

Das Energiepotential einer Abwasserreinigungsanlage

Autor(en): **Bühler, Ruedi**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und
Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme**

Band (Jahr): **38 (1981)**

Heft 11

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-783971>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Das Energiepotential einer Abwasserreinigungsanlage

Ruedi Bühler, dipl. Masch.-Ing. ETH, c/o Planpartner/Steiger Partner, Zürich

1. Einleitung

Heute sind praktisch alle Abwasserreinigungsanlagen mehr oder weniger grosse Bezüger von Fremdenergie. Eine Auswertung des Energiebedarfs von 30 Kläranlagen zeigt, dass pro Jahr und angeschlossenen Einwohner bzw. Einwohnergleichwert für Fremdenergie der Betrag von etwa Fr. 1.50 bis Fr. 8.- ausgegeben wird.

Die Abwasserreinigungsanlage ist aber auch ein Energielieferant. Falls die Schlammstabilisierung mittels Faulung erfolgt, entsteht bei diesem Prozess hochwertiges Gas, das für motorische Zwecke oder für Heizzwecke verwendet werden kann.

Das geklärte Abwasser hat vor allem in den Wintermonaten eine um mehrere Grad Celsius höhere Temperatur als der Vorfluter. Diese Abwärme ist für die Energiegewinnung mit einer Wärmepumpe ein vorteilhafter Wärmelieferant.

H. Roediger hat schon 1966 [1] gezeigt, dass energieautarke Kläranlagen gebaut werden können, die ihren Kraft- und Wärmebedarf durch Verwertung des eigenerzeugten Faulgases abdecken würden. Erst durch die enorme Energiepreissteigerung ist dieses Energiepotential aber interessant geworden.

In den nachfolgenden Abschätzungen haben wir eine gesamtheitliche energetische Betrachtung der Abwasserreinigungsanlage angestrebt, wobei folgende Teilaspekte untersucht wurden:

- Energiepotential des Faulgases
- Potential der Abwärme des geklärten Wassers
- Verbrauch an Antriebsenergie (mechanische Energie)
- Wärmebedarf der Schlammbehandlung
- Wärmebedarf für Gebäudeheizung

Zu diesem Zweck wurde für eine Abwasserreinigungsanlage von 10000 Einwohnern/Einwohnergleichwerten eine theoretische Energiebilanz aufgestellt. Diese soll das mögliche Energiepotential einer ARA aufzeigen. Wie weit dieses Potential in der Praxis genutzt werden kann, muss von Fall zu Fall untersucht werden.

2. Grundlagen und Annahmen

Die nachfolgenden Rechnungen basieren zum grössten Teil auf Richtwerten, die dem Buch «Stadtentwässerung» von Mosang und Bischof [2] entnommen wurden. Die wichtigsten Werte sind:

Minimale tägliche Schmutzwassermenge

$$Q_d = 300 \text{ l/E} \times d$$

Verschmutzung

$$\text{BSB}_5 = 55 \text{ g/E} \times d$$

Schlammmenge, frisch:

$$s = 1.87 \text{ l/E} \times d$$

hochbelastete Anlage

$$s = 1.13 \text{ l/E} \times d$$

Feststoffgehalt des gemischten Frischschlammes

$$f = 80 \text{ g/E} \times d$$

Faulgasmenge

$$m = 700 \text{ l/kg} \times \text{org. Feststoffe}$$

Anteil organischer Feststoffe an

gesamten Feststoffen $\frac{1}{3}$

Faulraumtemperatur 35°C

Die verwendeten Einheiten sind:

l/E × d

Liter pro Einwohner und Tag

g/E × d

Gramm pro Einwohner und Tag

l/kg × org. Feststoffe

Liter pro kg organischer Feststoffe

des Abwassers

Der ARA seien 10000 Einwohner

angeschlossen. Es wurde eine

zweistufige Anlage angenommen,

in welcher der biologische Abbau

nach dem Belebtschlammverfahren

erfolgt und der frische Schlamm

in einem beheizten Faulraum

unter Bildung von Faulgas

stabilisiert wird.

Um die Keimzahl des ausgefaulten

Schlammes zu reduzieren, wird es

in den nächsten Jahren wahr-

scheinlich in vielen Kantonen zur

Vorschrift, dass der in der Land-

wirtschaft verwendete Klär-

schlamm pasteurisiert oder auf

eine andere Art entkeimt wird. In

der nachstehenden Energiebilanz

wurde das in [3] gezeigte Ver-

fahren angenommen, bei welcher

die Vorpasteurisation zusammen

mit der Aufheizung und Impfung

des Frischschlammes vorgenommen

wird.

3. Jahresenergiebilanz

3.1 Faulgasproduktion

Mit den obenaufgeführten Richt-

werten erhält man:

organische Substanz,

66% von 80 g/E × d

530 kg/d

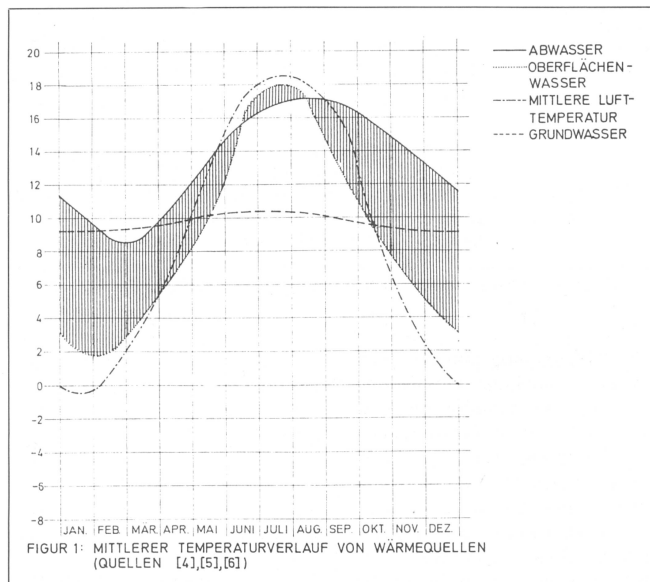


Abb. 1. Mittlerer Temperaturverlauf von Wärmequellen (Quellen [4, 5, 6]).

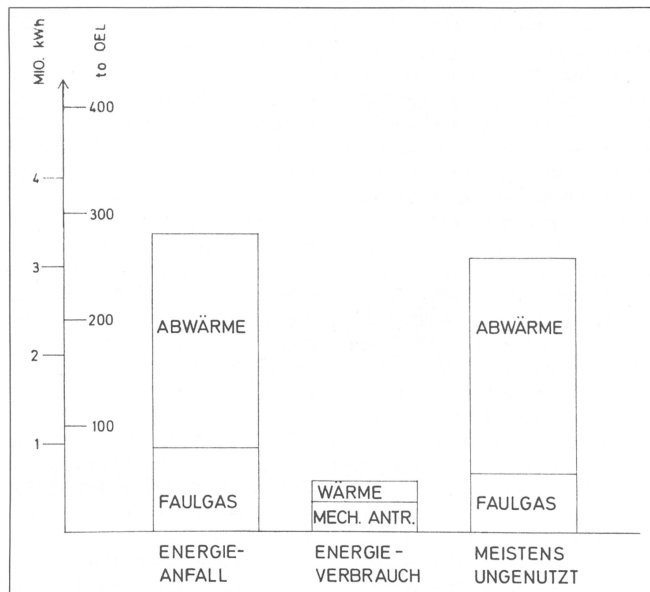


Abb. 2. Jahresenergiebilanz.

Faulgasproduktion:
 $530 \text{ kg/d} \times 0,7 \text{ m}^3/\text{kg} = 370 \text{ m}^3/\text{d}$
 Jahresenergiemenge
 (Heizwert:
 6000 kcal/m^3) $\underline{940\,000 \text{ kWh/a}}$

3.2 Abwärme des Faulschlammes und des Faulwassers

Der Faulschlamm bzw. das Faulwasser, welches vom Faulraum abgeführt wird, hat eine Temperatur von 30–35°C. Diese Abwärme

könnte von einer Wärmepumpe bei einer hohen Leistungsziffer genutzt werden. Da aber die Wärmemenge im Vergleich zum Wärmepotential des geklärten Abwassers klein ist und die Gewinnung wegen Verstopfungsgefahr des Wärmeaustauschers Probleme bringt, ist diese Abwärme in der Energiebilanz nicht berücksichtigt.

3.3 Abwärme des geklärten Abwassers

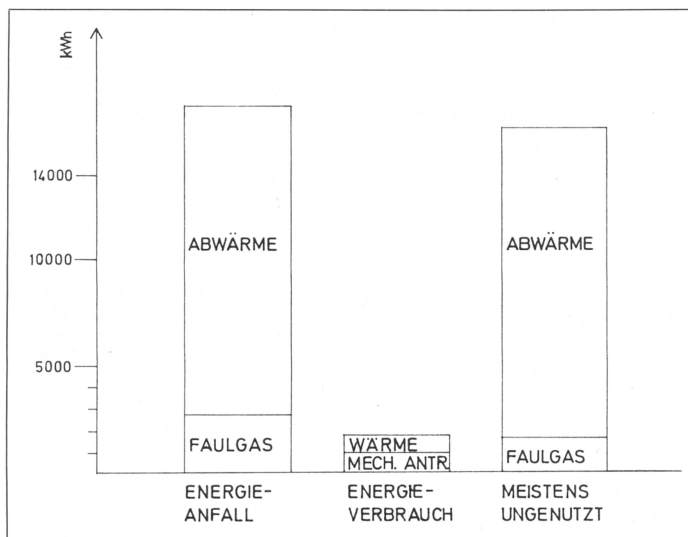


Abb. 3. Energiebilanz eines kalten Wintertages (-5°C Aussentemperatur).

Eine Wärmepumpe entzieht einer kühleren Umgebung Wärme und hebt sie auf ein höheres Temperaturniveau, so dass diese «kalte» Umgebungswärme zu Heizzwecken eingesetzt werden kann. Die Wärmepumpe braucht aber auch mechanische Antriebsenergie. Etwa zwei Drittel der gewonnenen Heizwärme werden der Umgebung entnommen, etwa ein Drittel muss von einem Antriebsmotor (Elektromotor, Gas-, Benzin- oder Dieselmotor) aufgebracht werden. Damit der Verbrauch an mechanischer Energie im Verhältnis zur genutzten Umgebungswärme möglichst klein ist, sollte die Temperatur des Mediums, dem die Umgebungswärme entzogen wird, möglichst hoch sein. Gerade im Winter, wenn der Wärmebedarf am höchsten ist, sind aber die meisten Umgebungstemperaturen sehr tief. In *Abbildung 1* sind die Temperaturverläufe verschiedener möglicher Wärmequellen für einen Wärmepumpenprozess aufgezeichnet. Die *Abbildung* zeigt, dass das Abwasser als Wärmequelle sehr gut geeignet ist. Gerade im Winter ist seine Temperatur wesentlich höher als die Lufttemperatur oder die Temperatur von Oberflächengewässern. Aus ökologischer Sicht ist das Abwasser als Wärmequelle unproblematisch. Wenn wir dem Abwasser nur so viel Wärme entziehen, dass es nicht unter 4°C und nicht unter die Temperatur des Vorfluters abgesenkt wird, so wird die thermische Belastung des Vorfluters reduziert. Zur Deckung des geringen Wärmebedarfs im Sommer müsste eine minimale Absenkung von etwa 0,5°C unter die Temperatur des Vorfluters vorgenommen werden, was nach [5] aus ökologischer Sicht keine Probleme gibt.

Aufgrund von Anfragen bei mehreren ARAs in der Umgebung von Zürich und gemäss den in [5] aufgezeigten Temperaturen des Abwassers und des Vorfluters machten wir für die Wärmeentnahme aus dem Abwasser mittels Wärmepumpe die folgenden konservativen Annahmen: Temperaturabsenkung durch Wärmeentnahme:
 Dezember, Januar, Februar $T = 4^{\circ}\text{C}$
 Oktober, November, März, April $T = 2^{\circ}\text{C}$
 Mai bis September $T = 0,5^{\circ}\text{C}$
 Bei einer Abwassermenge von 300 l/E x d ergibt das für 10 000 Einwohner eine jährliche Wärmemenge von etwa 2 400 000 kWh/a. In Wirklichkeit wird das Potential des Abwassers wesentlich (bis 100% und mehr) höher sein. Da aber genaue Werte von Anlage zu Anlage verschieden sind und durch Messungen ermittelt werden müssen, haben wir diesen konservativen Wert eingesetzt.

3.4 Verbrauch an Antriebsenergie

Der Gesamtenergieverbrauch für den Antrieb von Pumpen und Gebläsen wurde den Angaben über den Energieverbrauch von 30 Kläranlagen entnommen. Diese Werte schwanken sehr stark. Die Schwankungen können verschiedene Ursachen haben. Der Verbrauch hängt im wesentlichen von folgenden Grössen ab:

- Auslastung (Dimensionierung) der Anlage
- Klärverfahren
- Verfahren für Schlammstabilisierung

Ohne Berücksichtigung der Extremwerte beträgt der gemittelte Wert der 30 Kläranlagen, umgerechnet auf 10 000 angeschlossene Einwohner:

$Q_{\text{mech}} =$ etwa 350 000 kWh/a

Für die Belüftung im Belebtschlammverfahren wurde nach Richtwerten von [2] ein Energiebedarf von etwa 70 000 kWh/a ermittelt, das heisst rund 20% des gesamten Bedarfes an mechanischer Energie. Diese Prozentzahl scheint uns etwas tief. Genauere Werte können durch detailliertere Untersuchungen ermittelt werden.

3.5 Wärmebedarf für die Schlammbehandlung

Wie vorher schon erwähnt, nehmen wir für die nachstehenden Berechnungen an, dass die Vorpasteurisation mit der Aufheizung und Impfung des Frischschlammes kombiniert wird. Da das Verfahren aber nicht genau festgelegt ist, haben wir für allfällige Verluste einen Zuschlag von 25% des berechneten Wärmebedarfs gemacht.

Je nach Belastung der Anlage schwankt

- der Schlammanfall pro angeschlossenen Einwohner,
- das Faulraumvolumen pro angeschlossenen Einwohner.

In der nachfolgenden Abschätzung haben wir je den Wärmebedarf für eine hochbelastete Anlage (kleiner Schlammanfall, kleines Faulraumvolumen) und für eine niedrigbelastete Anlage berechnet:

Aufheizen und Pasteurisieren des Frischschlammes (inkl. 25% Verlust)

schwachbelastete Anlage: ca. 250 000 kWh/a

hochbelastete Anlage: ca. 150 000 kWh/a

Warmhalten des Faulraumes bei gut isoliertem Faulraum ($k = 0,4 \text{ W/m}^2\text{C}$), Mittellandklima

schwachbelastete Anlage: ca. 20 000 kWh/a

hochbelastete Anlage: ca. 10 000 kWh/a

Total für Schlammbehandlung

schwachbelastete Anlage: ca. 270 000 kWh/a

hochbelastete Anlage: ca. 160 000 kWh/a

3.6 Wärmebedarf für Gebäudeheizung

Wir nehmen an, dass ein Betriebsgebäude von 100m² Grundfläche beheizt werden soll. Das Gebäude sei wärmetechnisch nicht saniert und habe eine Energiekennzahl von $E = 700 \text{ MJ/a}$ (Details zur Energiekennzahl siehe Ref. [4]). Dann ergibt sich:

Jahreswärmebedarf für Gebäudeheizung ca. 20 000 kWh/a

4. Energiebilanz an einem kalten Wintertag

Im Winter ist der Eigenverbrauch

an Energie am grössten. Wie sieht die Energiebilanz dann aus? Um diese Frage zu beantworten, haben wir eine Energiebilanz für einen kalten Wintertag berechnet. Dabei haben wir eine Aussentemperatur von -5°C angenommen. Im Mittelland wird diese Temperatur nur während etwa 12 Tagen pro Jahr unterschritten. Die Berechnungen ergeben folgende Resultate:

Energieanfall:

Faulgas ca. 2 600 kWh
 Abwärme des geklärten Wassers ca. 14 000 kWh

Energieverbrauch:

Antriebsenergie ca. 1 000 kWh
 Schlammbeheizung ca. 500–900 kWh
 Gebäudeheizung ca. 200 kWh

5. Beurteilung der Energiebilanz

Im *Kästchen* ist die Jahresenergiebilanz zusammengestellt und in *Abbildung 2* graphisch aufgezeichnet. Für die Schlammbeheizung haben wir dort einen mittleren Energiebedarf von 220 000 kWh/a eingesetzt. Zusätzlich wurde in *Abbildung 2* aufgezeigt, welches Energiepotential ungenutzt bleibt, wenn

- das Faulgas nur zu Heizzwecken und
- die Abwärme des geklärten Wassers überhaupt

nicht genutzt wird. *Abbildung 3* zeigt die Energiebildung eines kalten Wintertages.

Bei den in den *Abbildungen 2* und *3* gezeigten Wärmebilanzen handelt es sich um berechnete, theoretische Werte. Es wurden zum Teil Annahmen gemacht (z. B. über die Isolation des Faulraumes), die in der Praxis heute nur teilweise erfüllt sind. Die Energiebilanz zeigt aber, dass in einer ARA ein grosses Energiepotential vorhanden ist, welches heute nur zu einem kleinen Teil ausgenutzt ist. Sie ermöglicht folgende Schlüsse:

- In einer ARA werden etwa 50–100% mehr hochwertige Energie (Faulgas) produziert als an Energie benötigt wird. Diese hochwertige Energie wird heute meistens nur bis maximal 20–30% ausgenutzt.
- Auch an einem kalten Wintertag wird mehr hochwertige Energie erzeugt, als die ARA selber an Energie benötigt.

Eine ARA könnte also energetisch autark sein und dazu noch hochwertige Energie (Gas, Elektrizität) sowie nutzbare Abwärme abgeben.

- Trotz sehr konservativer Annahmen ist das Potential an Abwärme, das mittels Wärmepumpe genutzt werden könnte, ausser-

ordentlich gross. Mindestens 5 bis 10% des Gesamtwärmebedarfes der an der ARA angeschlossenen Region könnte durch Nutzung der Abwärme des geklärten Wassers gedeckt werden.

6. Möglichkeiten und Grenzen

Die Auswertung von 30 Kläranlagen zeigt, dass die energieautarke ARA in der Praxis nicht realisiert ist:

- Praktisch überall wird die mechanische Antriebsenergie durch Elektrizität aus dem Netz erbracht. In einzelnen Anlagen wird der Einsatz von Faulgasmotoren oder von Totalenergieanlagen studiert.
- Der Verbrauch von elektrischer Energie schwankt von Anlage zu Anlage sehr stark. Es gibt Anlagen, deren Verbrauch an elektrischer Energie pro angeschlossenen Einwohner mehr als das Dreifache des Mittelwertes beträgt.
- Bei etwa 50% aller Anlagen muss im Winter zu Heizzwecken noch Fremdenergie (Öl) bezogen werden, zum Teil in beträchtlichem Ausmass. Nur ganz wenige Anlagen scheinen auch an kalten Wintertagen einen Überschuss an Faulgas zu haben.
- Die Abwärme des geklärten Wassers wird bei einer einzigen Anlage ausgenützt.

Bis heute fehlen detaillierte Untersuchungen, aus denen ersichtlich

wäre, warum das grosse Potential an hochwertiger Antriebsenergie (Faulgas) nur wenig genutzt ist und wie weit dieses Potential in der Praxis genutzt werden kann.

Der wirtschaftlichen Nutzung der Abwärme des geklärten Wassers sind Grenzen gesetzt:

- Die erzeugte Wärme hat eine niedrige Temperatur (bis etwa 55°C). Die angeschlossenen Wärmebezugssysteme sollten daher auf Niedertemperatur ausgelegt sein, oder die Niedertemperatur-Fernwärme muss dezentral zusätzlich aufgeheizt werden können.
- Die Distanzen zwischen Wärmeerzeugung (Wärmepumpe) und Wärmebezugern sollten möglichst klein und die Wärmebezüge möglichst gross sein (Schulanlagen, dichte Grossüberbauungen). Der Grund für diese Forderung liegt in den hohen Kosten der Fernwärmeleitungen. Pro Meter Fernleitung (Distanz) sollte der Wärmebezug grösser als 15 GJ/a sein, damit die Investitionskosten für Wärmeerzeugung und Fernleitung noch in vertretbarer Zeit amortisiert werden können.

7. Konsequenzen

Es gibt keine allgemeingültige Lösung, wie das Energiepotential einer ARA sinnvoll genutzt werden kann. Dazu sind anlagenspezifische Untersuchungen erforderlich. Solche Untersuchungen müssen zeigen:

Jahresenergiebilanz einer ARA von 10 000 Einwohnern

Energieanfall:		
Faulgasproduktion	940 000 kWh entspr.	79 t Öl
Abwärme des geklärten Wassers	2 400 000 kWh entspr.	202 t Öl
Energieverbrauch:		
Antriebsenergie	350 000 kWh entspr.	29 t Öl
Schlammbehandlung	220 000 kWh entspr.	18 t Öl
Gebäudeheizung	20 000 kWh entspr.	2 t Öl

- Wo und wieviel Energie wird in der ARA selber verbraucht.
- Einsparungsmöglichkeiten im Eigenverbrauch.
- Wieviel Faulgas kann produziert werden. Wie können die Bedingungen der Faulgasproduktion verbessert werden.
- Vorschläge für die sinnvollste Verwendung des Faulgases.
- Abwärmepotential des geklärten Abwassers unter Berücksichtigung der anlagenspezifischen Verhältnisse wie Abwasser- und Vorflutertemperatur usw.
- Potential an Wärmebezugern, welche die Abwärme nach den im vorherigen Abschnitt aufgeführten Kriterien wirtschaftlich nutzen könnten.

Eine solche gesamtheitliche Untersuchung sollte der erste Schritt zur besseren Ausnützung des Energiepotentials einer ARA sein. Die Wirksamkeit einzelner Massnahmen kann auf diese Weise diffe-

renziert beurteilt und verschiedene Massnahmen können zu aufeinander abgestimmten Massnahmenpaketen zusammengefasst werden.

Literatur

- [1] Roediger, H., Langzeitbelüftung oder energiestarke Kläranlage, Kommunalwirtschaft 1966, Heft 9.
- [2] Hosang/Bischof, Stadtentwässerung, 6. Auflage, Stuttgart 1976.
- [3] Roediger, H., Die anärobe alkalische Schlammfäulung, 3. Auflage, München 1967.
- [4] Bundesamt für Konjunkturfragen, Sanierungshandbuch «Planung und Projektierung» 1980.
- [5] Brunner, C. U. et al., Plenar Energie Glattal, Zürich 1979.
- [6] Nipkon, J. et al., Wärmepumpen, SES Report Nr. 11, Zürich 1980.



PETER LINK

Dienstleistungen Gewässerschutz

Alle Abwasser-, Schlamm- und Sedimentanalysen. Ausführung nach den Untersuchungsmethoden des Eidgenössischen Departements des Innern, in Spezialfällen der Deutschen Einheitsverfahren oder der US Environmental Protection Agency.

Abwasseranalysen im Abonnement mit individuellen Untersuchungsprogrammen.

Toxizitätsprüfungen mit lebenden Organismen für den aeroben und anaeroben Bereich, inklusive respirometrische Messungen. Simulierung des Belebtschlammverfahrens in Pilot-Kläranlage mit Studium des Abbau- und Schlammverhaltens.

Beratungen, Vorstudien, Durchführbarkeitsstudien, Projektierung, Ausschreibung, Offertvergleich.

Optimierung bestehender Industrieabwasser-Vorbehandlungsanlagen.

Ermittlung von Einwohnerequivalenzen (Kostenverteiler), Erstellung von Abwasserkatastern.

Beratung bei Betriebsschwierigkeiten von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen.

Das Institut ist ein privates Unternehmen ohne Bindung an irgendwelche Lieferanten.

PETER LINK Abwasserlaboratorium/Beratungsbüro

CH-9642 Ebnat-Kappel, Telefon 074 3 22 48, Telex 71 93 37 link ch