

Proma Energie AG Untersiggenthal

Vorprojektstudie für ein Dotierkraftwerk Stroppel

Juli 2002

Hydrelec Ingenieure

Konzept, Elektromechanik: A. Engel, Hydrelec AG für Energietechnik, Burgdorf, 5318 Mandach
Bauplanung: D. Zimmermann, Hydrelec Ingenieure, Affoltern i.E.

Experten: Geologie: Dr. sc. nat. P. Kleboth, Geotest AG, 8008 Zürich
Vermessung: H. Heri, Kreisgeometer, Baden

Projekt Nr. 31'765
Verfügungs Nr. 71'921
Konto Nr. 46C0.400

Vorprojektstudie für ein Dotierkraftwerk Stroppel

Juli 2002

Inhalt:

1. Einleitung
2. Geologie, Hydrogeologie, Topographie
3. Projektbeschreibung
 - 3.1 Variantenstudium
 - 3.2 Variantenempfehlung
4. Umweltaspekte
5. Wasser- und Energiewirtschaft
6. Kostenvoranschlag, Wirtschaftlichkeit
7. Zusammenfassung

Anhang:

- A Landeskarte der Schweiz Ausschnitt Wasserschloss Aare, Limmat, Reuss 1:25 000
- B Grundwasserkarte Ausschnitt Aare, Limmat, Reuss 1:25'000
- C Bestimmung des Bruttogefälles, Statistik der nutzbaren Bruttogefälle
- D1 Energieberechnung S-Turbine laufradreguliert 10 bis 20 m³/s, Stauziel 329.00 müM
- D2 Energieberechnung S-Turbine 20 m³/s, Stauziel 329.30 müM
Variantenstudium
- E1 Kleinturbinen 8 x 1,3 m³/s, Situation 1:200, Schnitt 1:100
- E2 Wasserrad (Staudruckmaschine SDM) 5 x 3 m³/s, Situation 1:200, Schnitt 1:100
- E3 Siphonturbinen Gugler 3 x 5 m³/s, Situation 1:100 und Schnitt 1:100
- E4 Vertikale Kaplan turbine VA Tech 15 m³/s, Schnitt 1:100
- E5 Rohrturbine VA Tech, 20 m³/s, Situation und Schnitt 1:200
- E6 S-Turbine CKD Mavel, 20 m³/s, Situation und Schnitt 1:200
- F Details Wasserfassung, Lochblechrechen, Rechenreinigung

Die Vorprojektstudie ist mit finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Energie entstanden.
Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind die Autoren verantwortlich.

Vorprojektstudie für ein Dotierkraftwerk Stroppel

1. Einleitung

Die Zwirnerei im Stroppel wurde 1868/69 von Emil Escher-Hotz, einem Nähfadenfabrikanten an der Mündung der Limmat in die Aare erbaut. Die Wasserkraftnutzung war eine Grundvoraussetzung zum Betrieb von Zwirnmaschinen. Im Jahre 1908 unter neuer Führung durch die Firma Coats, Glasgow, wurden die Kraftwerksanlagen neu erstellt und der Textilbetrieb elektrifiziert. Die Firma Coats konzentrierte sich in den 80er Jahren zunehmend auf den Handel von Nähfaden und stellte die eigene Produktion in der Zwirnerei Stroppel ein. 1997 erwarb die Proma Energie AG, Untersiggenthal die Kraftwerksanlagen und Teile der nicht mehr genutzten Industrieliegenschaften. Die Kraftwerksanlagen "im Stroppel" wurden in der Folge durch eine dritte Maschinengruppe ergänzt. Ein Konzessionsgesuch um Erhöhung des Stauziels um 0,3 m auf 329.30 müM wurde gestellt und ist pendent.

Das Kraftwerk Stroppel hat das Recht zur Nutzung von 7/12 des Limmatwassers; 5/12 des Wassers wird durch das Kraftwerk BAG Turgi (neu Hydroelectra AG) genutzt. Das Nutzwasser wird in einen Industriekanal ausgeleitet. Der am rechten Ufer der Limmat verlaufende Oberwasserkanal wird durch ein 400 m langes Streichwehr in Flussmitte gebildet. Die Stauzielerhöhung um 30 cm wird mittels fester Holzaufbauten bewerkstelligt. Der Aufbau eines wassergesteuerten Schlauchwehres anstelle von Holzbohlen wird geprüft.

Die Restwasserstrecke entlang dem linken Ufer der Limmat ist mit minimal 10 m³/s Restwasser zu dotieren. Im Sinne einer ökologischen Ausgleichsmassnahme zugunsten der Erstellung eines Dotierkraftwerkes beabsichtigt die Proma Energie AG zulasten des eigenen Kraftwerkes Stroppel die Restwasserdotierung für das ganze Jahr auf 20 m³/s zu erhöhen. 1997 erstellte das Amt für Landschaft und Gewässer des Kantons Aargau am linken Flusssufer ein Umgehungsgewässer zum alten Dotierwehr als Fischaufstieg. Eine weitere Fischtreppe besteht am oberen Ende des Streichwehres.

Die Wehreinrichtungen zum Dotieren sind überaltert und baufällig. Der Neubau einer Wehranlage ohne Nutzung des Wasserkraftpotenzials oder der Bau eines Dotierkraftwerkes stehen zur Auswahl. Die vorliegende Vorstudie zum Bau eines Dotierkraftwerkes prüft die Realisierbarkeit der Energieerzeugung.

Nutzungspotenzial:

Die Limmat führt während 230 Tagen im Jahr mehr Wasser als für die Dotierung benötigt wird. Die Bauherrschaft erwägt auch aus energetischen Gründen das Dotierkraftwerk für eine Nutzwassermenge von 20 m³/s zu dimensionieren, entsprechend einer Vollast-Nutzungsdauer von 205 Tagen pro Mitteljahr.

Das Dotierkraftwerk ist in der Lage Nutzwassermengen bis 20 m³/s bei mittleren Bruttogefällen bis 2,2 m zu verarbeiten und wird Klemmenleistungen bis 350 kWe aufweisen. Die Energieproduktion wird in einem Mitteljahr zwischen 1,3 und 2,2 Mio kWh betragen, abhängig von Stauziel und Dotierwassermenge. Die Restwasserdotierung ist Bestandteil der bestehenden Konzession des Kraftwerkes Stroppel unabhängig von der Art der Dotierung.

Angesichts des beträchtlichen Energiepotenzials des Dotierkraftwerkes wäre ein Nutzungsverzicht bei gleichzeitigem Neubau des Dotierwehres eine Verschwendung von vorhandenen Ressourcen. Das alte Wehr ist nicht regulierbar und nicht in der Lage minimal 10 m³/s Restwasser dauerhaft zu dotieren. Die noch vorhandenen Bauteile sind für eine sanfte Sanierung des Wehres nicht mehr tauglich. Es gibt äussere Anzeichen, dass das alte Wehr teilweise unterspült wird und die alte Wehrschwelle einstürzen könnte. Aufgrund der vorhandenen Randbedingungen ist der Bau eines Dotierkraftwerkes sehr zu empfehlen.

2. Geologie, Hydrogeologie, Topographie

Problemstellung: Im Zusammenhang mit der Erneuerung des Dotierwehres Stroppel unmittelbar oberhalb der Stroppelinsel (Zentrumskoordinaten 660.600/261.250) ist auf der Basis der vorhandenen Unterlagen ein generelles Baugrundmodell zu erarbeiten.

Auftrag: Mit Telefon vom 5. März 2002 erteilte die Hydrelec AG für Energietechnik stellvertretend für die Proma Energie AG der Geotest AG Filiale Zürich, den Auftrag für die vorliegende Studie.

Wichtige Unterlagen:

Nagra technischer Bericht 84-16 vom August 1984
Grundwasserkarte Kanton Aargau 1:25'000 Blatt Baden
Gewässerschutzkarte Kanton Aargau 1:25'000 Blatt Baden
Neubau Limmatkraftwerk BBC Turgi (diverse Berichte GEOTEST AG)
Grundwasseruntersuchungen im Gebiet Ennetturgi (Dr. H. Jäckli AG)

Genereller geologischer Untergrundaufbau

Im Gebiet von Ennetturgi bildet die Felsoberfläche einen tiefen, etwa N-S-streichenden Trog mit steilen Flanken und der grössten Eintiefung im Gebiet Vogelsang. Im Bereich des Wehres steht der Fels erst in einer Tiefe von rund 50 m unter OK Terrain an (Kote ca. 280 - 290 müM.) und besteht aus Jurakalk. Dem Fels lagern feinkörnige Seeablagerungen auf mit einer Oberkante auf etwa 305 - 315 müM. Limmataufwärts steigt die Felsoberfläche steil an und die Seeablagerungen keilen auf kurze Distanz aus. In einer rund 500 m oberhalb des Wehres niedergebrachten Bohrung wurden die Seeablagerungen bereits nicht mehr angetroffen.

Über den Seeablagerungen (resp. talaufwärts direkt auf dem Fels folgen die sandig-kiesigen Limmatschotter, die eine Mächtigkeit von bis über 20 m aufweisen. Sie werden in der Limmatschlaufe von geringmächtigen Alluviallehmen überdeckt. Die Limmatsohle ist hingegen über weite Strecken in die Schotter eingetieft.

Die Limmatschotter sind Grundwasser führend und stellen ein bedeutendes Grundwasservorkommen von regionaler Bedeutung dar.

Grundwasserverhältnisse

Das Bauprojekt befindet sich im gut durchlässigen Schotter-Grundwasserleiter des Aare/Limmattals mit einer Grundwassermächtigkeit von etwa 10 bis 20 m. Der Grundwasserspiegel zeigt ein Gefälle W bis NW. Die Lage des Grundwasserspiegels korrespondiert mit dem Limmatpegel resp. liegt bei hoher Pegellage nur wenig darunter. Der Limmatschotter ist mit einem Durchlässigkeitswert in der Grössenordnung von 1×10^{-3} bis 3×10^{-3} m/s als **sehr gut durchlässig** zu bezeichnen.

Nach der Grundwasserkarte findet die Grundwasserneubildung vornehmlich durch Limmatinfiltrat oberhalb der Flussschlaufe von Turgi statt. Auch im Bereich der oberhalb des Wehres gelegenen Strassenbrücke muss nach den vorliegenden Unterlagen mit einer gewissen Grundwasseranreicherung durch Limmatwasser gerechnet werden. Ab etwa der Höhe Wehr tritt Grundwasser wieder in die Limmat über (Exfiltrationsstrecke).

Auf der rechten Limmatseite sowie zwischen Aare und Limmat wird Schottergrundwasser in mehreren Vertikalbrunnen für lokale Trinkwasserversorgung genutzt (Fassung Nr. 2.38 bei 4'000 l/min und Fassung Nr. 2.39 bei 3'000 l/min, beide ca. 300 m südlich des Wehres). Die konzessionierte Entnahmemenge liegt bei der nächst gelegenen Fassung Nr. 2.42 bei 1'000 l/min ca. 250 m südwestlich des Wehres (vergl. Anhang 2). Diese beachtliche Fördermenge unterstreicht das grosse Grundwasserdargebot in diesem Talabschnitt und die Bedeutung dieser Fassung für die Wasserversorgung von Turgi und Untersiggenthal.

Für diese Fassung wurde eine rechtskräftige Schutzzone ausgeschieden. Die weitere Schutzzone S3 zieht längs des rechten Limmatufers von der Bahnbrücke Turgi-Koblentz flussabwärts bis etwa auf Höhe Stroppelkanal. Die engere Schutzzone S2 verläuft im Bereich des Wehres entlang dem rechtsufrigen Flurweg, d.h. einige Meter vom Flussufer entfernt.

Vorläufige Folgerungen

Die vorliegenden Abklärungen lassen die folgenden vorläufigen Aussagen in Bezug auf das Bauvorhaben zu. Die einzelnen Fragenkomplexe sind in der Projektierungsphase stufengerecht zu untersuchen.

Der Baugrund besteht im Flussbett aus tragfähigen Schottern, die örtlich von geringmächtigen Alluviallehmen überdeckt werden. Die Schotter sind im Normalfall, d.h. bei hohem Kiesanteil schwer rammpbar, das Einbringen von Spundwänden für die Baugrubensicherungen ist kaum möglich.

Die Limmatschotter sind wegen ihrer generell hohen Durchlässigkeit hydraulisch grundbruchgefährdet und erosionsanfällig (vor allem bei Sandeinschaltungen).

Das Bauvorhaben kommt in ein intensiv genutztes Grundwasservorkommen zu liegen, die diesbezüglichen Auswirkungen durch das Bauvorhaben sind sorgfältig abzuklären.

Das Bauvorhaben tangiert eventuell die Schutzzone S3 am dem rechten Limmatufer. Die entsprechenden Einschränkungen und Vorschriften für Bauten sind zu beachten.

Topographie, Umgebung

Das Projektstandort befindet sich nahe am "Wasserschloss", dem Zusammenfluss von Aare, Reuss und Limmat, einer geschützten Landschaft von nationaler Bedeutung. Obschon nicht direkt in der geschützten Flusslandschaft liegend, erfordert das Projekt viel Verständnis für die Schutzziele im Wasserschloss.

Das als "Stroppelinsel" bezeichnete Gebiet ist in dessen südlichem Teil mit Industriehallen und einem Wohnhaus überbaut. Die freien Flächen zwischen dem linken Limmatufer und dem Unterwasserkanal des Kraftwerkes Hydroelectra Vogelsang sind landwirtschaftlich genutzt. Der nördliche Teil liegt bei Hochwasser im Überschwemmungsgebiet von Limmat und Aare. Am rechten Limmatufer liegt die ARA Ennetturgi und weiter flussabwärts der bewaldete Bahndamm der SBB-Linie Turgi-Koblentz.

Das "Wasserschloss" war seit Mitte 19tes Jahrhundert ein bevorzugtes Industriegebiet. Viele Zeugen der frühen Industrialisierung sind noch erhalten oder dem Zerfall ausgesetzt. Markante Eingriffe in das Bild der Flusslandschaft sind:

- Lückenlos aneinander gereihte Wasserfassungen in Form von Streichwehren und Kanälen zur Wasserkraftnutzung
- Suboptimale Nutzung des Energiepotentials der unteren Limmat als Folge der frühen Industrialisierung des Wasserschlosses Aare, Limmat, Reuss
- Unvollständig entfernte Bauwerke und Ruinen, die nach Aufgabe der ursprünglichen Nutzung am Flussufer und in der Landschaft stehen blieben
- Industriebauten, die grösstenteils einer neuen Nutzung zugeführt wurden

3. Projektbeschreibung

Die relativ grosse Nutzwassermenge, das kleine Bruttogefälle und strenge Auflagen für die unter Schutz stehende Flusslandschaft Aare, Limmat und Reuss im aargauischen "Wasserschloss" erfordern eine sorgfältige Einbindung der Technik, unabhängig ob sie lediglich der Abflussregulierung oder einer mit Sensibilität eingefügten Energieerzeugungsanlage dient. Das Projektgebiet weist zudem ein Grundwasservorkommen von regionaler Bedeutung auf, das in einem gut durchlässigen Schotter - Grundwasserleiter liegt. Die Bauherrschaft ist bestrebt das Beste zum Schutz von Flusslandschaft und Grundwasser zu unternehmen.

Bei Normalabflüssen in Limmat und Aare ist ein Bruttogefälle von 1,9 m bzw 2,2 m im Falle der Bewilligung einer Stauzielerhöhung um 0,3 m verfügbar. Bei grösseren Abflussmengen in der Limmat erhöht sich der Stauspiegel im Oberwasser um die Überfallhöhe beim Streichwehr in ähnlichem Ausmass wie der Unterwasserspiegel in der Limmat. Über weite Abflussbereiche der Limmat dürfte sich das Bruttogefälle wenig verändern.

Steigen die Abflussmengen von Aare und Reuss, so wird das Limmatwasser im Unterwasserbereich des Dotierkraftwerkes zurück gestaut und das Bruttogefälle erheblich reduziert. Die Ergebnisse näherer Untersuchungen werden im Kapitel 5 beschrieben.

3.1 Variantenstudium

Bei allen untersuchten Varianten wird in dieser Untersuchung der gleiche Standort für das Dotierkraftwerk angenommen. Alternative Standorte sind möglich und bedürfen weiterer Abklärungen.

Kleinturbinen VA Tech Hydromatrix oder 3S-Systemtechnik/Flygt

Der Grundgedanke basiert auf dem von der Firma VA Tech postulierten Prinzip der Modultechnik Hydromatrix für kleine Standardturbinen ohne individuelle Regulierung. Die Firma VA-Tech hält mit Angeboten und Informationen für das Hydromatrix Prinzip zurück, ohne Angabe für den Grund der Zurückhaltung.

Die Firmen 3S-Systemtechnik AG (Axialpumpen) und Heusser AG (Flygt Pumpen) sind bekannte Lieferanten von Unterwasser-Motorpumpen in der Schweiz. Beide Firmen studieren ein gemeinsames Vorgehen bei der Anwendung des obgenannten Prinzips. Die Turbinen werden in einer Sperrschwelle so angeordnet, dass jedes Modul in einer Dammbalkenführung auf die Schwellensole abgesenkt wird. Zum Start der Turbine wird eine Tafelschütze vor der Turbine hochgezogen, wodurch die Turbine ohne weiteres Zutun in Betrieb geht. Die Asynchrongeneratoren werden bei Nenn-drehzahl automatisch zugeschaltet. Bei Netzunterbruch schliesst die Tafelschütze vor der Turbine automatisch. Durch Anpassung der Drehzahl mittels eines Frequenzwandlers kann ein grösserer Gefällebereich optimal genutzt werden. Für den Turbinenunterhalt wird das Turbinenmodul aus der Dammbalkenführung herausgehoben und in den Werkstätten überholt bzw. repariert.

In ersten technischen Abklärungen zeigt sich, dass Turbinenmodule für ca. 1,3 m³/s Wassermenge bei 2,2 m Bruttogefälle ideal ausgelegt sind. Die optimale Drehzahl liegt bei 430 U/min und die Moduleleistung bei 20 kW_e. Für die Verarbeitung einer Dotierwassermenge von 20 m³/s wären 15 Kleinturbinen mit je 1,3 m³/s Schluckfähigkeit notwendig. Aus Platzgründen sind mehr als acht Turbinenmodule mit einer Gesamtschluckfähigkeit von 10 m³/s am Projektstandort kaum realisierbar.

Übergreifend für alle Turbinenmodule wird oberwasserseitig ein Rechen mit Rechenreinigungsmaschine angeordnet. Schwemmgut und Geschiebe werden mittels einer Grundablassschütze ins Unterwasser abgspült.

Vorteile des Modulsystems:

Geringe bauliche Veränderungen am bestehenden Wehr,
Praktisch unsichtbare Bauweise unter Wasser mit kleinen Einheiten.

Nachteile des Modulsystems: Neukonstruktion ohne Erfahrung und grosse Zurückhaltung der Firma VA Tech bei Anfragen. Neues Nischenprodukt für die Firma 3S-Systemtechnik ohne Erfahrung. Die Firma Flygt hatte vor 20 Jahren ähnliche Produkte am Markt, jedoch ohne durchschlagenden Erfolg.

Wasserrad (Staudruckmaschine SDM)

Adolf Brinnich aus Wien beschreibt eine neuartige Staudruckmaschine in Anlehnung an unterschlächtige Wasserräder früherer Zeiten. Der grundsätzliche Unterschied zum unterschlächtigen Wasserrad besteht darin, dass der Staudruck (potenzielle Energie) im unteren Teil des Rades in einem kurzen Durchgang das Rad in drehende Bewegung versetzt (dynamische Energie). Das Gefälle entspricht dabei etwa dem Nabendurchmesser des Rades. Das System bedingt Ober- und Unterwasserspiegel mit geringen Änderungen. Bei festgelegter Lage der Radachse soll der Oberwasserspiegel dem Scheitel der Nabe entsprechen. Übersteigt der Spiegel die Nabe, so wird zunehmend die verlustarme Füllung der Kammer zwischen zwei Schaufeln behindert. Die Füllung der Kammer beginnt mit dem Eintauchen der schräg eingebauten Schaufel in den Oberwasserspiegel. Durch den Zufluss in die Kammern entstehen Turbulenzen und Verluste. Der im Betrachtungsmoment nicht gefüllte Kammerteil wirkt als Schwimmkörper und verleiht dem Rad ein negatives Drehmoment. In ähnlicher Weise muss das Wasser nach einer halben Raddrehung die Kammer unten zwischen zwei Schaufeln wieder verlassen, wobei als Folge der schräg gestellten Schaufeln eine geringe Öffnung den Zutritt von Luft in die Schaufelkammer erlaubt. Ein Teilvolumen verweilt nach der Energienutzung in der Kammer, wirkt als Saugkörper und verursacht ein negatives Drehmoment. Selbst wenn die Verluste der Umsetzung von potenzieller in dynamische Energie verlustarm erfolgt, so sind die Füll- und Entleerungsverluste der Wasserradkammern nicht zu vernachlässigen.

Das System bedingt eine schalenförmige Sohle als Wasserführung der Schaufeln während dem unteren Durchgang der Schaufel, die ein Umströmen von Wasser verhindert. Der Spalt zwischen Schale und Schaufel bestimmt das Mass der Umströmungsverluste. Diese sind dann minimiert, wenn der Spalt nahezu null wird. Schwemmholz und Geschiebe beeinträchtigen die Funktion der Staudruckmaschine und können zur Beschädigung an Schaufeln und Schale führen. Schwemmgut ist in einem Rechen vor dem Zutritt zur Maschine zurückzuhalten.

Es ist fraglich ob der in der Beschreibung erwähnte Wirkungsgrad von 90% erreicht wird. Bei niedriger Drehzahl werden die Füll- und Entleerungsverluste kleiner, die Spaltverluste jedoch grösser. Das Prinzip der Staudruckmaschine ist eine interessante Alternative zu Turbinen. Nach Schätzung können am Projektstandort fünf Räder zu je 3 m³/s Schluckfähigkeit bei 2,2 m Bruttogefälle installiert werden.

Offerten und Leistungsgarantien sind vom Hersteller und Erfinder nicht erhältlich. Die Anmeldung einer Besichtigung der beschriebenen Anlage ist bis anhin unbeantwortet geblieben. Wie sich die Staudruckmaschine bei variablem Ober- und Unterwasserspiegel verhält, ist in einem Grossversuch näher zu prüfen.

Vorteile der Staudruckmaschine: Geringe bauliche Veränderungen am bestehenden Wehr, einfache Konstruktion, vergleichsweise geringe Bauinvestition.

Nachteile der Staudruckmaschine: Voluminöse Konstruktion, geringe Drehzahl, grosser Transmissionsaufwand, keine Betriebserfahrung. Geringe Informationsbereitschaft seitens der Hersteller.

Siphonturbinen Gugler:

Das Prinzip der Siphonturbine wurde von der Firma Gugler GmbH für das Wehr Rems (D) vorgestellt. Über die Bewährung des Systems im praktischen Betrieb ist wenig in Erfahrung zu bringen. Die Turbinen werden rittlings über die Wehrschwelle aufgesetzt. Das Turbinenlaufrad liegt auf Höhe der Wehrschwelle relativ hoch über dem Unterwasser. Der Asynchrongenerator wird mit einer Flachriemenübersetzung angetrieben und ist unter einem Wetterschutz auf dem Rohrbogen angeordnet.

Durch Belüften des Zulaufrohres wird die Maschine stillgelegt. Das Anfahren erfolgt durch Schliessen des Belüftungsventils und durch Selbstansaugen des Triebwassers im Siphon beim Überströmen des Rohrsattels. Jede Turbineneinheit wird für ca. 5 m³/s Wassermenge bei 1,9 bzw. 2,2 m Bruttogefälle ausgelegt. Die Einheitsleistung beträgt knapp 80 kWe. Jede Turbineneinheit hat einen eigenen Rechen und eine Rechenreinigungseinrichtung. Unklar ist die Geschwemmselbeseitigung des Gugler Systems.

Vorteile der Siphonturbine:	Kompakteinheit zum Aufbau auf eine Wehrschwelle geeignet.
Nachteile der Siphonturbine	Voluminöse Konstruktion gut sichtbar über dem Wasser, Bewährung im Betrieb ist nicht gesichert, hohe Einbaulage, Kavitationsgefahr.

Für die Firma Gugler wurde ein Stundungsbegehren gestellt. Offertanfragen werden zur Zeit nicht beantwortet. Die Siphonturbine kann zur Zeit nicht zur Ausführung empfohlen werden.

Vertikale Kaplanturbine:

Die vertikale Kaplanturbine ist für kleine Kraftwerke von Vorteil, da der Unterhalt aller Maschinenteile ohne Entwässerung des Saugrohres möglich ist. Die Kaplanturbine wird für ca. 15 bis 20 m³/s Wassermenge bei 1,9 bzw. 2,2 m Bruttogefälle ausgelegt. Die Klemmenleistung beträgt je nach Ausbaugrösse zwischen 250 und 350 kWe. Der Wassereinlauf wird mit einem Stabrechen und einer Rechenreinigungsmaschine ausgerüstet. Die vertikale Kaplanturbine erlaubt die Verwendung des bei der Proma Energie AG vorhandenen 400 kVA Synchrongenerators mit direkter Kupplung zur Turbine. Die vertikale Bauweise erfordert den Bau eines Maschinenhauses, das die bestehende Umgebung überragt.

Vorteile der Kaplanturbine:	Bewährte Konstruktion, Verwendung des bei der Proma Energie vorhandenen Synchrongenerators mit direkter Kupplung an die Turbine. Ausbau aller Maschinenteile nach oben ohne Entleerung des Saugrohres.
Nachteile der Kaplanturbine:	Grosse Bauhöhe des Maschinenhauses, grössere Bauvolumen und hohe Kosten. Ein die Umgebung überragendes Maschinenhaus ist in der Nachbarschaft der Schutzzone Aare, Limmat, Reuss unerwünscht.

Rohrturbine:

Es besteht ein Angebot der Firma VA Tech für eine horizontale Riemen-Rohrturbine. Ähnliche Rohrturbinen von bewährter Konstruktion werden auch von anderen Herstellern angeboten. Die Rohrturbine wird als laufradregulierte oder doppeltregulierte Kaplanturbine angeboten. Der Wassermengen-Regulierbereich legt die Wahl einer laufradregulierten Rohrturbine nahe. Der Asynchrongenerator steht ausserhalb des Turbinengehäuses. Ein Flachriemen treibt den Generator über zwei Hohlräume in den Stützrippen der Turbine an. Dieser Turbinentyp hat sich mehrfach bewährt. Die Turbine wird für 20 m³/s Wassermenge bei 1,9 bzw. 2,2 m Bruttogefälle ausgelegt. Die Klemmenleistung beträgt bis 350 kWe. Die seitliche Wasserfassung wird mit Rechen und Rechenreinigungsmaschine ausgerüstet.

Vorteile der Rohrturbine:	Bewährte Konstruktion mit guten Referenzen, kompakte Bauweise, geeignet für ein flach gebautes Kraftwerk.
Nachteile der Rohrturbine	Riemenübertragung durch Hohlrippen, ein Riemenersatz ist nur durch Spezialisten des Riemenherstellers möglich, Energieverluste im Riemen.

S-Turbine:

Ähnlich der oben beschriebenen Rohrturbine bietet sich die horizontalachsige S-Turbine mit direkt gekuppeltem aussenliegendem Generator an. Die S-Turbine wird für 20 m³/s Ausbauwassermenge bei 1,9 bzw. 2,2 m Bruttogefälle ausgelegt. Die Klemmenleistung beträgt zwischen 315 und 350 kWe. Die Wasserfassung wird ähnlich wie bei der Rohrturbine als Seiteneinlauf konzipiert und mit Rechen und Rechenreinigungsmaschine ausgerüstet. Die S-Turbine erfordert eine sehr geringe Bauhöhe und ist für den Unterhalt aller Bauteile gut zugänglich.

Vorteile der S-Turbine: Bewährte Konstruktion mit guten Referenzen. Verwendung des bei der Prima Energie AG vorhandenen Synchrongenerators mit direkter Kupplung an die Turbine

Nachteile der S-Turbine: Höheres Maschinengewicht und tiefe Lage des Saugrohraustritts, vergleichsweise hohe Lage des Laufrades relativ zum Unterwasserspiegel, leicht erhöhte Kavitationsrisiken

3.2 Variantenempfehlung

Angesichts der äusseren Bedingungen in der unmittelbaren Nachbarschaft des aargauischen Wasserschlosses ist ein unauffälliges Dotier-Kleinkraftwerk oberstes Gebot. Die besprochene Variante mit Kleinturbinen in Modulbauweise könnte die äusseren Bedingungen ideal erfüllen. Die Technologie ist ungenügend entwickelt und nicht sofort verfügbar, so dass nach einer Konstruktionsphase ein Betriebsversuch mit vorerst einer Modulturbine notwendig wird.

Die neuartige Staudruckmaschine ist eine interessante Alternative. Die Wasserräder bringen eine längst verschwundene Technologie zurück in die Gegenwart, die den Anfängen der Industrialisierung am nächsten kommt. Die Technologie der Staudruckmaschine ist vorgängig einer intensiven Erprobung zu unterziehen, bevor sie am Projektstandort zur Anwendung kommen kann.

Eine sofort realisierbare Empfehlung kann nur für eine bewährten Turbinentype abgegeben werden. Die Basisgrundlagen und die Bewährungsreferenzen für die S-Turbine und die Rohrturbine sind gleich und werden nachfolgend ohne Festlegung auf eine Turbinentype beschrieben.

Die Limmat weist grosse Seen mit hohen Speicherkapazitäten im Oberlauf auf. Sie ist, bezogen auf das Einzugsgebiet von knapp 2'500 km², ein regelmässig fliessender Mittellandfluss ohne extreme Hochwasserspitzen. Das höchste Hochwasser wurde in der Messstelle Baden mit ca. 600 m³/s registriert. Dennoch kommen ansprechend hohe Minimalabflussmengen vor, die eine beachtliche Jahresenergieproduktion erlauben. Die Ausbauwassermenge im Kraftwerk Stoppel ist mit rund 30 m³/s (7/12 der gesamten nutzbaren Abflussmenge) klein ausgebaut. Während mehr als 230 Tagen eines mittleren Jahres läuft heute Limmatwasser ungenutzt über das Streichwehr. Es ist naheliegend, die Dotierturbine nicht nur für die vorgeschriebene Restwassermenge von 10 m³/s, sondern für 20 m³/s auszulegen.

Die Limmat gilt als beinahe idealer Fluss für die Wasserkraftnutzung. Vorteilhaft sind insbesondere die geringe Geschiebeführung und die starke Reduktion der Geschwemmselfracht durch obenliegende Kraftwerke. Bei Hochwasserzuflüssen aus dem Sihltal sind mässige Sedimentfrachten bekannt, die grösstenteils im Stausee Wettingen abgelagert werden. Feinsande und Geschwemmself kommen nur beim Betrieb der Hochwasserentlastung im Kraftwerk Wettingen vor.

Wasserfassung, Rechen und Rechenreinigung

Der Projektstandort am linken Ufer der Limmat liegt eingangs einer Linkskurve der Limmat zwischen Enneturgi und Vogelsang. Geschiebebewegungen im Fluss neigen daher zur Akkumulation am linken Ufer, also direkt vor der Wasserfassung des Dotierkraftwerkes. Vor dem Rechen wird daher eine Geschiebespülrinne angeordnet, die es erlaubt das tendenzmässig in Richtung Einlauf transportierte Geschiebe vor dem Turbineneinlauf durch einen Grundablass ins Unterwasser weiterzuleiten.

Der Kraftwerksbaukörper wird parallel zur bestehenden Ufermauer anstelle der ehemaligen Gerätekammer erstellt. Der Einlauf zur Turbine kommt auf Höhe der bestehenden Wehrschwelle zu liegen. Vorgelagert wird eine Kammer mit einem Seiteneinlauf von 26 x 2 m Fläche erstellt. Die Einlaufkammer dient zugleich der Sandabscheidung vor dem Turbineneinlauf. Bei der Trübung des Flusswassers wird zwecks Verschleissminderung an der Turbine Sand über zwei Spülleitungen direkt ins Unterwasser abgeleitet.

Das geringe verfügbare Bruttogefälle erfordert möglichst geringe Rechenverluste, d.h. einen grossen Rechenquerschnitt. Mit 52 m² Bruttorechenfläche entsteht eine Nettorechenfläche von 40 m² und eine Fliessgeschwindigkeit zwischen den Stäben von 0,5 m/s. Die horizontal eingebauten Rechenstäbe von 10 mm Stärke und 30 mm Stababstand erlauben das horizontale Abschieben von organischem Schwemmgut in Richtung Grundablass, wo es periodisch ins Unterwasser abgespült wird. Bei einer Nutzwassermenge von 20 m³/s beträgt der Rechenverlust bei sauberem Rechen 0,9 cm WS. Stabrechen ermöglichen das Eindringen von Laub und Kleingeschwemmsel in die Turbine, führen an Leit- und Laufschaufeln zu Geschwemmsel - Akkumulationen und beeinträchtigen die Leistungsfähigkeit der Turbine. Die Turbine wird zur Verminderung von Verlusten mit einer Spülsteuerung ausgerüstet.

Lochblechrechen, eine alte und bewährte, eher selten angewandte Technik bei Kleinkraftwerken erweisen sich als besonders vorteilhaft zur Vermeidung der Schwemmgut - Akkumulation an Leit- und Laufrad. Spülvorgänge, wie sie bei Kleinwasserkraftwerken öfters notwendig werden, können reduziert oder ganz eliminiert werden.

Der Rechenreiniger beider Rechensysteme verschiebt das Schwemmgut in horizontaler Richtung vor den Grundablass. Organisches Geschwemmsel wird dem Wasser nicht entnommen und ins Unterwasser abgespült. Das erste und wichtigste Glied in der Nahrungskette, das organische Schwemmgut, bleibt der Flussfauna als Futterbasis erhalten. Nicht verrottbares Schwemmgut wird dem Fluss entnommen und entsorgt. Die Rechenreinigung erfolgt mittels einer Differenzdrucksteuerung. Das kurzzeitige Öffnen der Grundablassschütze zum Ablassen von angestautem, organischem Geschwemmsel erfolgt automatisch.

Grundablass und Wehrklappe:

Rechts neben dem Kraftwerk wird anstelle des früheren Wehres eine Grundablassstafelschütze und eine Wehrklappe eingebaut. Die Grundablassschütze mit einer freien Durchlassöffnung von 3 x 3 m dient der Weiterleitung von Geschiebe und dem Abspülen von organischem Geschwemmsel ins Unterwasser. Die Wehrklappe von 6 m Breite und 1,5 m Stauhöhe dient der zusätzlichen Ableitung von Hochwasser und reduziert den Überlauf von Wasser am Streichwehr. Grundablass und Wehrklappe vermindern die Zufuhr von grossem Schwemmgut und Geschiebe in den Oberwasserkanal des bestehenden Wasserkraftwerkes Stroppe.

Geschiebespülungen mit dem Grundablass und das Öffnen der Wehrklappe erfolgen mit Überwachung vor Ort nach einer genauen Betriebsvorschrift. Die abgesenkte Wehrklappe kann bei Bedarf der freien Durchfahrt von Sportbooten dienen.

Dotierkraftwerk:

Eine horizontalachsige Rohr- oder S-Turbine wird anschliessend an die Einlaufkammer installiert. Die laufradregulierte Turbine ist in der Lage Wassermengen von 10 bis 20 m³/s bei 1,9 bzw. 2,2 m Bruttogefälle mit gutem Wirkungsgrad zu verarbeiten. Kostenvorteile durch Verwendung unregulierter Turbinen sind näher zu prüfen. Zum Absperrern und Entleeren der Maschine dient je ein Tafelschieber am Einlauf der Turbine und am Saugrohraustritt. Beide Absperrorgane werden fest installiert und mit hydraulischen Antrieben versehen. Zwei gleichwertige alternative Turbinentypen stehen zur Auswahl:

S-Turbine: Die S-Turbine zeichnet sich durch eine aus dem Saugrohr herausgeführte horizontale Welle aus. Der bei der Proma Energie AG eingelagerte 400 kVA Synchrongenerator (Baujahr 1993) wird ohne Getriebe direkt an die Turbine gekuppelt. Die Synchrondrehzahl von 130,43 U/min des Generators ist bestimmend für den Laufraddurchmesser und die Nutzwassermenge bei gegebenem Nettogefälle. Die Ausbauwassermenge, ca. 20 m³/s, richtet sich nach dem Laufraddurchmesser und dem Gefälle. Die Klemmenleistung wird 350 kWe und die brutto Energieerzeugung 3,05 Mio. kWh pro Jahr nach Realisierung der beantragten Erhöhung des Stauziels betragen.

Rohrturbine: Bei der Rohrturbine ist die Auslegungswassermenge frei wählbar. Die Riemenrohturbine treibt über einen Flachriemen einen ausserhalb der Turbine montierten neuen 400 kVA Synchron- oder Asynchrongenerator an. Bei einer Ausbauwassermenge von 20 m³/s beträgt die Klemmenleistung 350 kWe und die brutto Energieerzeugung ca. 3,05 Mio. kWh pro Jahr nach der beantragten Erhöhung des Stauziels.

Schalt- und Steueranlagen

Die Schalt- und Steuerschränke und der 0,4/16 kV Transformator werden im Turbinenraum installiert. Der Anschluss an das öffentliche Netz erfolgt bei der Trafostation Vogelsang. Die Maschinengruppe ist für den automatischen, nicht überwachten Betrieb vorgesehen. Periodische Betriebsbesuche der Gesamtanlage werden mit einer Fernüberwachung der Anlage über Modem und Telefon ergänzt.

Hochwasserschutz für die Kraftwerksanlage

Extreme Höchsthochwasserpegel sind für den Projektstandort zur Zeit nicht bekannt. Da das Kraftwerkgebäude die bestehenden Uferflächen bei der Bootsrampe nicht überragen sollen, ist mit hoher Sicherheit jegliches Eindringen von Wasser durch Zugangs- und Lüftungsöffnungen zu verhindern. Der Zugang zum Maschinenhaus erfolgt über eine horizontal liegende, druckwasserdichte Klappentüre mit einem Treppenabgang. Grössere Maschinenteile werden durch druckwasserdichte Deckenöffnungen von der Strasse aus direkt ein- und ausgebaut. Im Maschinenhaus werden zwei Drainagepumpen installiert, die sowohl die normal anfallenden Leckwassermengen, wie auch die vollständige Entleerung der Turbine in ca. 2 Stunden ermöglichen. Der wasserdicht geschlossene Maschinenraum wird über zwei Kamine zwangsbelüftet. Die Lüftungskamine werden als Notausstieg geplant.

Zugänglichkeit zum Kraftwerk und Unfallvermeidung

Das Projektgebiet liegt an einer Stelle am Flusssufer, wo seit jeher keine besonderen Massnahmen zum Unfallschutz getroffen wurden. Das vom Kanton erstellte Umgehungsgewässer hat die Zugänglichkeit zur Uferpartie weiter eingeschränkt. Eine kleine Brücke erlaubt den Zugang zum Ufer. Das Dotierkraftwerk soll von unbefugten Personen nicht betreten werden. Umzäunungen und Geländer zum Personenschutz werden nach den Regeln der SUVA und in Zusammenarbeit mit den Behörden erstellt.

Fischaufstieg

Das Amt für Landschaft und Gewässer des Kantons Aargau hat am linken Flusssufer ein Umgehungsgewässer zum alten Dotierwehr erstellt. Das Umgehungsgewässer wird sorgfältig in das Projekt integriert und optimiert. Am Pfeiler zum Streichwehr besteht ferner eine alte Beckenfischtrappe als Verbindung von Ober- und Unterwasser. Die alte Fischtrappe wird durch neue Einbauten betriebsfähig gemacht.

4. Umweltaspekte

Das Dotierkraftwerk wird die schutzwürdige Umgebung "Wasserschloss" respektieren und früher begangene Bausünden werden in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden behoben. Alle wesentlichen Bauteile werden unterhalb der bestehenden Geländelinie angeordnet. Hochbauten werden vermieden. Aussenstehende technische Einrichtungen wie Rechen, Rechenreinigung, Klappenwehr und Grundablassschütze werden in unauffälliger Flachbauweise erstellt. Der Zugang zum Maschinenhaus erfolgt über einen Treppenabgang ohne Aufbauten über dem Geländeniveau. Maschinenteile werden durch flache Deckenöffnungen montiert.

Ein neues Dotierkraftwerk oder ein neues Dotierwehr sind anstelle des baufällig gewordenen Wehres zu erstellen. Die Restwasserstrecke entlang dem linken Ufer der Limmat vom alten Wehr bis zur Mündung in die Aare ist mit minimal 10 m³/s Restwasser zu dotieren. Die Erfahrung zeigt, dass an 205 Tagen im Jahr 20 m³/s oder mehr Wasser über das Streichwehr abfließt. Wenn das Dotierkraftwerk bewilligungsfähig ist, kann die Auslegungswassermenge für einen Regulierbereich von 10 bis 20 m³/s festgelegt werden. Die ganzjährige Dotierung von 20 m³/s bleibt als Ausgleichsmassnahme für den Bau eines Dotierkraftwerkes vorbehalten.

1997 erstellte das Amt für Landschaft und Gewässer des Kantons Aargau am linken Flusssufer ein Umgehungsgewässer zum alten Dotierwehr als Fischeaufstieg. Das Umgehungsgewässer wird sorgfältig in das Projekt integriert und optimiert. Am Pfeiler zum Streichwehr besteht ferner eine alte Beckenfischtrappe als Verbindung von Ober- und Unterwasser. Die alte Fischtrappe wird durch neue Einbauten betriebsfähig gemacht. Die Fischtreppen beidseits des Turbinenaustritts ermöglichen eine optimale Durchgängigkeit für alle in der Limmat vorkommenden Fische und Kleinlebewesen.

Mit Ausnahme eines Kolksschutzes anschliessend an Kraftwerk, Grundablass und Klappenwehr werden in der Limmat keine bauliche Korrekturen vorgenommen. Die Bildung von Sand- und Kiesbänken wird der Natur überlassen. Die während der Bauzeit geschädigte Ufervegetation wird nach Fertigstellung der Anlage mit standortgerechten Pflanzen instand gestellt.

Das Dotierkraftwerk begünstigt die Speisung der Restwasserstrecke der Limmat mit minimal 10 m³/s und bei genügendem Abfluss bis maximal 20 m³/s. Im bisherigen Zustand wurde die Restwassermenge durch stetiges Zufließen über das 400 m lange Streichwehr erst am unteren Ende des Streichwehres erreicht. Der oberste Teil der Restwasserstrecke hatte bis anhin eine zu knappe Dotierung erfahren. Das neue Projekt soll diesen Mangel beheben, indem die volle Restwassermenge unmittelbar nach dem Dotierkraftwerk eingehalten wird.

Die am alten Wehr bestehende Kahnrampe ist in einem sehr schlechten Zustand. Wenn das Bedürfnis für den Betrieb einer Kahnrampe weiterhin besteht und die Rampe die Schutzbestrebungen "Wasserschloss" nicht beeinträchtigt, so wird die Rampe in ähnlicher Bauweise wieder hergestellt. Der Einbau eines Klappenwehres von 1,5 m Stauhöhe erlaubt nach Anmeldung beim Kraftwerksbetreiber und bei den Aufsichtsbehörden das Befahren der Limmat über das abgesenkte Wehr.

5. Wasser- und Energiewirtschaft

Hydrologie

Die nachfolgend aufgeführten Daten stammen aus den hydrologischen Jahrbüchern der Schweiz für die Messstelle Baden-Limmatpromenade. Da zwischen Baden und Vogelsang kein nahnhaftes Gewässer in die Limmat mündet, werden diese Daten ohne weitere Korrektur übernommen.

Einzugsgebiet bei der Messstelle Baden-Limmatpromenade	2'396 km ²
Zwischeneinzugsgebiet geschätzt	50 km ²
Vergletscherung	1,10 %
Mittlere Höhe des Einzugsgebietes	1'130 m.ü.M.
Mittlere Jahresabflussmenge 1951 - 1997	101 m ³ /s
Grösstes Jahresmittel 1970	141 m ³ /s
Kleinstes Jahresmittel 1971	69,2 m ³ /s
Kleinstes Tagesmittel Februar 1963	25,7 m ³ /s
Höchstes statistisch erfasstes Hochwasser 1953 ca. HQ ₅₀	590 m ³ /s

Die Limmat weist grosse Seen mit hohen Speicherkapazitäten im Oberlauf auf. Sie ist bezogen auf das Einzugsgebiet von knapp 2'500 km² ein regelmässig fliessender Mittellandfluss ohne extreme Hochwasserspitzen. Das höchste Hochwasser wurde an der Messstelle Baden mit ca. 600 m³/s registriert.

Bei Normalabflüssen in Limmat und Aare ist ein Bruttogefälle von 1,9 bzw 2,2 m zur Energieerzeugung verfügbar. Der tiefere Wert betrifft das geltende Stauziel. Der höhere Wert betrifft die beantragte Erhöhung des Stauziels auf 329.30 müM. Das Bruttogefälle bleibt über weite Abflussmengenbereiche der Limmat nahezu konstant, da die Überfallhöhe über das Streichwehr den Anstieg im Unterwasser weitgehend kompensiert. Über längere Zeitperioden (ca. 90 % des Jahres) bleibt daher das nutzbare Bruttogefälle in engen Grenzen gleich.

Der Unterwasserspiegel zum Dotierkraftwerk wird öfters durch Hochwasserereignisse der Aare beeinflusst deren Häufigkeit und Intensität sich von den Ereignissen der Limmat unterscheiden. Die Energieberechnungen basieren auf den Daten der Limmat. Der Einfluss der Aare auf das Unterwasserniveau der Limmat ist bei Extremereignissen in der Aare feststellbar.

Steigen die Abflussmengen von Aare und Reuss, so wird das Limmatwasser im Unterwasserbereich des Dotierkraftwerkes zurück gestaut und das Bruttogefälle erheblich reduziert. Untersuchungen über den Hochwassereinfluss der Aare auf das Bruttogefälle am Hauptkraftwerk Stroppe in den Jahren 1990, 1994, 1996, 1997 und 1998 ergaben geringe Unterschiede von 2,40 m im Jahr 1994 bis 2,54 m im Jahr 1996. Wohl sind bei grossen Hochwasserereignissen Einbrüche im Bruttogefälle bis zu 1,1 m (1990 und 1997) während sehr kurzen Zeitabschnitten feststellbar, sie wirkten sich kaum merkbar auf die Energieproduktion im Hauptkraftwerk Stroppe aus. Einstauverluste durch den Rückstau der Aare in die Limmat am neuen Dotierkraftwerk werden wie folgt geschätzt:

Bruttogefällebereiche:	2.2-2.0	2.0-1.8	1.8-1.6	1.6-1.4	1.4-1.2	1.2-1.0 m
Nutzungsdauer in %	91	6	2	0,6	0,3	0,1 %

Der Bruttogefällebereich 2,2 bis 2,0 m ist in den betrachteten Jahren während 91 % der Betriebszeit ohne Einschränkung und ohne Energieverluste nutzbar.

Energiewirtschaft

Die Ausbauwassermenge im Hauptkraftwerk Stroppe ist mit rund 30 m³/s (7/12 der gesamt genutzten Abflussmenge) klein ausgebaut. Während mehr als 230 Tagen eines mittleren Jahres läuft heute Limmatwasser ungenutzt über das Streichwehr. Es ist naheliegend, die Dotierturbine nicht nur für die vorgeschriebene Restwassermenge von 10 m³/s, sondern für ca. 20 m³/s auszulegen.

Die gewählte Auslegungswassermenge von 20 m³/s erlaubt während 205 Tagen eines Mitteljahres den Vollastbetrieb des Dotierkraftwerkes. Das Kraftwerk weist eine Klemmenleistung von 315 bzw. 350 kWe und eine Energieproduktion 2,2 bis 3,05 Mio. kWh pro Mitteljahr auf. Die tieferen Werte entsprechen einer variablen Dotierung von 10 bis 20 m³/s ohne erhöhtes Bruttogefälle. Die höheren Werte betreffen die Daten nach Erhöhung des Stauziels um 0,3 m auf 329.30 müM und einer konstanten Dotierung von 20 m³/s im Sinne einer Ausgleichsmassnahme zugunsten einer Baubewilligung des Dotierkraftwerkes.

Die konstante Dotierung von 20 m³/s reduziert die Nutzung im bestehenden Kraftwerk Stroppel während 140 Tagen pro Jahr um 10 m³/s. Je nachdem welche Turbine des bestehenden Kraftwerkes zu diesem Zweck stillgelegt wird, dürfte die Energieproduktion um ca. 600'000 kWh sinken, während das Dotierkraftwerk etwa 600'000 kWh mehr produzieren kann. Die konstant höhere Dotierung während des ganzen Jahres wird im Verbund beider Kraftwerke keine Energieverluste verursachen.

Es ist realistisch beim Einmaschinen - Dotierkraftwerk mit einer Betriebsverfügbarkeit von 95 % zu rechnen, so dass die erreichbare Energieproduktion um 5 % unter der theoretisch errechneten Produktion liegen wird. Bei den Mehrmaschinen - Konzepten ist die Betriebsverfügbarkeit theoretisch n-1 mal besser, d.h. ca. 99 bis 98 %. Im mehrjährigen Mittel dürften 7 % der Energieproduktion durch den Rückstau der Aare in die Limmat verloren gehen.

Darstellung der untersuchten Ausbauvarianten:

	Brutto- gefälle m	Wasser- menge m ³ /s	Ausbau Leistung kWe	brutto Energie GWh/Jahr	netto Energie GWh/Jahr
8 Kleinturbinen Module 3 S/Systemtechnik	2,2	10,4	160	1,40	1,30 1)
5 Staudruckmaschinen SDM	2,2	15,0	230	2,01	1,56 2)
3 Siphon-Turbinen Gugler	2,2	15,0	235	2,06	1,60 2)
1 vertikale Kaplan turbine VA Tech	2,2	15,0	250	2,19	1,66 2)
1 Riemenrohrturbine VA Tech	2,2	20,0	350	3,05	2,16 3)
1 S-Turbine Mavel/CKD	2,2	20,0	350	3,05	2,16 3)
S-Turbine variable Wassermenge	2,2	10,0/20,0	350	2,45	2,16 4)
S-Turbine ohne Stauzielerhöhung	1,9	10,0/20,0	315	2,20	1,94 5)

- 1) Betriebsverfügbarkeit n-1 Einheiten, Faktor 0,99, Rückstau durch Aare, Faktor 0,93
- 2) Betriebsverfügbarkeit 0,99/0,98, Rückstau durch Aare 0,93, Minderproduktion im Hauptkraftwerk 0,3 GWh/Jahr
- 3) Betriebsverfügbarkeit 0,95, Rückstau durch Aare 0,93, Minderproduktion im Hauptkraftwerk 0,6 GWh/Jahr
- 4) Betriebsverfügbarkeit 0,95, Rückstau durch Aare 0,93, Minderproduktion Hauptkraftwerk 0
- 5) Betriebsverfügbarkeit 0,95, Rückstau durch Aare 0,93, ohne Stauzielerhöhung, Minderproduktion im Hauptkraftwerk 0

Als Folge der geringen Ausbauleistung von Haupt- und Dotierkraftwerk ist die Energieproduktion im Winter- und im Sommerhalbjahr nahezu ausgeglichen.

6. Kostenvoranschlag, Wirtschaftlichkeit

Die Kostenschätzung basiert auf Erfahrungswerten ähnlicher, neu erstellter Kraftwerke in der Schweiz. Die Kostenbasis entspricht dem ersten Halbjahr 2002.

Baugruppe, Tätigkeiten:	Kosten in CHF.	
Bauarbeiten:		920'000
Installation und Baustellenerschliessung	50'000	
Baugrubenabschluss, Wasserhaltung, permanent versetzte Spundbohlen	180'000	
Baugrubenaushub, Abbrucharbeiten,	50'000	
Turbineneinlauf, Kraftwerkbau, Wehrschwelle, Grundablass	520'000	
Uferanpassungen, Umgebung, Kahnrampe	80'000	
Fischtreppe sanieren, Umgehungsgewässer anpassen	40'000	
Stahlwasserbau:		320'000
Grundablassstafelschütze mit hydraulischem Antrieb	50'000	
Klappenwehr mit hydraulischem Antrieb	100'000	
Turbinenabsperrschieber Ober- und Unterwasser mit Antrieb	80'000	
Rechen, und Rechenreinigungsmaschine	90'000	
Elektromechanische Einrichtungen:		1'040'000
Riemen-Rohrturbine VA Tech 20 m³/s, 1,9 bzw. 2,2 m	900'000	
Synchrongenerator 400 kVA, 400 V, 600 U/min	90'000	
Variante		
S-Turbine Mavel/CKD 20 m³/s, 1,9 bzw. 2,2 m	800'000	
Synchrongenerator 400 kVA, 400 V, 130 U/min (Anpassungen)	30'000	
Mittelspannungsanlage, 16 kV Kabel, 500 kVA Transformator	100'000	
Niederspannungsanlage, Anlagesteuerung, Fernüberwachung	80'000	
Elektrische Installationen	30'000	
Allgemeine Kosten:		570'000
Gebühren, Finanzierung, Bauzinsen	60'000	
Projekt, Bauleitung	250'000	
Unvorhergesehenes ca. 10%	260'000	
Gesamtprojektkosten		2'850'000

Bei Investitionen von ca. 2,85 Mio. Franken ist mit Jahreskosten von ca. 10 % der Investitionen zu rechnen. Mit einer Betriebsverfügkeit von 95% und einer durch den Rückstau der Aare um 7% reduzierten Energieproduktion ist auch der Produktionsverlust des Hauptkraftwerkes Stroppel von ca. 600'000 kWh zu berücksichtigen. Mit einer netto Energieproduktion von 2,12 Mio. kWh errechnen sich Energiegestehungskosten von 13,4 Rp./kWh.

Jahreskosten von 10 % erlauben die Verzinsung und Amortisation der investierten Mittel und den Betrieb mit 0,5 Personaleinheiten aufgeteilt in verschiedene Teilarbeitsstellen. Der Kapitalsdienst des Dotierkraftwerkes beansprucht eine Annuität von 8,55 % bei 5 % Zinssatz und 18 Jahren Amortisationsdauer.

7. Zusammenfassung

Die Proma Energie AG ersucht um Bewilligung zum Bau eines Dotierkraftwerkes mit einer Ausbaumengenmenge von minimal 10 m³/s bis maximal 20 m³/s bei einem mittleren Bruttogefälle von 1,9 bzw. 2,2 m und einem Stauziel von 329.0 bzw. 329,3 müM. Im Sinne einer Ausgleichsleistung der Bauherrschaft zugunsten des Dotierkraftwerkes anstelle einer Sanierung des Dotierwehres wird die dauernde Dotierung von 20 m³/s offeriert.

Die Proma Energie AG hat für das Kraftwerk Stroppel eine gültige Konzession erworben und betreibt das Hauptkraftwerk und das alte Dotierwehr. Die Erneuerung der Einrichtungen zum Dotieren von Restwasser ist Bestandteil der bestehenden Konzession, unabhängig davon, ob ein neues Dotierwehr oder ein Dotierkraftwerk erstellt werden soll. Das Gesuch um Bewilligung zum Bau eines Dotierkraftwerkes ist ein Baugesuch und stellt die bestehende Konzession nicht in Frage. Der Standort ist durch die bestehenden Anlagen am linken Ufer der Limmat im Gebiet Vogelsang gegeben. Das Projekt ist standortgebunden und beansprucht ein Ausnahmegesuch nach Art. 21 des Raumplanungsgesetzes.

Das Projekt ist wirtschaftlich interessant und angesichts der in Gang gekommenen politischen Entscheidung um die Zukunft der Kernenergie sehr aktuell. Beim neuen Dotierkraftwerk Stroppel (Bestandteil der bestehenden Konzession des Hauptkraftwerkes Stroppel) kann eine nicht amortisierbare Fehlinvestition ausgeschlossen werden.

Hydrelec AG für Energietechnik

Proma Energie AG

Dotierkraftwerk Stroppel
14. April 2002
R3: 22. Juli 2002 AE

Die Vorprojektstudie ist mit finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind die Autoren verantwortlich.



Neue Landkarte des Wasserschlosses
von 1884 im Massstab 1:25000.
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes
für Landestopographie (BA 002751).

GEOTEST

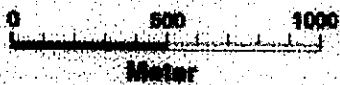
GEOLISCHES
INGENIEUR-
BÜRO
DR. H. WACHMUTH

Auftrag: Erneuerung Kriechwerk

Nr.: 20214/1

Koordinat: ca. 679... / 645...

**Ausschnitt aus der Grundwasserkarte
1 : 25'000**



Bestimmung des Bruttogefälles für das Dotierkraftwerkes Stroppel

Statistik der nutzbaren Bruttogefälle im Hauptkraftwerk Stroppel

Jahr Monat	1990	1994	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Januar	2.75	2.28	2.48	2.72	2.53			
Februar	2.32	2.65	2.75	2.68	2.62			
März	2.40	2.68	2.75	2.70	2.60			
April	2.72	2.42	2.78	2.76	2.47			
Mai	2.30	2.00	2.45	2.48	2.50			
Juni	2.23	1.98	2.40	2.26	2.42			
Juli	2.15	2.27	2.40	1.84	2.47			
August	2.68	2.48	2.40	2.22	2.72			
September	2.75	2.20	2.36	0.00	2.60			
Oktober	2.79	2.63	2.80	2.60	2.63			
November	2.30	2.75	2.68	2.69	2.30			
Dezember	2.85	2.72	2.46	2.55	2.52			
Mittelwert	2.52	2.42	2.56	2.50	2.53	Schätzung 2.40	Schätzung 2.50	Schätzung 2.50
	Mittelwert über 8 Jahre inkl. Schätzung der Jahre 1999, 2000, 2001							2.49
Extremwerte								
Tiefstwert	1.15	1.38	1.60	1.10	1.60	Hoch- wasser Jahr	Normal- wasser Jahr	Normal- wasser Jahr
Höchstwert	>3.00	2.85	2.95	2.90	2.90			
Bemerkungen	2 Turbinen in Betrieb	2 Turbinen in Betrieb	2 Turbinen in Betrieb	2 Turbinen in Betrieb	3 Turbinen in Betrieb	3 Turbinen in Betrieb	3 Turbinen in Betrieb	3 Turbinen in Betrieb

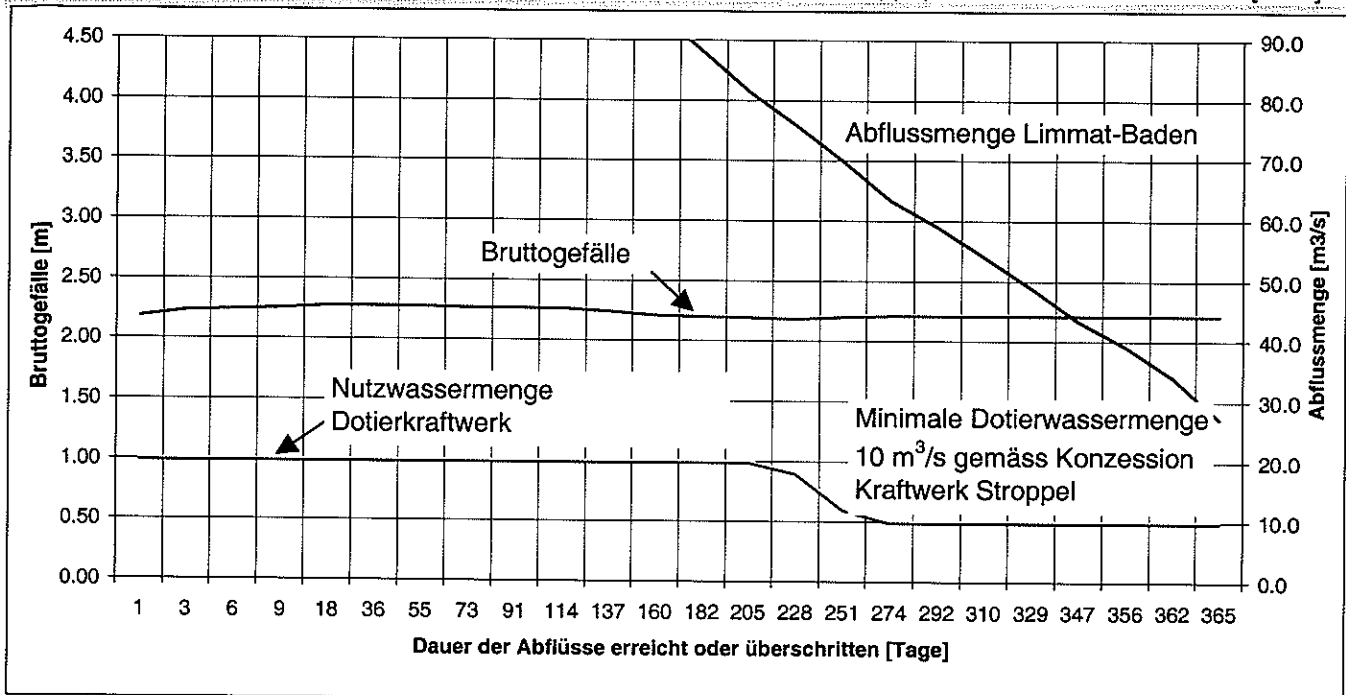
Schätzung der Einstauverluste im Dotierkraftwerk durch die Aare bei Stauziel 329.30 mÜM bei 0,65 m Wasserspiegelgefälle zwischen UW Dotierkraftwerk und UW Hauptkraftwerk.

Bruttogefälle zwischen Ober- und Unterwasser des Hauptkraftwerkes								
Mittelwert	2.52	2.42	2.56	2.50	2.53	2.40	2.50	2.50
Stauzielerhöh.	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Oberwasser	2.82	2.72	2.86	2.80	2.83	2.70	2.80	2.80
Limmatgefälle	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65
Bruttogefälle zwischen Ober- und Unterwasser des Dotierkraftwerkes								
Mittelwert	2.17	2.07	2.21	2.15	2.18	2.05	2.15	2.15
Bruttogefällebereich		2,2-2,0	2,0-1,8	1,8-1,6	1,6-1,4	1,4-1,2	1,2-1,0	
Nutzungsdauer in % der Betriebszeit		91	6	2	0,6	0,3	0,1	
Mittlere Verluste durch den Rückstau der Aare in die Limmat ca. 7 %.								

Mangels aussagekräftiger Daten für den Standort des Dotierkraftwerkes sind obige Werte geschätzt.

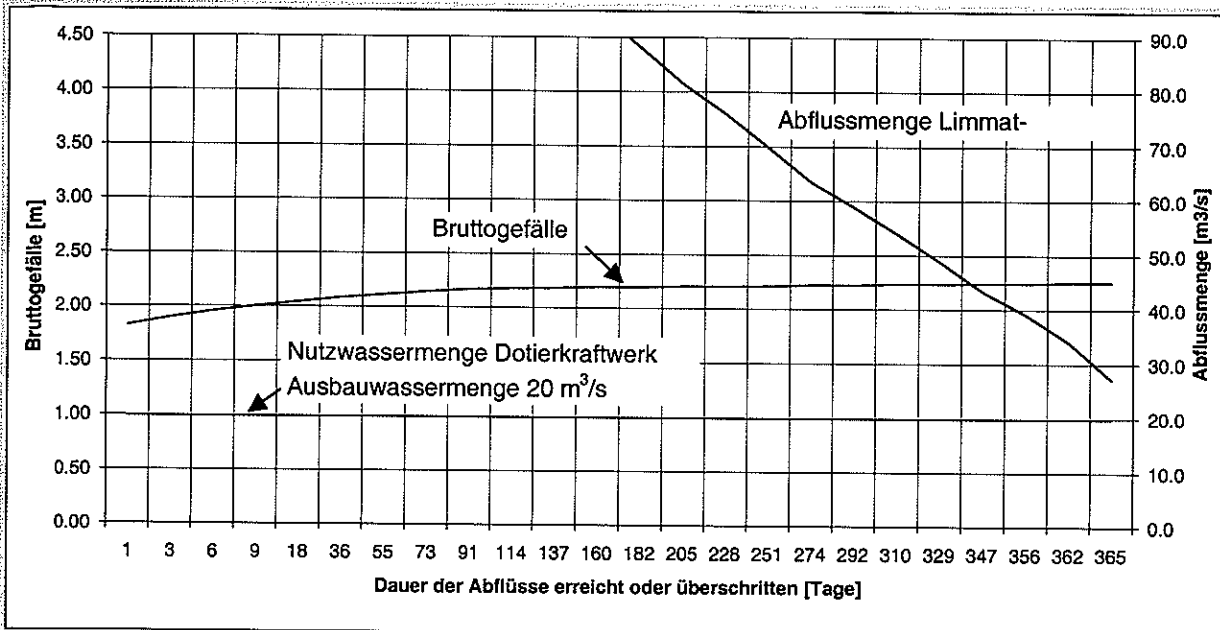
Statistik
20.07.02 AE

Projekt	Dotierkraftwerk Stroppe	Variante:	S-Turbine oder Rohrturbine
Fluss	Limmat	Wirkungsgrad Turbine, Generator, Trafo	0.81 [p.u.]
Messstelle	Baden		
Nennleistung Generator	400 [kVA]	Stauziel	329.30 [müM]
Nennleistung Turbine	362 [kW]	Unterwasserspiegel Min.	327.08 [müM]
Energieproduktion	2540 [MWh/a]	Restwasser (Fischtrappe)	0.25 [m³/s]



Dauer des Abflusses [h]	Abfluss Limmat 1951-97 [m³/s]	OW Spiegel [müM]	UW Spiegel [müM]	Gefälle Brutto [m]	Dotierwasser Turbine [m³/s]	Hochwasser überlauf [m³/s]	Verfügbare Menge [m³/s]	Abfluss Anteil BAG [m³/s]	Abfluss Anteil Stroppe [m³/s]	Gesamt-wirkungs-grad [p.u.]	Leistung Netto [kW]	Energie pro Periode [kWh/p]
1	307.0	329.83	327.64	2.19	20.0	229.4	57.6	24.0	33.6	0.805	346	8301
3	275.0	329.78	327.54	2.24	20.0	197.4	57.6	24.0	33.6	0.810	356	17087
6	255.0	329.73	327.48	2.25	20.0	177.4	57.6	24.0	33.6	0.810	358	25745
9	242.0	329.68	327.42	2.26	20.0	164.4	57.6	24.0	33.6	0.810	359	25860
18	208.0	329.64	327.36	2.28	20.0	130.4	57.6	24.0	33.6	0.810	362	78266
36	171.0	329.60	327.32	2.28	20.0	93.4	57.6	24.0	33.6	0.810	362	156532
55	150.0	329.56	327.28	2.28	20.0	72.4	57.6	24.0	33.6	0.810	362	165228
73	138.0	329.52	327.25	2.27	20.0	60.4	57.6	24.0	33.6	0.810	361	155845
91	126.0	329.48	327.21	2.27	20.0	48.4	57.6	24.0	33.6	0.810	361	155845
114	113.0	329.45	327.18	2.27	20.0	35.4	57.6	24.0	33.6	0.810	361	199136
137	103.0	329.41	327.16	2.25	20.0	25.4	57.6	24.0	33.6	0.810	358	197381
160	94.7	329.36	327.14	2.22	20.0	17.1	57.6	24.0	33.6	0.810	353	194749
182	88.0	329.34	327.13	2.21	20.0	10.4	57.6	24.0	33.6	0.810	351	185443
205	81.3	329.32	327.12	2.20	20.0	3.7	57.6	24.0	33.6	0.810	350	192995
228	75.8	329.30	327.11	2.19	18.2	0.0	57.6	24.0	33.6	0.815	319	175906
251	69.8	329.30	327.09	2.21	12.2	0.0	57.6	24.0	33.6	0.820	217	119722
274	63.4	329.30	327.08	2.22	10.0	0.0	53.4	22.3	31.2	0.815	177	97976
292	58.9	329.30	327.08	2.22	10.0	0.0	48.9	20.4	28.5	0.815	177	76677
310	54.0	329.30	327.08	2.22	10.0	0.0	44.0	18.3	25.7	0.815	177	76677
329	48.8	329.30	327.08	2.22	10.0	0.0	38.8	16.2	22.6	0.815	177	80937
347	43.3	329.30	327.08	2.22	10.0	0.0	33.3	13.9	19.4	0.815	177	76677
356	39.1	329.30	327.08	2.22	10.0	0.0	29.1	12.1	17.0	0.815	177	38338
362	34.0	329.30	327.08	2.22	10.0	0.0	24.0	10.0	14.0	0.815	177	25559
365	27.2	329.30	327.08	2.22	10.0	0.0	17.2	7.2	10.0	0.815	177	12779

Projekt	Dotierkraftwerk Stroppel	Variante:	S-Turbine oder Rohrturbine
Fluss	Limmat	Wirkungsgrad Turbine, Generator, Trafo	0.81 [p.u.]
Messstelle	Baden	Rückstau Aare nicht berücksichtigt, (siehe Fussnote)	
Nennleistung Generator	400 [kVA]	Stauziel OK Steichwehr	329.30 [müM]
Nennleistung Turbine	361 [kW]	Unterwasserspiegel Min.	327.04 [müM]
Energieproduktion	3057 [MWh/a]	Restwasser (Fischtreppe)	0.25 [m³/s]



Dauer des Abflusses	Abfluss Limmat 1951-97	OW Spiegel	UW Spiegel	Gefälle Brutto	Dotier-Turbine	Hochwasser überlauf	Verfügbare Menge	Abfluss Anteil BAG	Abfluss Anteil Stroppel	Gesamt-Leistung wirtschungs-grad	Netto	Energie pro Periode	
[h]	[m³/s]	[müM]	[müM]	[m]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[p.u.]	[kW]	[kWh/p]	
1	307.0	329.83	328.00	1.83	20.0	229.4	57.6	24.0	33.6	0.805	289	6937	Verminderung der Energieproduktion im best.KW Stroppel kWh/J
3	275.0	329.78	327.88	1.90	20.0	197.4	57.6	24.0	33.6	0.810	302	14494	
6	255.0	329.73	327.77	1.96	20.0	177.4	57.6	24.0	33.6	0.810	311	22427	
9	242.0	329.68	327.67	2.01	20.0	164.4	57.6	24.0	33.6	0.810	319	22999	
18	208.0	329.64	327.59	2.05	20.0	130.4	57.6	24.0	33.6	0.810	326	70371	
36	171.0	329.60	327.51	2.09	20.0	93.4	57.6	24.0	33.6	0.810	332	143487	
55	150.0	329.56	327.44	2.12	20.0	72.4	57.6	24.0	33.6	0.810	337	153633	
73	138.0	329.52	327.37	2.15	20.0	60.4	57.6	24.0	33.6	0.810	342	147607	
91	126.0	329.48	327.31	2.17	20.0	48.4	57.6	24.0	33.6	0.810	345	148980	
114	113.0	329.45	327.27	2.18	20.0	35.4	57.6	24.0	33.6	0.810	346	191240	
137	103.0	329.41	327.22	2.19	20.0	25.4	57.6	24.0	33.6	0.810	348	192118	
160	94.7	329.38	327.18	2.20	20.0	17.1	57.6	24.0	33.6	0.810	350	192995	
182	88.0	329.35	327.15	2.20	20.0	10.4	57.6	24.0	33.6	0.810	350	184604	
205	81.3	329.33	327.12	2.21	20.0	3.7	57.6	24.0	33.6	0.810	351	193872	
228	75.8	329.31	327.10	2.21	20.0	0.0	57.5	24.0	31.8	0.815	353	195069	17'261
251	69.8	329.30	327.08	2.22	20.0	0.0	57.6	24.0	25.8	0.815	355	195952	79'196
274	63.4	329.30	327.07	2.23	20.0	0.0	53.4	22.3	21.2	0.815	357	196834	101'534
292	58.9	329.30	327.07	2.23	20.0	0.0	48.9	20.4	18.5	0.815	357	154044	79'461
310	54.0	329.30	327.06	2.24	20.0	0.0	44.0	18.3	15.7	0.815	358	154735	79'461
329	48.8	329.30	327.06	2.24	20.0	0.0	38.8	16.2	12.6	0.815	358	163331	83'876
347	43.3	329.30	327.05	2.25	20.0	0.0	33.3	13.9	9.4	0.815	360	155426	79'461
356	39.1	329.30	327.05	2.25	20.0	0.0	29.1	12.1	7.0	0.815	360	77713	39'731
362	34.0	329.30	327.04	2.26	20.0	0.0	24.0	10.0	4.0	0.815	361	52039	26'487
365	27.2	329.30	327.04	2.26	20.0	0.0	17.2	7.2	0.0	0.815	361	26019	13'244
Summe kWh/J												599'710	

Der Dauerbetrieb des Dotierkraftwerkes mit 20 m³/s vermindert die Energieproduktion im Kraftwerk Stroppel.
 Die Verfügbarkeit der Dotierturbine wird mit 95% angenommen, d.h. die Energieproduktion wird um ca. 5 % reduziert.
 Der Rückstau der Aare bewirkt eine Verminderung der Energieproduktion in einem mittleren Jahr um ca. 7%.

Kleinturbinen

HYDRELEC AG für Energietechnik, Burgdorf, Mandach

Arnold Engel, Mandach
Nico van Zijl
Schwank
Daniel Zimmermann, Affoltern

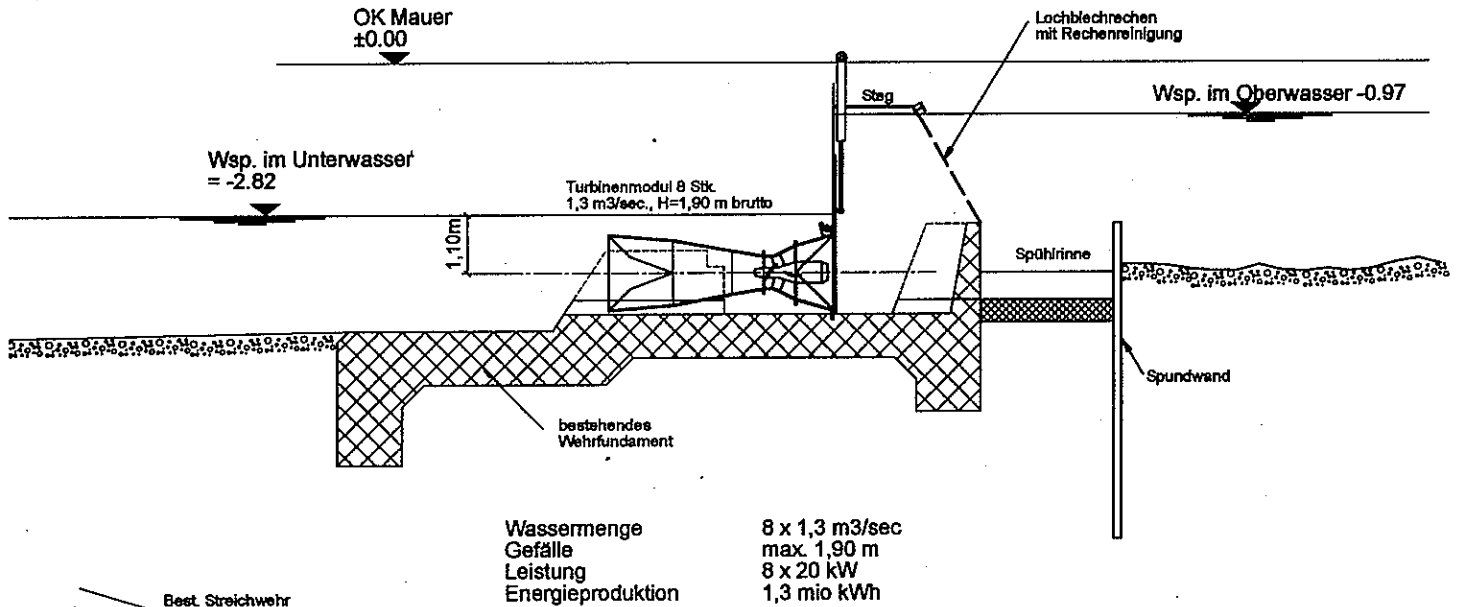
Konzept
Kosten, Wirtschaftlichkeit
Elektromechanik
Bauprojekt

Datum:
08.07.2002
R:

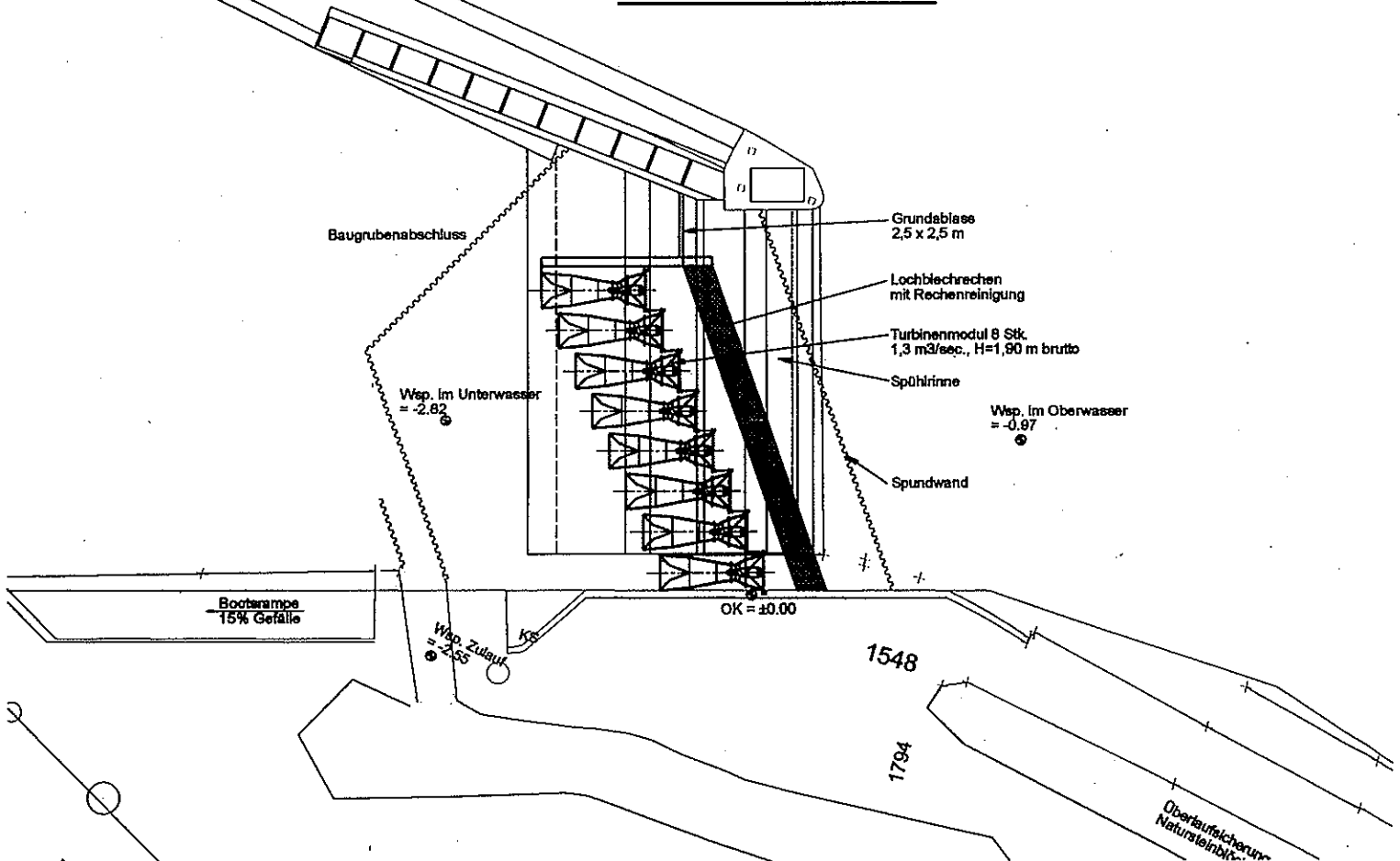
Visum:
AE / ZI

Plan Nr.:
A3

Längsschnitt 1 : 100



Übersicht 1 : 200



Untersiggenthal, Limmat
 PROMA ENERGIE AG

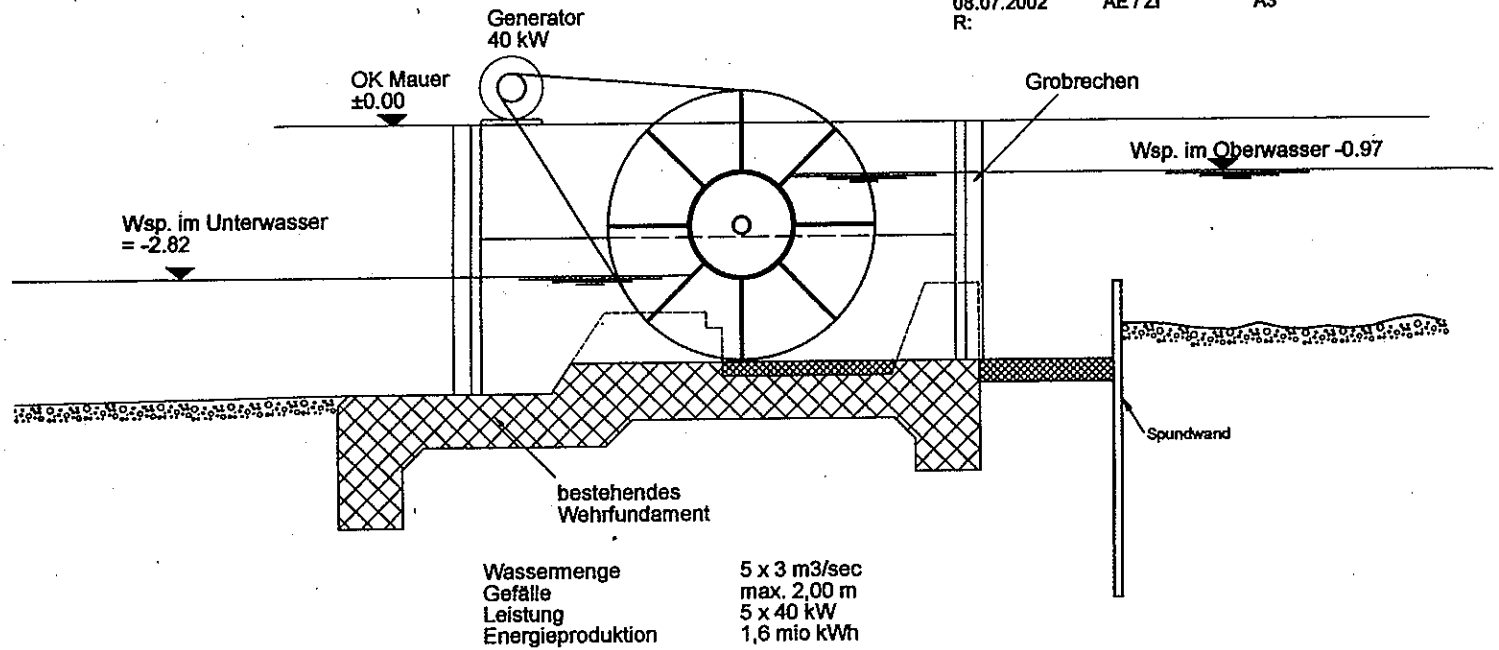
Staudruckmaschine

HYDRELEC AG für Energietechnik, Burgdorf, Mandach

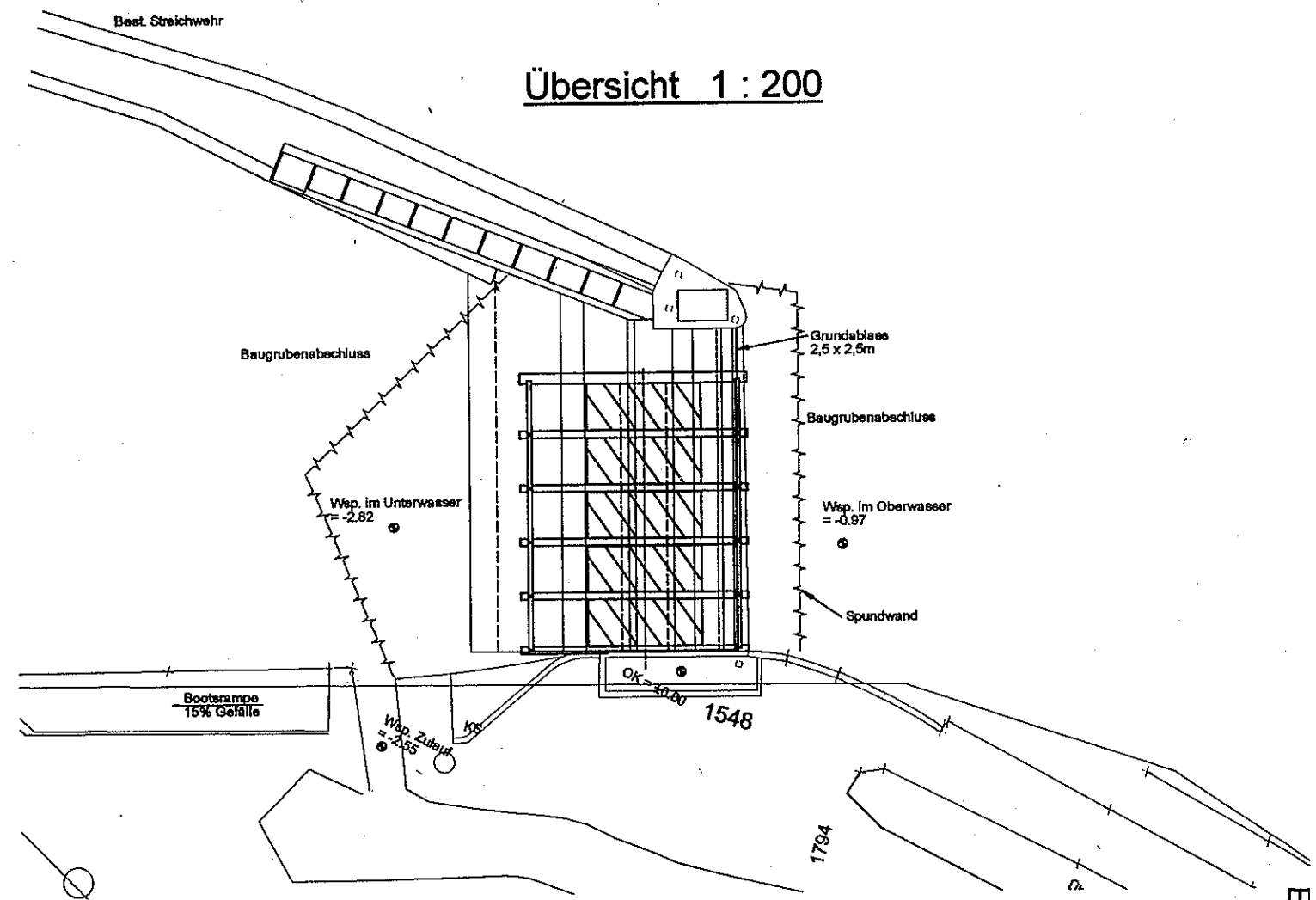
Arnold Engel, Mandach
 Nico van Zijl
 Schwank
 Daniel Zimmermann, Affoltern
 Datum: 08.07.2002
 R:

Konzept
 Kosten, Wirtschaftlichkeit
 Elektromechanik
 Bauprojekt
 Plan Nr.:
 A3

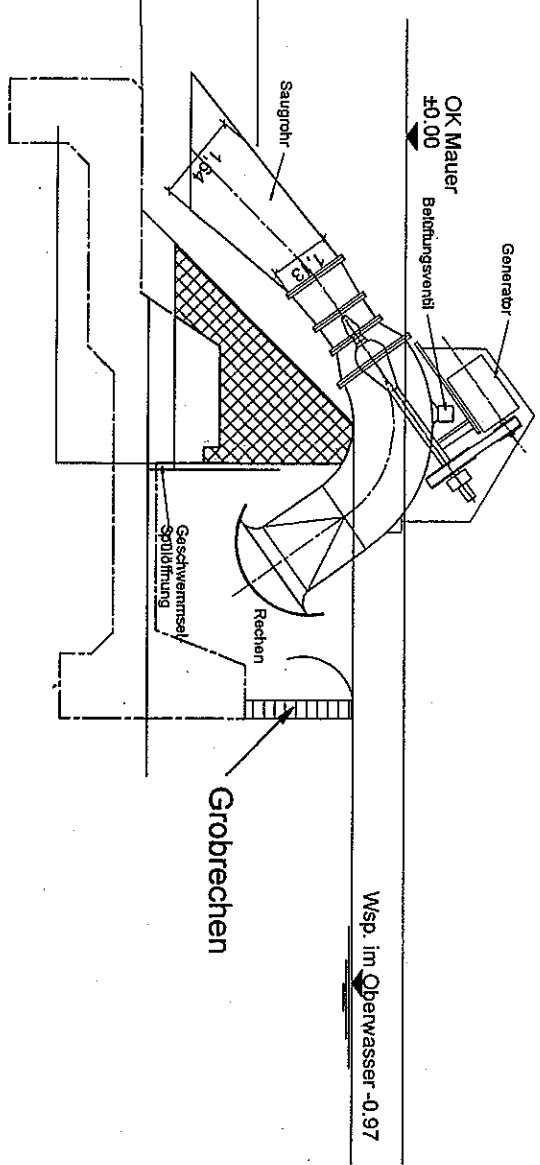
Längsschnitt 1 : 100



Übersicht 1 : 200



Längsschnitt 1 : 100



Wassermenge 3 x 5 m³/sec
 Gefälle max. 2.20m
 Leistung 3 x 80kW
 Energieproduktion 1,6mio kWh

Untersiggenthal, Limmatt
 PROMA ENERGIE AG

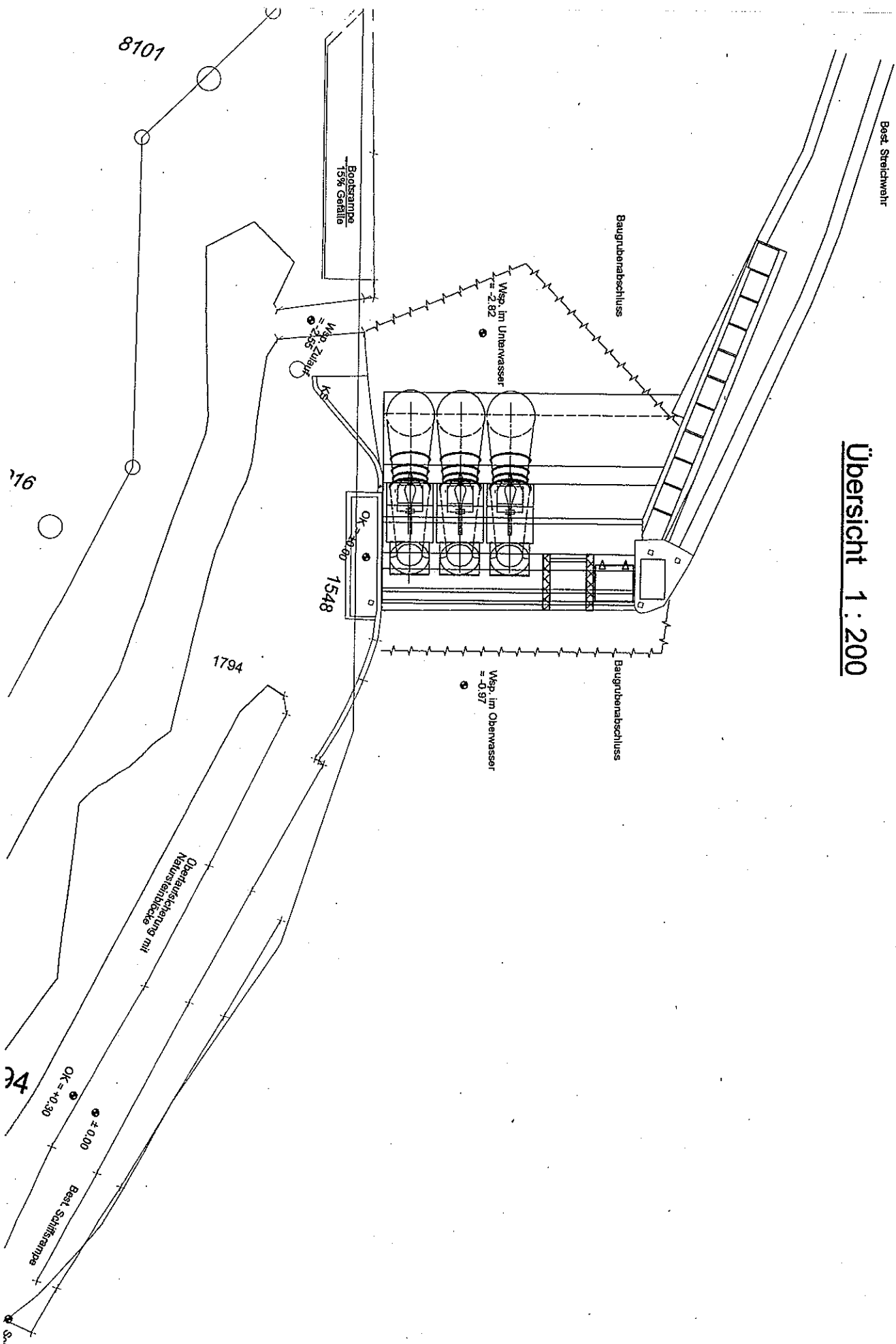
Siphonröhrenturbine 1 : 200

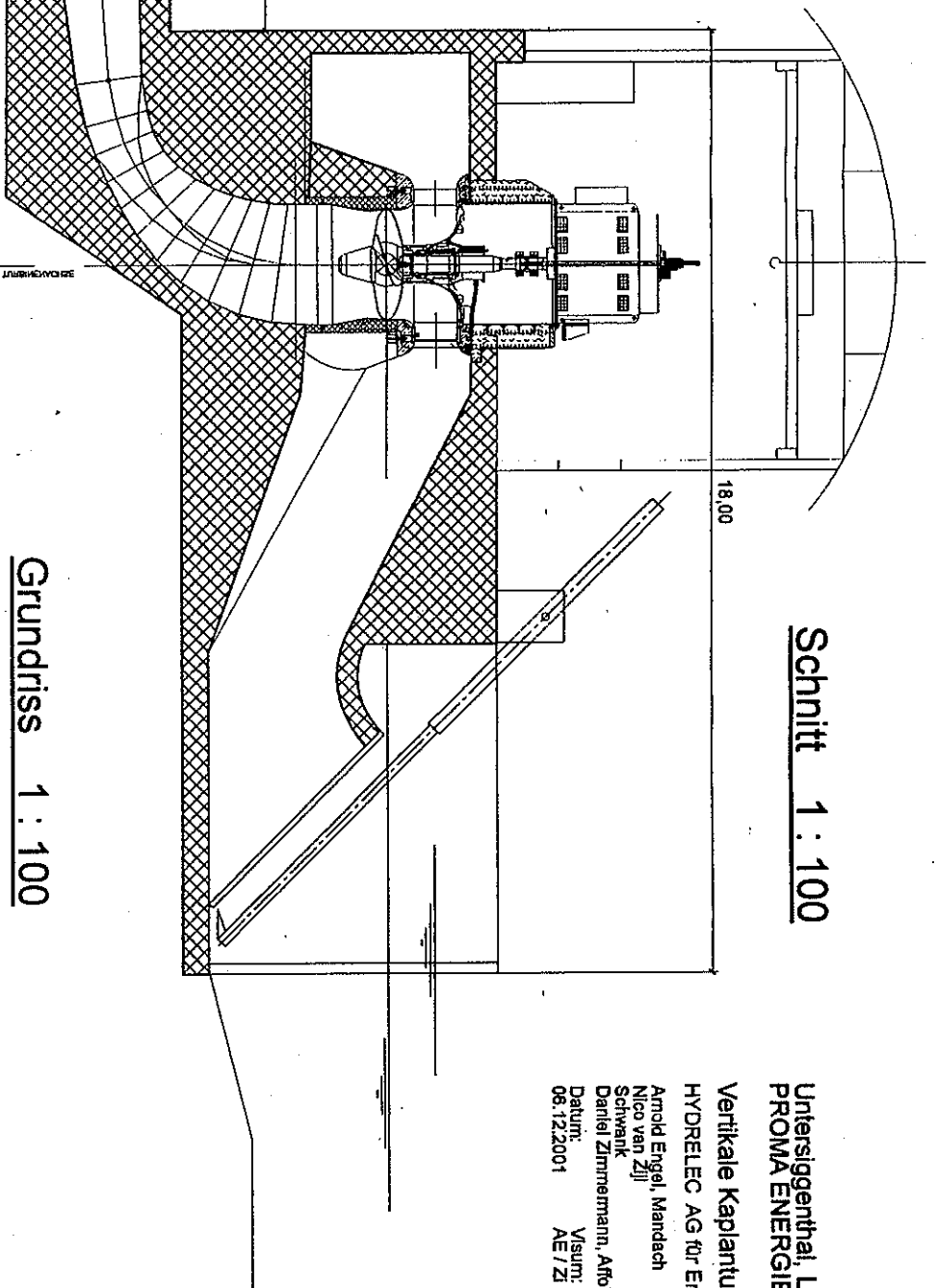
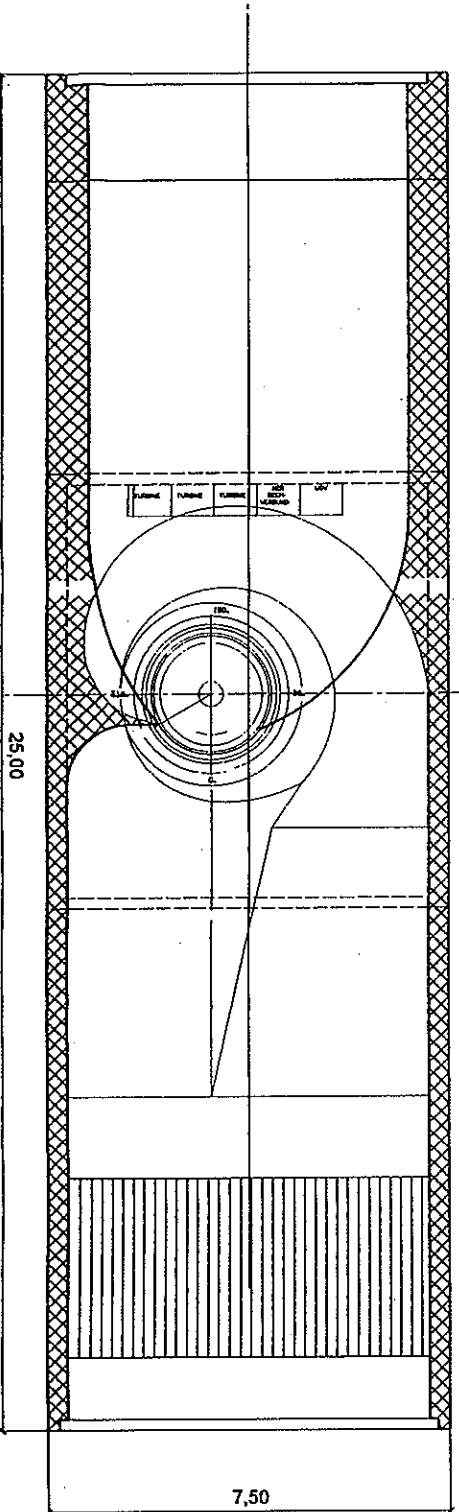
HYDRELEC AG für Energietechnik, Burgdorf, Mandach
 Arnold Engel, Mandach
 Nico van Zijl
 Schwanik
 Daniel Zimmermann, Aftotem
 Datum: 13.02.2002
 R21.06.2002

Visum: AE / Zi
 Plan Nr.: A3

Konzept
 Kosten, Wirtschaftlichkeit
 Elektromechanik
 Bauprojekt

Übersicht 1:200



Schnitt 1 : 100Grundriss 1 : 100

Untersiggenthal, Limmat
PROMA ENERGIE AG

Vertikale Kaplanmaschine 1 : 100

HYDRELEC AG für Energietechnik, Burgdorf, Mandach

Arnold Engel, Mandach

Nico van Zijl

Schwanik

Daniel Zimmermann, Aftokern

Datum:

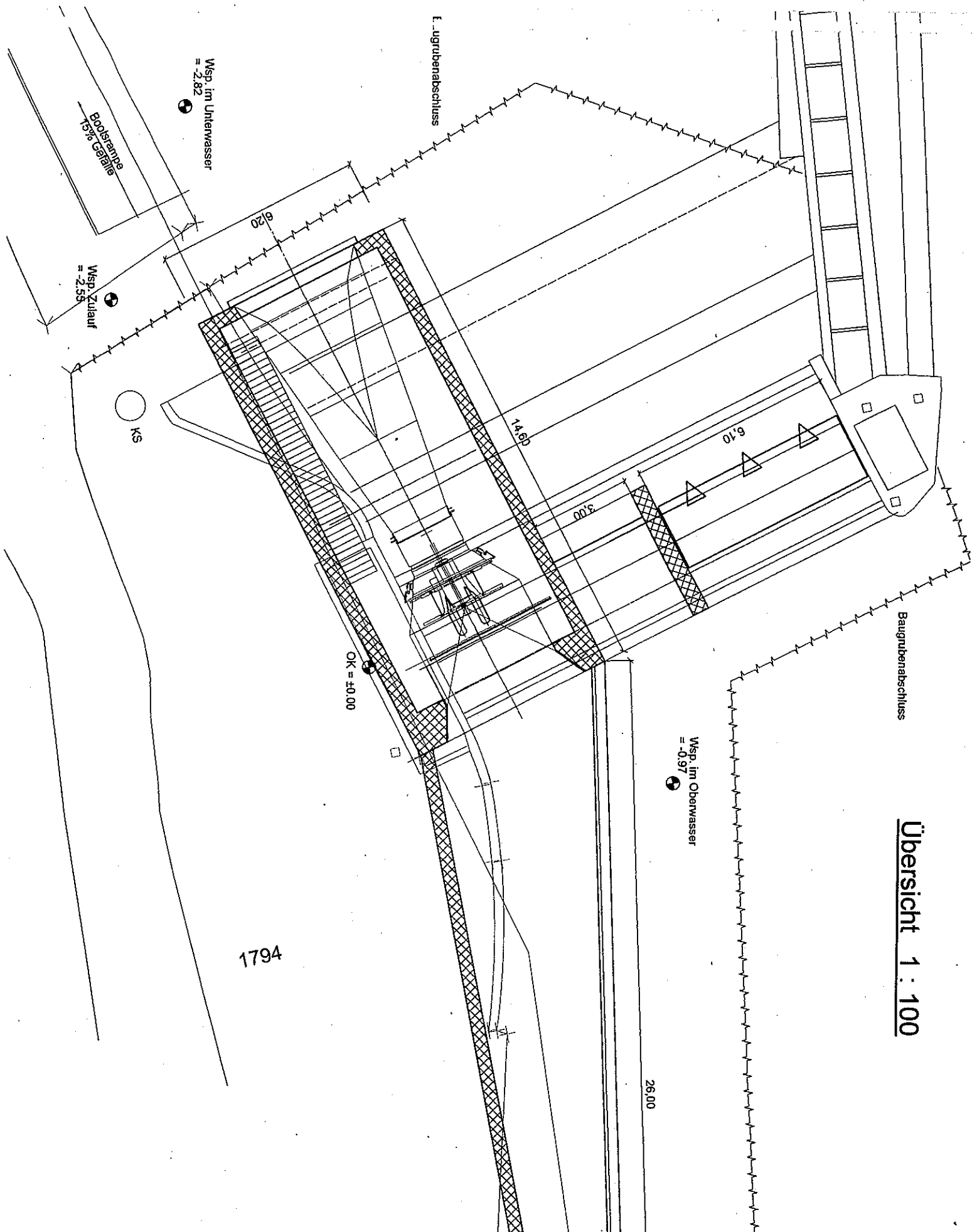
06.12.2001

Visum:

AE / Zi

Konzept
Kosten, Wirtschaftlichkeit
Elektromechanik
Bauprojekt
Plan Nr.:
A3, 1

Übersicht 1 : 100



Horizontale Rohrturbine 1 : 100

HYDRELEC AG für Energietechnik, Burgdorf, Mandach

Arnold Engel, Mandach

Nico van Zijl

Schwenk

Daniel Zimmermann, Affoltern

Datum:

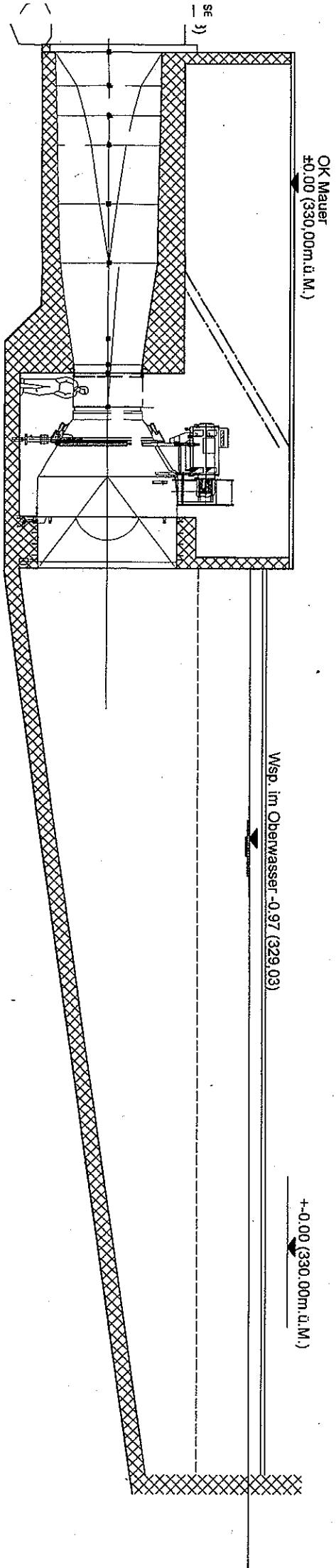
13.02.2002

R: 21.06.2002

Visum:
 AE / Zi

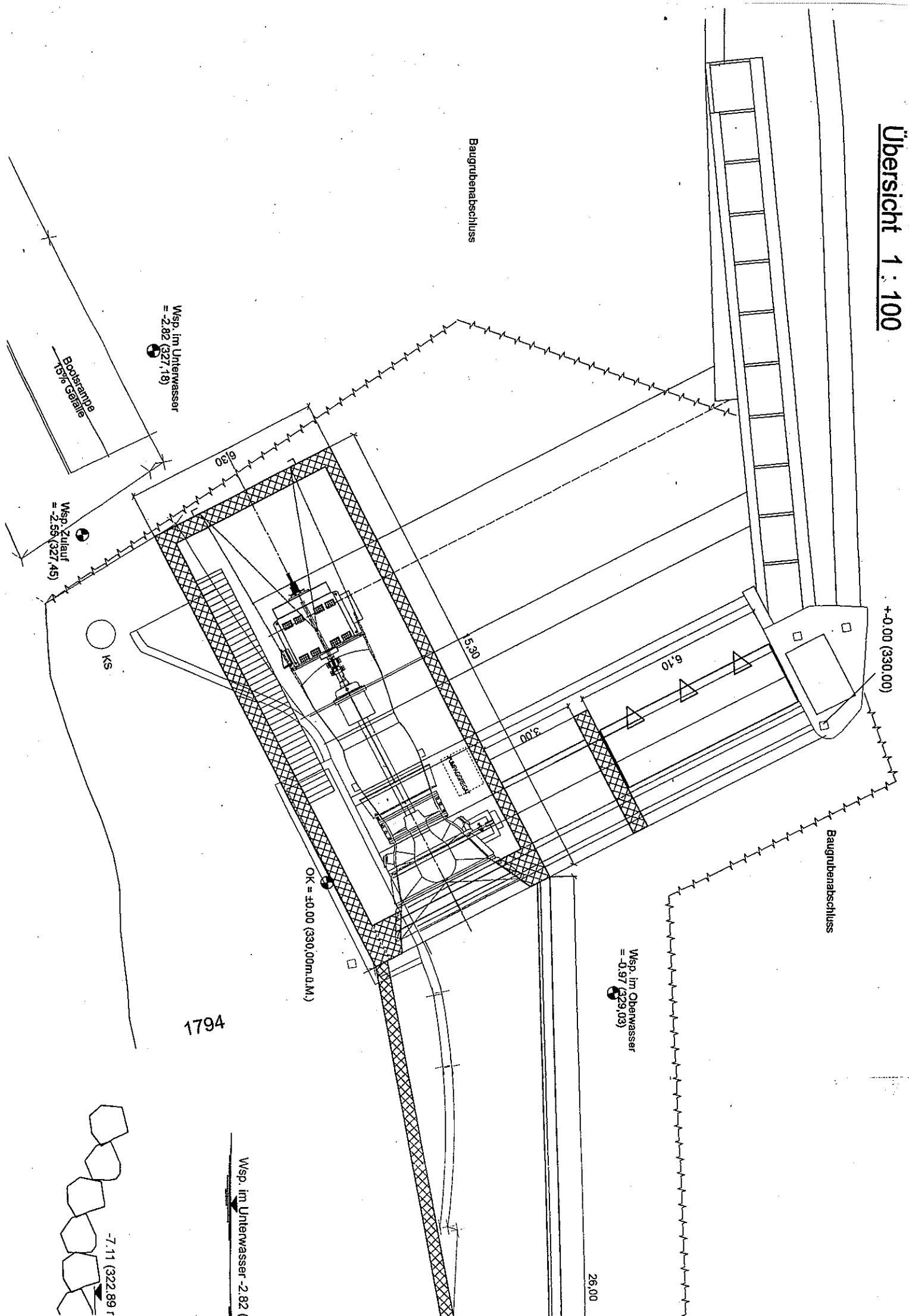
Konzept
 Kosten, Wirtschaftlichkeit
 Elektrotechnik
 Bauprojekt

Plan Nr.:
 A3: 1,2



Schnitt 1 : 100

Übersicht 1 : 100



Untersigenthal, Limmat
PROMA ENERGIE AG

Horizontale S-Turbine 1 : 100

HYDRELEC AG für Energietechnik, Burgdorf, Mandach

Arnold Engel, Mandach

Nico van Zijl

Schwank

Daniel Zimmermann, Affoltern

Datum:
13.02.2002

R: 21.06.2002

Visum:
AE / Zi

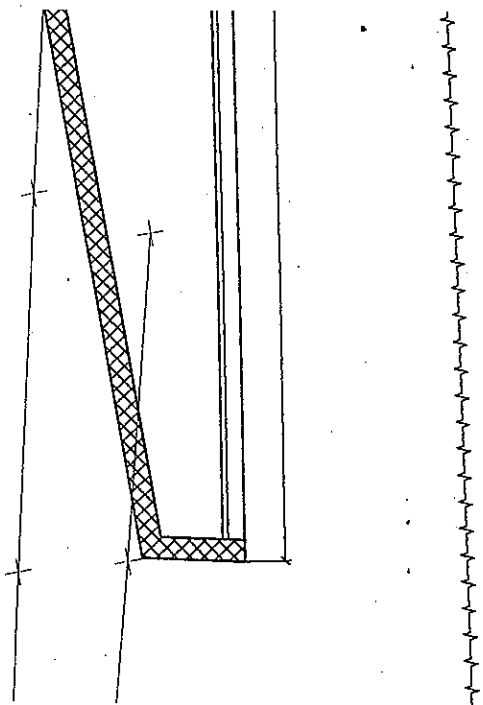
Plan Nr.:
A3

Konzept,
Kosten, Wirtschaftlichkeit

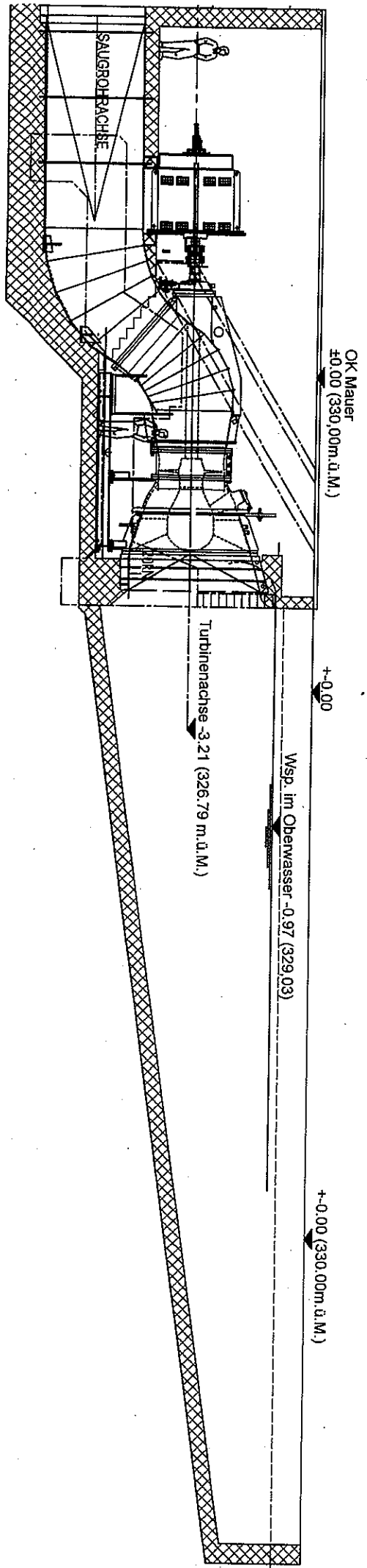
Elektromechanik

Bauprojekt

Baugrubenabschluss

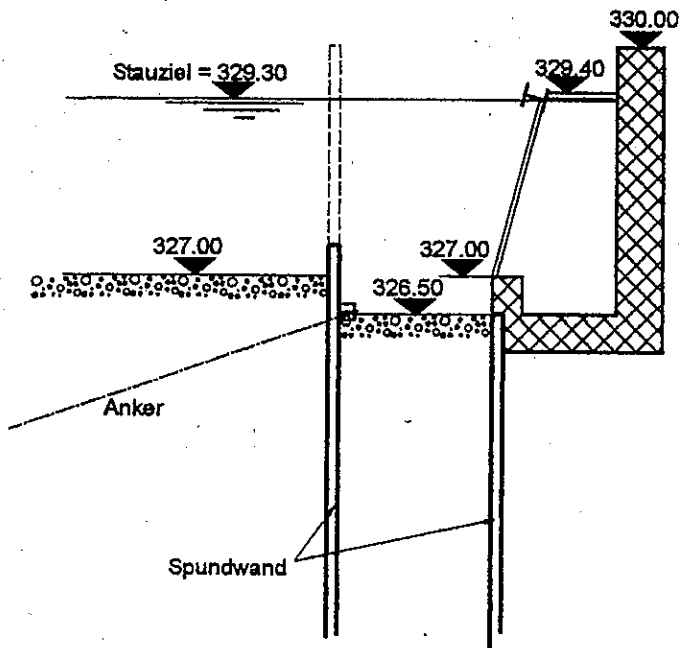


Schnitt 1 : 100

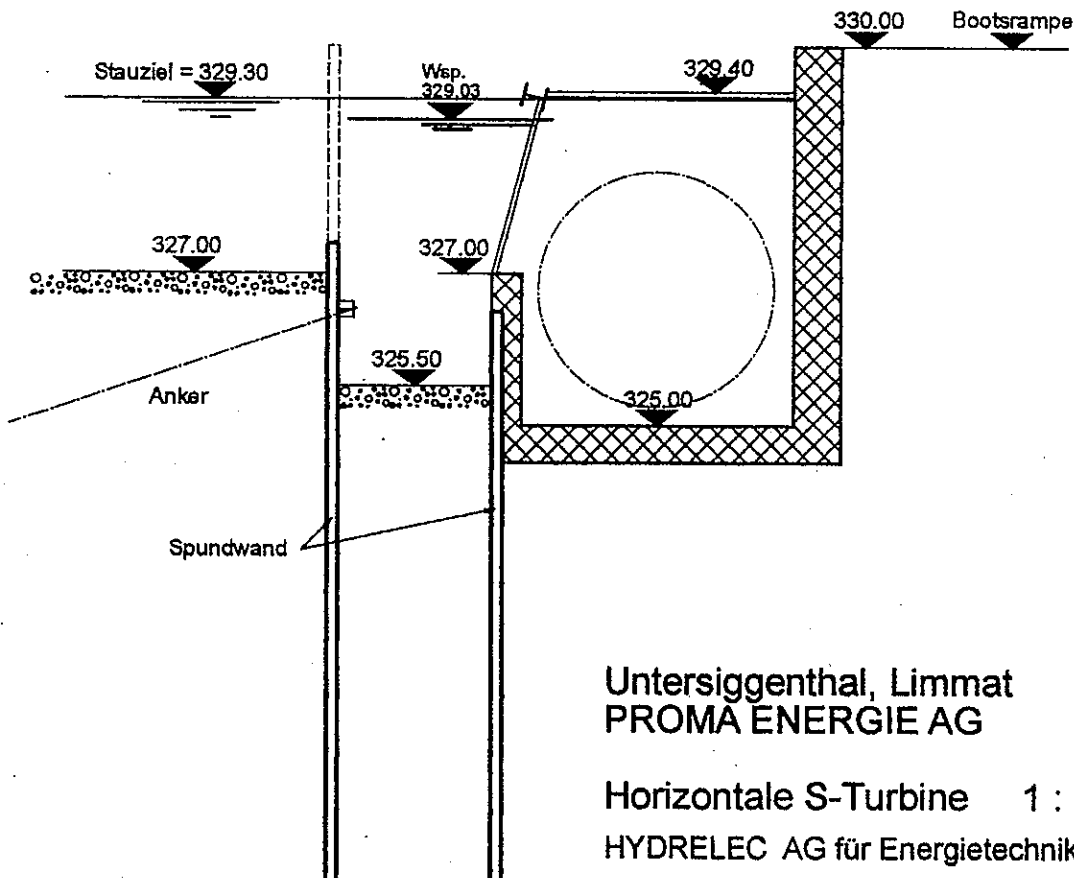


Schnitt 1 : 100

F



Schnitt 1 : 100



Untersiggenthal, Limmat
PROMA ENERGIE AG

Horizontale S-Turbine 1 : 100

HYDRELEC AG für Energietechnik, Burgdorf, Mandach

Arnold Engel, Mandach
Nico van Zijl
Schwank
Daniel Zimmermann, Affoltern

Datum:
08.07.2002

Visum:
AE / Zi

Konzept
Kosten, Wirtschaftlichkeit
Elektromechanik
Bauprojekt

Plan Nr.:
A4; 1.3