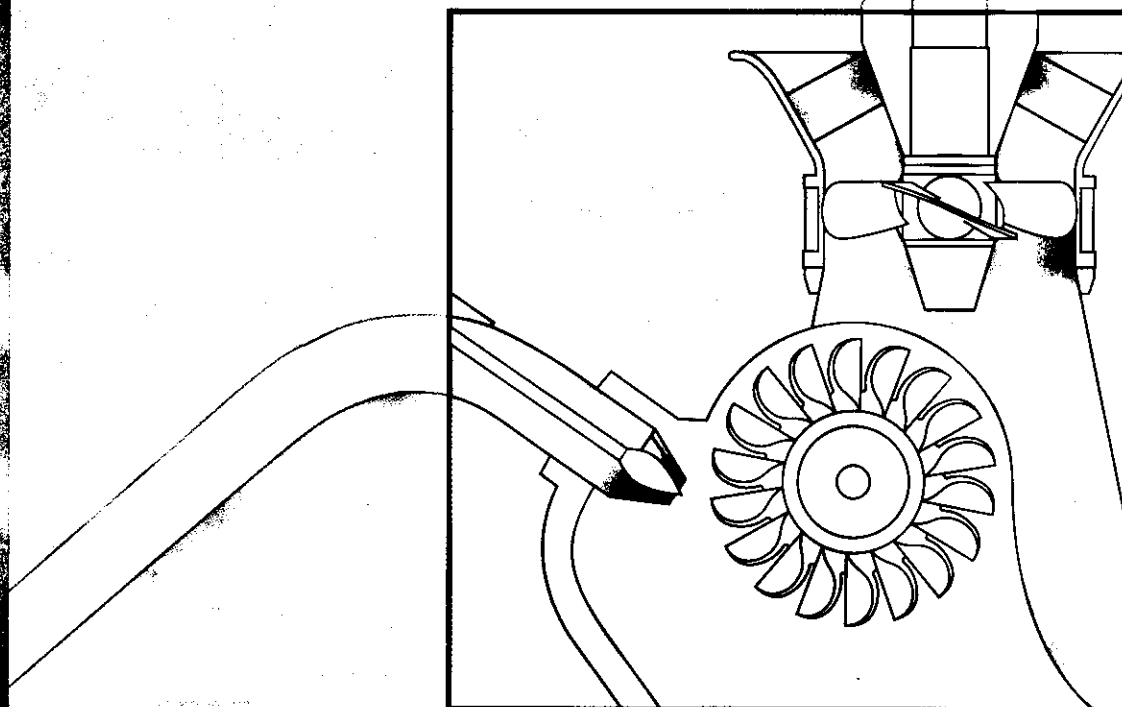


L'Eau usée génératrice d'électricité

Concept, réalisation, potentiel

Elektrizität aus Abwasser- Systemen

Konzept, Realisation, Potential



**Le programme Energie 2000: Un partenariat à effet durable.
Préparons l'avenir, avec toute notre énergie.**

L'Eau usée génératrice d'électricité

Concept, réalisation, potentiel

Elektrizität aus Abwasser- Systemen

Konzept, Realisation, Potential

*Auteurs / Autoren: R. Chenal, ingénieur-conseil, Clarens
C.-A. Vuillerat et J. Roduit,
B+C Ingénieurs, Montreux*

1995: No de commande OCFIM / Bestellnummer EDMZ: 805.209 df

**Direction du projet DIANE, Petites centrales hydrauliques:
Projektleitung DIANE, Klein-Wasserkraftwerke:**

**Hanspeter Leutwiler
c/o ITECO
Postfach
8910 Affoltern am Albis
Tel. 01 761 17 45**

Impressum

- Editeur:** Office fédéral de l'énergie, Berne
avec la collaboration de l'Office fédéral de l'économie des eaux, Berne
et de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage,
Berne
- Conception:** R. Chenal, ingénieur-conseil, Clarens
C.-A. Vuillerat et J. Roduit, B+C Ingénieurs, Montreux
- Redaction:** HJ.-P. Bommer, journaliste, Lausanne
- Direction du projet:** HP. Leutwiler, chef du projet DIANE 10,
Petites centrales hydrauliques,
ITECO Ingenieurunternehmung AG, Affoltern am Albis
- Direction de production:** F. Brühlmann, PR-Beratung, Zürich
- Page de titre:** F. Hartmann, St. Gallen
- Cartes:** Reproduites avec l'autorisation de
l'Office fédéral de topographie du 11.5.1995
- Impression:** Office fédéral central des imprimés et du matériel, 3000 Berne
- Copyright:** © Office fédéral de l'énergie, 3003 Berne
- Diffusion:** Office central des imprimés et du matériel, 3000 Berne
SKAT, Vadianstrasse 42, 9000 St. Gallen
INFOENERGIE, case postale 310, 5200 Brugg

Informations

Pour des renseignements ultérieurs, surtout ceux concernant les mesures de promotion des petites centrales hydrauliques et adresses de fournisseurs spécialisés, vous voudrez bien vous adresser à:

Information

Wer Auskunft über Förderungsmassnahmen von Klein-Wasserkraftwerken, Adressen spezialisierter Lieferanten und andere Informationen sucht, wende sich an:

Projektleitung DIANE
Klein-Wasserkraftwerke
Hanspeter Leutwiler
c/o ITECO, Postfach
8910 Affoltern am Albis
Tel. 01 / 761 17 45
Fax 01 / 761 17 20

INFOENERGIE Suisse romande
Petites centrales hydrauliques
Raymond CHENAL
c/o MHyLab
1354 Montcherand
Tél./Fax 024 / 41 36 54

ou auprès de INFOENERGIE

oder an die Beratungsstellen INFOENERGIE

Contenu

Inhaltsverzeichnis

partie française	Introduction	1
	Information sur le dossier technique	3
	La récupération	4
	Situation actuelle	
	Centrales hydroélectriques des eaux usées	6
partie bilingue	<u>3 installations pilotes</u>	15
<i>zweisprachiger Teil</i>	<i>3 Pilotanlagen</i>	15
	Leysin	17
français / <i>deutsch</i>	Le Châble	23
	Nyon	29
	<u>131 sites potentiels</u>	33
	<i>131 potentielle Standorte</i>	33
	<u>6 sites représentatifs</u>	43
	<i>6 repräsentative Standorte</i>	43
	Montana	45
	Nendaz	47
	Ollon	49
	Eschenbach	51
	Adelboden	53
	Vauffelin	55
<i>deutscher Teil</i>	<i>Einleitung</i>	57
	<i>Hinweis Grundlagenstudie</i>	59
	<i>Energierückgewinnung</i>	60
	<i>Aktuelle Situation Abwasserkraftwerke</i>	62
français / <i>deutsch</i>	Portrait succinct du projet DIANE	
	<u>Petites centrales hydrauliques</u>	73
	<i>Kurzportrait Projekt DIANE</i>	
	<i>Klein-Wasserkraftwerke</i>	73
	<u>Liste des publications</u>	76
	<i>Publikationsliste</i>	76

Introduction

(Deutscher Teil Seite 57)

Florissante à l'orée du siècle - la Suisse comptait encore près de 7000 installations de moins de 10 mégawatts en 1914 - la petite hydraulique a ensuite rapidement perdu du terrain. Il n'y avait plus que 971 ouvrages de cette catégorie en 1985. Cet abandon progressif s'explique essentiellement par des motifs de rentabilité et par le fait que les industriels ont rapidement cessé de fabriquer les matériels de petites puissances. A quoi s'ajoute, ultérieurement, l'abondance d'énergie fossile et nucléaire.

La production annuelle globale des petites centrales hydrauliques rescapées est légèrement supérieure à 3 milliards de kilowattheures, ce qui correspond à près de 6,5 % de la consommation d'électricité du pays. Selon une étude commanditée par l'Office fédéral de l'énergie en 1985, cette capacité pourrait être doublée par la réhabilitation des ouvrages abandonnés ou sur le point de l'être et par la construction simultanée de nouveaux aménagements.

Ce pronostic est-il réaliste? La question reste actuellement en suspens. Il est toutefois clair que le potentiel de la petite hydraulique est important. Et puis le bilan écologique global est excellent: matériaux simples et durables, pas d'émissions nocives ni gaspillages de ressources naturelles. Il s'avère en outre que les stations d'épuration qui présentent un potentiel énergétique exploitable, ou tout au moins certaines d'entre elles, pourraient restituer davantage d'énergie qu'elles n'en consomment.

Comment enrayer le déclin de ce potentiel et lui donner un nouveau souffle? Tel est justement l'un des buts du projet *DIANE*, lancé dans le cadre d'*Energie 2000* pour valoriser les petites centrales hydrauliques. L'objectif de ce programme de la Confédération est connu: il s'agit, par diverses mesures, d'accroître la production hydroélectrique de 5 % entre 1990 et 2000. *DIANE*, avec son projet *Petites centrales hydrauliques - PCH*, y contribue en identifiant le potentiel existant et en favorisant, par des actions ciblées, sa mise en valeur. Il s'agit également d'améliorer les conditions générales, politiques et économiques de cet effort de valorisation.

Or la tâche est rude. Sur le terrain, les responsables du projet se sont rendu compte qu'il fallait commencer par enrayer la mort lente des petites centrales, confrontées à des difficultés techniques, économiques, et à l'accumulation de restrictions légales (protection des eaux, loi sur la pêche, débits de restitution). La réussite des efforts entrepris dépendra en fin de compte très largement de la volonté politique.

Outre les aspects purement énergétiques, qu'il s'agit d'évaluer avec précision, l'exploitation des eaux potables et usées présente à cet égard un avantage séduisant. Elle se greffe sur des installations existantes et ne nécessite pas - ou peu - de nouveaux ouvrages visibles, ce qui permet aux exploitants de faire l'économie de certaines procédures d'autorisation.

La Suisse exploite un millier de stations d'épuration. Ces ouvrages traitent près de 5 millions de mètres cubes d'eau par jour. Certains d'entre eux épurent les eaux usées d'agglomérations situées en altitude. Que le traitement soit effectué au niveau de la commune ou dans une station implantée plus bas, il y a là des dénivellations qui représentent une énergie hydraulique potentielle exploitable.

Depuis 1916 déjà, une petite centrale hydroélectrique turbine les eaux épurées de la commune de Hofen (SG). Cette installation produit aujourd'hui près d'un million de kilowattheures par année. Beaucoup plus récemment, trois ouvrages de valorisation énergétique des eaux usées ont été mis en service avec succès à Nyon (VD), à Leysin (VD) et au Châble (VS).

Ces trois réalisations ont servi de support à la première phase du projet de valorisation de réseaux d'eaux usées pour la pro-

duction d'électricité, menée dans le cadre du programme *DIANE*. Cette étape s'est achevée au printemps 1994. Elle comprend une description de ces trois installations, avec un bilan technique provisoire, un inventaire du potentiel suisse et une étude de détail de vingt sites représentatifs.

A ce jour, le potentiel énergétique global des eaux usées est évalué à 51 millions de kilowattheures par an, pour une puissance installée légèrement supérieure à 10 mégawatts. C'est l'équivalent de la consommation d'électricité d'une petite ville de 7000 habitants, toutes activités confondues.

Le jeu en vaut-il la chandelle? Telle est la question à laquelle répond la présente brochure. Ceux qui souhaitent en savoir davantage peuvent consulter le dossier technique (voir l'encadré ci-après).

Avertissement

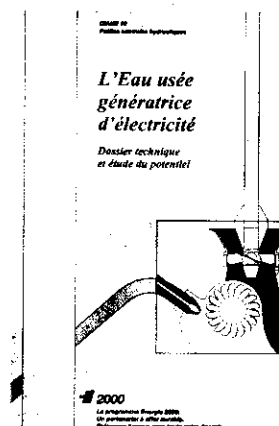
Il importe de rappeler que l'inventaire énergétique global est une évaluation basée sur une analyse morphologique des sites. Les valeurs numériques individuelles proposées ici sont donc à considérer avec prudence. Il en va de même, et à plus forte raison, de l'évaluation du prix de revient du kWh qui fait appel à des approximations supplémentaires sur le coût de réalisation de l'installation. Il s'agit donc d'une première approche indiquant une tendance que seule une étude détaillée du site pourra confirmer ou non.

On peut toutefois considérer que les valeurs statistiques moyennes et globales sont réalistes. L'évaluation du potentiel énergétique des réseaux d'eau potable s'appuie d'ailleurs sur des principes analogues (*L'Eau potable génératrice d'électricité*, numéro de commande 805.752 d+f auprès de l'Office central des imprimés).

Il ne faut, par ailleurs, pas perdre de vue que l'objectif prioritaire des réseaux d'eaux usées est l'épuration et la protection des eaux. Il ne faudrait donc pas que les projets de production d'énergie conduisent à retarder, voire à abandonner, les mesures d'assainissement qui s'imposent (mise en séparatif, etc.).

Dossier technique

L'étude exhaustive *L'Eau usée génératrice d'électricité* (dossier technique) présente dans le détail 20 sites potentiels, avec leurs avantages et inconvénients. Elle contient également 5 annexes chiffrées et documentées avec les bases d'évaluation des potentiels, des rendements et des coûts, un fichier de l'inventaire global pour 131 sites, le détail des calculs économiques et des coefficients d'ajustement.



Pour en savoir plus

Vous souhaitez en savoir davantage sur la valorisation énergétique des eaux usées, ou obtenir une évaluation du potentiel de la station d'épuration de votre commune ou de votre région? Adressez-vous à:

INFOENERGIE Suisse romande
Petites centrales hydrauliques
Raymond CHENAL
c/o MHyLab
1354 Montcherand
Tél./Fax 024 / 41 36 54

La récupération

Les études réalisées à ce jour prennent en compte les réseaux d'eaux usées qui ont fait l'objet d'un assainissement conforme aux prescriptions légales en matière de protection des eaux. Le principe est simple: il s'agit de turbiner l'eau soit à l'entrée de la station d'épuration, lorsque celle-ci est située en contrebas de l'agglomération, soit à son rejet dans une canalisation ou une rivière lorsqu'elle se trouve en altitude.

Comme pour toute installation hydraulique, la production d'énergie repose ici sur deux valeurs associées à l'aménagement: le volume d'eau disponible et la dénivellation (1). Ce sont elles qui déterminent aussi dans une large mesure la rentabilité économique d'un projet (2). On estime aujourd'hui qu'un ouvrage de valorisation des eaux usées peut être économiquement viable à partir d'une production annuelle de 80 000 kilowattheures.

Deux types de réseaux se prêtent, théoriquement, à une telle valorisation:

- une conduite transportant les eaux usées d'une agglomération vers une station d'épuration ou dans un collecteur situés en aval, avec turbinage avant la STEP;

- une conduite évacuant les eaux d'une STEP située en amont après épuration.

Le premier cas est typique des centres touristiques de montagne. Les stations d'épuration de ces agglomérations, lorsqu'elles existent, sont souvent devenues insuffisantes. La solution réside dans le raccordement à des stations de plaine par des conduites forcées. Dans ce cas, la valorisation de la force hydraulique suppose le turbinage des eaux avant leur épuration. Il faut donc les soumettre à un prétraitement (décantation, tamisage). Et la turbine doit pouvoir supporter le passage de déchets résiduels. Une telle installation a été mise en service en octobre 1993 sur le site de la station d'épuration du Châble, dans le val de Bagnes. Elle a pour principale mission de turbiner les eaux usées de la station touristique de Verbier (voir page 23).

La seconde possibilité, qui consiste à exploiter l'eau après son traitement dans une station en altitude, est comparable à une installation hydroélectrique classique. Deux nouveaux ouvrages de ce type turbinent les eaux épurées par les STEP des communes vaudoises de Leysin et de Nyon (voir pages 17 et 29).

1. La récupération annuelle de l'énergie hydraulique au moyen d'un réseau d'eaux usées est exprimée par la relation suivante:

$$E = 2,725 \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot \Delta Z \cdot k \text{ (kWh/an)}$$

$$V = \text{volume d'eau disponible (m}^3\text{/an)}$$

$$\Delta Z = \text{dénivellation entre les niveaux de mise en charge et de restitution (m)}$$

$$k = \text{coefficient global de performance}$$

Le coefficient k résulte des contraintes de l'aménagement (par exemple la longueur de la conduite forcée), des techniques disponibles et des choix économiques. Cette valeur a été définie dans le cadre de cette étude pour chaque installation qui présente un potentiel énergétique significatif. On peut lui donner l'ordre de grandeur $k = 0,6$.

2. Le coût global d'une petite centrale exploitant un réseau d'eau usée peut être évalué selon la formule suivante:

$$C1 = 50'000 + 43'800 \cdot [E/5000]^{0.85} \cdot [\Delta Z - 0,006 \cdot L]^{-0.27} \text{ (Fr.)}$$

$$E = \text{énergie électrique produite par an (kWh/an)}$$

$$\Delta Z = \text{dénivellation entre les niveaux de mise en charge et de restitution (m)}$$

$$L = \text{longueur de la conduite forcée (m)}$$

A ce montant ainsi déterminé, il faut ajouter le surcoût de la conduite forcée si sa longueur dépasse trois fois la dénivellation ΔZ et, dans tous les cas de turbinage avant la station d'épuration, le coût de l'installation de tamisage et de décantation située à la prise d'eau.

Situation actuelle

Centrales hydroélectriques des eaux usées

L'identification des sites

Les trois réalisations pionnières qui sont décrites plus loin (pages 17 à 32) permettaient d'entrevoir une exploitation plus systématique du potentiel énergétique des eaux usées. Encore fallait-il s'en assurer concrètement. C'est désormais chose faite grâce à l'étude réalisée dans le cadre de *DIANE*. L'évaluation de ce potentiel repose sur une double démarche: un inventaire global des possibilités basé sur l'approche morphologique des sites d'une part, un échantillonnage des situations représentatives d'autre part.

L'épuration des eaux usées est régie par la loi fédérale sur la protection des eaux. Celle-ci stipule que l'évacuation et le traitement des eaux l'emportent, dans l'ordre des priorités, sur une éventuelle production énergétique. Mais c'est d'abord le terrain qui dicte ses conditions. La mise en œuvre du turbinage sur un tel réseau est subordonnée, comme pour tous les ouvrages hydroélectriques, à l'existence d'une chute suffisante.

Le turbinage avant la STEP

Le turbinage avant STEP peut être envisagé dans des stations touristiques, dans des agglomérations d'altitude ou dans des villes caractérisées par d'importantes dénivellations. Les eaux usées étant chargées de matières solides et de substances impropres au turbinage, leur valorisation énergétique impose l'aménagement d'un ouvrage de prétraitement, avec un dégrilleur ou un tamiseur, avant la mise sous pression et le turbinage de l'eau, cela afin d'éviter tout risque de colmatage ou de dégradation de la turbine.

Où faut-il construire la centrale? La solution la plus rationnelle consiste à installer la turbine sur le site même de la station d'épuration, à condition, bien sûr, que celle-ci se trouve en bout de course de la

Où faut-il placer la petite centrale? Dans un premier cas de figure, la chute exploitée se situe entre les points haut et bas d'un réseau d'égouts, le point bas pouvant être la station d'épuration, comme celle du Châble (VS) qui turbine les eaux usées de Verbier. Le cas échéant, tout ou partie des eaux collectées dans l'agglomération peut être exploité. Il s'agit ici du turbinage avant STEP.

L'alternative réside dans le turbinage après STEP. La chute se situe alors entre la station et un point de rejet en aval dans un exutoire adéquat, comme c'est notamment le cas pour Leysin (VD). Là aussi, tout le volume des eaux épurées peut être pris en considération. Cela dit, dans un cas comme dans l'autre, on ne prend en compte que 80 % des volumes disponibles, rapport considéré comme un optimum économique.

conduite forcée. L'avantage de la cohabitation de la station et de la turbine réside dans les facilités de construction et de raccordement au réseau électrique. En outre, l'entretien de la centrale peut être très largement assuré par le personnel de la STEP.

Les stations touristiques et les agglomérations d'altitude, nous l'avons vu, offrent de belles opportunités de valorisation des eaux usées. Elles méritent d'être considérées en cas de raccordement à une station d'épuration ou à un collecteur de plaine. Si ce raccordement est dicté par l'insuffisance croissante d'un système d'épuration existant, il vaut alors la peine de prévoir l'utilisation de l'ancienne STEP d'altitude en tant qu'ouvrage de prétraitement des eaux.

Une autre situation, particulièrement favorable, résulte de la construction d'un nouveau réseau d'évacuation et de traitement des eaux usées. Il s'agit alors d'inclure l'installation d'une turbine dès la phase d'étude du projet. Si la STEP est prévue en altitude, la centrale, elle, sera construite dans un site favorable en aval, au bout de la conduite forcée.

Dans les grandes agglomérations à forte dénivellation, l'aménagement d'une petite centrale suppose l'existence préalable d'un ouvrage d'évacuation des eaux usées. La turbine peut être installée à la sortie d'un important collecteur principal situé en zone urbaine ou immédiatement à l'entrée de la station d'épuration.

Le turbinage après la STEP

Cette alternative est à la fois plus simple et plus attrayante. Elle permet notamment de se passer de l'ouvrage de prétraitement puisque l'eau a été entièrement débarrassée des matières solides et des corps étrangers dans la station d'épuration. Ce type d'installation est en principe ramené à celui d'une petite centrale hydroélectrique classique. Quelques dispositions supplémentaires doivent être prises pour faciliter le nettoyage périodique de la conduite et de la turbine.

Le financement des différents types d'installation de valorisation énergétique est en règle générale à la charge de leurs futurs exploitants. Ces derniers ont toutefois la possibilité de solliciter l'appui et des subventions de l'Etat. C'est ainsi que le coût de conduites forcées peut être pris en charge, partiellement ou totalement, par

les communautés publiques en cas de turbinage avant STEP. Cette opportunité se présente également pour des ouvrages «après STEP» lorsque le cours d'eau utilisé comme exutoire ne peut pas absorber les rejets de la station ou encore lorsque le turbinage contribue de manière significative à l'amélioration de la qualité de l'exutoire naturel grâce à un rejet d'eaux bien oxygénées.

Quel est le potentiel énergétique des eaux usées en Suisse? Pour la première fois, un inventaire global a été réalisé dans notre pays. Cette évaluation a été conçue dans un sens large, sans autre considération de rentabilité ou de faisabilité technique qu'un seuil minimal d'énergie produite (80 000 kWh/an) ou une limite inférieure de dénivellation (40 m).

130 sites potentiels

Une fois ces conditions définies, les cartes au 1:25 000 ont été épluchées. Résultat: une liste de 131 sites potentiels qui, une fois équipés, pourraient produire ensemble 51 millions de kilowattheures par an (page 33). Tous ne seront probablement pas réalisés, pour des raisons financières notamment. Mais ce recensement a été conduit de manière à ne pas écarter trop rapidement des cas a priori inintéressants. Il s'agissait également de favoriser une réactualisation ultérieure du potentiel au gré des nouvelles connaissances acquises soit sur le terrain, soit à partir de certaines hypothèses de travail.

Comment a-t-on procédé? Dans un premier temps, une analyse topographique de la Suisse a permis de repérer les situations typologiques intéressantes. Elle a été suivie du calcul des volumes disponibles pour une première sélection de plus de 300 STEP, compte tenu des populations résidentes et des débits quotidiens moyens par habitant. Une fois les débits et les dénivellations connus, il devenait possible de quantifier le potentiel énergétique. Cette première phase a permis d'identifier les sites satisfaisant aux critères minimaux (40 mètres de dénivellation et 80 000 kWh/an). Dans un second temps, on a recueilli une

série d'informations relatives à leur situation géographique et à l'emplacement des conduites forcées et des turbines. Ces données permettent d'évaluer l'énergie

potentielle de chaque site. Elles sont de type référentiel, spatial, démographique et volumétrique.

Les montagnes d'abord

Comme on pouvait le prévoir, les potentiels énergétiques les plus significatifs se retrouvent dans les zones alpines (**tableau 1**), mais avec des nuances: c'est ainsi que le Tessin s'avère, contre toute attente, peu prometteur avec un seul site inventorié, ce qui s'explique par la structure démogra-

phique de ce canton dont 80 % de la population réside dans les plaines. Contrairement au Valais, on ne trouve pas au Tessin d'importantes agglomérations à flanc de coteau, qu'elles soient touristiques ou non.

	Energie potentielle totale [kWh/an]	Puissance installable [kW]	Nombre d'installations [-]
Appenzell R.I.	257'000	51	1
Appenzell R.E.	1'513'000	303	7
Berne	5'440'000	1'088	15
Fribourg	881'000	176	3
Glaris	339'000	68	1
Grisons	2'647'000	529	14
Jura	376'000	75	2
Lucerne	990'000	198	3
Neuchâtel	1'761'000	352	2
Nidwald	191'000	38	2
Obwald	1'622'000	324	3
St-Gall	2'913'000	583	9
Schwyz	834'000	167	3
Tessin	152'000	30	1
Uri	594'000	119	2
Vaud	10'178'000	2'036	18
Valais	20'191'000	4'038	41
Zoug	179'000	36	1
Zurich	258'000	52	2
SUISSE	51'316'000	10'263	130

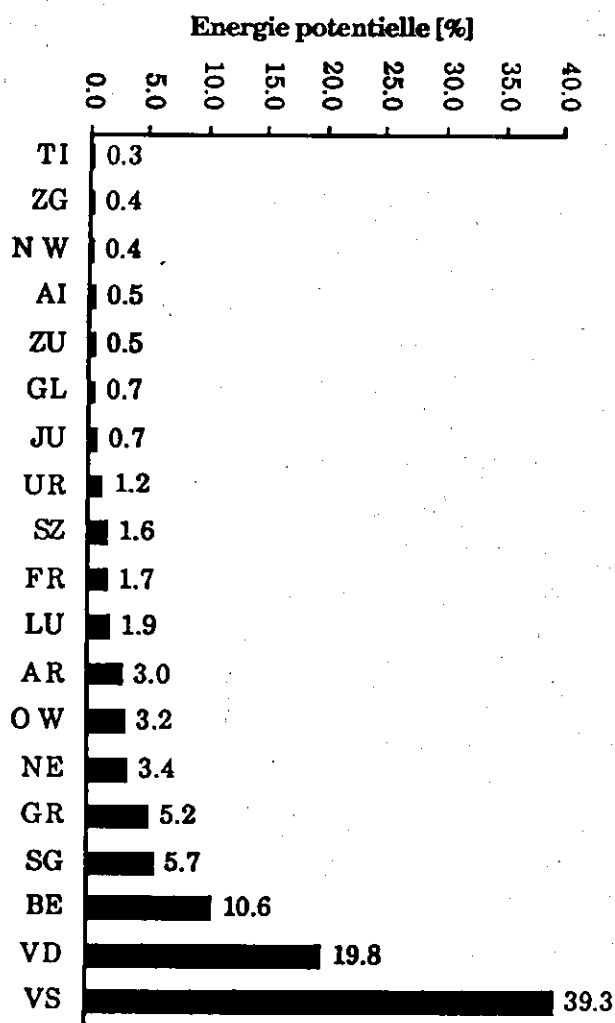
Tableau 1: Energie potentielle cantonale

Une autre surprise réside dans le potentiel relativement faible des Grisons. Ce canton, dont la topographie et le nombre d'habitants sont très semblables à ceux du Valais, se révèle toutefois moins favorable en matière de valorisation énergétique des eaux usées pour des raisons de struc-

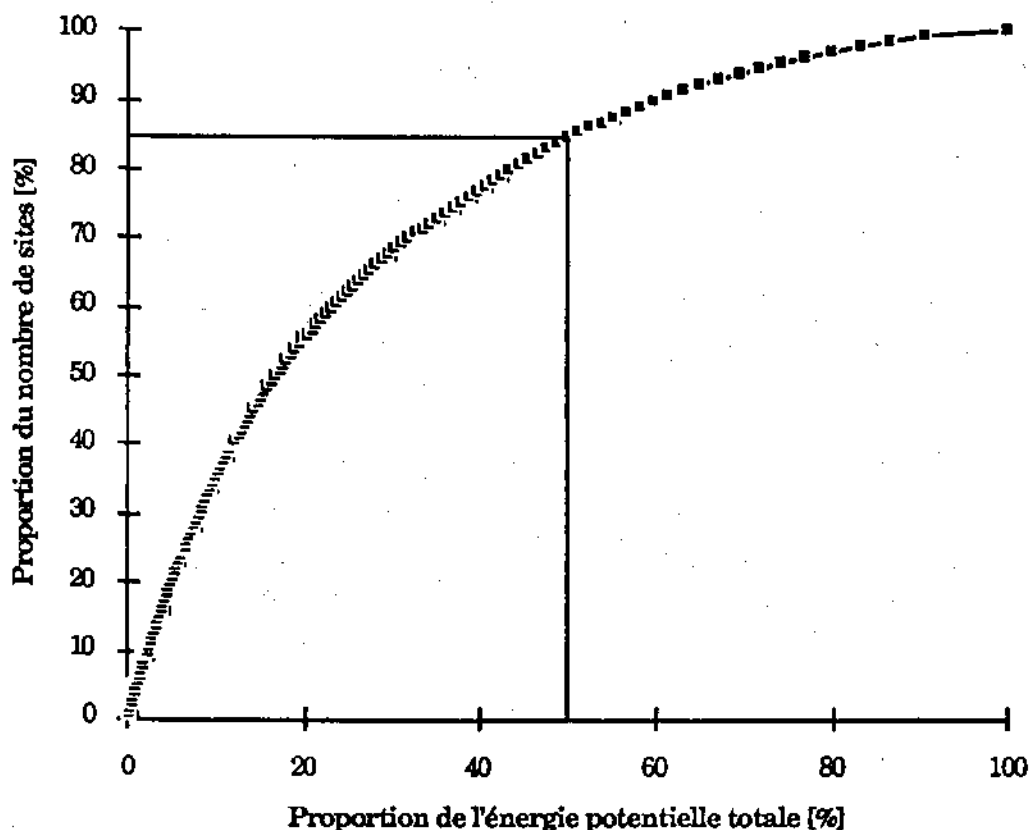
ture de l'habitat. En revanche, le canton de Saint-Gall, pourtant moins montagneux et moins touristique, offre un potentiel égal à celui des Grisons. Une densité démographique plus élevée et une altitude moyenne d'habitat favorable sont vraisemblablement à l'origine de cet avantage saint-gallois.

Cette première évaluation débouche sur un potentiel global. Il apparaît que dix-neuf cantons ou demi-cantons présentent des dispositions pour le turbinage des eaux usées (**graphique 1**). On constate que la moitié de l'énergie potentielle serait

fournie par 85% des installations, soit près de 110 installations sur les 130 inventoriées. L'autre moitié provient d'une vingtaine d'unités de turbinage avec une production unitaire annuelle supérieure à 600'000 kilowattheures (**graphique 2**).



Graphique 1: Répartition cantonale de l'énergie potentielle



Graphique 2: Courbe des énergies potentielles cumulées

Cet apport de 51 millions de kilowattheures, pour une puissance de près de 10 mégawatts, représente environ 0,1 % de la consommation du pays en électricité, de quoi couvrir les besoins annuels d'une ville de 7000 habitants, toutes activités confondues, ou de 11 000 ménages. La puissance moyenne par ouvrage est proche de 80 kilowatts, pour une production annuelle de 400 000 kilowattheures.

Ce potentiel correspond à près de 17 % des besoins en électricité de l'ensemble des stations d'épuration du pays qui sont, avec un total de 300 millions de kilowattheures par an, de grandes consommatrices d'énergie électrique. Les eaux usées participeraient ainsi pour 3 % environ aux objectifs du programme *Energie 2000* de la Confédération, programme qui entend accroître la production hydro-électrique globale de 5 % d'ici à la fin de ce siècle.

Le rendement financier

Les sites retenus ont été, d'autre part, classés en fonction de leur intérêt économique. Il en est résulté des valeurs réelles susceptibles d'être ajustées en tout temps, conformément à l'évolution des paramètres économiques et des particularités locales. Les calculs aboutissent à une estimation du prix de revient du kilowattheure qui permet d'évaluer le rendement de chaque installation de manière réaliste. La faisabilité technique n'est prise en compte que lors de la phase d'échantillonnage (voir à ce sujet l'analyse présentée dans le "dossier technique").

Les coûts d'investissement comprennent la conduite forcée, les équipements hydroélectriques et le génie civil. Il faut y ajouter les ouvrages de prétraitement en cas de turbinage avant STEP. Le calcul du prix de revient repose sur l'investissement global et prend en compte les charges d'exploitation.

Une répartition de l'énergie potentielle a été établie en fonction du prix de revient du kilowattheure. Trois catégories ont été

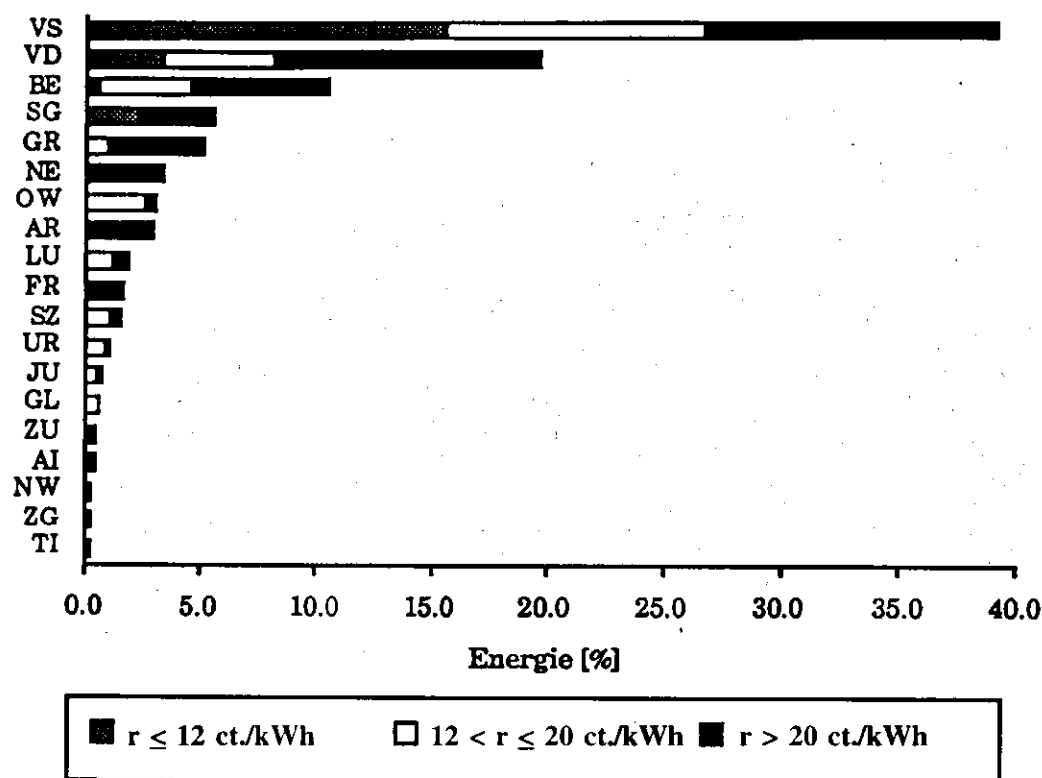
retenues conformément aux recommandations du Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie de décembre 1992 relatives aux rétributions accordées aux autoproducteurs:

- moins de 12 centimes: rentabilité certaine;
- de 12 à 20 centimes: rentabilité possible mais qui nécessite une analyse plus fine;
- plus de 20 centimes: rentabilité improbable.

La présentation de la rentabilité en terme de pourcentage rapporté au potentiel total permet de visualiser la part d'énergie des différentes catégories pour chaque canton (tableau 2 et graphique 3). On constate que le Valais présente une fois encore la situation la plus intéressante, puisque 40 % de sa production se situe dans l'éventail de rentabilité le plus favorable. Saint-Gall se retrouve dans une situation comparable, avec 41 % de sa production dans la meilleure catégorie de rentabilité.

	Energie [kWh/an]	Sites [-]	Energie r ≤ 12 [kWh/an]	Site [-]	Energie 12 < r < 20 [kWh/an]	Site [-]	Energie r > 20 [kWh/an]	Site [-]
AI	257'000	1					257'000	1
AR	1'513'000	7					1'513'000	7
BE	5'440'000	15	309'000	1	2'063'000	3	3'068'000	11
FR	881'000	3					881'000	3
GL	339'000	1			339'000	3		
GR	2'647'000	14			520'000	1	2'127'000	11
JU	376'000	2			266'000	1	110'000	1
LU	990'000	3			672'000	1	318'000	2
NE	1'761'000	2					1'761'000	2
NW	191'000	2					191'000	2
OW	1'622'000	3			1'385'000	1	237'000	2
SG	2'913'000	9	1'188'000	1			1'725'000	8
SZ	834'000	3			561'000	1	273'000	2
TI	152'000	1					152'000	1
UR	594'000	2			467'000	1	127'000	1
VD	10'178'000	18	1'700'000	1	2'499'000	3	5'979'000	14
VS	20'191'000	41	8'010'000	3	5'733'000	12	6'448'000	26
ZG	179'000	1					179'000	1
ZU	258'000	2					258'000	2
CH	51'816'000	130	11'207'000	6	14'505'000	27	25'604'000	97

Tableau 2: Energies potentielles cantonales en fonction du prix de revient



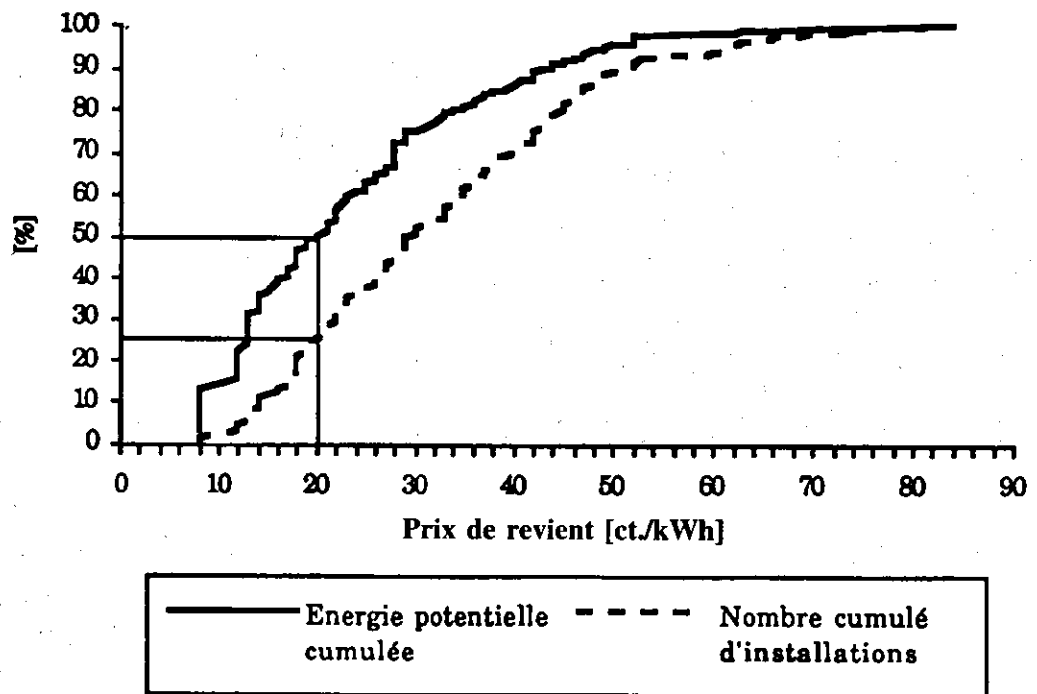
Graphique 3: Répartition des potentiels cantonaux en fonction du prix de revient

L'éventail des prix de revient est très large puisqu'il s'étend de 9 à près de 85 centimes par kilowattheure produit. Il ressort du graphique 4 que 25 % seulement des installations inventoriées figurent en-deçà de cette limite de rentabilité. En revanche, ces mêmes ouvrages produiraient ensemble près de la moitié du potentiel global, soit plus de 25 millions de kilowattheures par an.

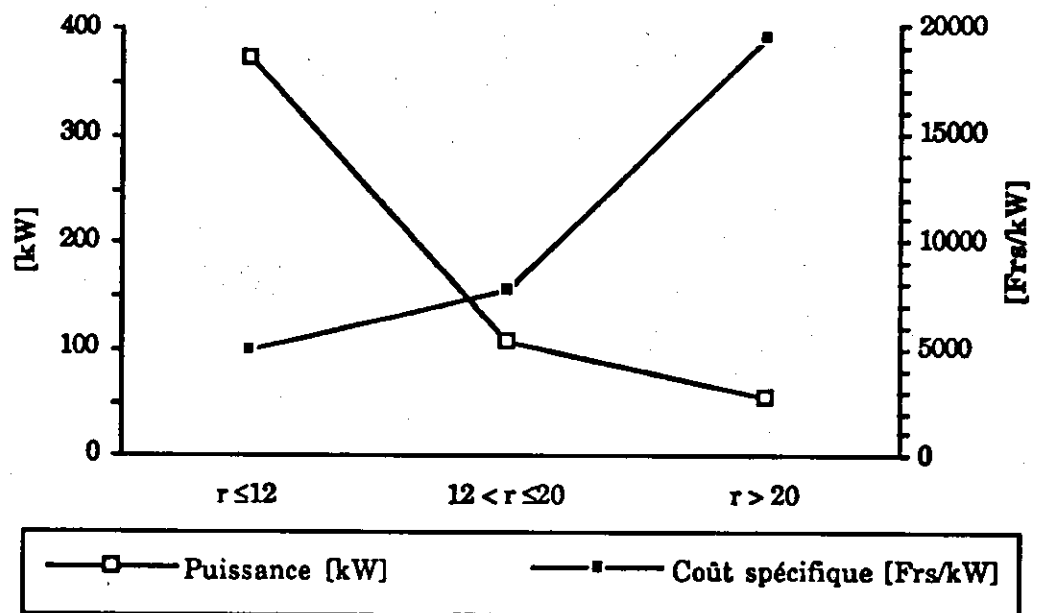
L'aménagement des 131 ouvrages retenus représente un marché de l'ordre de 130 millions de francs. En fait, les investissements nécessaires à la réalisation des installations dont le prix de revient est inférieur à 20 centimes par kilowattheure totalisent près de 33 millions de francs, ce qui représente le quart des dépenses glo-

bales pour financer la moitié de la production potentielle. Il se confirme ainsi que les centrales les plus puissantes appartiennent à la catégorie de rentabilité la plus favorable avec les coûts spécifiques les plus bas (graphique 5).

La répartition des investissements est variable selon qu'il s'agit d'une installation avant ou après station d'épuration. Dans le premier cas, les coûts doivent inclure des ouvrages de prétraitement de l'eau. Les coûts moyens de ce type de centrale sont sensiblement plus élevés que ceux d'une installation après STEP. Le facteur de coût le plus important est toutefois associé à la longueur de la conduite forcée, très variable de cas en cas.



Graphique 4: Courbes cumulées de l'énergie et des sites en fonction du prix de revient



Graphique 5: Coûts spécifiques et puissances en fonction du prix de revient

6 sites représentatifs

Une fois la première approche technique et économique achevée, il s'agissait d'évaluer les possibilités concrètes avec davantage de précision, avec la prise en compte d'éléments impossibles à inclure dans une estimation globale. Vingt sites représentatifs des différentes situations rencontrées ont été sélectionnés, dont six sont décrits dans la présente brochure.

Ce choix témoigne de la diversité des situations possibles, plutôt que de l'énergie produite ou de la rentabilité des installations. Il révèle notamment que le concept énergétique doit être pris en compte le plus rapidement possible dans les programmes de création et de réhabilitation des circuits d'eau usée. Des réseaux potentiellement intéressants peuvent en effet voir leur rentabilité chuter fortement parce que le projet ne comporte pas de concept de récupération de l'énergie.

Cette partie de l'étude se présente sous forme de fiches. On y trouve une description générale de la situation, un plan au 1:25 000 ou au 1:50 000 avec la situation des principaux ouvrages, ainsi que, de cas en cas, les différentes variantes étudiées, sans oublier un tableau récapitulatif des principaux résultats de calculs énergétiques et économiques des variantes. Vous trouverez aux pages 45 à 56, sous une forme résumée, les résultats de ces évaluations *in situ*.

3 installations pilotes

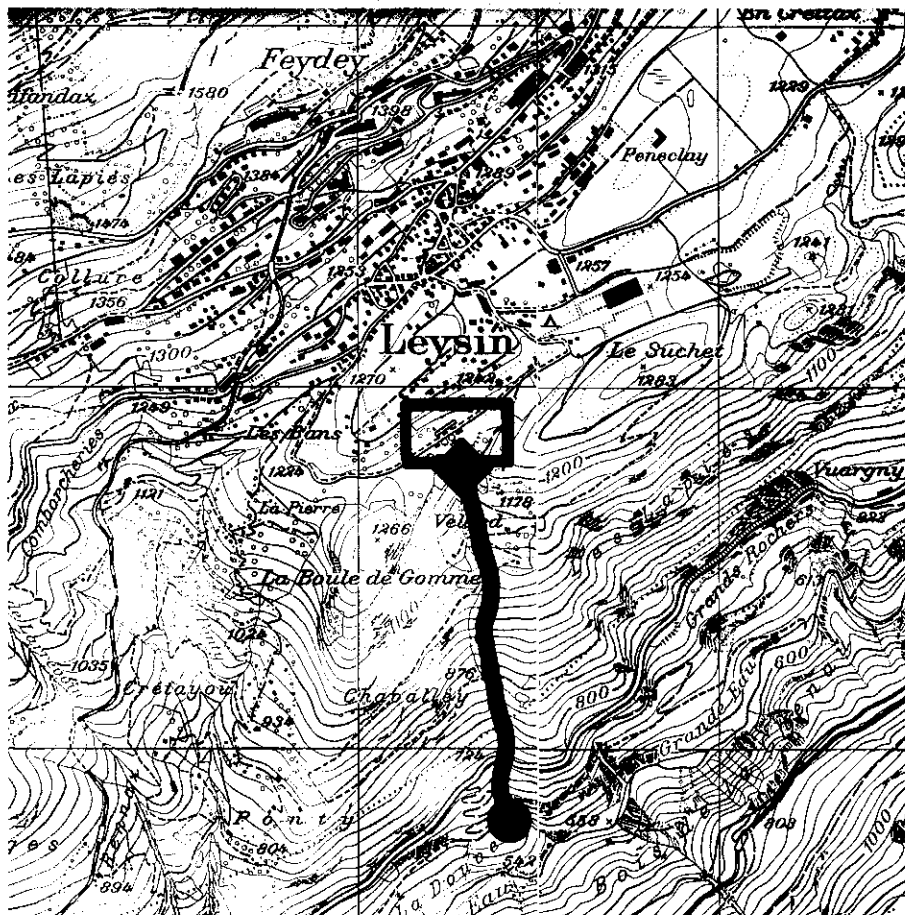
3 Pilotanlagen

Les enseignements recueillis à ce jour sur la valorisation énergétique des eaux usées reposent très largement sur la construction et sur l'exploitation des trois installations pilotes romandes de Leysin, de Nyon et de Verbier. Plusieurs années d'expérience avec ces ouvrages ont permis d'identifier et de résoudre maints problèmes techniques et économiques.

Die bisherigen Erfahrungen hinsichtlich der energetischen Nutzung der Abwasser beruhen weitgehend auf den Betriebsdaten der drei Westschweizer Pilotanlagen in Leysin, Nyon und Verbier. Zahlreiche technische und wirtschaftliche Probleme konnten im Verlauf der mehrjährigen Erfahrung mit diesen Anlagen gelöst werden.

Minicentrale de la STEP de Leysin (VD)

Kleinstkraftwerk der ARA Leysin (VD)



STEP et bassin de mise en charge et local de tamisage
ARA mit Einlaufbecken und Filtrierraum



Conduite forcée ($\varnothing = 200$ mm, $L = 1'256$ m)
Druckleitung ($\varnothing = 200$ mm, $L = 1'256$ m)



Minicentrale
Kleinkraftwerk

Dénivellation:

$\Delta Z = 545$ m

Volume d'eaux usées entrant dans la STEP: $V = 1'900'000$ m³/an

Energie produite:

$E = 1'700'000$ kWh/an

Höhenunterschied:

$\Delta Z = 545$ m

Wasserzufuhr zur ARA:

$V = 1'900'000$ m³/Jahr

Energieproduktion:

$E = 1'700'000$ kWh/Jahr

Ce site touristique vaudois se prêtait fort bien à l'aménagement d'une minicentrale hydroélectrique alimentée par un réseau d'eau usée. Sa topographie offre une importante dénivellation entre la station d'épuration, sur le plateau de Leysin, et les rives de la Douve, en contrebas de la route du Sépey, où est installée la centrale. Inauguré en septembre 1989, cet ouvrage turbine les eaux traitées, ainsi qu'une partie de l'excédent occasionnel des eaux de pluie recueillies par le réseau collecteur. L'installation s'apparente donc à un ouvrage hydraulique classique.

Le surplus des eaux pluviales peut être déversé au niveau de la prise d'eau (exutoire de la STEP). L'installation (conduite forcée, minicentrale) a été, dans ce cas, dimensionnée pour un débit maximal économique. C'est ainsi que l'écart entre ce débit maximal et le débit annuel moyen est faible (respectivement 0,072 et 0,060 m³/sec). On a pu ainsi limiter les investissements sur la conduite forcée, dotée d'un diamètre réduit. Résultat: un facteur de performance énergétique modeste, mais une charge financière sur le prix de revient du kilowattheure extrêmement favorable: 4,2 centimes.

A la fin de 1994, l'exploitation de cette centrale a fourni de précieux enseignements. Elle a fonctionné sans incident ni révision pendant plus de cinq ans (46 000 heures), durée au cours de laquelle aucune usure significative des matériels hydroélectriques n'a été observée. Cela étant, on a constaté que les résidus organiques subsistant après le traitement en station d'épuration provoquaient la formation d'un dépôt sur les surfaces intérieures de la conduite forcée. Il en résultait une diminution progressive du diamètre avec, à la clé, une augmentation de la perte de charge.

Der waadtländische Fremdenverkehrsort war sehr gut geeignet für den Bau eines Mini-Wasserkraftwerks, das durch ein Abwasserleitungsnetz gespeist wird. Die topographischen Verhältnisse sind durch einen grossen Höhenunterschied zwischen dem Klärwerk auf dem Hochplateau von Leysin und dem Ufer der Douve unterhalb der Strasse nach Sépey, an dem das Kraftwerk steht, gekennzeichnet. Die im September 1989 in Betrieb genommene Anlage erzeugt Strom aus dem aufbereiteten Abwasser sowie aus einem Teil des gelegentlichen Ueberschusses an Regenwasser, das von der Sammelkanalisation aufgenommen wird. Sie hat somit Aehnlichkeit mit einem herkömmlichen Wasserkraftwerk.

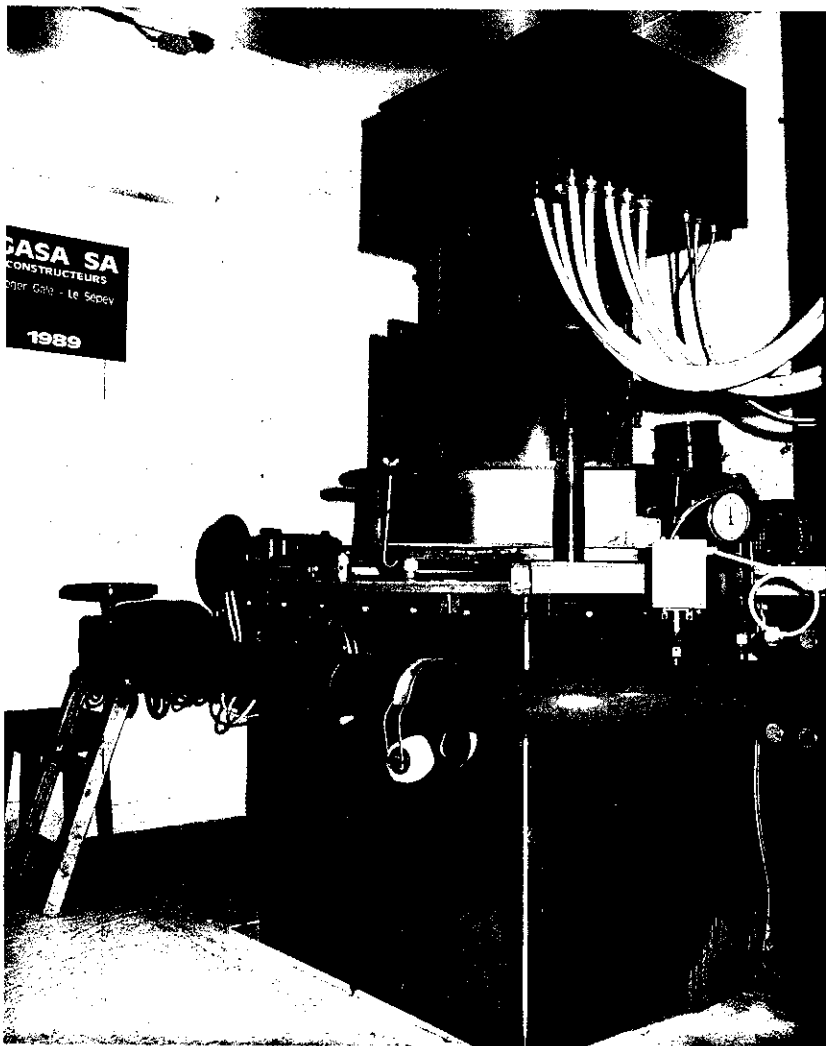
Das überschüssige Regenwasser kann in Höhe der Wasserentnahmestelle (Wasserableitung der Kläranlage) abgeleitet werden. Die Anlage (Druckrohrleitung, Mini-Kraftwerk) wurde im vorliegenden Fall für einen mit Wirtschaftlichkeitskriterien ausgelegten Maximaldurchfluss ausgelegt. Daher ist diese Differenz zwischen dem Maximumdurchfluss und dem mittleren Jahresdurchfluss gering (0,072 bzw. 0,060 m³/s). So konnte die Investition auf den Bau der Druckrohrleitung, die einen reduzierten Durchmesser aufweist, beschränkt werden. Ergebnis: ein niedriger Energieleistungsfaktor, hingegen dank sehr guter Auslastung äusserst geringe Finanzierungskosten von 4,2 Rp./kWh.

Bis Ende 1994 konnten aus dem Betrieb des Kraftwerks wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden. Es arbeitet bereits seit über fünf Jahren (46.000 Betriebsstunden) störungsfrei und ohne Ueberholung. Während dieser Zeit zeigte sich kein nennenswerter Verschleiss an der Betriebsausrüstung des Kraftwerks. Allerdings wurde festgestellt, dass die nach der Rei-

Cet engorgement nécessite un nettoyage mensuel. Après une vidange partielle de la conduite, on procède à un écoulement gravitaire d'eau claire qui détache et entraîne les dépôts organiques. L'opération, qui n'exige pas l'arrêt de la centrale, ne dure que deux heures environ. Un diamètre plus grand de la conduite forcée aurait permis de réduire considérablement la fréquence de ces nettoyages. Encore eût-il fallu que le phénomène soit connu. Il l'est aujourd'hui grâce à l'installation de Leysin. Il reviendra aux exploitants d'autres ouvrages comparables d'en tirer le meilleur parti.

wurde festgestellt, dass die nach der Reinigung des Wassers im Klärwerk verbleibenden organischen Rückstände Ablagerungen an den Innenwänden der Druckrohrleitung bildeten. Dies führte zu einer allmählichen Verringerung des lichten Durchmessers, die ihrerseits Druckverluste zur Folge hatte.

Damit die Rohrleitung nicht verstopft, ist eine monatliche Reinigung erforderlich. Nach einer teilweisen Entleerung der Leitung lässt man klares Wasser frei durchfliessen, wodurch die organischen Ablagerungen gelöst und fortgeschwemmt werden. Während des Vorgangs, der nur etwa zwei Stunden dauert, braucht das Kraftwerk nicht abgeschaltet zu werden. Bei einem grösseren Durchmesser für die Druckrohrleitung hätte man die Reinigung in weit grösseren Abständen durchführen können. Freilich hätte man das Phänomen erst einmal kennen müssen. Das ist heute durch die Erfahrungen mit der Anlage in Leysin der Fall. Es ist nun an den Betreibern anderer vergleichbarer Kraftwerke, sich diese Kenntnisse zunutze zu machen.



Groupe turboalternateur de 260 kW

Turbogenerator mit 260 kW Leistung



Mini-centrale
Kleinkraftwerk

La minicentrale de Leysin en bref

Das Mini-Kraftwerk Leysin im Ueberblick

Caractéristiques générales

- mise en service: septembre 1989
- concepteur et propriétaire: Gasa SA
- preneur de l'énergie électrique: Société romande d'électricité (SRE)
- mise en charge: bassin amont de 25 m³ alimenté par les eaux épurées
- conduite forcée: 1256 mètres de longueur, 200 mm de diamètre
- centrale à 550 mètres en contrebas de la STEP: site choisi en raison de la proximité d'un ruisseau, d'un chemin forestier et d'une ligne électrique à moyenne tension.

Allgemeine Daten

- *Inbetriebnahme: September 1989*
- *Planer und Eigentümer: Gasa SA*
- *Abnehmer des elektrischen Stroms: Société romande d'électricité (SRE)*
- *Einlauf: Oberwasserbecken mit 25 m³, gespeist durch geklärtes Wasser*
- *Druckrohrleitung: 1256 m lang, 200 mm Durchmesser*
- *Kraftwerk 550 m unterhalb der Kläranlage: wegen der Nähe zu einem Bach, einem Waldweg und einer elektrischen Mittelspannungsleitung gewählter Standort.*

Caractéristiques techniques

- dénivellation entre la mise en charge et la restitution:
 $\Delta Z = 545$ mètres
- volume d'eau traité par la STEP (estimation):
 $V = 1'900'000$ m³/an
- électricité produite (valeur moyenne 1992-1993):
 $E = 1'700'000$ kWh

Technische Daten

- *Höhenunterschied zwischen Einlauf und Auslauf:*
 $\Delta Z = 545$ m
- *In der Kläranlage verarbeitete Wassermenge (Schätzung):*
 $V = 1'900'000$ m³/Jahr
- *Erzeugter elektrischer Strom (Durchschnitt 1992-1993):*
 $E = 1'700'000$ kWh

- facteur global de performance:
 $k = 367 \cdot E / [V \cdot \Delta Z] = 0,603$
- groupe turboalternateur:
turbine Pelton à axe vertical, alternateur synchrone triphasé de 280 kVA,
- puissance électrique max. 260 kW
- débit maximal turbiné:
 $Q_t = 0,072 \text{ m}^3/\text{sec.}$
- hauteur de chute nette: 502 mètres.
- *Gesamtleistungsfaktor:*
 $k = 367 \cdot E / [V \cdot \Delta Z] = 0,603$
- *Elektrische Ausrüstung:* Pelton-Turbine mit vertikaler Welle, dreiphasiger Synchrongenerator mit 280 kVA
- *Elektrische Leistung max.* 260 kW
- *Maximaler Turbinendurchsatz:*
 $Q_t = 0,072 \text{ m}^3/\text{s}$
- *Nettofallhöhe:* 502 m.

Caractéristiques financières

- coût de l'installation:
870'000 francs
- charge financière sur le prix de revient de l'énergie:
4,2 centimes par kilowattheure.

Finanzielle Daten

- *Kosten der Anlage:*
Fr. 870'000
- *Finanzierungskosten:*
4,2 Rp/kWh

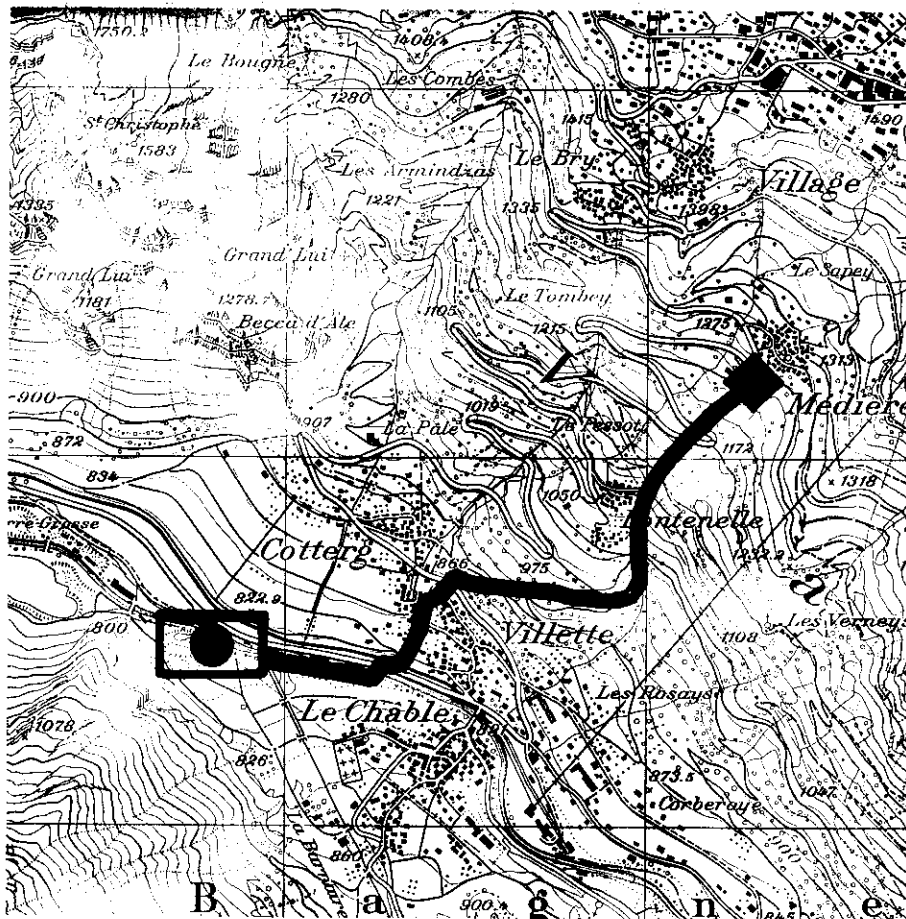


Conduite forcée en acier, diamètre 200 mm, installée en surface dans un terrain escarpé et rocheux

Druckrohr aus Stahl, 200 mm Durchmesser, überirdisch verlegt auf einem steilen und felsigen Gelände

Minicentrale de la STEP de Le Châble / Verbier (VS)

Kleinstkraftwerk der ARA Le Châble / Verbier (VS)



Bassin de mise en charge et de décantation - local de tamisage
Einlauf- und Reinigungsbecken - Filtrierraum



Conduite forcée ($\varnothing = 300$ mm, $L = 2'290$ m)
Druckleitung ($\varnothing = 300$ mm, $L = 2'290$ m)



Station d'épuration et minicentrale
Kläranlage und Kleinkraftwerk

Dénivellation:

$\Delta Z = 447$ m

Volume d'eaux usées entrant dans la STEP: $V = 1'330'000$ m³/an

Energie produite:

$E = 1'130'000$ kWh/an .

Höhenunterschied:

$\Delta Z = 447$ m

Wasserzufuhr zur ARA

$V = 1'330'000$ m³/Jahr

Energieproduktion:

$E = 1'130'000$ kWh/Jahr

La commune du Châble est, en superficie, la plus grande commune de Suisse. Elle abrite la station alpine de Verbier, qui accueille au plus fort de la saison d'hiver près de 25 000 vacanciers. Autre particularité: les eaux usées de la station permettent de produire plus d'un million de kilowattheures d'électricité par année. C'est deux fois plus que n'en consomme la station d'épuration située au Châble, dans le val de Bagnes.

La petite centrale hydroélectrique alimentée par le réseau d'eau usée a été mise en service en même temps que la STEP, en octobre 1993. Exploitée par les Services industriels de Bagnes, elle est équipée d'une turbine Pelton à axe horizontal à deux injecteurs, directement couplée à un alternateur synchrone. La prise d'eau, la conduite forcée et la minicentrale sont dimensionnées pour absorber les brusques variations de débit en cas d'orage ou de fonte des neiges.

La totalité des eaux usées amenées au collecteur supérieur est turbinée en plaine. Le débit maximal atteint 240 litres/seconde, contre 42,2 litres/seconde en moyenne annuelle. Grâce à cette disposition, le facteur de performance énergétique est remarquable ($k = 0,698$). En revanche, pour cette même raison et parce que l'on a choisi des solutions relativement coûteuses pour la conduite forcée et la turbine afin de prévenir les risques de dégradation des matériaux en contact avec des eaux usées brutes, la charge financière sur le prix de revient du kilowattheure est relativement élevée.

Les choix initiaux étaient bons puisqu'au terme de 1500 heures de fonctionnement la turbine ne présentait aucun symptôme d'usure ou de dysfonctionnement qui pourrait être lié à l'utilisation des eaux usées. Après quinze mois d'exploitation, le seul problème en suspens résidait dans l'accumulation des boues et des agglomérats flottant dans le bassin de concentration amont, une accumulation due aux faibles vitesses d'écoulement et que l'action biologique ne parvient pas à résor-

Flächenmässig ist Le Châble / Verbier die grösste Gemeinde der Schweiz. Der gleichnamige Wintersportort Verbier beherbergt zur Hochsaison im Winter knapp 25.000 Urlauber. Eine weitere Besonderheit: Mit den Abwässern des Skiorts lassen sich über eine Million Kilowattstunden Strom pro Jahr erzeugen. Das ist doppelt so viel wie der Stromverbrauch der Kläranlage in Le Châble im val de Bagnes.

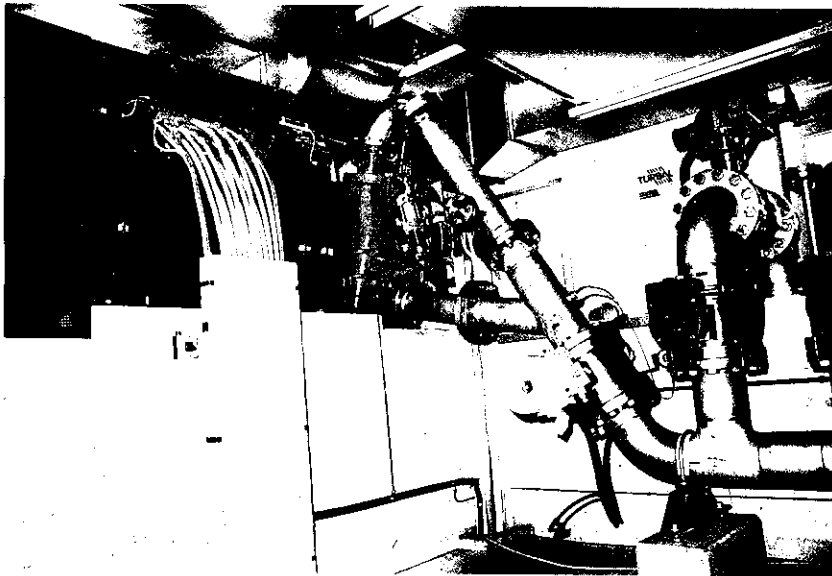
Das kleine, vom Abwasserleitungsnetz gespeiste Wasserkraftwerk wurde gleichzeitig mit der Kläranlage im Oktober 1993 in Betrieb genommen. Betreiber sind die Services industriels de Bagnes. Es ist mit einer Pelton-Turbine mit horizontaler Welle und 2 Düsen ausgerüstet, die direkt an einen Synchrongenerator gekoppelt ist. Die Wasserfassung, die Druckrohrleitung und das Kleinkraftwerk sind zur Aufnahme plötzlich schwankender Wasserzulaufmengen bei Gewitter oder Schneeschmelze ausgelegt.

Das gesamte vom oberen Sammelbecken aufgenommene Abwasser wird der Turbine im Tal zugeführt. Der maximale Durchfluss beträgt 240 Liter/Sekunde, während das Jahresmittel bei 42,2 Litern/Sekunde liegt. Durch diese Konzeption wird ein beachtlicher Energieleistungsfaktor erreicht ($k = 0,698$). Aus demselben Grund, und weil relativ kostspielige Lösungen für die Druckrohrleitung und die Turbine gewählt wurden, um den Risiken einer Beschädigung des Materials durch den Kontakt mit ungeklärtem Abwasser vorzubeugen, sind hingegen die Energiegestehungskosten verhältnismässig hoch.

Mit den anfänglichen Entscheidungen lag man richtig, denn nach 1500 Betriebsstunden weist die Turbine keinerlei Anzeichen von Verschleiss oder Fehlfunktion auf, die auf die Verwendung von Abwasser zurückzuführen wären. Nach 15monatiger Betriebsdauer bestand das einzige ungelöste Problem in der Ansammlung von Schlämmen und Agglomeraten, die im oberen Sammelbecken treiben; sie ist auf

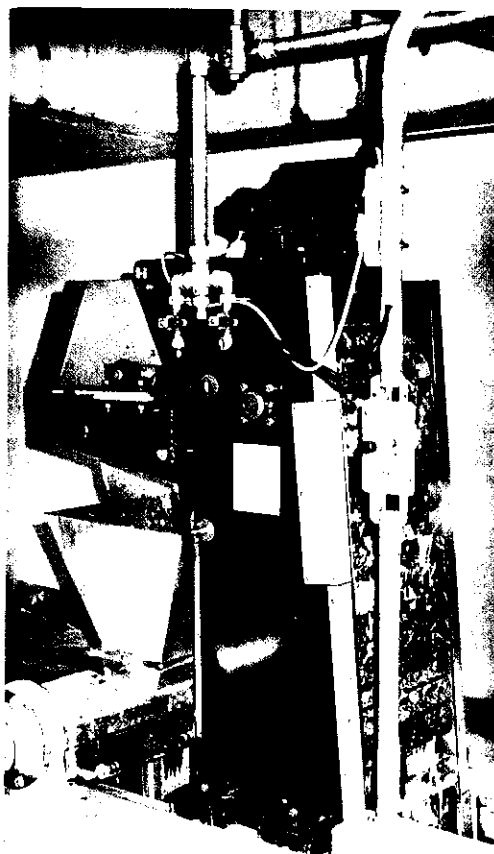
ber. La solution: mettre en œuvre des séquences périodiques de vidange et de rinçage, ou maintenir le niveau suffisamment bas dans le bassin afin que les déchets solides soient entraînés par l'écoulement.

die geringen Abfliessgeschwindigkeiten zurückzuführen und kann nicht allein biologisch entfernt werden. Die Lösung: regelmässiges Entleeren und Spülen oder ein stets niedriger Wasserstand im Becken, damit die festen Schmutzpartikel mit hinuntergespült werden.



Groupe turboalternateur de 665 kW à la STEP du Châble

Turbinen-Generator-Gruppe mit 665 kW Leistung bei der ARA von Le Châble



Appareil de tamisage sur le bassin de mise en charge et de décantation

Sieb am Einlauf und Reinigungsbecken

La minicentrale du Châble en bref

Das Mini-Kraftwerk Le Châble im Ueberblick

Caractéristiques générales

- mise en service (avec la station d'épuration): octobre 1993
- concepteurs du projet: Services industriels de Bagnes et CERT (Martigny)
- fournisseur des équipements de la centrale: TURBAL, ABB
- concentration et décantation: bassin amont de 400 m³
- conduite forcée: 2290 m de longueur, 300 mm de diamètre.

Allgemeine Daten

- Inbetriebnahme (zusammen mit Klärwerk): Oktober 1993
- Projektplanung: Services industriels de Bagnes und CERT (Martigny)
- Lieferanten der Kraftwerksausrüstung: TURBAL, ABB
- Konzentration und Absetzung: Oberbecken mit 400 m³
- Druckrohrleitung: 2290 m lang, 300 mm Durchmesser.

Caractéristiques techniques

- dénivellation entre les niveaux de mise en charge et de restitution:
 $\Delta Z = 447 \text{ m}$
- volume annuel des eaux usées traitées:
 $V = 1'330'000 \text{ m}^3/\text{an}$
- production annuelle d'électricité:
 $E = 1'130'000 \text{ kWh}$
- facteur de performance:
 $k = 367 \cdot E / [V \cdot \Delta Z] = 0,698$
- groupe turbo-alternateur:
turbine Pelton à axe horizontal et alternateur triphasé synchrone de 850 kVA
- puissance électrique max.:
665 kW
- débit maximal turbiné:
 $Q_t = 0,240 \text{ m}^3/\text{s}$
- hauteur de chute nette:
327,2 m.

Technische Daten

- Höhenunterschied zwischen Einlauf und Auslauf:
 $\Delta Z = 447 \text{ m}$
- Jährlich verarbeitete Abwassermenge:
 $V = 1'330'000 \text{ m}^3/\text{Jahr}$
- Jährliche Stromerzeugung:
 $E = 1'130'000 \text{ kWh}$
- Leistungsfaktor:
 $k = 367 \cdot E / [V \cdot \Delta Z] = 0,698$
- Maschinensatz:
Pelton-Turbine und dreiphasige Synchrongenerator mit 850 kVA
- Elektrische Leistung max.:
665 kW
- Maximaler Turbinendurchsatz:
 $Q_T = 0,240 \text{ m}^3/\text{s}$
- Nettofallhöhe:
327,2 m.

Caractéristiques financières

- coût de l'installation: 1'930'000 francs
- charge financière sur le prix de revient de l'énergie:
14,5 centimes par kilowattheure.

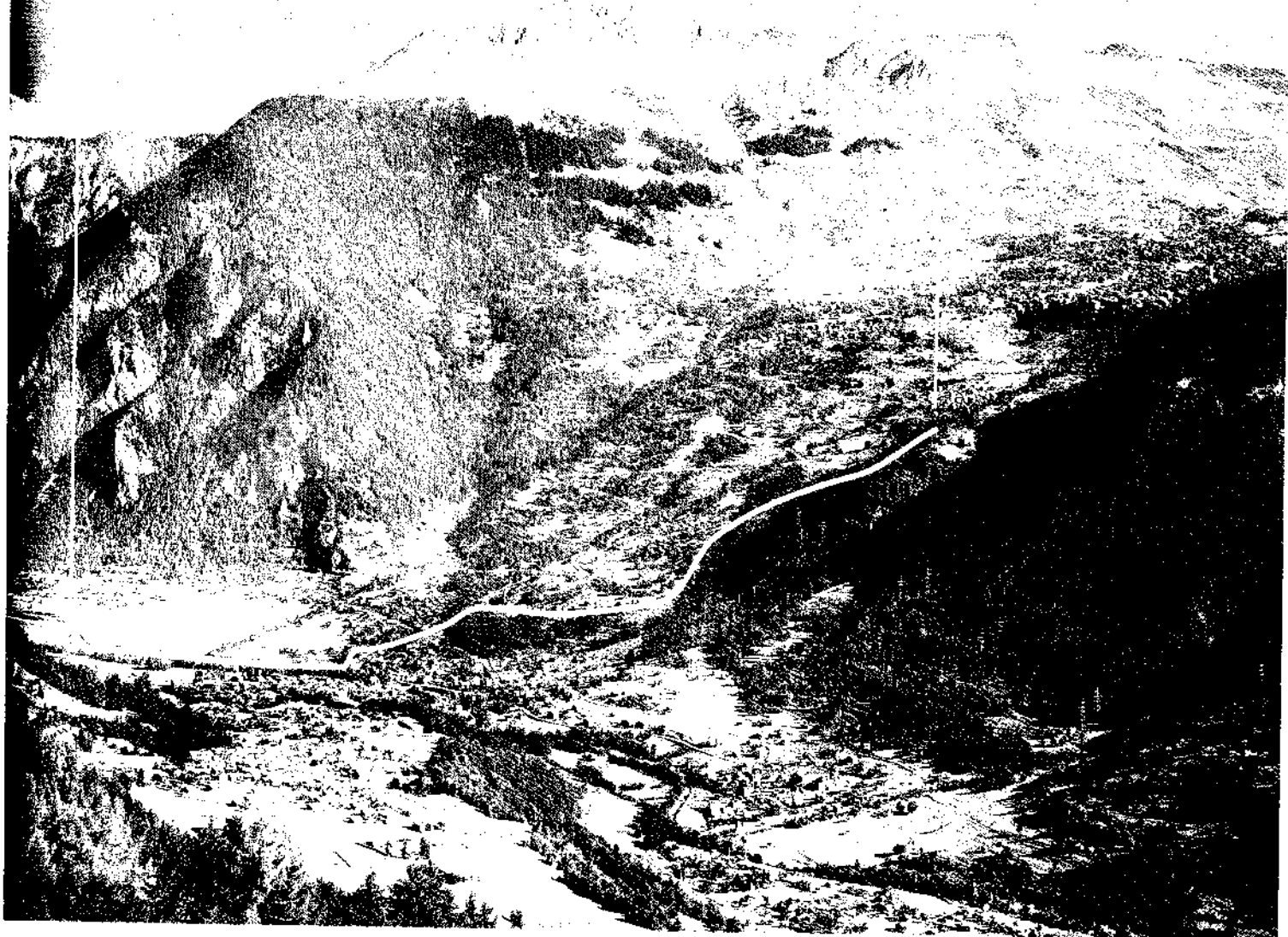
Finanzielle Daten

- Kosten der Anlage: Fr. 1'930'000
- Finanzierungskosten:
14,5 Rp/kWh.

CONDUITE FORCÉE DES EAUX USÉES: MÉDIÈRES - LE CHÂBLE

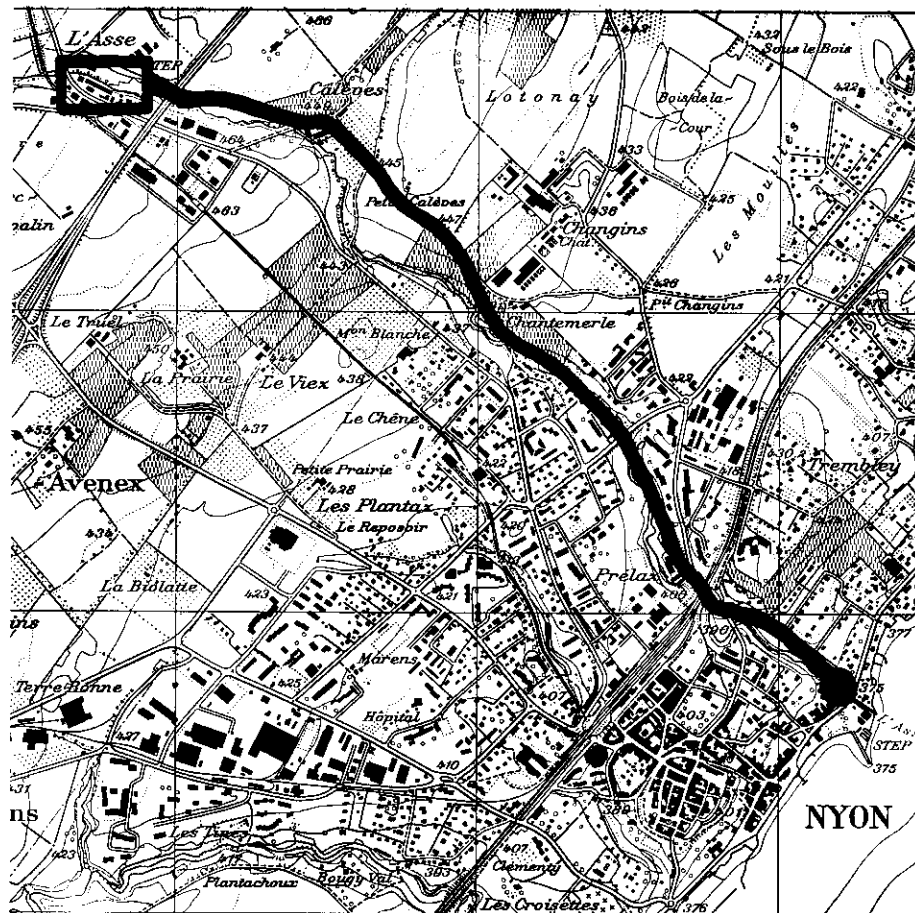
STB
alt. 80

Bassin d'eaux pluviales
Médières 400 m³
alt. 1250 m



Minicentrale de la STEP de Nyon (VD)

Kleinstkraftwerk der ARA Nyon (VD)



STEP et bassin d'accumulation et de mise en charge
ARA und Sammelbecken



Conduite forcée de pompage et de turbinage
($\varnothing = 600\text{mm}$, $L = 3'515\text{m}$)

Kombinierte Pump- und Turbinen-Druckleitung
($\varnothing = 600\text{mm}$, $L = 3'515\text{m}$)



Station de pompage des eaux usées et minicentrale
Abwasser-Pumpstation und Kleinkraftwerk

Dénivellation:

$\Delta Z = 94,25 \text{ m}$

Volume d'eaux usées entrant dans la STEP: $V = 3'750'000 \text{ m}^3/\text{an}$

Energie produite:

$E = 700'000 \text{ kWh/an}$

Höhenunterschied:

$\Delta Z = 94,25 \text{ m}$

Wasserzufuhr zur ARA:

$V = 3'750'000 \text{ m}^3/\text{Jahr}$

Energieproduktion:

$E = 700'000 \text{ kWh/Jahr}$

Par manque de place au bord du lac, la nouvelle station d'épuration de l'agglomération de Nyon a été construite sur le plateau de l'Asse, 110 mètres plus haut. L'inconvénient de cette solution réside dans la nécessité, après leur avoir fait subir un prétraitement, de pomper les eaux usées des habitations situées entre la station et le lac jusqu'au niveau de la STEP. Il est en revanche possible d'installer une minicentrale au bord du lac, ce qui permet de produire près de la moitié de l'énergie nécessaire au pompage et le tiers de celle consommée par la STEP.

La législation sur la protection des eaux ne permettait pas d'écouler les rejets de la station d'épuration dans le cours d'eau voisin, d'où la nécessité d'aménager une conduite forcée pour les évacuer directement dans le lac Léman. Comme au Châble, la minicentrale de Nyon, installée dans la station de pompage au bord du lac, privilégie la récupération de l'énergie. Le groupe hydroélectrique est dimensionné pour absorber le débit maximal de la STEP, soit 0,293 m³/s., pour un débit annuel moyen de 0,119 m³/s.

La dénivellation disponible permettrait d'installer différents types de turbines. Le choix porté sur une pompe inversée, fonctionnant par «tout ou rien», est sensiblement moins cher que ne l'aurait été une turbine classique à réaction, par exemple une Francis avec distributeur. En revanche, les nombreuses manœuvres automatiques d'enclenchement et d'arrêt (près de quarante fois par jour) exigent des matériels de commande particulièrement robustes et coûteux. Quant au rendement énergétique de la pompe inversée, il est, dans le cas précis, comparable à celui d'une turbine classique.

Aus Platzmangel am Seeufer wurde die neue Kläranlage für den Raum Nyon auf dem Asse-Plateau 110 Meter höher gebaut. Der Nachteil dieser Lösung liegt darin, dass das Abwasser der zwischen dem Klärwerk und dem See gelegenen Wohnbauten nach einer Vorklärung zum Klärwerk hochgepumpt werden muss. Hingegen ist es möglich, ein Kleinkraftwerk am Seeufer zu errichten, mit dem die Hälfte der zum Pumpen erforderlichen Energie und ein Drittel der in der Kläranlage benötigten Energie erzeugt werden können.

Die Gewässerschutzvorschriften liessen es nicht zu, das von der Kläranlage ausgeleitete Wasser dem nahegelegenen Wasserlauf zuzuführen. Daher war der Bau einer Druckrohrleitung erforderlich, durch die das Wasser direkt in den Genfer See eingeleitet wird. Wie in Le Châble dient das Mini-Kraftwerk Nyon, das im Pumpwerk am Seeufer eingerichtet wurde, vorrangig der Energierückgewinnung. Der Maschinensatz ist für die Aufnahme der Maximaldurchflussmenge von der Kläranlage ausgelegt. Dieser beträgt 0,293 m³/sek bei einem jährlichen mittleren Durchfluss von 0,119 m³/sek.

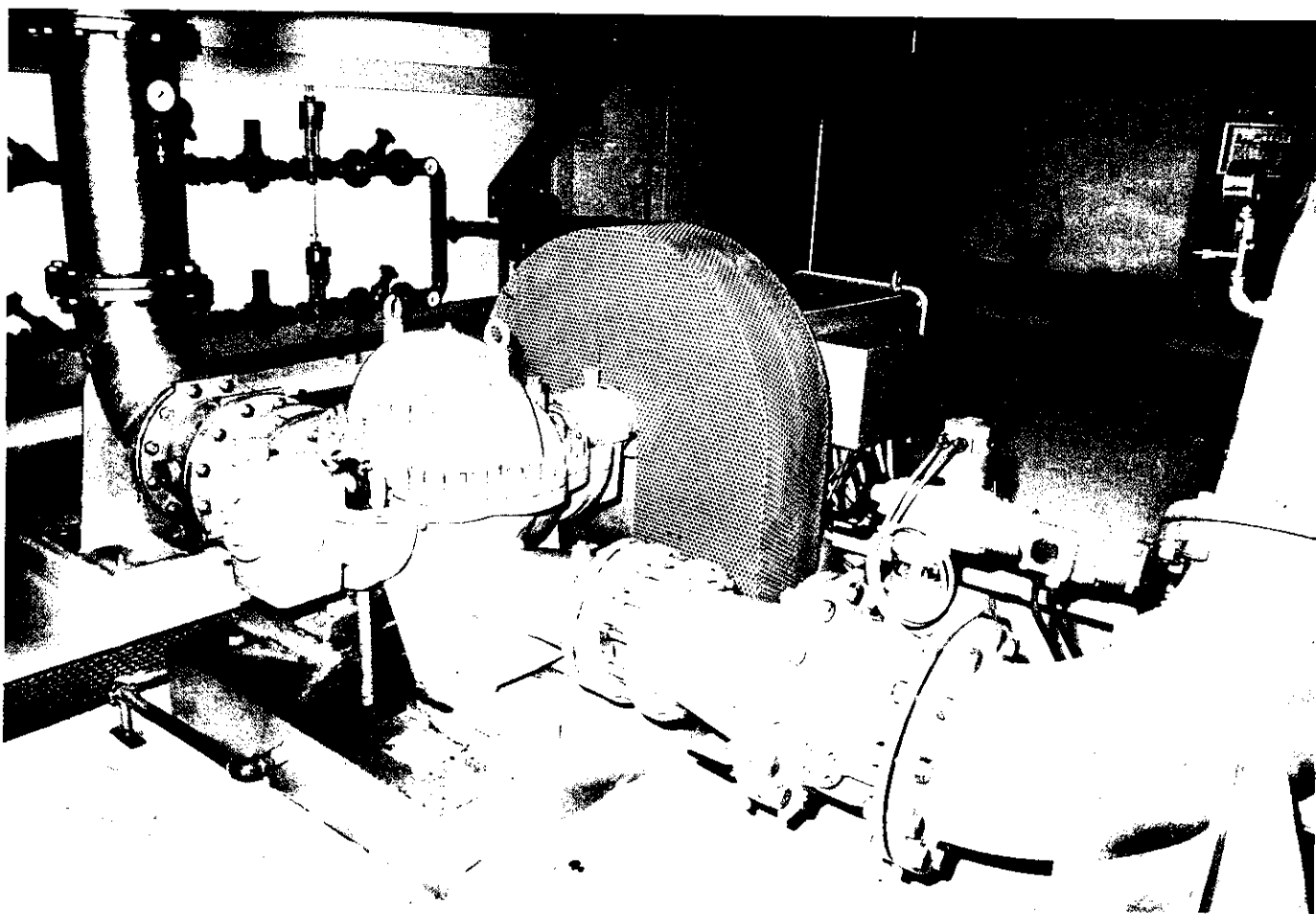
Der nutzbare Höhenunterschied würde den Einsatz unterschiedlicher Turbinentypen ermöglichen. Man hat sich für den Einsatz einer Pumpe im Turbinendreh-sinn entschieden, die nach dem Prinzip "alles oder nichts" arbeitet und wesentlich kostengünstiger ist als eine klassische Reaktionsturbine, beispielsweise eine Francisturbine mit Leitapparat. Dagegen machen die zahlreichen An- und Abschaltvorgänge (fast 40 mal täglich) besonders robuste und kostspielige Steuerungseinrichtungen erforderlich. Der Wirkungsgrad der Pumpenturbine ist im vorliegenden Fall mit dem einer klassischen Turbine vergleichbar.

Il résulte de ces choix un facteur de performance élevé ($k = 0,727$) et une charge financière sur le prix de revient du kilowattheure de 9,5 centimes, qui se situe à mi-chemin entre ceux des deux autres réalisations pilotes de Leysin et de Verbier.

Un premier bilan d'exploitation a été établi en janvier 1994, au terme de 907 heures de fonctionnement. Il s'est révélé très largement positif, abstraction faite de quelques problèmes apparus sur la vanne papillon de commande de la turbine. Ces incidents ne mettent toutefois pas en cause le concept même de l'installation. Cela dit, aucun dysfonctionnement n'a été décelé sur les autres équipements électromécaniques.

Mit der gewählten technischen Ausrüstung wird ein hoher Leistungsfaktor erzielt ($k = 0,727$). Die Energiegestehungskosten belaufen sich auf 9,5 Rappen pro Kilowattstunde und liegen somit zwischen den Kosten der beiden anderen Pilotanlagen Leysin und Verbier.

Eine erste Betriebsbilanz wurde im Januar 1994 nach 907 Betriebsstunden gezogen. Sie stellt sich weitestgehend positiv dar, abgesehen von einigen Problemen mit dem Drehschieber für die Turbinensteuerung, die jedoch nicht etwa das Gesamtkonzept der Anlage in Frage stellen würde. Darüber hinaus wurden keine Funktionsstörungen an den übrigen elektromechanischen Teilen der Anlage festgestellt.



Groupe turboalternateur de 210 kW installé dans la station de prétraitement et de pompage au niveau du lac Léman

Turbogenerator mit 210 kW Leistung in der Vorbehandlungs- und Pumpenanlage auf der Höhe des Genfer Sees

La minicentrale de Nyon en bref

Das Mini-Kraftwerk Nyon im Ueberblick

Caractéristiques générales

- mise en service: septembre 1993
- propriétaire exploitant: Service communal des travaux et de la voirie
- concepteur du projet: Bonnard & Gardel, Ingénieurs-conseils SA
- constructeur de la centrale: Sulzer Pompes
- preneur de l'électricité: Services industriels de Nyon
- accumulation: bassin amont de 900 m³
- conduite forcée: 3515 m en tuyau de béton avec âme en tôle d'acier, 600 mm de diamètre

Allgemeine Daten

- Inbetriebnahme: September 1993
- Eigentümer und Betreiber: Service communal des travaux et de la voirie
- Projektplanung: Bonnard & Gardel, Ingenieure-conseils SA
- Erbauer des Kraftwerks: Sulzer Pumpen
- Abnehmer des elektrischen Stroms: Services industriellen von Nyon
- Speicher: Oberbecken mit 900 m³
- Druckrohrleitung: 3515 m aus Betonrohr mit Kern aus Stahlblech, 600 mm Durchmesser.

Caractéristiques techniques

- dénivellation entre les niveaux de mise en charge et de restitution:
 $\Delta Z = 94,25 \text{ m}$
- volume d'eau traitée par la STEP:
 $V = 3'750'000 \text{ m}^3/\text{an}$
- production annuelle d'énergie électrique:
 $E = 700'000 \text{ kWh}$
- facteur global de performance:
 $k = 367 \cdot E / [V \cdot \Delta Z] = 0,727$
- groupe turbo-alternateur:
pompe inversée à double ouïe à axe horizontal, directement couplée à un alternateur asynchrone triphasé de 240 kVA
- puissance électrique max.: 210 kW
- électrovanne papillon à commande automatique assurant le démarrage et l'arrêt de la turbine à chaque écluse
- débit maximal turbiné:
 $Q_t = 0,293 \text{ m}^3/\text{s}$
- hauteur de chute nette: 89,8 m.

Technische Daten

- Höhenunterschied zwischen Einlauf und Auslauf:
 $\Delta Z = 94,25 \text{ m}$
- In der Kläranlage verarbeitete Wassermenge:
 $V = 3'750'000 \text{ m}^3/\text{Jahr}$
- Jährliche Stromerzeugung:
 $E = 700'000 \text{ kWh}$
- Gesamtleistungsfaktor:
 $k = 367 \cdot E / [V \cdot \Delta Z] = 0,727$
- Maschinensatz:
doppelflutige Pumpe im Turbinendreh Sinn mit horizontaler Welle, direkt gekoppelt an einen dreiphasigen Asynchrongenerator mit 240 kVA
- Maximale elektrische Leistung:
210 kW
- automatisch gesteuerter Magnetschieber zum Start und Anhalten der Turbine bei jeder Speicherfüllung
- Maximaler Turbinendurchsatz:
 $Q_t = 0,293 \text{ m}^3/\text{s}$
- Nettofallhöhe: 89,8 m.

Caractéristiques financières

- Coût de l'installation (sans la conduite forcée qui était dans tous les cas nécessaire pour évacuer les eaux épurées): 785'000 francs
- charge financière sur le prix de revient de l'énergie:
9,5 centimes par kilowattheure.

Finanzielle Daten

- Kosten der Anlage (ohne Druckrohrleitung, die in jedem Fall zur Ableitung des Klärwassers erforderlich gewesen wäre): Fr 785'000.
- Finanzierungskosten:
9,5 Rp/kWh

131 sites potentiels

131 potentielle Standorte

Grâce à sa topographie variée, la Suisse se prête particulièrement bien à l'exploitation énergétique des eaux usées. Un premier inventaire global, présenté de manière synoptique ci-après, recense pas moins de 131 sites équipés ou potentiels dans 19 cantons, susceptibles de produire chaque année, ensemble, plus de 50 millions de kilowattheures d'électricité. Cet inventaire contient notamment le type d'eau turbinée, la longueur de la conduite forcée, le nom des communes contribuant à l'alimentation en eau, ainsi que le coefficient de performance et la quantité d'énergie potentielle de l'installation.

Dank ihrer topografischen Gegebenheiten eignet sich die Schweiz besonders gut zur energetischen Abwassernutzung. Eine erste Gesamterhebung (s. nachstehende Uebersicht) ergab nicht weniger als 131 bereits eingerichtete oder potentielle Standorte in 19 Kantonen, in denen jährlich insgesamt über 50 Millionen Kilowattstunden Elektrizität erzeugt werden könnten. Dieses Inventar führt die Art des turbinierten Wassers, die Länge der Druckleitung, den Namen der Gemeinden, die an der Wasserzufuhr beteiligt sind, sowie den Leistungskoeffizienten und das Energieerzeugungspotential der Anlage auf.

NP PLZ	Commune de contact Kontakt Gemeinde	Type d'eau de l'exutoire* Wassertyp*	Longueur de conduite (m) Leitungslänge (m)	Dénivellation (m) Höhenifferenz (m)	Volume d'eau (m³/an) Wassermenge (m³/J)	Energie potentielle (kWh/an) Energiepotential (kWh/J)	Prix de revient (ct./kWh) Energiegestehungskosten (Rp./kWh)	N° d'identification Identifikations Nr.
Appenzell I. Rh.								
9413	OBEREGG	EC	3'500	360	449'000	257'000	22	1
TOTAL						257'000		
Appenzell A. Rh.								
9042	SPEICHER	EC	1'360	210	515'000	175'000	22	1
9038	REHETOBEL	EC	1'900	250	256'000	103'000	28	2
9053	TEUFEN	EC	780	97	602'000	94'000	31	3
9100	HERISAU	EC	1'880	58	5'146'000	405'000	41	4
9410	HEIDEN	EU	3'720	360	880'000	476'000	26	5
9428	WALZENHAUSEN	EU	1'380	230	379'000	135'000	42	6
9427	WOLFHALDEN	EU	1'590	210	388'000	125'000	46	7
Total						1'513'000		
Bern								
3803	BEATENBERG	EC	1'080	510	364'000	309'000	12	1
3718	KANDERSTEG	EC	3'540	260	530'000	213'000	29	2
2516	LAMBOING	EC	2'880	320	213'000	109'000	29	3
3715	ADELBODEN	EC	6'200	247	1'867'000	661'000	32	4
2537	VAUFFELIN	EC	1'900	70	7'159'000	707'000	33	5
3818	GRINDELWALD	EC	3'400	115	1'955'000	312'000	42	6
3770	ZWEISIMMEN	EC	2'530	53	2'650'000	169'000	66	7
3822	LAUTERBRUNNEN	Ept	1'140	430	1'642'000	1'112'000	13	8
3822	LAUTERBRUNNEN	EU	1'210	740	483'000	567'000	14	9
3855	BRIENZ	EU	1'210	562	432'000	384'000	18	10
6085	HASLIBERG GOLDERNEU	EU	1'440	360	708'000	399'000	21	11
3625	HEILIGENSCHWENDI	EU	1'930	240	384'000	140'000	44	12
6085	HASLIBERG GOLDERNEU	EU	1'580	400	135'000	84'000	45	13
3655	SIGRISWIL	EU	990	210	307'000	100'000	47	14
3132	RIGGISBERG	EU	2'940	205	581'000	174'000	49	15
TOTAL						5'440'000		

NP PLZ	Commune de contact Kontakt Gemeinde	Type d'eau de l'exutoire* Wassertyp*	Longueur de conduite (m) Leitungslänge (m)	Dénivellation (m) Höhendifferenz (m)	Volume d'eau (m³/an) Wassermenge (m³/J)	Energie potentielle (kWh/an) Energiepotential (kWh/J)	Prix de revient (ct./kWh) Energiegestehungskosten (Rp./kWh)	N° d'identification Identifikations Nr.
Fribourg								
1637	CHARMEY	Ept	330	70	2'500'000	272'000	36	1
1618	CHÂTEL-ST-DENIS	Ept	9'860	445	543'000	336'000	43	2
1723	MARLY	Ept	670	51	3'626'000	273'000	47	3
TOTAL						881'000		
Glarus								
8784	BRAUNWALD	EU	1'590	596	360'000	339'000	19	1
TOTAL						339'000		
Graubünden								
7134	OBERSAXEN	EC	1'160	428	284'000	202'000	14	1
7144	VELLA	EC	1'700	424	256'000	179'000	17	2
7142	CUMBEL	EC	990	345	244'000	139'000	17	3
7017	FLIMS DORF	EC	2'390	197	1'628'000	502'000	21	4
7180	DISENTIS	EC	880	80	743'000	94'000	35	5
7132	VALS	EC	4'630	202	512'000	150'000	44	6
7450	TIEFENCASTEL	Ept	2'450	447	191'000	132'000	36	7
7550	SCUOL	Ept	3'040	236	582'000	204'000	42	8
7212	SEEWIS I.P.	Ept	1'500	260	265'000	106'000	46	9
7165	BREIL/BRIGELS	EU	1'000	450	317'000	225'000	25	10
7154	RUSCHEIN	EU	1'630	520	258'000	210'000	25	11
7153	FALERA	EU	1'960	460	306'000	219'000	27	12
7031	LAAX	EU	960	180	717'000	201'000	35	13
7247	SAAS I.P.	EU	610	120	456'000	84'000	60	14
TOTAL						2'647'000		
Jura								
2726	SAIGNELÉGIER	EC	2'810	383	431'000	266'000	19	1
2915	BURE	EC	3'520	140	548'000	110'000	52	2
TOTAL						376'000		

* Legende voir page 39 / siehe Seite 39

NP PLZ	Commune de contact Kontakt Gemeinde	Type d'eau de l'exutoire* Wassertyp*	Longueur de conduite (m) Leitungslänge (m)	Dénivellation (m) Höhendifferenz (m)	Volume d'eau (m³/an) Wassermenge (m³/J)	Energie potentielle (kWh/an) Energiepotential (kWh/J)	Prix de revient (ct./kWh) Energiegestehungskosten (Rp./kWh)	N° d'identification Identifikations Nr.
Luzern								
6173	FLÜHLI	EC	4'240	150	1'047'000	220'000	45	1
6353	WEGGIS	Ept	2'640	941	453'000	672'000	13	2
6280	HOCHDORF	Ept	3'510	240	280'000	98'000	62	3
TOTAL						990'000		
Neuchâtel								
2400	LE LOCLE	EC	2'600	138	5'800'000	1'197'000	23	1
2042	VALANGIN	EC	2'800	135	2'831'000	564'000	29	2
TOTAL						1'761'000		
Nidwalden								
6362	STANSSTAD	EC	3'940	315	197'000	97'000	36	1
6376	EMMETTEN	EU	600	245	244'000	94'000	45	2
TOTAL						191'000		
Obwalden								
6390	ENGELBERG	EC	3'660	330	2'664'000	1'385'000	16	1
6078	LUNGERN	EU	1'290	200	468'000	144'000	42	2
6060	SARNEN	EU	2'480	290	212'000	93'000	53	3
TOTAL						1'622'000		
St. Gallen								
9303	WITTENBACH	EC	180	83	8'760'000	1'188'000	12	1
8733	ESCHENBACH	EC	60	42	1'120'000	110'000	26	2
9533	KIRCHBERG	Ept	760	43	2'111'000	130'000	73	3
8890	FLUMS	EU	2'000	470	493'000	362'000	21	4
7312	PFÄFERS	EU	790	240	948'000	357'000	23	5
8873	AMDEN	EU	2'480	270	1'011'000	414'000	28	6
9113	DEGERSHEIM	EU	1'510	122	988'000	179'000	49	7
9621	OBERHELFENSCHWIL	EU	2'310	200	291'000	87'000	63	8
8737	GOMMISWALD	EU	2'570	120	516'000	86'000	84	9
TOTAL						2'913'000		

* Legende voir page 39 / siehe Seite 39

NP PLZ	Commune de contact Kontakt Gemeinde	Type d'eau de l'exutoire* Wassertyp*	Longueur de conduite (m) Leitungslänge (m)	Dénivellation (m) Höhendifferenz (m)	Volume d'eau (m³/an) Wassermenge (m³/J)	Energie potentielle (kWh/an) Energiepotential (kWh/J)	Prix de revient (ct./kWh) Energiegestehungskosten (Rp./kWh)	N° d'identification Identifikations Nr.
Schwyz								
6436	MUOTATHAL	Ept	3'240	698	516'000	561'000	17	1
8835	FEUSISBERG	EU	2'150	230	397'000	138'000	46	2
8835	FEUSISBERG	EU	2'940	230	397'000	135'000	52	3
TOTAL						834'000		
Ticino								
6953	LUGAGGIA	EU	1'600	140	730'000	152'000	50	1
TOTAL						152'000		
Uri								
6490	ANDERMATT	EC	2'920	331	883'000	467'000	18	1
6377	SEELISBERG	Ept	1'210	300	270'000	127'000	38	2
TOTAL						594'000		
Vaud								
1854	LEYSIN	EC	1'270	510	1'900'000	1'700'000	8	1
1854	LEYSIN	EC	180	95	1'900'000	350'000	16	2
1450	STE-CROIX	EC	2'390	287	931'000	428'000	18	3
1260	NYON	EC	3'515	94	3'750'000	700'000	40	4
1882	GRYON	Ept	850	300	416'000	197'000	29	5
1867	OLLON	EU	4'200	640	1'747'000	1'721'000	13	6
1820	MONTREUX	EU	700	220	1'200'000	415'000	22	7
1264	ST-CERGUE	EU	5'400	500	706'000	529'000	25	8
1820	MONTREUX	EU	1'000	350	400'000	221'000	27	9
1000	LAUSANNE	EU	2'193	101	11'614'000	1'633'000	28	10
1820	MONTREUX	EU	2'240	340	450'000	236'000	31	11
1820	MONTREUX	EU	780	160	750'000	187'000	37	12
1000	LAUSANNE	EU	1'900	84	6'460'000	751'000	37	13
1820	MONTREUX	EU	1'570	115	1'400'000	237'000	44	14
1000	LAUSANNE	EU	2'263	75	5'519'000	543'000	48	15
1000	LAUSANNE	EU	612	57	1'708'000	146'000	59	16
1261	LE VAUD	EU	2'080	180	350'000	94'000	62	17
1304	COSSONAY	EU	1'430	130	463'000	90'000	66	18
TOTAL						10'178'000		

* Legende voir page 39 / siehe Seite 39

NP PLZ	Commune de contact Kontakt Gemeinde	Type d'eau de l'exutoire* Wassertyp*	Longueur de conduite (m) Leitungslänge (m)	Dénivellation (m) Höhendifferenz (m)	Volume d'eau (m³/an) Wassermenge (m³/J)	Energie potentielle (kWh/an) Energiepotential (kWh/J)	Prix de revient (ct./kWh) Energiegestehungskosten (Rp./kWh)	N° d'identification Identifikations Nr.
Valais								
1934	LE CHÂBLE / BAGNES	EC	2'290	447	1'330'000	1'130'000	11	1
3954	LEUKERBAD	EC	6'200	686	1'852'000	2'025'000	12	2
1914	ISÉRABLES	EC	1'990	450	246'000	182'000	17	3
1872	TROISTORRENTS	EC	1'270	138	2'710'000	596'000	18	4
3941	GUTTET	EC	1'710	714	73'000	87'000	18	5
1669	ST-MARTIN	EC	920	473	111'000	87'000	20	6
1964	CONTHEY	EC	1'360	230	334'000	125'000	23	7
3920	ZERMATT	EC	3'640	155	3'822'000	859'000	28	8
1874	CHAMPERY	EC	990	110	653'000	115'000	30	9
3928	RANDA	EC	1'310	83	730'000	92'000	41	10
3960	SIERRE	Ept	4'000	876	3'556'000	4'855'000	8	11
1997	NENDAZ	Ept	1'150	435	1'530'000	1'048'000	13	12
3925	GRÄCHEN	Ept	1'280	520	885'000	726'000	14	13
3960	SIERRE	Ept	1'500	316	593'000	292'000	26	14
1912	LEYTRON	Ept	2'200	350	312'000	168'000	35	15
3900	BRIG	Ept	1'400	500	132'000	104'000	37	16
1978	LENS	EU	2'290	580	931'000	845'000	14	17
3983	MÖREL	EU	1'600	712	459'000	517'000	15	18
1937	ORSIÈRE	EU	1'660	460	633'000	456'000	18	19
3991	BETTEN	EU	2'770	1'020	168'000	270'000	19	20
3966	CHALAIS	EU	1'400	365	834'000	477'000	19	21
3975	RANDOGNE	EU	2'400	480	593'000	442'000	20	22
1908	RIDDES	EU	1'250	580	329'000	302'000	21	23
1922	SALVAN	EU	2'300	450	542'000	379'000	22	24
1872	TROISTORRENTS	EU	3'700	520	573'000	456'000	22	25
1965	SAVIÈSE	EU	1'650	255	1'200'000	471'000	24	26
3906	SAAS FEE	EU	320	200	924'000	294'000	26	27
1974	ARBAZ	EU	2'540	340	665'000	346'000	27	28
3932	VISPERTERMINEN	EU	3'130	460	345'000	244'000	29	29
1934	LE CHÂBLE / BAGNES	EU	570	300	387'000	183'000	30	30
3935	BÜRCHEN	EU	2'730	580	158'000	143'000	33	31

NP PLZ	Commune de contact Kontakt Gemeinde	Type d'eau de l'exutoire* Wassertyp*	Longueur de conduite (m) Leitungslänge (m)	Dénivellation (m) Höhendifferenz (m)	Volume d'eau (m³/an) Wassermenge (m³/J)	Energie potentielle (kWh/an) Energiepotential (kWh/J)	Prix de revient (ct./kWh) Energiegestehungskosten (Rp./kWh)	N° d'identification Identifikations Nr.
3941	ALBINEN	EU	3'510	570	183'000	162'000	33	32
3934	ZENEGGEN	EU	1'500	480	165'000	126'000	33	33
3943	EISCHOLL	EU	1'420	560	127'000	112'000	34	34
1961	NAX	EU	1'480	370	248'000	144'000	34	35
3961	CHANDOLIN	EU	2'530	980	57'000	87'000	34	36
3961	ST-LUC	EU	1'080	370	186'000	108'000	38	37
3941	BRATSCH	EU	1'340	480	125'000	95'000	38	38
1938	EVOLENE	EU	710	200	444'000	138'000	39	39
3961	GRIMENTZ	EU	990	256	279'000	111'000	42	40
1913	SEMBRANCHER	EU	7'550	173	3'867'000	792'000	52	41
					TOTAL	20'191'000		
Zug								
6313	MENZINGEN	EU	1'690	128	951'000	179'000	49	1
					TOTAL	179'000		
Zürich								
8344	BÄRETSWIL	EC	2'080	100	824'000	121'000	44	1
8636	WALD	EC	2'720	53	2'219'000	137'000	74	2
					TOTAL	258'000		
SUISSE / SCHWEIZ					TOTAL	51'316'000		

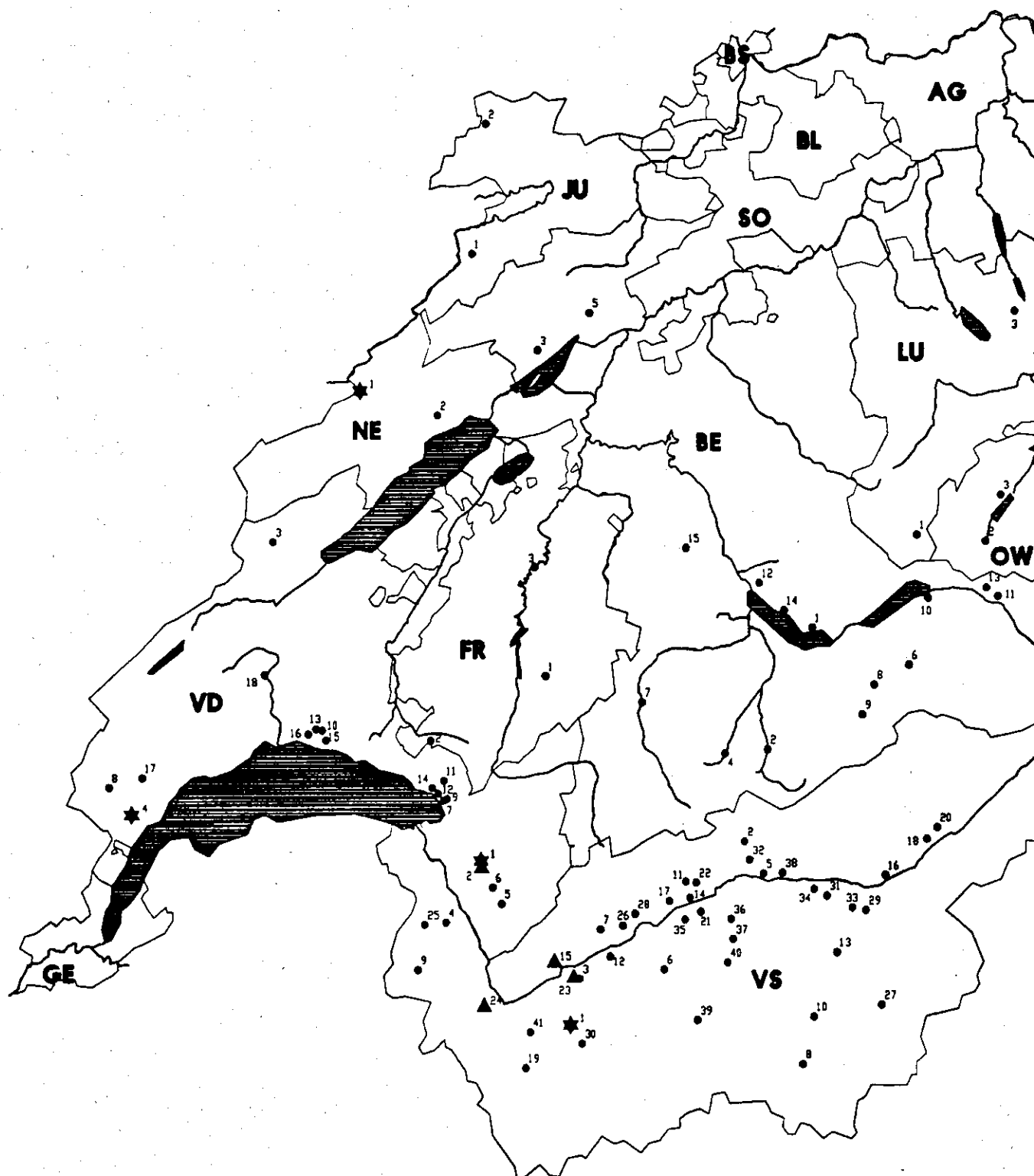
Legende: * Type d'eau de l'exutoire

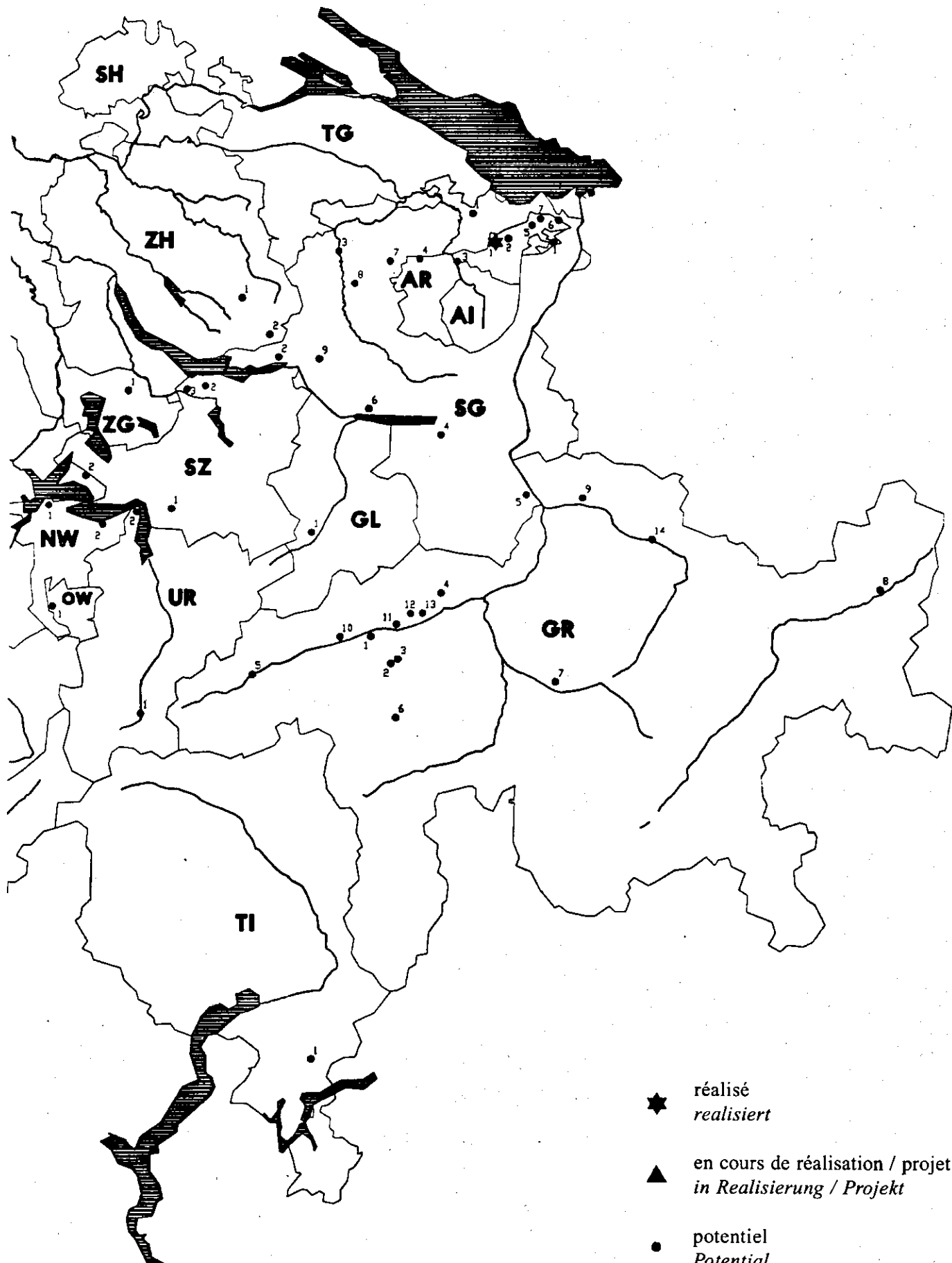
* Wassertyp

EC Eaux claires
sauberes Wasser

EU Eaux usées
Abwässer

Ept Eaux prétraitées après dégrillage / tamisage
mechanisch vorgeklärte Abwässer





6 sites représentatifs

6 repräsentative Standorte

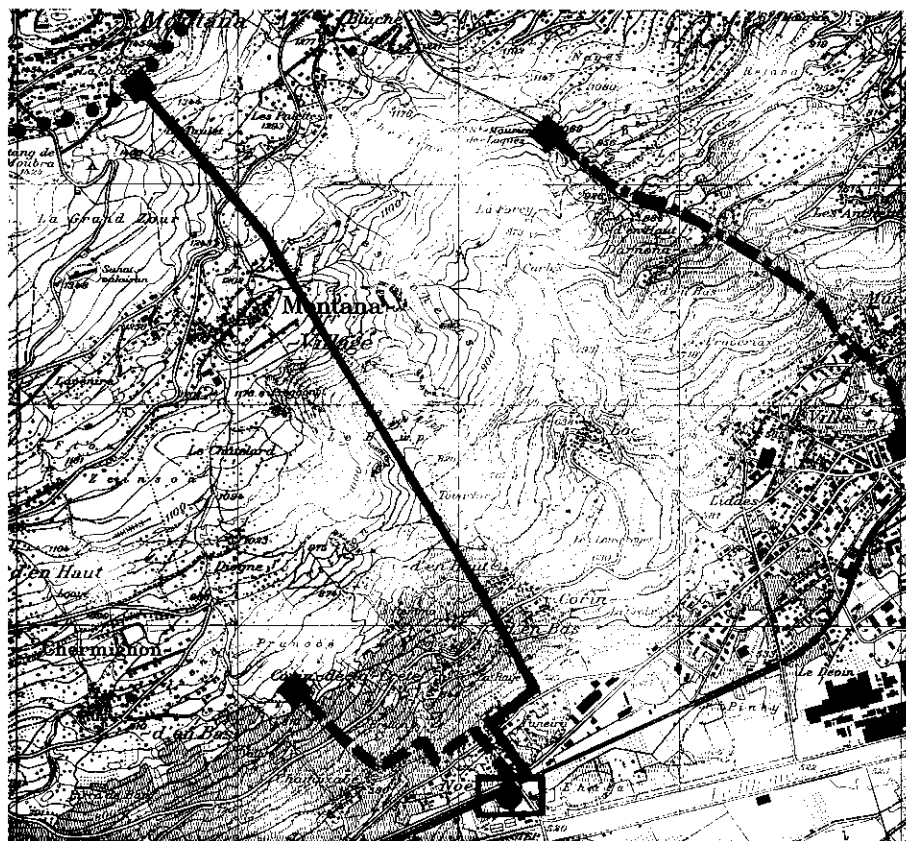
Quelles sont les conditions topographiques et énergétiques les plus favorables pour la valorisation des eaux usées? Six sites ont été sélectionnés dans le cadre de la présente brochure. Ils sont particulièrement représentatifs des différentes conditions que l'on retrouve souvent d'une commune à l'autre. Ces présentations sont agrémentées d'une carte de la région concernée où figure notamment la position des principaux éléments de la centrale potentielle.

Welches sind die günstigsten topografischen und energetischen Voraussetzungen für die Abwassernutzung? In dieser Broschüre wird auf sechs ausgewählte Standorte näher eingegangen; sie sind ganz besonders typisch für die unterschiedlichen Bedingungen in den einzelnen Gemeinden. Ergänzt werden die Beschreibungen durch eine Karte der betreffenden Region mit Standortangaben der wichtigsten Teile der möglichen Anlage.

Montana (VS)

Evaluation du potentiel /
Etude de détail

Potentialschätzung /
Detailstudie



Bassin de mise en charge et de prétraitement
Sammelbecken zur Vorbehandlung



Petite centrale hydraulique (PCH)
Kleinwasserkraftwerk (KWK)



Station d'épuration (STEP)
Kläranlage (ARA)



Conduite forcée de la variante 1
Druckleitung Variante 1



variante 2
Variante 2



variante 3
Variante 3



Collecteur d'acheminement
Sammelleitung

Tableau récapitulatif *Uebersichtstabelle*

Variante <i>Variante</i>	Chute Δz (m) <i>Fallhöhe</i> Δz (m)	Longueur L (m) <i>Länge</i> L (m)	Volume V (m ³ /an) <i>Volumen</i> V (m ³ /Jahr)	Energie E (kWh/an) <i>Energie</i> E (kWh/Jahr)	Participation (Fr.) <i>Beteiligung</i> (Fr.)	Surcoûts (Fr.) <i>Nebenkosten</i> (Fr.)	Coût total (Fr.) <i>Gesamtkosten</i> (Fr.)	Prix de revient r (ct./kWh) <i>Gestehungskosten</i> r (Rp/kWh)
1	876	4'000	3'556'000	4'855'000	120'000	420'000	4'071'000	8
2	316	1'500	593'000	292'000	23'000	-	738'000	25
3	480	2'400	593'000	442'000	-	-	887'000	20

Situation générale**Gesamtsituation**

L'étude a porté sur les possibilités offertes par les coteaux touristiques au-dessus de la commune de Sierre. La structure du réseau d'assainissement des trois communes concernées ne permet pas la concentration des eaux sans perte d'un important potentiel de dénivellation, raison pour laquelle le projet prévoit la construction de collecteurs de concentration à écoulement libre.

Communes concernées: Montana, Randogne, Chermignon.

Untersucht wurden die Fremdenverkehrs-orte oberhalb der Gemeinde Sierre. Die Struktur des Kanalisationssystems der drei betroffenen Gemeinden erlaubt es nicht, die Abwässer ohne einen beträchtlichen Verlust an Gefällepotential zusammenzuführen. Daher sieht das Projekt den Bau von drucklosen Sammelleitungen zur Zusammenführung des Abwassers vor.

Betroffene Gemeinden: Montana, Randogne, Chermignon.

Faisabilité**Machbarkeit**

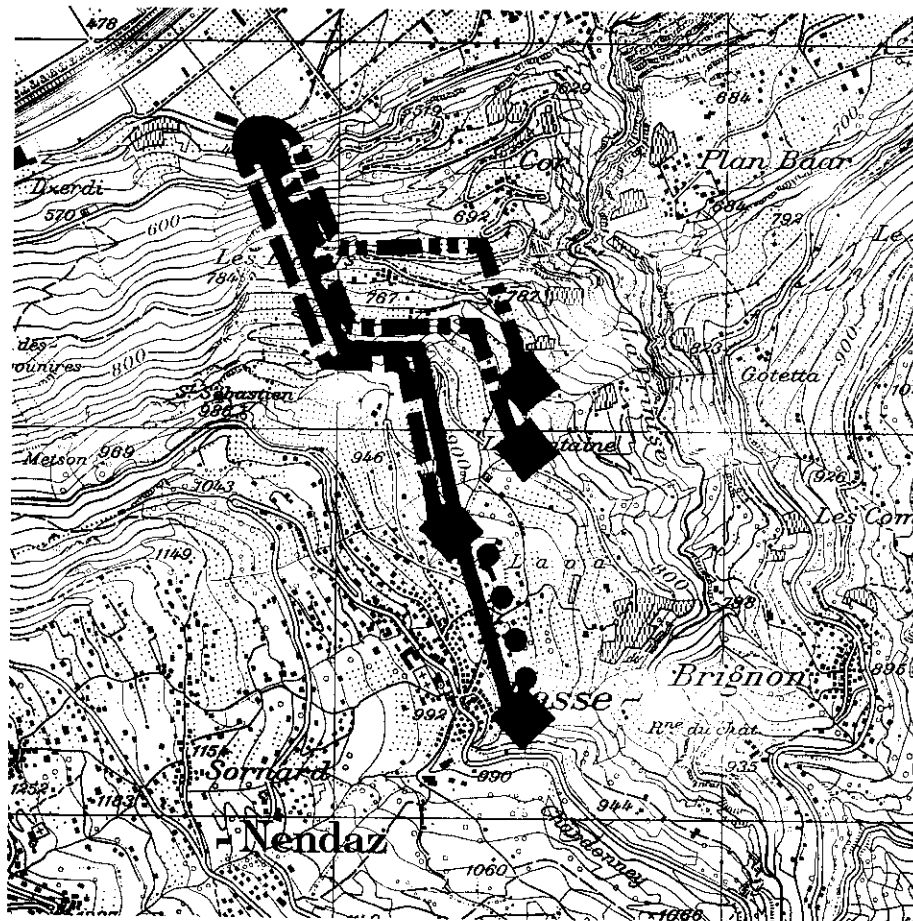
Le volume annuel des eaux usées des trois communes concernées s'élève à 4,74 millions de mètres cubes, dont les trois quarts proviennent des zones fortement touristiques et seraient collectés par la conduite forcée de la variante 1. Celle-ci prévoit la concentration des eaux de Crans-Montana en un point d'altitude maximal au moyen de deux collecteurs à écoulement libre. La variante 2 prévoit la collecte du solde des eaux de Montana et de Chermignon sur le point de jonction existant. La variante 3 inclut la concentration du solde des eaux de Randogne et leur acheminement sur Sierre parallèlement aux voies du funiculaire. Les variantes 1 et 2 prévoient un turbinage des eaux sur le site de la station d'épuration, ce qui permet de réduire leur coût. La variante 1 présente d'excellentes perspectives énergétiques et financières, contrairement aux deux autres, dont le prix de revient atteint le seuil des 20 centimes par kilowattheure, au-delà duquel la rentabilité est incertaine.

Die jährliche Abwassermenge der drei Gemeinden beträgt 4,74 Millionen Kubikmeter, wovon drei Viertel, die aus den stark von Touristen frequentierten Gebieten stammen, in der Druckrohrleitung der Variante 1 gesammelt werden würden. Diese Variante sieht die Zusammenführung der Abwässer aus Crans-Montana über zwei drucklose Sammelleitungen an einer möglichst hoch gelegenen Stelle vor. Variante 2 sieht die Zusammenführung des restlichen Wassers aus Montana und Chermignon an der vorhandenen Verbindungsstelle vor. Variante 3 beinhaltet die Zusammenführung des restlichen Wassers aus Randogne und dessen Weiterleitung nach Sierre längs der Seilbahn. In den Varianten 1 und 2 erfolgt die Elektrizitätsproduktion direkt bei der ARA; die Kosten sind deshalb entsprechend niedriger. Die erste Variante bietet ausgezeichnete energiewirtschaftliche und finanzielle Perspektiven im Gegensatz zu den beiden anderen, bei denen die Energiegestehungskosten die Schwelle von 20 Rappen je Kilowattstunde erreichen, ab der die Rentabilität nicht mehr gewährleistet ist.

Nendaz (VS)

Evaluation du potentiel /
Etude de détail

Potentialschätzung /
Detailstudie



Bassin de mise en charge et de prétraitement
Sammelbecken zur Vorbehandlung



Petite centrale hydraulique (PCH)
Kleinwasserkraftwerk (KWK)



Conduite forcée de la variante 1
Druckleitung Variante 1



variante 2
Variante 2



variante 3
Variante 3



variante 4
Variante 4



Collecteur d'acheminement
Sammelleitung

Tableau récapitulatif Uebersichtstabelle

Variante Variante	Chute Δz (m) Fallhöhe Δz (m)	Longueur L (m) Länge L (m)	VOLUME V (m ³ /an) Volumen V (m ³ /Jahr)	Energie E (kWh/an) Energie E (kWh/Jahr)	Participation (Fr.) Beteiligung (Fr.)	Surcoûts (Fr.) Nebenkosten (Fr.)	Coût total (Fr.) Gesamtkosten (Fr.)	Prix de revient r (ct./kWh) Gestehungskosten r (Rp/kWh)
1	445	1'600	1'350'000	941'000	47'000	-	1'234'000	13
2	435	1'150	1'530'000	1'048'000	52'000	135'000	1'394'000	13
3	375	1'150	1'530'000	902'000	49'000	-	1'201'000	14
4	295	1'050	2'060'000	952'000	58'000	-	1'371'000	14

Situation générale**Gesamtsituation**

Station touristique à flanc de coteau au-dessus de Sion, Nendaz produit l'essentiel des eaux usées traitées à la station d'épuration de Bieudron, qui accueille également les eaux d'Ardon et de Veysonnaz. Elle abrite une usine électrique conventionnelle dans laquelle on pourrait aménager une installation de turbinage des eaux pré-traitées avant leur évacuation vers la STEP.

Commune concernée: Nendaz.

Vom Fremdenverkehrsort Nendaz am Hang oberhalb von Sitten stammt der Hauptanteil der Abwässer im Klärwerk Bieudron, in dem auch das Abwasser aus Ardon und Veysonnaz gereinigt wird. Hier ist auch ein herkömmliches Elektrizitätswerk vorhanden, in dem eine Anlage zur Nutzung der aufbereiteten Abwässer für die Elektrizitätsproduktion vor deren Einleitung in die ARA eingerichtet werden könnte.

Betroffene Gemeinde: Nendaz.

Faisabilité**Machbarkeit**

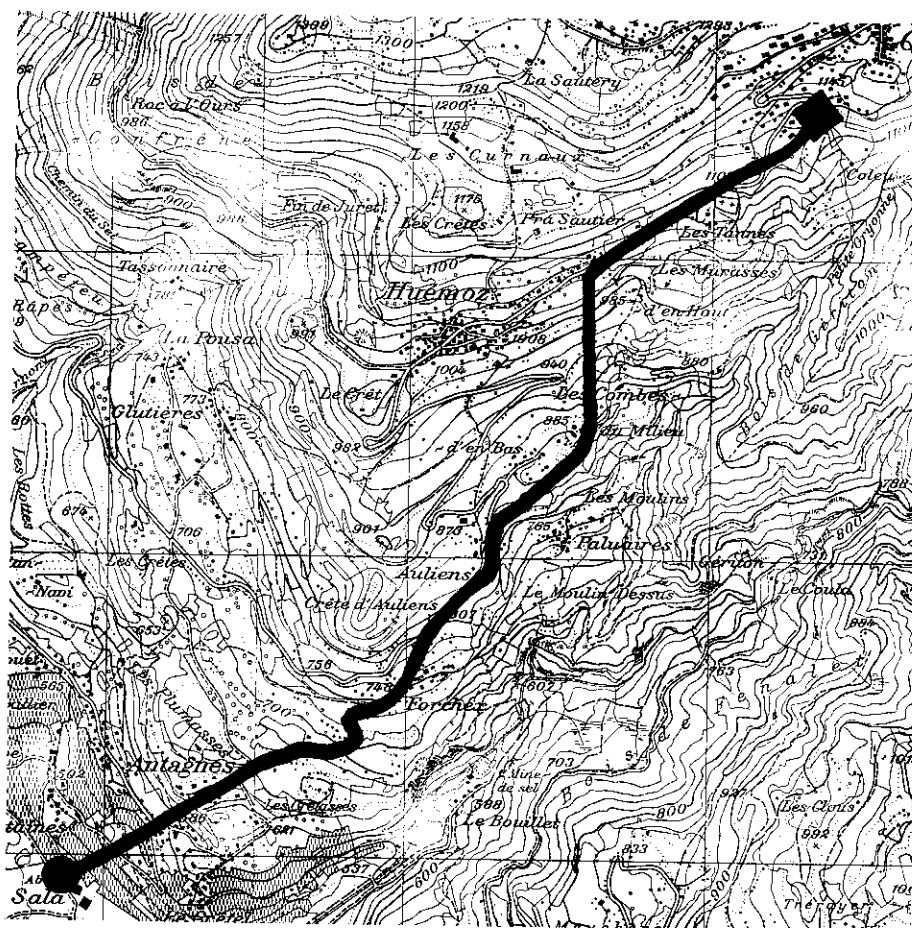
Les variantes jouent avec le positionnement de la conduite forcée afin de définir la combinaison dénivellation-volume la plus favorable. Le point de départ le plus élevé apparaît dans la première variante, avec la prise en compte de 75 % des eaux de Nendaz. Les deuxième et troisième variantes prévoient des itinéraires permettant de valoriser 85% du volume d'eau disponible, quoique avec des dénivellations différentes. Une quatrième variante table sur l'exploitation de 95 % des eaux de Nendaz et de tout le volume de Veysonnaz. Résultat: quatre solutions qui, toutes, présentent une rentabilité très favorable, avec un léger avantage pour la variante 2.

Es wurden mehrere Varianten mit unterschiedlicher Lage der Druckrohrleitung berechnet, um das günstigste Verhältnis zwischen Gefälle und Volumen zu bestimmen. Der höchste Ausgangspunkt ist bei Variante 1 gegeben, bei der 75 % des Abwassers von Nendaz zur Energieerzeugung erfasst werden sollen. Die zweite und dritte Variante sehen Strecken vor, bei denen 85 % der anfallenden Wassermenge genutzt werden, allerdings mit unterschiedlichem Gefälle. Eine vierte Variante sieht die Nutzung von 95 % des Abwassers aus Nendaz und der gesamten Wassermenge aus Veysonnaz vor. Resultat: vier Lösungen, die sich alle durch eine sehr gute Wirtschaftlichkeit auszeichnen, wobei Variante 2 etwas vorteilhafter ist als die anderen.

Ollon (VD)

Evaluation du potentiel /
Etude de détail

Potentialschätzung /
Detailstudie



Bassin de mise en charge et de prétraitement
Sammelbecken zur Vorbehandlung



Petite centrale hydraulique (PCH)
Kleinwasserkraftwerk (KWK)



Conduite forcée des variantes 1, 2 et 3
Druckleitung der Varianten 1,2 und 3

Tableau récapitulatif Uebersichtstabelle

Variante Variante	Chute Δz (m) Fallhöhe Δz (m)	Longueur L (m) Länge L (m)	VOLUME V (m ³ /an) Volumen V (m ³ /Jahr)	Energie E (kWh/an) Energie E (kWh/Jahr)	Participation (Fr.) Beteiligung (Fr.)	Surcoûts (Fr.) Nebenkosten (Fr.)	Coût total (Fr.) Gesamtkosten (Fr.)	Prix de revient r (ct./kWh) Gestehungskosten r (Rp/kWh)
1	640	4'200	1'747'000	1'721'000	-	-	2'265'000	13
2	640	4'200	951'000	937'000	-	-	1'495'000	16
3	640	4'200	619'000	610'000	-	-	1'135'000	18

Situation générale**Gesamtsituation**

C'est un exemple de station touristique, quoique avec un potentiel démographique élevé, dont les eaux usées sont déjà acheminées vers une station d'épuration en plaine. La construction d'une conduite forcée rendrait les ouvrages d'évacuation existants inutiles, ou pour le moins largement surdimensionnés. Le volume potentiel pris en considération dans la présente étude, avec 1,747 million de mètres cubes par an, est proche de celui obtenu à travers les données démographiques de l'inventaire fédéral de 1990 (1,85 million de mètres cubes par an).

Commune concernée: Villars sur Ollon.

Wir haben hier ein Beispiel für einen Fremdenverkehrsort, allerdings mit einem hohen demographischen Potential, bei dem das Abwasser bereits einer Kläranlage im Tal zugeführt wird. Durch den Bau einer Druckrohrleitung würden die bestehenden Ableitungsanlagen überflüssig werden oder wären zumindest beträchtlich überdimensioniert. Die bei dieser Studie in Betracht gezogene potentielle Menge von 1,747 Millionen Kubikmetern jährlich entspricht in etwa der Menge, die anhand der Bevölkerungszahlen der Eidg. Volkszählung 1990 ermittelt wurde (1,850 Mio m³ jährlich). Damit wird auch die Methode zur Abschätzung der verfügbaren Wassermengen bekräftigt, wie sie im Rahmen der DIANE-Studie angewendet wurde.

Betroffene Gemeinde: Villars sur Ollon.

Faisabilité**Machbarkeit**

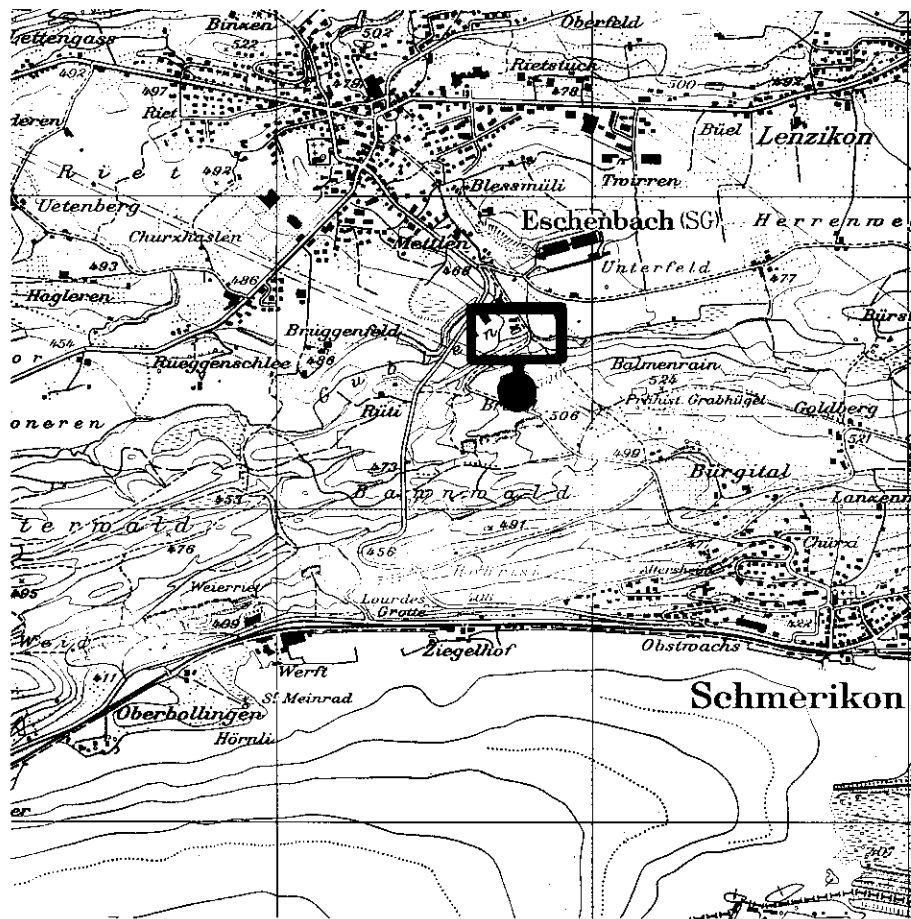
Les trois variantes retenues incluent la construction d'une conduite forcée entre le point de concentration existant à Villars et Antagne. La première prévoit l'exploitation de tout le débit potentiel, la deuxième et la troisième tablent sur des volumes turbinables nettement moindres. Or, dans les trois cas, le prix de revient du kilowattheure reste inférieur au seuil de 20 centimes par kilowattheure. Le potentiel de ce site s'avère en définitive très intéressant.

Die drei in Betracht gezogenen Varianten umfassen den Bau einer Druckrohrleitung zwischen dem vorhandenen Sammelpunkt in Villars und Antagne. Die erste Variante sieht die Nutzung der insgesamt anfallenden Durchflussmenge vor, während die zweite und dritte Variante mit beträchtlich geringeren Turbinendurchsätzen rechnen. Bei allen drei Fällen liegen die Energiegestehungskosten jedoch unter der Schwelle von 20 Rappen je Kilowattstunde. Dieser Standort weist demnach ein sehr interessantes Potential auf.

Eschenbach (SG)

Evaluation du potentiel /
Etude de détail

Potentialschätzung /
Detailstudie



Station d'épuration (STEP)
Kläranlage (ARA)



Petite centrale hydraulique (PCH)
Kleinwasserkraftwerk (KWK)



Conduite forcée des variantes 1 et 2
Druckleitung der Varianten 1 und 2

Tableau récapitulatif Uebersichtstabelle

Variante Variante	Chute Δz (m) Fallhöhe Δz (m)	Longueur L (m) Länge L (m)	Volume V (m ³ /an) Volumen V (m ³ /Jahr)	Energie E (kWh/an) Energie E (kWh/Jahr)	Participation (Fr.) Beteiligung (Fr.)	Surcoûts (Fr.) Nebenkosten (Fr.)	Coût total (Fr.) Gesamtkosten (Fr.)	Prix de revient r (ct./kWh) Gestehungskosten r (Rp/kWh)
1	42	100	1'120'000	78'000	34'000	-	182'000	26
2	42	100	1'120'000	110'000	-	-	-	-

Situation générale**Gesamtsituation**

Les eaux épurées de cette commune saint-galloise sont actuellement évacuées par une cheminée de chute, d'une hauteur nette de 42 mètres, vers une galerie faiblement pentue qui aboutit dans le lac de Zurich. Une installation de turbinage à la sortie de la cheminée produisant 110 000 kilowattheures par an avait été envisagée. Mais le projet fut abandonné à cause d'une rentabilité insuffisante. Les données alors recueillies ont servi de base à l'étude DIANE.

Communes concernées: Eschenbach, Gebertingen, St. Gallenkappel.

Das geklärte Abwasser der St. Galler Gemeinde Eschenbach wird derzeit über einen Fallschacht mit einer Nettohöhe von 42 Metern in einen leicht abfallenden Stollen abgeleitet, der in den Zürichsee mündet. Es war eine Wasserkraftanlage am unteren Schachtende mit einer Kapazität von 110 000 Kilowattstunden jährlich ins Auge gefasst worden. Das Projekt wurde jedoch wegen mangelnder Wirtschaftlichkeit fallengelassen. Die zusammengetragenen Daten dienten als Grundlage für die Studie DIANE.

Betroffene Gemeinden: Eschenbach, Gebertingen, St. Gallenkappel.

Faisabilité**Machbarkeit**

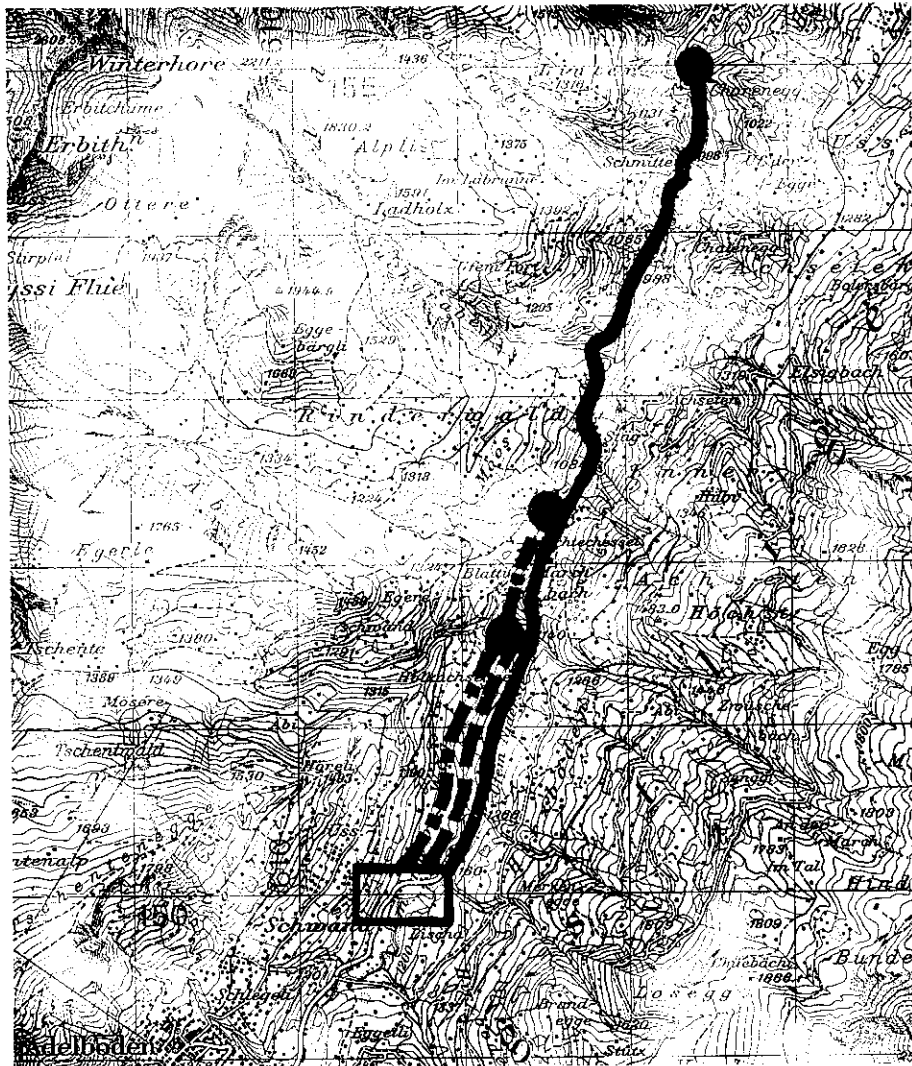
Partant d'un volume annuel moyen de 1,12 million de mètres cubes d'eau turbinée, on constate, selon la variante 1, que l'énergie potentielle, déterminée selon les critères de performance de l'étude, est ramenée à 78 000 kilowattheures par an, ce qui repousse le prix de revient du kilowattheure de cette variante au-delà du seuil de rentabilité de 20 centimes.

Wenn man von einem mittleren Jahresvolumen von 1,12 Millionen Kubikmetern Wasser zur Turbinenspeisung ausgeht, stellt man bei Variante 1 fest, dass sich die potentielle Energie, die nach den Leistungskriterien der Studie berechnet wurde, auf 78.000 Kilowattstunden jährlich reduziert. Damit überschreiten die Energiegestehungskosten je Kilowattstunde bei dieser Variante die Rentabilitätsschwelle von 20 Rappen.

Adelboden (BE)

Evaluation du potentiel /
Etude de détail

Potentialschätzung /
Detailstudie



Station d'épuration (STEP)
Kläranlage (ARA)



Petite centrale hydraulique (PCH)
Kleinwasserkraftwerk (KWK)



Conduite forcée de la variante 1
Druckleitung Variante 1



variante 2
Variante 2



variante 3
Variante 3

Tableau récapitulatif Uebersichtstabelle

Variante Variante	Chute Δz (m) Fallhöhe Δz (m)	Longueur L (m) Länge L (m)	Volume V (m ³ /an) Volumen V (m ³ /Jahr)	Energie E (kWh/an) Energie E (kWh/Jahr)	Participation (Fr.) Beteiligung (Fr.)	Surcoûts (Fr.) Nebenkosten (Fr.)	Coût total (Fr.) Gesamtkosten (Fr.)	Prix de revient r (ct./kWh) Gestehungskosten r (Rp/kWh)
1	77	1'800	3'367'000	376'000	-	-	1'374'000	34
2	127	2'600	3'367'000	633'000	-	-	1'877'000	28
3	247	6'200	3'367'000	1'192'000	-	-	3'619'000	28

Situation générale**Gesamtsituation**

Cet exemple illustre une installation de turbinage dont la conduite forcée est parallèle à un cours d'eau. Bien que le volume d'eau pris en considération soit celui du projet de dimensionnement de la STEP, il conviendrait, le cas échéant, d'étudier simultanément la possibilité d'utiliser les eaux de la rivière pour valoriser le turbinage. Trois variantes ont été retenues, avec différentes longueurs de conduite forcée afin d'en étudier l'impact sur la production énergétique et sur la rentabilité. Leurs coûts seraient entièrement à la charge de l'exploitant de l'installation hydroélectrique.

Commune concernée: Adelboden.

Es handelt sich um ein Beispiel für eine Wasserkraftanlage, bei der die Druckrohrleitung parallel zu einem Wasserlauf liegt. Obwohl bei der Wassermenge lediglich die in der Kläranlage anfallende Menge berücksichtigt wurde, wäre gegebenenfalls zusätzlich die Möglichkeit der Verwendung des Flusswassers zu prüfen, um eine bessere Ausnutzung der Wasserkraftanlage zu erzielen. Zur Beurteilung der Auswirkungen auf die Energieproduktion und die Rentabilität der Anlage wurden drei Varianten mit unterschiedlich langen Druckrohrleitungen in Betracht gezogen. Die Kosten wären in voller Höhe vom Betreiber der Wasserkraftanlage zu tragen.

Betroffene Gemeinde: Adelboden.

Faisabilité**Machbarkeit**

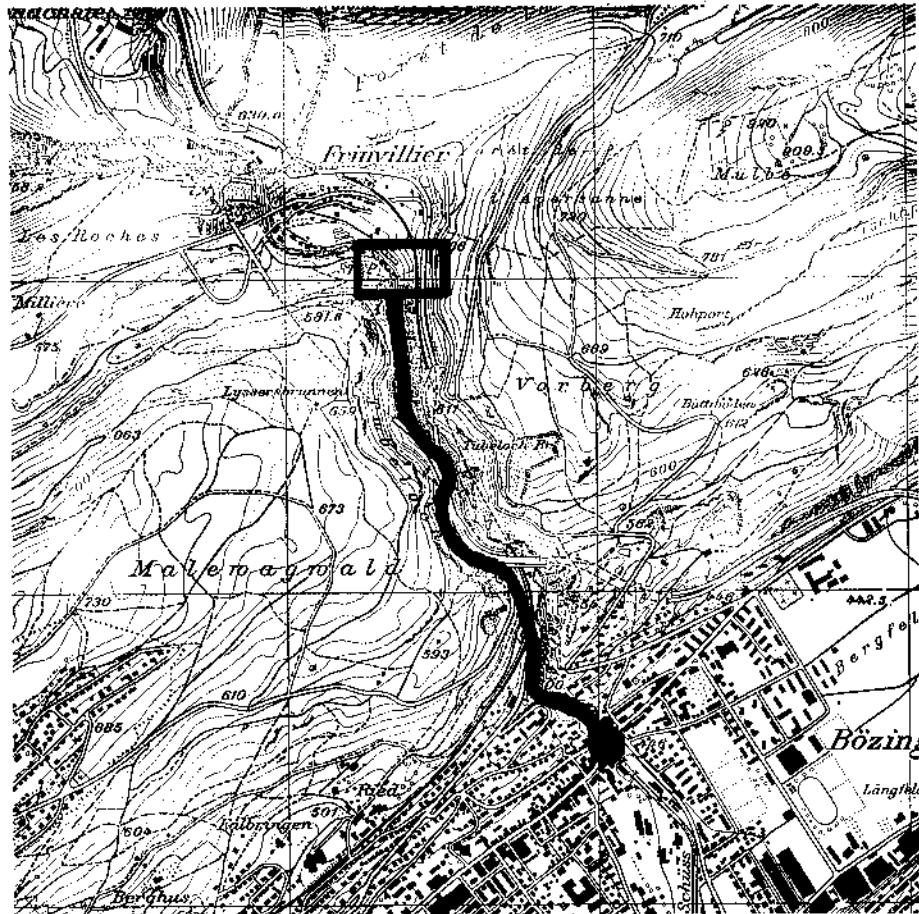
Les conditions de turbinage de ce site ne sont pas très favorables. Quelle que soit la variante retenue, le prix de revient du kilowattheure est proche de 30 centimes. Le principal inconvénient réside dans la faiblesse de la pente moyenne, qui est d'environ 4 %, contre près de 11 % dans le cas similaire de Loèche-les-Bains. Plus la conduite est longue, plus sa part au coût global augmente, passant de 56 % (variante 1) à 78 % (variante 3).

Die Standortverhältnisse sind für die Energieerzeugung aus Wasserkraft nicht sehr günstig. Bei allen in Betracht kommenden Varianten belaufen sich die Energiegestehungskosten für die Kilowattstunde auf knapp 30 Rappen. Der Hauptnachteil dieses Standorts ist das geringe mittlere Gefälle von ca. 4 % gegenüber rund 11 % im (vergleichbaren) Fall von Leukerbad. Je länger die Druckrohrleitung ist, desto höher ist ihr Anteil an den Gesamtkosten, der zwischen 56 % (Variante 1) und 78 % (Variante 3) liegt.

Vauffelin (BE)

Evaluation du potentiel /
Etude de détail

Potentialschätzung /
Detailstudie



Station d'épuration (STEP)
Kläranlage (ARA)



Petite centrale hydraulique (PCH)
Kleinwasserkraftwerk (KWK)



Conduite forcée des variantes 1 et 2
Druckleitung der Varianten 1 und 2

Tableau récapitulatif Uebersichtstabelle

Variante Variante	Chute Δz (m) Fallhöhe Δz (m)	Longueur L (m) Länge L (m)	Volume V (m ³ /an) Volumen V (m ³ /Jahr)	Energie E (kWh/an) Energie E (kWh/Jahr)	Participation (Fr.) Beteiligung (Fr.)	Surcoûts (Fr.) Nebenkosten (Fr.)	Coût total (Fr.) Gesamtkosten (Fr.)	Prix de revient r (ct./kWh) Gestehungskosten r (Rp/kWh)
1	70	1'900	7'159'000	707'000	-	-	2'513'000	33
2	70	1'900	2'195'000	217'000	-	-	998'000	43

Situation générale

Gesamtsituation

Cet exemple porte sur la valorisation énergétique des eaux usées de onze communes actuellement traitées par trois stations d'épuration: Villeret, Sonceboz et Vauffelin. Il permet d'illustrer les possibilités d'intégration d'un volet énergétique dans le cadre d'une série de travaux d'assainissement. Il manque actuellement deux tronçons d'environ trois kilomètres de collecteurs à écoulement libre pour acheminer les eaux usées de ces dix communes riveraines de la Suze. A moyen terme, la réalisation d'un tel ouvrage n'est guère concevable. Ni les collecteurs existants, ni la STEP de Vauffelin ne sont dimensionnés pour absorber de tels débits. Deux variantes ont néanmoins été envisagées, la première avec la prise en compte des volumes traités des trois STEP, la seconde avec celui de la STEP de Vauffelin seulement.

Communes concernées: Corgémont, Cormoret, Courtelary, La Heutte, Péry, Renan, St-Imier, Sonceboz, Sonvilier, Vauffelin, Villeret.

Bei diesem Beispiel wird das Abwasser von elf Gemeinden, das zur Zeit in drei Kläranlagen (Villeret, Sonceboz und Vauffelin) gereinigt wird, zur Energieerzeugung genutzt. Es verdeutlicht die Möglichkeit, eine Anlage zur Energiegewinnung in ein Sanierungsprojekt zu integrieren. Derzeit fehlen noch zwei drucklose Sammelleitungsabschnitte von ca. 3 Kilometern Länge zur Beförderung des Abwassers aus zehn Anrainergemeinden der Suze. Mittelfristig ist die Durchführung eines solchen Bauvorhabens kaum denkbar. Weder die vorhandenen Sammelleitungen noch die Kläranlage in Vauffelin sind für so grosse Wassermengen ausgelegt. Es wurden dennoch zwei Varianten ins Auge gefasst; die erste bezieht die Abwassermenge aller drei Kläranlagen ein, die zweite nur die Menge des Klärwerks Vauffelin.

Betroffene Gemeinden: Corgémont, Cormoret, Courtelary, La Heutte, Péry, Renan, St-Imier, Sonceboz, Sonvilier, Vauffelin, Villeret.

Faisabilité

Machbarkeit

A première vue, avec un prix de revient estimé à 33 centimes, la rentabilité du projet n'est pas attrayante, même dans le cas le plus favorable, mais il s'agissait surtout, avec cet exemple, d'illustrer l'intégration de l'aspect énergétique dans les études d'assainissement, quitte à proposer des solutions a priori irréalistes.

Auf den ersten Blick scheint die Wirtschaftlichkeit des Projekts mit einem Selbstkostenpreis von schätzungsweise 33 Rappen selbst im günstigsten Fall nicht besonders vielversprechend. Mit diesem Beispiel sollte jedoch in erster Linie aufgezeigt werden, welche Möglichkeiten sich durch den Einbezug energiewirtschaftlicher Aspekte bei Sanierungsvorhaben ergeben, selbst wenn die entsprechenden Lösungen a priori unrealistisch erscheinen.

Einleitung

(Texte français voir page 1)

Die Energieerzeugung in Kleinwasserkraftwerken, zur Jahrhundertwende noch ein florierender Zweig der Energiewirtschaft - 1914 gab es in der Schweiz noch fast 7000 Anlagen mit weniger als 10 Megawatt installierte Leistung - ist danach rasch zurückgedrängt worden. 1985 gab es nur noch 971 Kraftwerke dieses Typs. Die Stilllegung von immer weiteren Kleinwasserkraftwerken ist im wesentlichen auf mangelnde Rentabilität und die Tatsache zurückzuführen, dass die Industrieunternehmen die Herstellung von Anlagen mit geringer Leistung rasch einstellten. Hinzu kam später das reichliche Angebot an fossiler und nuklearer Energie.

Die jährliche Gesamtproduktion der verbliebenen Kleinwasserkraftwerke beträgt etwas mehr als 3 Milliarden Kilowattstunden, was einem Anteil von rund 6,5% des Elektrizitätsverbrauchs in der Schweiz entspricht. Aus einer Studie, die das Bundesamt für Energiewirtschaft 1985 in Auftrag gegeben hat, geht hervor, dass diese Kapazität durch die Modernisierung und erneute Inbetriebnahme von Kraftwerken, die bereits stillgelegt sind oder deren Stilllegung bevorsteht, und gleichzeitig durch den Bau neuer Anlagen nahezu verdoppelt werden könnte.

Ist dies eine realistische Prognose? Diese Frage ist derzeit nicht zu beantworten. Fest steht jedoch, dass im Bereich der Energieerzeugung durch Kleinwasserkraftwerke ein bedeutendes Potential schlummert. Hinzu kommt die ausgezeichnete ökologische Gesamtbilanz: einfaches und dauerhaftes Material, keine schädlichen Emissionen, keine Verschwendung natürlicher Ressourcen. Es zeigt sich ausserdem, dass die Kläranlagen, die ein nutzbares Energiepotential aufweisen, oder doch zumindest einige von ihnen, mehr Energie abgeben können, als sie verbrauchen.

Wie ist die zunehmende Vernachlässigung dieses Potentials aufzuhalten? Wie lässt sich dessen Nutzung fördern? Die Beantwortung dieser Frage ist eines der Ziele des Projekts *DIANE*, das im Rahmen des Programms *Energie 2000* ins Leben gerufen wurde, um den Stellenwert der Kleinwasserkraftwerke zu verbessern. Das Ziel dieses Programms des Bundes ist bekannt: Es geht darum, die Elektrizitätserzeugung aus Wasserkraft zwischen 1990 und dem Jahr 2000 mit verschiedenen Massnahmen um 5 % zu steigern. *DIANE* leistet mit dem Projekt *Klein-Wasserkraftwerke* seinen Beitrag, der darin besteht, das vorhandene Potential zu bestimmen und es durch gezielte Aktionen zu erschliessen. Daneben geht es darum, die politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen auf diesem Gebiet zu verbessern.

Allerdings ist dies eine schwierige Aufgabe. Die Verantwortlichen des Projekts stellen vor Ort fest, dass zunächst das allmähliche Sterben der kleinen Kraftwerke aufgehalten werden muss, die mit technischen und wirtschaftlichen Schwierigkeiten und immer zahlreicheren gesetzlichen Einschränkungen (Gewässerschutz, Fischereigesetz, Restwassermengen) konfrontiert sind. Der Erfolg der unternommenen Anstrengungen hängt letztlich weitgehend vom politischen Willen ab.

Abgesehen von den rein energiewirtschaftlichen Aspekten, die einer genauen Beurteilung unterzogen werden müssen, bietet die Nutzung von Trink- und Abwasser in dieser Hinsicht einen bestechenden Vorteil. Sie stützt sich auf bereits vorhandene Anlagen ab und macht keine - oder wenige - neue, sichtbare Bauten erforderlich. Dies bedeutet, dass für die Betreiber bestimmte Genehmigungsverfahren nicht mehr erforderlich sind.

In der Schweiz sind etwa tausend Kläranlagen in Betrieb. In ihnen werden fast fünf Millionen Kubikmeter Wasser pro Tag aufbereitet. Manche Klärwerke dienen der Reinigung des Abwassers von Orten in Höhenlagen. Ob nun die Wasserreinigung auf der Höhe der Gemeinde oder in einem tiefer gelegenen Klärwerk geschieht - es sind in jedem Fall Höhenunterschiede gegeben, die ein nutzbares Wasserkraftpotential bieten.

Bereits seit 1916 wird in einem Kleinwasserkraftwerk aus dem gereinigten Abwasser der Gemeinde Hofen (SG) Strom erzeugt. Diese Anlage liefert heute fast eine Million Kilowattstunden pro Jahr. In jüngster Zeit wurden drei Kraftwerke, die Abwasser als Energiequelle nutzen, in Nyon (VD), Leysin (VD) und Le Châble (VS) erfolgreich in Betrieb genommen.

Diese drei Anlagen dienten als Grundlage für die erste Phase des Projekts zur Nutzung der Abwasserreinigungsanlagen für die Stromerzeugung, die im Rahmen des Programms *Diane* durchgeführt wurde. Sie wurde im Frühjahr 1994 abgeschlossen und umfasst eine Beschreibung der drei Anlagen mit einer vorläufigen technischen Bilanz, einer Bestandsaufnahme des in der Schweiz vorhandenen Potentials und einer detaillierten Studie über zwanzig repräsentative Standorte.

Gegenwärtig wird das Gesamtenergiepotential des anfallenden Abwassers auf 51 Millionen Kilowattstunden jährlich bei einer installierten Leistung von etwas über 10 Megawatt geschätzt. Dies entspricht dem Energieverbrauch aller Stromabnehmer einer Kleinstadt mit 7000 Einwohnern oder von 11000 Haushalten.

Lohnt sich der Aufwand? Eine Antwort gibt die vorliegende Broschüre. Wer mehr wissen will, kann die Grundlagenstudie beziehen.

Vorbehalt

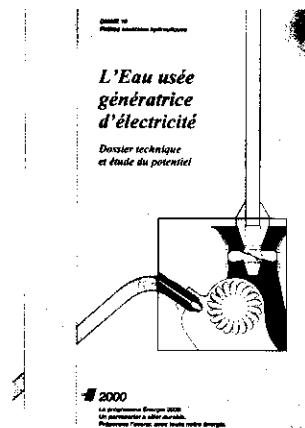
Die in dieser Broschüre und im "Dossier technique" aufgeführten Potentialzahlen, Investitionskosten und Energiegestehungskosten einzelner Standorte entsprechen groben Schätzungen aufgrund von Übersichtsskizzen, Grobdaten und verallgemeinerten Gesetzmässigkeiten. Sie ersetzen in keiner Weise individuelle Projektstudien, sollen solche jedoch anregen. Die Ergebnisse können je nach lokalen Besonderheiten im positiven und negativen Sinne von den hier aufgeführten Daten abweichen. Die Erfahrung mit dem nach ähnlichen Grundsätzen ermittelten Potential für Trinkwasserkraftwerke (*Elektrizität aus Trinkwassersystemen*, Bestellnummer EDMZ 805.752 d+f) hat jedoch gezeigt, dass die statistischen Summen und Mittelwerte trotz etlichen Einzelabweichungen recht zuverlässig sind.

Priorität hat in den Abwassersystemen nach wie vor der Gesetzesauftrag der Wasserreinigung für den Schutz der Gewässer. Projekte für die Energieproduktion dürfen nicht dazu führen, dass Abwasser-Trennsysteme nicht eingeführt werden oder anderweitig unnötig Wasser in das System geführt wird... frei nach dem Motto "Zieh nochmals die Spülung, damit es im Tal unten mehr Strom gibt!"

Grundlagenbericht "Dossier technique"

Die umfassende Studie *Elektrizitätserzeugung aus Abwasser* (technisches Dossier) beschreibt Vor- und Nachteile von 20 möglichen Standorten im Detail. Fünf Anhänge enthalten dokumentierte Zahlenangaben mit den Grundlagen für die Einschätzung der Potentiale, Erträge und Kosten, einer Uebersicht über das Gesamtinventar für die 131 Standorte, Detailangaben über die Berechnung der Wirtschaftlichkeit und der Anpassungskoeffizienten.

Das "Dossier technique" ist nur in französischer Sprache verfügbar.



Brauchen Sie noch mehr Auskünfte?

Wenn Sie noch mehr über das energetische Potential von Abwasser wissen möchten oder eine Potentialschätzung der Kläranlage Ihrer Gemeinde oder Ihrer Region wünschen, wenden Sie sich bitte an

Projektleitung DIANE
Klein-Wasserkraftwerke
Hanspeter Leutwiler
Tel. 01 / 761 17 45
Fax 01 / 761 17 20

oder an die Beratungsstellen INFOENERGIE

Energierückgewinnung

Die bisherigen Studien berücksichtigen jene Abwassernetze, die gemäss den einschlägigen Gewässerschutzbestimmungen saniert wurden. Das Prinzip ist einfach: das Wasser wird entweder am Eingang der Kläranlage - falls sich diese unterhalb der Siedlung befindet - oder beim Ausfluss in eine Kanalisation bzw. einen Fluss - falls sich die Kläranlage weit oberhalb des Vorfluters befindet - über eine Turbine geleitet.

Wie bei jeder Wasserkraftanlage beruht die Energieerzeugung auf zwei Werten, der verfügbaren Wassermenge und dem Höhenunterschied (1). Auch die Wirtschaftlichkeit eines Projektes wird in hohem Masse durch diese beiden Grössen bestimmt (2). Heute geht man davon aus, dass die Rentabilität einer Anlage zur Abwassernutzung ab einer Jahresproduktion von rund 80'000 kWh möglich sein kann.

Theoretisch kommen dafür zwei Anlagentypen in Frage:

- Nutzung einer Leitung, welche Abwässer hoch gelegener Siedlungen zu einer weiter talabwärts gelegenen Sammelleitung oder Kläranlage führt, das heisst Turbinieren des Wassers vor der Kläranlage.

- Nutzung einer Leitung, welche das gereinigte Wasser einer hoch gelegenen Kläranlage zum Vorfluter weiter unten im Tal führt, das heisst Turbinieren des Wassers nach der Kläranlage.

Der erste Fall ist typisch für Ferienorte in Berggebieten. Wo Abwasserreinigungsanlagen bestehen, genügen sie den Bedürfnissen dieser Siedlungen oft nicht mehr. Die Lösung besteht darin, die Abwässer über eine Druckleitung an Reinigungsanlagen in der Ebene anzuschliessen. Soll das Energiepotential genutzt werden, so müssen die Abwässer über eine Turbine geleitet werden. Sie sind somit vorzubehandeln (Feinrechenanlage, Absetzbecken). Die restlichen Rückstände müssen die Turbine passieren können. Im Oktober 1993 wurde bei der ARA Le Châble im val de Bagnes eine solche Anlage in Betrieb genommen. Sie soll in erster Linie die Abwässer aus dem Kurort Verbier nutzen (s. S. 23).

Die zweite Möglichkeit, nämlich die Nutzung der Abwässer nach der Reinigung in einer höhergelegenen ARA, ist mit einer herkömmlichen Wasserkraftanlage vergleichbar. Zwei neue derartige Anlagen nutzen die Abwässer aus der ARA der Gemeinden Leysin (VD) und Nyon (VD) nutzen (s. S. 17 und S. 29).

1. Die jährliche Energierückgewinnung mit Kleinwasserkraftwerken aus einer ARA lässt sich anhand der folgenden Gleichung berechnen:

$$E = 2,725 \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot \Delta Z \cdot k \text{ (kWh/Jahr)}$$

$$V = \text{verfügbare Wassermenge (m}^3\text{/Jahr)}$$

$$\Delta Z = \text{Höhenunterschied zwischen dem Ort der Uebernahme und dem Ort der Abgabe der Abwässer (m)}$$

$$k = \text{globaler Leistungskoeffizient}$$

Der k-Wert ergibt sich aus den anlagenspezifischen Vorgaben (z. B. Länge der Druckleitung), den verfügbaren Techniken und aus wirtschaftlichen Ueberlegungen. In dieser Studie wurde der k-Wert für jede Anlage mit signifikantem Energiepotential berechnet. Er liegt in der Grössenordnung von $k = 0,6$.

2. Die Gesamtkosten für eine kleine Anlage zur Abwassernutzung lässt sich nach folgender Formel abschätzen:

$$K1 = 50'000 + 43'800 \cdot [E/5000]^{0.85} \cdot [\Delta Z - 0,006 \cdot L]^{0.27} \text{ (Fr.)}$$

$$E = \text{Elektrizitätserzeugung pro Jahr (kWh/Jahr)}$$

$$\Delta Z = \text{Höhenunterschied zwischen dem Ort der Uebernahme und dem Ort der Rückgabe der Abwässer (m)}$$

$$L = \text{Länge der Druckleitung (m)}$$

Zu diesem Betrag sind die zusätzlichen Kosten für die Druckleitung hinzuzuzählen, die entstehen, falls die Länge der Leitung den Wert von ΔZ um mehr als ein Dreifaches übertrifft. In allen Fällen des Turbinierens von ungeklärtem Abwasser kommen noch die Kosten für die Feinrechenanlage und Absetzbekken vor dem Einlauf zur Druckleitung hinzu.

Aktuelle Situation Abwasserkraftwerke

Bestimmung der Standorte

Die drei Pilotanlagen, die auf den Seiten 17 bis 32 detailliert beschrieben werden, legten die Möglichkeit einer systematischen Nutzung des Energiepotentials von Abwasser nahe. Diese musste jedoch noch konkret nachgewiesen werden. Mit der im Rahmen des *DIANE*-Projekts erstellten Studie ist das heute gelungen. Die Bewertung des vorhandenen Potentials stützt sich auf zwei Verfahren: einmal eine Bestandsaufnahme aller vorhandenen Möglichkeiten, basierend auf einer Beschreibung der morphologischen Verhältnisse der Standorte, und zum anderen eine Stichprobenuntersuchung repräsentativer Projektmöglichkeiten.

Die Abwasserreinigung geschieht nach Massgabe des Bundesgesetzes über den Gewässerschutz, das vorschreibt, dass die Wasserentsorgung und -aufbereitung Vorrang vor einer etwaigen Energieerzeugung hat. Entscheidend sind aber zunächst die örtlichen Gegebenheiten. Die Nutzung der Wasserkraft in einem Abwasserleitungsnetz hängt, wie bei allen Wasserkraftwerken, vom Vorhandensein eines ausreichenden Gefälles ab.

Stromerzeugung vor der Kläranlage

Für die Stromerzeugung vor der Kläranlage kommen Fremdenverkehrsorte sowie hoch gelegene Gemeinden oder Städte in Frage, in denen es grosse Höhenunterschiede gibt. Da die Abwässer mit Feststoffen und Substanzen versetzt sind, die sie für den Turbinenbetrieb ungeeignet machen, können sie nur zur Stromerzeugung genutzt werden, wenn eine Anlage zur Vorklärung mit Rechenreiniger oder Siebreiniger eingesetzt wird, bevor das Wasser unter Druck gesetzt und der Turbine zugeführt wird. Dies ist erforderlich, um eine Verstopfung oder Beschädigung der Turbine zu verhindern.

An welcher Stelle sollte man das Kleinkraftwerk errichten? Im ersten Fall liegt das genutzte Gefälle zwischen der obersten und der untersten Stelle eines Abwasserleitungsnetzes, wobei sich das Klärwerk an der untersten Stelle befinden kann wie in Le Châble, das die Abwässer des hochgelegenen Kurortes Verbier turbinert. Je nachdem kann das Abwasser der Gemeinde ganz oder teilweise genutzt werden. Es handelt sich in diesem Fall um eine Stromerzeugung vor der Kläranlage.

Die Alternative hierzu ist die Stromerzeugung nach der Kläranlage. Das Gefälle liegt in diesem Fall zwischen dem Klärwerk und einer weiter unten gelegenen geeigneten Wasserableitungsstelle, wie dies insbesondere im Falle von Leysin (VD) zutrifft. Auch hier kann das gesamte geklärte Wasser genutzt werden. Unabhängig davon wird nur von einem Anteil von 80 % der anfallenden Gesamtmenge ausgegangen, was als wirtschaftliches Optimum gilt.

An welcher Stelle ist das Kraftwerk zu bauen? Die rationellste Lösung besteht darin, dass die Turbine dort steht, wo sich auch die Kläranlage befindet; selbstverständlich unter der Voraussetzung, dass diese sich am Ende der Druckrohrleitung befindet. Der Vorteil, der damit verbunden ist, dass das Klärwerk und die Wasserturbine an derselben Stelle stehen, liegt darin, dass sowohl der Bau als auch der Anschluss an das Stromnetz erleichtert werden. Ausserdem kann die Wartung des Kraftwerks weitgehend vom Personal der Kläranlage übernommen werden.

Fremdenverkehrsorte und hoch gelegene Gemeinden bieten, wie wir gesehen haben, günstige Voraussetzungen für die Stromerzeugung aus Abwasser. Diese sollten beim Anschluss an ein Klärwerk oder an eine Sammelleitung im Tal in Betracht gezogen werden. Ist der Anschluss erforderlich, weil ein bereits vorhandenes Klärwerk den Anforderungen nicht mehr genügt, lohnt es sich, den Einsatz der bisherigen oben gelegenen Kläranlage als Vorklärwerk für das Abwasser vorzusehen.

Besonders günstige Bedingungen sind auch gegeben, wenn ein Kanalisations- und Aufbereitungsnetz für Abwasser erstmals angelegt wird. Hier sollte man bereits in der Planungsphase eine Wasserturbine innerhalb des Leitungsnetzes vorsehen. Soll die Kläranlage an einer hoch gelegenen Stelle gebaut werden, sollte das Kraftwerk an geeigneter Stelle unterhalb davon, am Ende der Druckrohrleitung, stehen.

Bei grossen Gemeinden mit starken Höhenunterschieden kann ein kleines Kraftwerk eingerichtet werden, falls bereits eine Kanalisationsanlage für das Abwasser vorhanden ist. Die Turbine kann am Ende einer grossen Hauptsammelleitung im Stadtgebiet oder unmittelbar am Zulauf zum Klärwerk installiert werden.

Stromerzeugung nach der Kläranlage

Dies ist eine unkompliziertere und zugleich attraktivere Alternative. Sie erlaubt vor allem den Verzicht auf das Vorklärwerk, da das Wasser im Klärwerk bereits vollständig von Feststoffen und Fremdkörpern gereinigt wurde. Diese Art Anlage entspricht im Prinzip einem klassischen Kleinwasserkraftwerk. Einige zusätzliche Vorkehrungen sind zu treffen, um die regelmässige Reinigung der Rohrleitung und der Turbine zu erleichtern.

Für die Finanzierung der unterschiedlichen Anlagen zur Nutzung des vorhandenen Energiepotentials müssen in der Regel die künftigen Betreiber aufkommen. Diese haben jedoch die Möglichkeit, Hilfen und Subventionen beim Staat zu beantragen. So können beispielsweise die Kosten für die Druckrohrleitungen bei Stromerzeugung vor der Kläranlage ganz oder teilweise von der öffentlichen Hand übernommen werden. Eine solche Möglichkeit

besteht auch bei den Kraftwerken "nach der Kläranlage", wenn der als Ableitung zum Kraftwerk benutzte Wasserlauf das Wasser vom Klärwerk nicht aufnehmen kann oder wenn die Stromerzeugung durch Abgabe von mit viel Sauerstoff angereichertem Wasser einen bedeutenden Beitrag zur Verbesserung der Qualität des natürlichen Wasserlaufs leistet.

Welches Energiepotential ist in dem in der Schweiz anfallenden Abwasser enthalten? Erstmals wurde hierzulande eine komplette Bestandesaufnahme vorgenommen. Bei dieser ersten Beurteilung wurde grosszügig vorgegangen; abgesehen von einem Mindestwert für die erzeugte Energiemenge (80'000 kWh/Jahr) und einem Mindesthöhenunterschied (40 m) wurden keine weiteren Ueberlegungen hinsichtlich Rentabilität oder technischer Machbarkeit miteinbezogen.

131 potentielle Standorte

Nachdem diese Bedingungen festgelegt waren, wurden die Karten im Massstab 1:25.000 unter die Lupe genommen. Ergebnis: Eine Liste mit 130 potentiellen Standorten, die, mit den entsprechenden Installationen versehen, zusammen 51 Millionen Kilowattstunden Strom pro Jahr liefern könnten (Seite 33). Wahrscheinlich werden nicht alle möglichen Anlagen realisiert werden, hauptsächlich aus finanziellen Gründen. Das Vorgehen bei der Bestandesaufnahme bestand jedoch darin, auf den ersten Blick uninteressant erscheinende Fälle nicht voreilig auszuschliessen. Es ging ausserdem darum, die spätere Anpassung des geschätzten Potentials aufgrund von neuen vor Ort oder mittels bestimmter Arbeitshypothesen erworbenen Erkenntnissen zu erleichtern.

Wie wurde vorgegangen? Zunächst hat man eine topographische Untersuchung der Schweiz durchgeführt, aufgrund welcher die Orte mit interessanten typologischen Verhältnissen ermittelt wurden.

Danach erfolgte eine Berechnung des verfügbaren Volumens für eine erste Auswahl von über 300 Kläranlagen unter Berücksichtigung der jeweiligen Einwohnerzahlen und der durchschnittlich anfallenden Tagesmengen je Einwohner. Nachdem die Wassermengen und die Höhenunterschiede bekannt waren, konnte das Energiepotential berechnet werden. Diese erste Phase diente der Ermittlung der Standorte, welche die Mindestkriterien erfüllten (40 Meter Höhenunterschied und 80'000 kWh Strom). In einer weiteren Phase wurden eine Reihe von Informationen über die geographischen Verhältnisse der Standorte und die Position der Druckrohrleitungen und der Turbinen zusammengetragen. Anhand dieser Daten ist eine Bewertung des Energiepotentials für jeden einzelnen Standort möglich. Es handelt sich um Bezugs- und Raumdaten sowie demographische und volumetrische Daten.

Zunächst die Gebirgslagen

Wie vorausszusehen war, ist das bedeutendste Energiepotential in den alpinen Zonen gegeben (Tabelle 1). Hierbei gibt es jedoch Unterschiede: So erweist sich das Tessin gegen alle Erwartung als nicht sehr vielversprechend, da hier nur ein Standort registriert wurde. Dies ist auf die de-

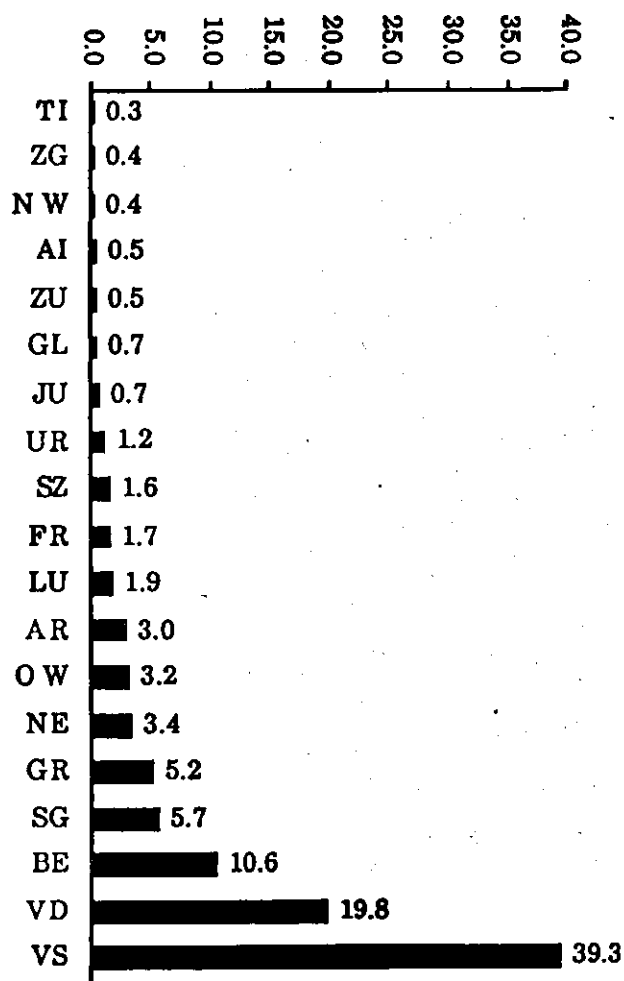
mographische Struktur dieses Kantons zurückzuführen, dessen Bevölkerung zu 80 % in den Tallagen lebt. Im Gegensatz zum Wallis gibt es im Tessin keine grösseren Gemeinden an Berghängen, seien es Fremdenverkehrsorte oder nicht.

	Gesamt-Energiepotential (kWh/Jahr)	installierbare Leistung (kW)	Anzahl Anlagen
Appenzell I. Rh.	257'000	51	1
Appenzell A. Rh.	1'513'000	303	7
Bern	5'440'000	1'088	15
Freiburg	881'000	176	3
Glarus	339'000	68	1
Graubünden	2'647'000	529	14
Jura	376'000	75	2
Luzern	990'000	198	3
Neuenburg	1'761'000	352	2
Nidwalden	191'000	38	2
Obwalden	1'622'000	324	3
St.Gallen	2'913'000	583	9
Schwyz	834'000	167	3
Tessin	152'000	30	1
Uri	594'000	119	2
Waadt	10'178'000	2'036	18
Wallis	20'191'000	4'038	41
Zug	179'000	36	1
Zürich	258'000	52	2
SUISSE	51'316'000	10'263	130

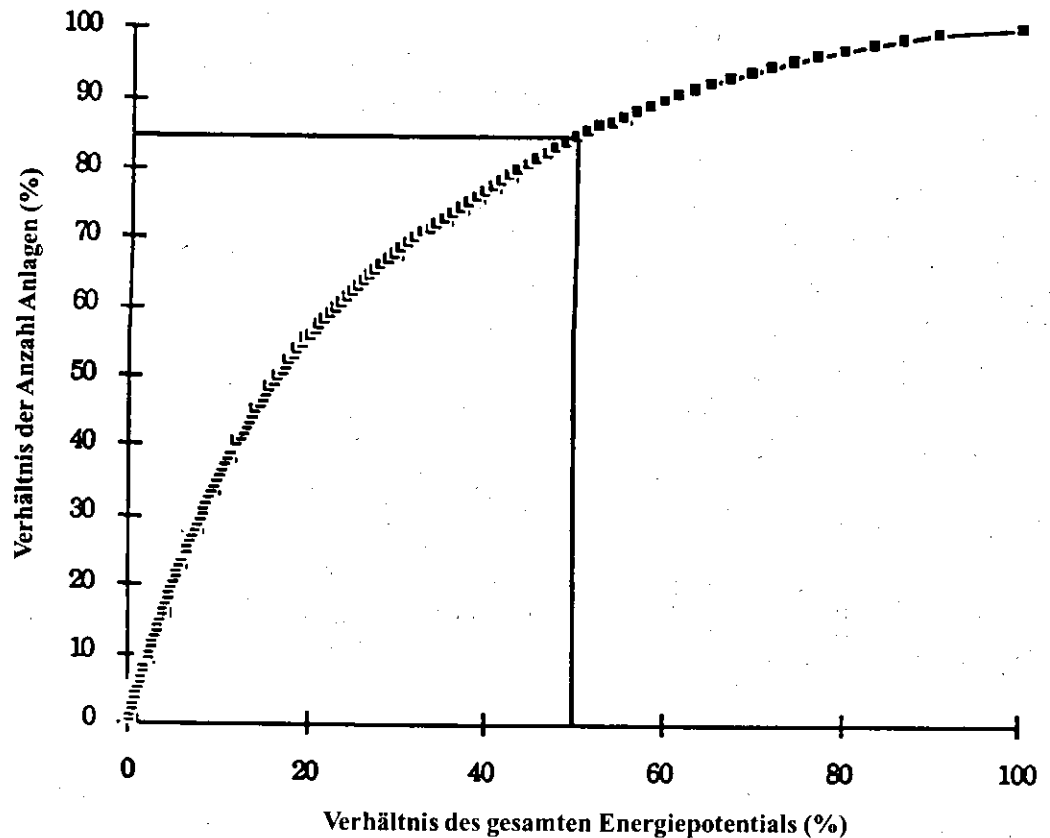
Tabelle 1: Energiepotential pro Kanton

Eine weitere überraschende Feststellung ist, dass in Graubünden ein relativ geringes Potential vorhanden ist. Dieser Kanton, dessen Topographie und Einwohnerzahl mit der des Wallis vergleichbar ist, weist wegen seiner Siedlungsstruktur weniger günstige Verhältnisse für die Energieerzeugung aus Abwasser auf. Hingegen weist der Kanton St. Gallen, obwohl er nicht so gebirgig ist und es dort weniger Fremdenverkehr gibt, das gleiche Potential wie Graubünden auf. Die höhere Bevölkerungsdichte und die mittlere Höhenlage der Siedlungsgebiete sind wahrscheinlich der Grund für die günstigeren Verhältnisse im Kanton St. Gallen.

Diese erste Auswertung erlaubt die Bestimmung eines Gesamtpotentials. Es zeigt sich, dass neunzehn Kantone und Halbkantone geeignete Voraussetzungen für die Stromerzeugung aus Abwasser mit Hilfe von Wasserturbinen bieten (Grafik 1). Ausserdem ist festzustellen, dass die Hälfte des Energiepotentials auf rund 110 der 130 inventarisierten Anlagen entfällt. Die andere Hälfte wird von etwa 20 Abwasserkraftwerken mit einer Jahresproduktion von jeweils über 600'000 Kilowattstunden gedeckt (Grafik 2).



Grafik 1: Energiepotentiale pro Kanton in Prozenten



Grafik 2: Kumulierte potentielle Energie und Anzahl Anlagen

Dieses Potential von 51 Millionen Kilowattstunden bei einer installierten Leistung von knapp 10 Megawatt entspricht einem Anteil von etwa 0,1 % des inländischen Stromverbrauchs. Damit liesse sich der Jahresbedarf aller Stromverbraucher einer Stadt mit 7000 Einwohnern bzw. von 11 000 Haushalten decken. Die mittlere Leistung je Kraftwerk beträgt annähernd 80 Kilowatt bei einer Jahresproduktion von 400'000 Kilowattstunden.

Dieses Potential entspricht einem Anteil von fast 17 % am Energiebedarf sämtlicher Kläranlagen in der Schweiz, die mit insgesamt 300 Millionen Kilowattstunden jährlich zu den grossen Stromverbraucher gehören. Die Nutzung von Abwasser würde also mit 3 % zur Erfüllung der Zielsetzungen des Programms *Energie 2000* des Bundes beitragen, das den Zweck hat, den Gesamtanteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung bis zum Ende dieses Jahrhunderts um 5 % zu steigern.

Finanzieller Nutzen

Im weiteren wurden die als nutzbar beurteilten Standorte nach ihrem wirtschaftlichen Interesse eingestuft. Es wurden Effektivwerte angegeben, die jederzeit entsprechend der Entwicklung der wirtschaftlichen Parameter und der örtlichen Besonderheiten angepasst werden können. Aus den Berechnungen ergeben sich geschätzte Energiegestehungskosten je Kilowattstunde, die eine realistische Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Anlagen ermöglichen. Die technische Durchführbarkeit wurde erst während der Stichprobenuntersuchung in Betracht gezogen (dieses Thema wird im "Dossier technique" ausgeführt).

In den Investitionskosten sind die Aufwendungen für die Druckrohrleitung, die Wasserkraftanlagen und die baulichen Aufwendungen enthalten. Dazu kommen die Vorkläreinrichtungen bei Stromerzeugung vor der Kläranlage. Die Berechnung der Energiegestehungskosten beruht auf dem Gesamtinvestitionsbetrag und berücksichtigt die Betriebskosten.

Es wurde eine Aufteilung des Energiepotentials nach den Energiegestehungskosten

je Kilowattstunde vorgenommen. Drei Kategorien wurden entsprechend den Empfehlungen des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements von Dezember 1992 bezüglich der Vergütungen für Selbsterzeuger festgesetzt:

- weniger als 12 Rappen: Wirtschaftlichkeit gegeben;
- bis 20 Rappen: Wirtschaftlichkeit möglicherweise gegeben, bedarf aber einer genaueren Analyse;
- über 20 Rappen: Wirtschaftlichkeit unwahrscheinlich.

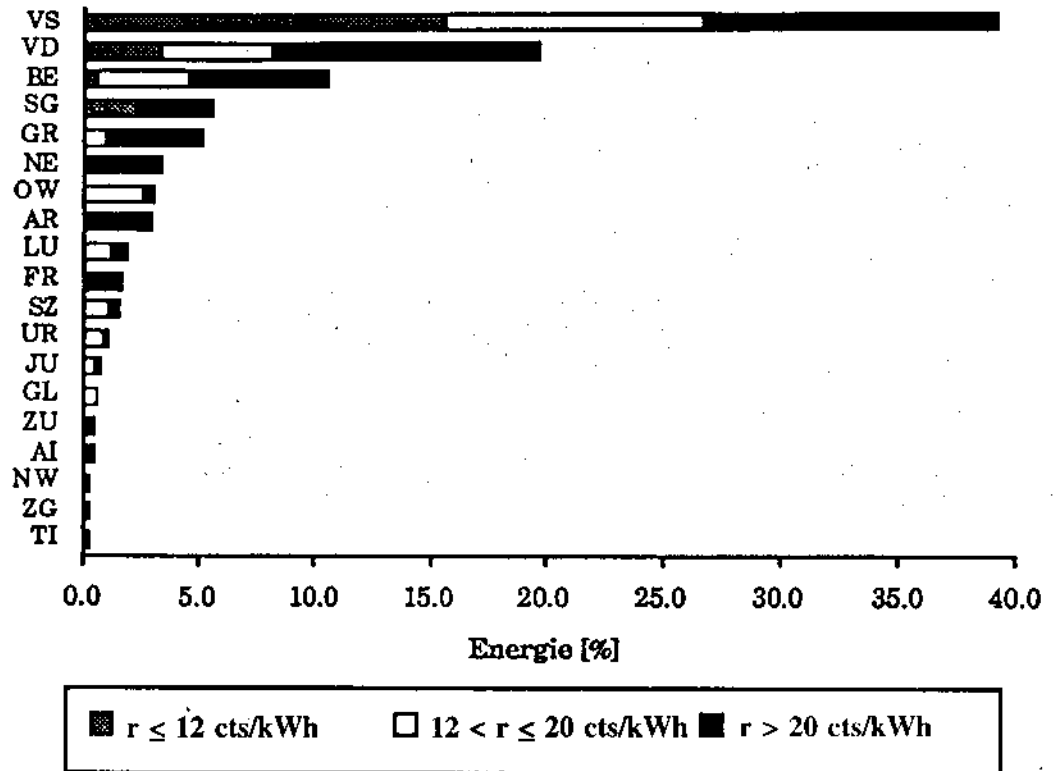
Die Darstellung der Wirtschaftlichkeit in Form von prozentualen Anteilen bezogen auf das Gesamtpotential erlaubt es, den Energieanteil der einzelnen Kategorien für jeden Kanton zu veranschaulichen (Tabelle 2 und Grafik 3). Es zeigt sich, dass auch hier die Situation im Wallis am günstigsten ist, da 40 % der Energieerzeugung im Bereich der grössten Rentabilitätsstufe liegt. Für St. Gallen liegt eine vergleichbare Situation vor; hier ist die höchste Rentabilitätsstufe für 41 % der Energieerzeugung gegeben.

	Energie Anlagen		Energie Anlagen		Energie Anlagen		Energie Anlagen	
	[kWh/J]	[-]	r ≤ 12 [kWh/J]	[-]	12 < r < 20 [kWh/J]	[-]	r > 20 [kWh/J]	[-]
AI	257'000	1					257'000	1
AR	1'513'000	7					1'513'000	7
BE	5'440'000	15	309'000	1	2'063'000	3	3'068'000	11
FR	881'000	3					881'000	3
GL	339'000	1			339'000	3		
GR	2'647'000	14			520'000	1	2'127'000	11
JU	376'000	2			266'000	1	110'000	1
LU	990'000	3			672'000	1	318'000	2
NE	1'761'000	2					1'761'000	2
NW	191'000	2					191'000	2
OW	1'622'000	3			1'385'000	1	237'000	2
SG	2'913'000	9	1'188'000	1			1'725'000	8
SZ	834'000	3			561'000	1	273'000	2
TI	152'000	1					152'000	1
UR	594'000	2			467'000	1	127'000	1
VD	10'178'000	18	1'700'000	1	2'499'000	3	5'979'000	14
VS	20'191'000	41	8'010'000	3	5'733'000	12	6'448'000	26
ZG	179'000	1					179'000	1
ZU	258'000	2					258'000	2
CH	51'316'000	130	11'207'000	6	14'505'000	27	25'604'000	97

Tabelle 2: Energiepotentiale in Verhältnis zum Energiegestehungspreis

Die Spanne der Energiegestehungskosten ist sehr breit; sie reicht von 9 bis knapp 85 Rappen je erzeugte Kilowattstunde. Aus Grafik 4 geht hervor, dass nur 25 % der inventarisierten Anlagen unter dieser Ren-

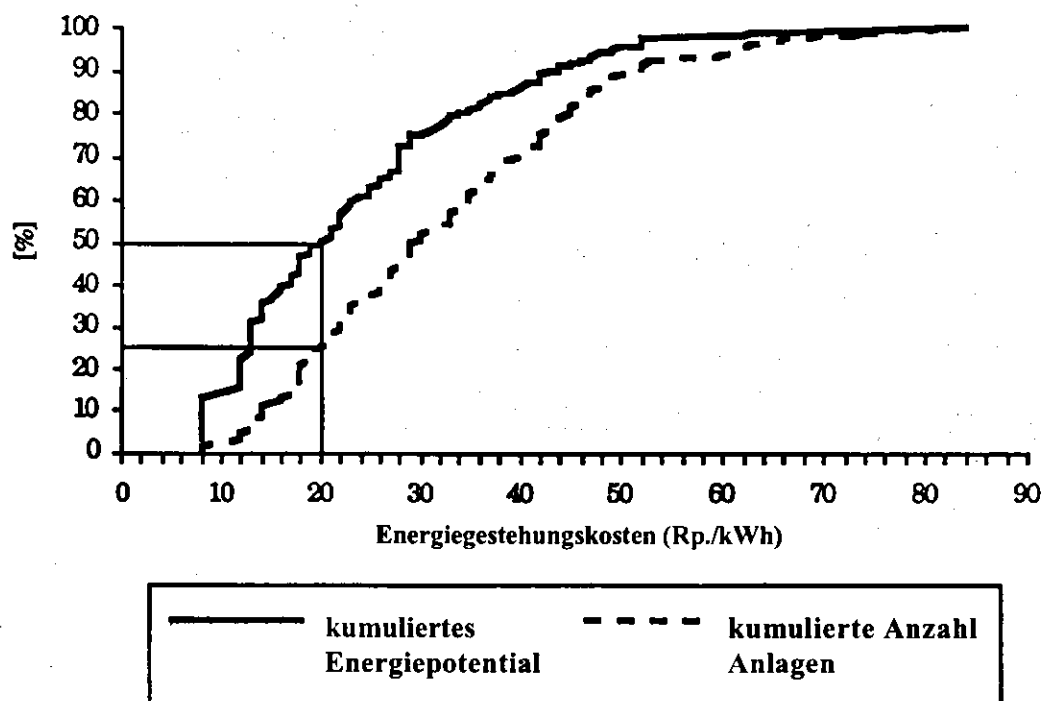
tabilitätsgrenze liegen. Dagegen würden diese Anlagen zusammen fast die Hälfte des Gesamtpotentials, also mehr als 25 Millionen Kilowattstunden pro Jahr, liefern.



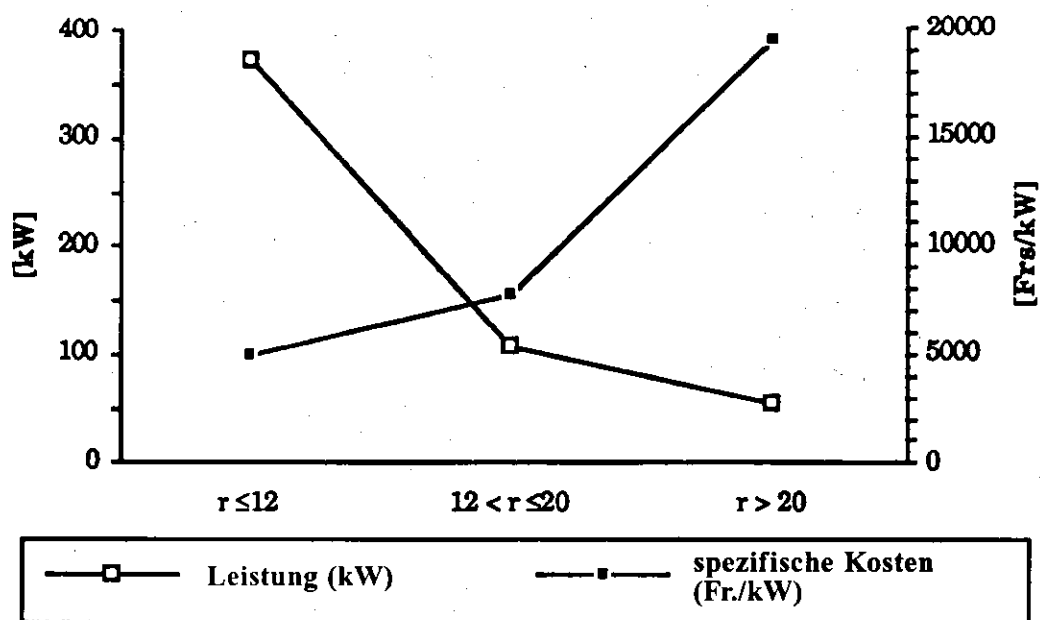
Grafik 3: Energiepotentiale im Verhältnis zum Energiegestehungspreis

Der Ausbau der 130 in Frage kommenden Anlagen bedeutet ein Auftragsvolumen in Höhe von 130 Millionen Franken. Dabei gilt, dass für die Realisierung der Anlagen, bei denen der Selbstkostenpreis unter 20 Rappen je Kilowattstunde liegt, Gesamtinvestitionen in Höhe von knapp 33 Millionen Franken erforderlich sind. Das

heisst, dass mit einem Viertel der Gesamtaufwendungen die Hälfte der potentiellen Stromerzeugung finanziert werden könnte. Es bestätigt sich also, dass die Kraftwerke mit der grössten Leistung in die Kategorie mit der besten Wirtschaftlichkeit und den niedrigsten spezifischen Kosten einzuordnen sind (Grafik 5).



Grafik 4: Energie und Anlagenanzahl im Verhältnis zum Selbstkostenpreis



Grafik 5: Spezifische Kosten und Leistungen im Verhältnis zu den Energiegestehungskosten

Die Aufteilung der Investitionen ist unterschiedlich, je nachdem, ob es sich um ein Kraftwerk vor oder nach dem Klärwerk handelt. Im ersten Fall muss der Aufwand für die Wasservorklärung in die Berechnung der Kosten einbezogen werden. Die durchschnittlichen Kosten für Kraftwer-

ke dieses Typs liegen beträchtlich höher als jene für ein Kraftwerk nach der Kläranlage. Der bedeutendste Kostenfaktor wird jedoch durch die Länge der Druckrohrleitung bestimmt, die von Fall zu Fall sehr unterschiedlich ist.

6 repräsentative Standorte

Nachdem die ersten technischen und wirtschaftlichen Überlegungen abgeschlossen waren, musste eine genauere Beurteilung der konkret vorhandenen Möglichkeiten vorgenommen werden; hierbei waren Gegebenheiten zu berücksichtigen, die nicht in die Gesamtbeurteilung einfließen konnten. 20 repräsentative Standorte wurden ausgewählt, sechs davon werden hier näher beschrieben (s. Seite 45 bis 56).

Die Auswahl sagt etwas über die Vielfalt der möglichen Gegebenheiten aus, weniger jedoch über die erzeugte Energie oder über die Wirtschaftlichkeit der Anlagen. Sie zeigt insbesondere, dass das Energiekonzept so rasch wie möglich in die Programme zur Anlage oder Sanierung von Abwasserleitungssystemen einbezogen werden muss. Systeme, die potentiell von Interesse sind, erweisen sich unter Umständen als weit weniger wirtschaftlich, weil das Projekt kein Konzept zur Energierückgewinnung beinhaltet.

Portrait succinct du projet DIANE 'Petites Centrales Hydrauliques'

Kurzportrait Projekt DIANE Klein-Wasserkraftwerke

Dans le cadre d'Energie 2000, sept projets sélectionnés ont démarré en vue de faciliter la "Diffusion d'applications innovatrices de nouvelles techniques énergétiques", sous l'abréviation DIANE. Le projet DIANE, Petites Centrales Hydrauliques (DIANE PCH) s'est fixé pour objectif de maintenir, voire d'accroître la production d'énergie provenant de petites centrales hydrauliques (PCH), en remettant en service les PCH abandonnées et en rénovant celles qui se trouvent dans un état vétuste, ainsi qu'en exploitant de nouvelles ressources potentielles. Ce projet se fixe également pour but d'améliorer la rentabilité, d'augmenter l'aptitude aux investissements pour les PCH et d'ancrer ce moyen de productivité dans le concept énergétique national.

L'examen des potentiels existant dans certains secteurs sélectionnés a permis de les mettre à profit.

- **Centrales hydrauliques sur l'alimentation en eau potable**
Le potentiel correspondant a été saisi pour l'ensemble du territoire suisse et les municipalités concernées ont été informées en conséquence. Une documentation suivie d'une série de rencontres techniques régionales devraient les encourager à exploiter ces ressources considérables en y installant des PCH.
- **Centrales hydrauliques sur l'évacuation des eaux usées**
Le turbinage de la pression excédentaire des canalisations d'eaux usées est une nouveauté systématiquement encouragée à l'échelle mondiale. La procédure est analogue à celle des centrales hydrauliques à installer sur les réseaux d'alimentation en eau potable.

Im Rahmen von Energie 2000 sind sieben Projekte zum Durchbruch Innovativer Anwendungen Neuer Energietechniken mit dem Kürzel DIANE gestartet worden. Das Projekt DIANE Klein-Wasserkraftwerke (DIANE-KWK) hat zum Ziel, die Energieproduktion aus Kleinwasserkraftwerken (KWK) zu erhalten resp. zu erhöhen, indem stillgelegte und veraltete KWK erneuert und neue Potentiale genutzt werden. Projektziel ist die Verbesserung der Rentabilität, Zunahme der Investitionsbereitschaft für KWK und die Anerkennung als Leistungsträger im nationalen Energiekonzept.

In ausgewählten Bereichen werden Potentiale untersucht und der Nutzung zugeführt:

- **Trinkwasser-Kraftwerke**
Das Potential wurde gesamtschweizerisch erfasst und die betroffenen Gemeinden darauf hingewiesen. Mit einer Dokumentation und einer Reihe gut besuchter regionaler Fachtagungen werden sie zur Erschliessung dieses namhaftesten aller Potentiale für Kleinwasserkraftwerke ermutigt.
- **Abwasser-Kraftwerke**
Als weltweites Novum wird das Turbinieren von überschüssigem Druck in Abwasserleitungen systematisch gefördert. Das Vorgehen ist analog zu den Trinkwasser-Kraftwerken.
- **Kleinst-Kraftwerke**
Der Bau wird mit einer reich illustrierten Beispielsammlung und Bezeichnung von mehr als 70 über die ganze Schweiz verteilten Demonstrationsanlagen sowie mit Tagungen unterstützt.

- **Toutes petites centrales hydrauliques**
Leur construction est encouragée à l'aide d'une collection d'exemples bien illustrés, complétée par la mise à disposition de plus de 70 installations de démonstration réparties sur tout le territoire national, ainsi que par une série de journées d'étude adéquates.

- **Centrales hydrauliques abandonnées et vétustes**

Une méthode d'évaluation mise au point par DIANE PCH permet à un maître d'ouvrage d'estimer grossièrement les possibilités de réaliser soit une réactivation, soit une rénovation, sans pour autant avoir recours à l'intervention onéreuse d'un spécialiste.

Afin que les PCH puissent répondre de manière rentable à de nouvelles servitudes écologiques et que leurs chances d'acceptation soient plus grandes au cours de la procédure d'autorisation, les responsables ont lancé divers projets partiels à caractère écologique, énumérés ci-après:

- **Analyse de la situation**

Un groupe de travail, composé de spécialistes en biologie et limnologie, est en mesure d'examiner les problèmes écologiques relatifs aux eaux stagnantes et courantes et de fournir les solutions appropriées.

- **Détritus flottants**

L'obligation d'éliminer les déchets et débris flottants, récupérés dans les dégrilleurs des installations réparties sur le Plateau suisse, peut conduire à une charge financière sérieuse et à des coûts énergétiques défavorables. Ce problème est abordé par une analyse de cas typiques, accompagnée d'indications générales et d'améliorations apportées sur une installation pilote, dans laquelle le captage a été optimisé au niveau du rejet des débris flottants.

- **Stillgelegte und veraltete Kraftwerke**

Mit einer von DIANE-KWK ausgearbeiteten Methode kann ein interessierter Bauherr ohne Beizug eines teuren Fachmannes grob abschätzen, wie hoch die Realisierungschancen einer Reaktivierung und Erneuerung sind.

Damit die KWK neue ökologische Auflagen wirtschaftlicher erfüllen können und ihre Akzeptanz im Bewilligungsverfahren steigt, wurden verschiedene ökologische Teilprojekte gestartet:

- **Situationsanalyse**

Eine Arbeitsgruppe aus Fachleuten der Biologie und Limnologie untersucht die gewässerökologischen Probleme und zeigt Lösungswege auf.

- **Schwemmgut**

Bei Anlagen im Mittelland kann die Entsorgungspflicht für Schwemmgut aus den Rechenanlagen zu einer wesentlichen finanziellen Belastung und zu Energieeinbußen führen. Dieses Problem wird mit einer Analyse typischer Fälle, mit allgemeinen Hinweisen und mit Verbesserungen an einer Pilotanlage angegangen, wo die Fassung hinsichtlich Geschwemmsel-Abweisung optimiert wurde.

- **Kontinuum**

Mit kostengünstig realisierbaren Verbesserungen an Aufstiegshilfen für Fische und Kleinlebewesen wird das häufigste Gegenargument gegen KWK entschärft, sie würden Lebensräume zerstücken.

- **Gesamtökologische Bilanz**

In einer Schlusspublikation werden alle positiven und negativen Aspekte der KWK im Spannungsfeld von Umwelt, Energie und Wirtschaft aufgezeigt und Lösungswege für Probleme angegeben.

- **Continuum**

La possibilité d'améliorer à des coûts avantageux les passes et dispositifs auxiliaires pour les poissons et les micro-organismes désamorce l'argumentation la plus souvent citée à l'encontre des PCH, à savoir que ces aménagements risqueraient de morceler les biotopes et espaces vitaux.

- **Bilan écologique global**

Une publication finale aborde tous les aspects positifs et négatifs des PCH, en confrontant les milieux de controverse possible, comme l'environnement, l'énergie et l'économie, tout en fournissant des solutions aux problèmes posés.

Les résultats obtenus sont systématiquement concrétisés par:

- **une large information publique;**
- **une série de publications DIANE PCH** avec un logo correspondant;
- **information individuelle, conseils succincts avec analyse approximative** sur les lieux et les installations; ce faisant, les résultats relatifs à d'autres mesures promotionnelles de la Confédération sont mis en pratique, comme par exemple les publications du projet PACER - Petites centrales hydrauliques, ainsi que le soutien financier du projet par des contributions d'aide de la part de la Confédération;
- **Congrès prévu en 1997 avec exposition spécialisée et foire des fournisseurs.**

Die Ergebnisse werden systematisch umgesetzt mit:

- **breiter Öffentlichkeitsarbeit;**
- **einer Publikationsreihe DIANE-KWK mit einem ansprechenden Erscheinungsbild;**
- **individueller Information, Kurzberatung mit Grobanalysen von Standorten und Anlagen.** Dabei werden auch die Ergebnisse anderer Fördermassnahmen des Bundes umgesetzt wie die Publikationen des Projektes PACER - Kleinkraftwerke und die Projektunterstützung durch Förderbeiträge des Bundes.
- **Kongress mit Fach- und Lieferantenausstellung 1997.**

LISTE DES PUBLICATIONS DIANE PETITES CENTRALES HYDRAULIQUES

PUBLIKATIONSliste DIANE KLEIN-WASSERKRAFTWERKE

- **Elektrizität aus Trinkwasser-Systemen / L'eau potable génératrice d'électricité**
Inventar und Potentialerhebung / Inventaire et étude du potentiel
Bestellnummer / No de commande EDMZ 805.752 d + f **Preis/Prix: Fr. 10.20**
plus Versandkosten / emballage/port
- **Nutzen statt Aufgeben**
Modernisieren und reaktivieren von Klein-Wasserkraftwerken, Beurteilungskriterien.
Bestellnummer EDMZ 805.173 d **Preis: Fr. 17.35**
plus Versandkosten
- **Rénover au lieu d'abandonner**
Modernisation et remise en service des petites centrales hydrauliques.
No de commande OFCIM 805.173 f **Prix: Fr. 17.35**
plus emballage / port
- **Pico-Kraftwerke / Pico-centrales**
Kleinste Wasserkraftwerke mit Eigenleistungen bauen. / Les toutes petites centrales à installer soi-même.
8 Beispiele im Detail / 8 exemples en détails.
Bestellnummer/No de commande EDMZ 805.796 d + f **Preis/Prix: Fr. 31.60**
plus Versandkosten / emballage/port

Die Publikationen können bei folgenden Adressen bezogen werden:
Les publications sont disponibles aux adresses suivantes:

INFOENERGIE, Kindergartenstr. 1, Postfach 310, 5200 Brugg, Tel. 056 / 41 60 80 Fax 056 / 41 20 15

SKAT, Fachstelle der Schweizerischen Entwicklungszusammenarbeit für Technologie-Management,
Vadianstrasse 42, 9000 St.Gallen, Tel. 071 / 23 74 75, Fax 071 / 23 75 45

Eidg. Drucksachen und Materialzentrale, 3000 Bern,
Office fédéral central des imprimés et du matériel, OCFIM, 3000 Berne
Tel. 031 / 322 39 08 (322 39 14 / 322 39 53), Fax 031 / 322 39 75

Bei der Projektleitung sind zudem zur Zeit erhältlich:
D'autres publications sont disponibles auprès de la direction du projet:

- Portrait DIANE Klein-Wasserkraftwerke / Portrait Projet DIANE Petites centrales hydrauliques / Ritratto Progetto DIANE Piccole centrali idrauliche / Portrait DIANE Project Small Hydro (gratis/gratuit/gratuitamente/free)
- Gesamtkonzept DIANE Klein-Wasserkraftwerke (Fr. 50.-)
- Tagungsmappe zu den Tagungen «Elektrizität aus Trinkwassersystemen» (Fr. 50.-)
- Diverse Merkblätter und Informationen / Informations et fiches techniques diverses

DIANE Klein-Wasserkraftwerke, c/o ITECO Ingenieurunternehmung AG, Alte Obfelderstrasse 68, Postfach,
8910 Affoltern a/A, Tel. 01 / 761 17 45 Fax 01 / 761 17 20

Weitere Publikationen (EDMZ) sind in Vorbereitung
D'autres publications (OCFIM) sont en préparation

- Dokumentation bestehender Trinkwasser-Kraftwerke in der Schweiz (1995)
Documentation sur des centrales hydrauliques turbinant l'eau potable en Suisse (1995)
- Ökologie und Klein-Wasserkraftwerke: Faltblatt 1995, Bericht 1996
Ecologie et petites centrales hydrauliques: dépliant 1995, rapport 1996