhöhe aufgrund der Durchflussmenge und der Rohrreibungsverluste deckt sich mit den gemessenen Werten der Studienarbeit der Zürcher Hochschule. In Abhängigkeit des Volumenstromes ergibt sich für die Tösstalleitung folgende Nettofallhöhe:



Bestehende Durchflussregelung

Die bestehende Regelung der Durchflussmenge durch den Ringkolbenschieber in Abhängigkeit des Niveaus im Fallheberenschacht muss auch mit der Turbinierung gewährleistet werden. Das heisst ein Teil der Zulaufwassermenge wird für die Regelung der Durchflussmenge benötigt und kann nicht zur Energiegewinnung genutzt werden. Aus heutiger Sicht gehen wir davon aus, dass etwa 40 l/s weiterhin den Ringkolbenschieber durchströmen müssen, damit die vorhandene Niveau/Durchflussregelung auch mit der Turbinierung realisiert werden kann. Für die Turbinierung stehen somit rund 200 l/s bei einer Nettofallhöhe von rund 10 m zur Verfügung.



3.1.3 Druckschläge

Druckschläge entstehen durch plötzliche Geschwindigkeitsänderungen im Rohrleitungssystem und können durch Über- /resp. Unterdruck zu Schäden an Rohrleitungen und Armaturen führen. Im vorliegenden Projekt können Druckschläge im möglichen Nullspannungsfall (Stromausfall) entstehen. In diesem Fall vermindert sich in kurzer Zeit der Durchsatz durch die Turbinenpumpe um rund 50 l/s. Aufgrund von dynamischen Druckberechnungen und instationären Simulationen ergibt sich folgender Lösungsvorschlag: Die Änderung der Durchsatzmenge durch die Turbine im Nullspannungsfall wird mit der gleichen Geschwindigkeit über einen Bypass mit einem Überströmventil kompensiert. Die entsprechenden Antriebe und Messungen (24 V) müssen entsprechend mit Notstrom versorgt werden.

3.2 Projektbeschreibung

Das Layout der Anlage ist im beiliegenden Plan „Reservoir Ganzenbühl, Neue Turbinenpumpen“, Massstab 1:50 dargestellt.

3.2.1 Turbinenpumpe

Die Auslegung der Turbinenpumpe zeigt, dass ein paralleler Betrieb von zwei Anlagen den höheren Wirkungsgrad ergibt. Vorgesehen ist eine horizontale Aufstellung der Turbinen und des Generators auf eine Grundplatte.

Betriebsdaten pro Pumpturbine:

– Durchsatzmenge	100 l/s
– Fallhöhe	10 m
– Turbinendrehzahl	760 1/min
– Durchgangsdrehzahl	1'300 1/min
– Leistungsabgabe (Turbine)	7.4 kW pro Turbine
– Leistungsabgabe (Netz)	6.6 kW pro Turbine

Betriebsdaten Asynchrongenerator (mit Drehzahlimpulsgeber)

– Spannung/Frequenz	400 V / 50 Hz
– Generatordrehzahl	760 1/min

3.2.2 Rohrleitungen, Armaturen

Die neu zu erstellenden Verbindungsleitungen (DN 200 – DN 400 mm) werden analog zu den bestehenden, in rostfreier Ausführung, erstellt. Zur genauen Regelung werden zulaufseitig ein Ringkolbenschieber mit Antrieb und eine magnetisch induktive Durchflussmessung vorgesehen. Zur Verminderung der Druckschläge bei Spannungsabfall wird eine Bypassleitung (DN 200 mm) mit einem elektrisch gesteuerten Überströmventil (öffnet bei Nullspannung) eingebaut. Die Steuerung der verschiedenen Durchflussmengen ist sehr komplex und darf die Hauptfunktion, die Trinkwasserversorgung, nicht beeinträchtigen. Im Rahmen eines allfälligen Bau- resp. Ausführungsprojektes müssen die Vorbehalte des Steuerungsbauers berücksichtigt werden.



3.3 Kostenschätzung / Wirtschaftlichkeit

3.3.1 Investitionskostenschätzung und Betriebskosten

Die Kosten sind aufgrund von Richtofferten von Lieferanten und Erfahrungswerten berechnet worden. Für Unvorhergesehenes ist ein Betrag von 10 % eingerechnet. Kostengenauigkeit +/- 20%, Preisbasis Dezember 2006.

	Anzahl	Einheitspreis	Summe	Lebensdauer		Einlage in Spezialfinanzierung
Rohrleitungen						
Rohrleitungen, Bögen			42'000			
Montage			12'000			
Total Rohrleitungen			54'000	50	2%	1100
Pumpturbine						
Turbinenpumpe PN 10, 96 l/s	2	22600	45'200			
Steuer- und Regelungsanlage			36'300			
Montage			4'500			
Total Pumpturbine			86'000	25	4%	3400
Armaturen						
Ringkolbenventil mit Antrieb 24 V						
DN 300 mm	1	24000	24'000			
Absperrklappen, Handrad PN 10						
DN 400	2	4500	9'000			
Schieber, weichdichtend mit Flanschen, PN 10						
DN 250	2	2'500	5'000			
DN 200	4	2'000	8'000			
Ein- /Ausbaustücke, PN 10						
DN 300	1	1'300	1'300			
DN 250	1	1'100	1'100			
DN 200	1	1'000	1'000			
Druckentlastungsventil mit elektrischer Fernsteuerung, z.B. Cla-Val 50-01						
DN 200	1	8500	8'500			
Total Armaturen			57'900	25	4%	2300
Steuerung			48'000	25	4%	1900
Anpassung RIFLEX Ganzenbühl						
1 MID DN 300						
Anpassung Leitstelle						
Elektroinstallationen			32'000	25	4%	1300
Eektroinstallationen, Messungen, Einspeisung						
Zwischentotal			277'900			
Unvorhergesehenes, 10%			27'790	50	2%	600
Baunebenkosten, Ing. Honorar, 15 %			45'900	50	2%	900
Total			351'600			11500
MwSt. 7.6%, gerundet			28'400			
Total inkl. MwSt.			380'000			



3.3.2 Stromproduktion

Auf Basis der Unterlagen betreffend der Zufluss-Dauerkurve ergibt die Berechnung folgende Stromproduktion:

Leistungsabgabe (Turbine):	7.4 kW pro Turbine
Leistungsabgabe (Netz):	6.6 kW pro Turbine
Total Leistungsabgabe ans Netz bei 192 l/s	13.2 kW
Leistung kWh im Jahr (350 Tage * 24 Std. = 8'400 Std.)	111'000 kWh

Mit dieser jährlich produzierten Leistung können ca. 25 Wohnungen mit elektrischer Energie versorgt werden.

3.3.3 Gestehungskosten

Einlage in Spezialfinanzierung (Amortisation)	Fr./Jahr	11'500
Verzinsung 1/2 Investitionskosten zu 4 % (*)	Fr./Jahr	7'000
Betrieb, Unterhalt, Verwaltung	Fr./Jahr	1'000
Versicherungen	Fr./Jahr	500
Steuern, Wasserzins	Fr./Jahr	0
Total	Fr./Jahr	20'000
Leistung der Turbine	kW	13
Jährliche Betriebsstunden	H	8'400
Jährliche Stromproduktion	kWh/Jahr	111'000
Gestehungspreis	Rp./KWh	18
Spezifische Investitionskosten	Fr./kW	26'600

(*) gemäss Empfehlung zur Finanzierung der Wasserversorgung, 3. Entwurf, SVGW November 2006

Die Berechnungen ergeben einen Gestehungspreis von Rp. 18 /kWh. Die produzierte Energie ist hochwertiger erneuerbarer Strom, der von den Elektrizitätswerken in der Regel mit 15 Rp./kWh vergütet wird.

3.3.4 Finanzierung / Rückvergütung

Bis zur Einführung des neuen Stromversorgungsgesetz (StromVG ab 2007) gibt es eine Abnahmeverpflichtung der EW's von Strom aus Trinkwasserkraftwerken. Es ist aktuell eine Vergütung von 15 Rp./kWh festgelegt. Der Ausgleich zum "normalen" Energiebezug erfolgt über die sog. Mehrkostenfinanzierung (Art.7 Abs. 7 EnG und Art. 5a-5c EnV). Dies gilt jedoch nur für unabhängige Produzenten (Inhaber von Energieerzeugungsanlagen, an welchen Unternehmen der öffentlichen Energieversorgung zu höchstens 50% beteiligt sind). Für öffentlich-rechtliche Produzenten, wie Stadtwerk es ist, sind keine Vergütungssätze vorgegeben. Erst in der Verordnung des StromVG wird die endgültige Höhe der Vergütung festgelegt. Ziel sind 20 - 30 Rp./kWh für kleinere und 10 - 20 Rp./kWh für grössere Trinkwasserkraftwerke.

Das Trinkwasserkraftwerk Ganzenbühl dient nicht nur zur Stromerzeugung, sondern stellt zusätzlich einen grossen Imagegewinn für Stadtwerk Winterthur dar. Damit Stadtwerk auch in den Genuss der



Mehrkostenfinanzierung kommt und die Anlage wirtschaftlich betrieben werden kann, ist ein Teil der Investitionen über Sponsoren zu finanzieren oder es ist eine private Bauherrschaft in Betracht zu ziehen. Im Weiteren soll der produzierte Strom als "naturemade star" Ökostrom zertifiziert und als solcher verkauft werden. Die Vergütung von zertifiziertem Wasserstrom könnte dann analog zur Wespimühle resp. Gemeinschaft Hard (HT: 25 Rp./kWh, NT: 13 Rp./kWh) erfolgen.

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN / WEITERES VORGEHEN

Mit dem vorliegenden Konzessionsprojekt sind die Grundlagen erarbeitet, damit der Auftraggeber den Grundsatzentscheid betreffend Realisierung fällen kann.

Wird das Projekt weiter verfolgt, empfehlen wir folgende Bearbeitungsschritte:

- Erstellen Bau-, resp. Ausführungsprojekt mit
 - Detailberechnungen zur Druckschlagverhinderung (Schwungrad oder Überstömventil)
 - Detailabklärungen betreffend Steuerung der Regelung der Durchflussmengen
- Offertanfragen und Arbeitsvergaben
- Realisierung

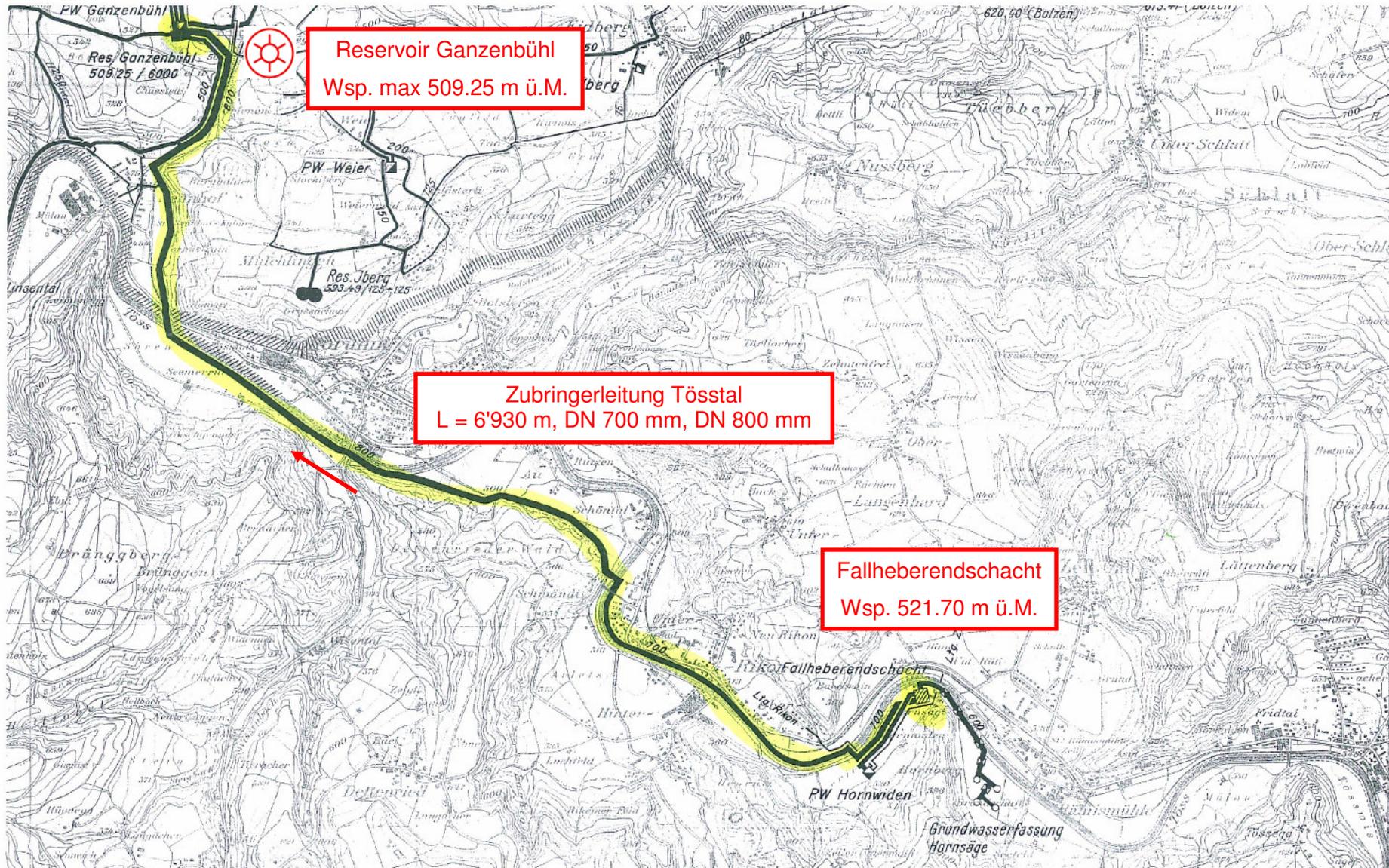
Mit dem vorgeschlagenen Projekt kann Energie umweltschonend und wirtschaftlich interessant produziert werden. Damit kann ein ökologischer Beitrag zur heutigen Energieproduktion geleistet werden.

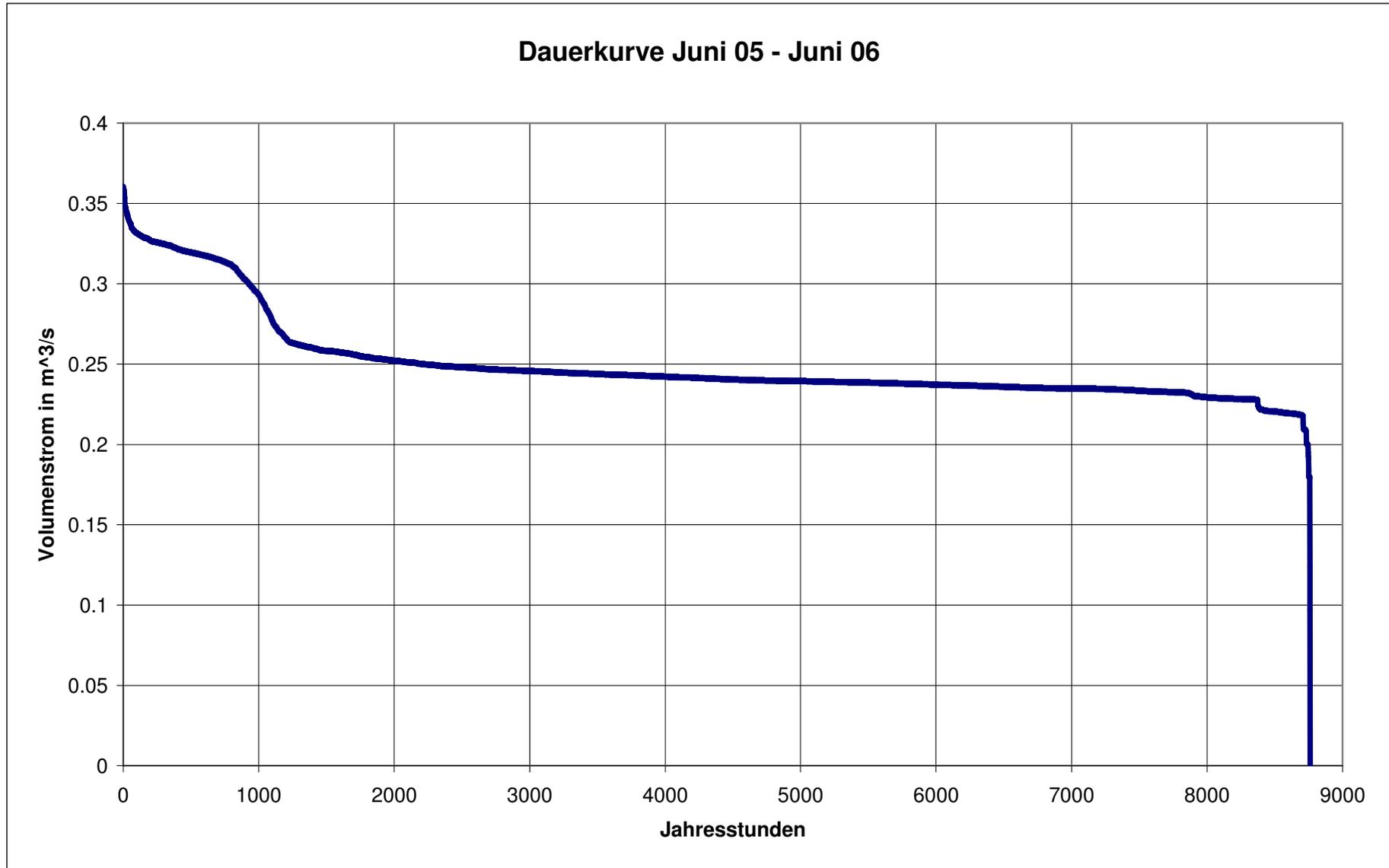


ANHANG

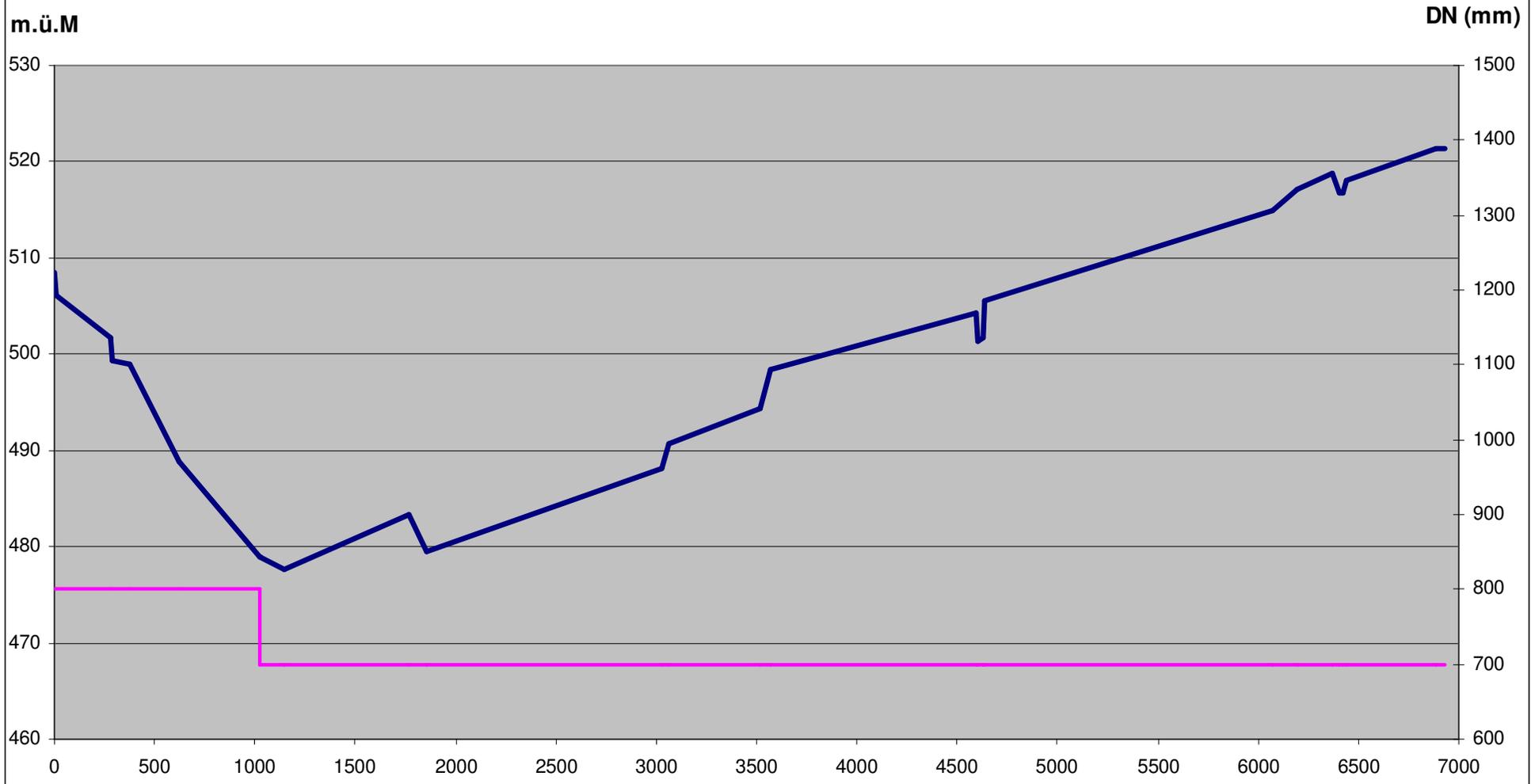
- Übersichtskarte, ca. 1:30'000
- Dauerkurve Juni 05 – Juni 06
- Längenprofil Zubringerleitung Tösstal
- Projektskizze, Massstab 1:50, Grundriss und Schnitte



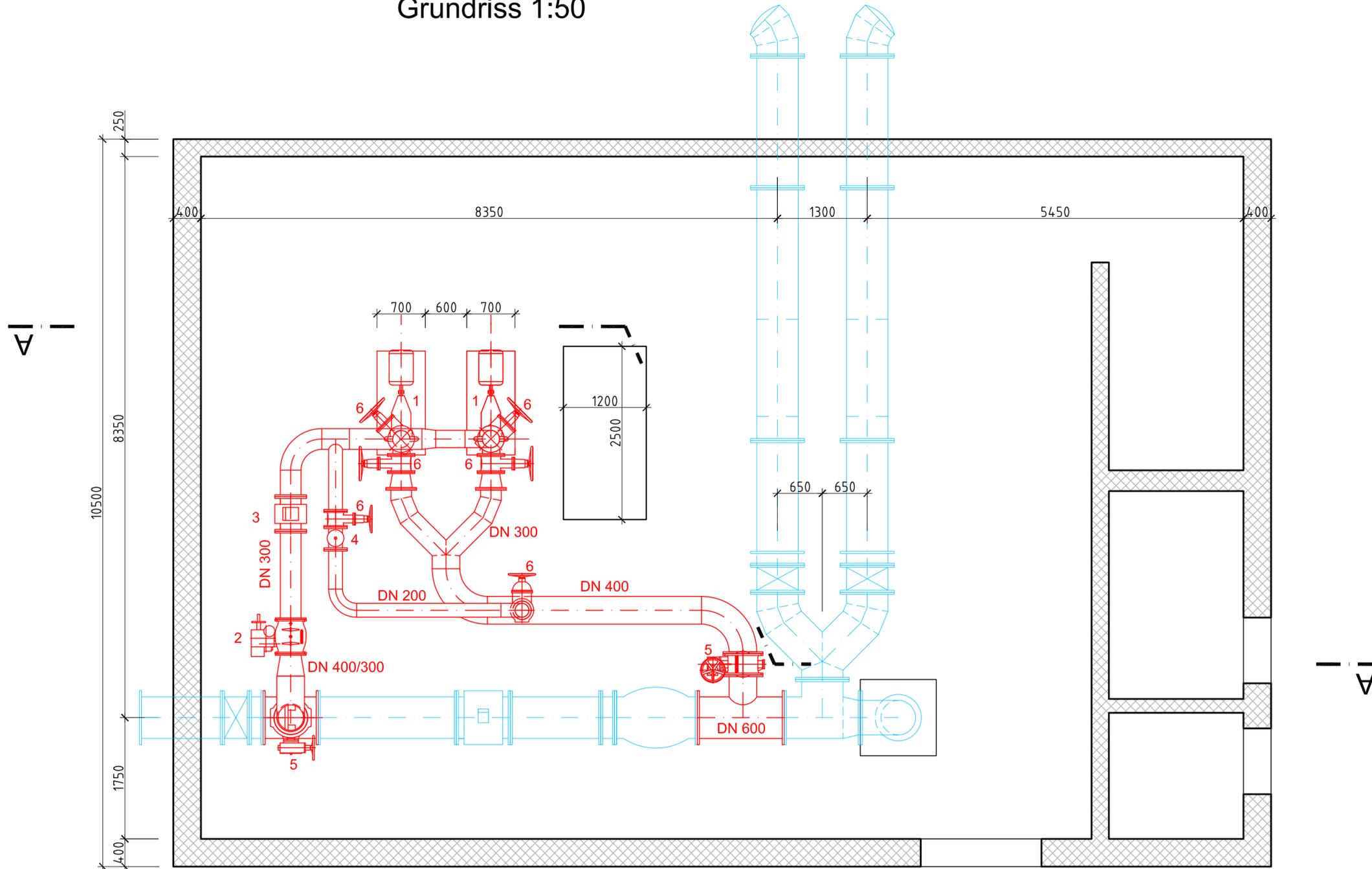




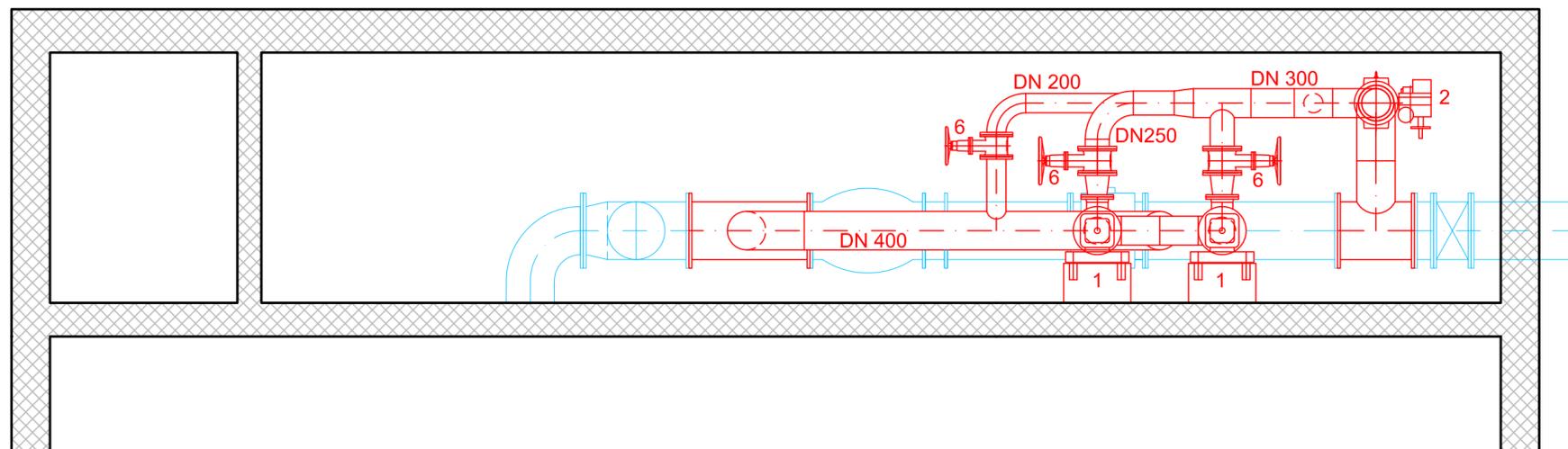
Längenprofil Zubringerleitung Tösstal



Grundriss 1:50



Schnitt A-A 1:50



- 1: Turbinenpumpe mit Asynchrongenerator
Hány Typ: 311411/E+11/8
- 2: Ringkolbenschieber
Erhard DN 300, PN 10
mit Antrieb 24V
- 3: Magnetisch induktiver Durchflussmesser DN 300
- 4: CLA-VAL 50-01
Überdruckhalteventil mit elektrischer Fernsteuerung
- 5: Absperrklappe
Erhard DN 400, PN 10
- 6: Handschieber weichdichtend
Erhard DN 200/250, PN 10

RESERVOIR GANZENBÜHL

NEUE TURBINENPUMPEN

GRUNDRISS UND SCHNITT 1:50

HOLINGER

DATUM	GEZEICHNET	KONTROLLE	VISION	MASSSTAB	FORMAT	AUFTRAG NR.	PLAN NR.	INDEX
19.12.2006	FEH	BRN		1:50		Z1981	1	-