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

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung für Landesplanung

Band: 38 (1981)

Heft: 11

Artikel: Das Energiepotential einer Abwasserreinigungsanlage

Autor: Bühler, Ruedi

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-783971

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

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
$Q_d = 300$ l/E×d
Verschmutzung
$BSB_5 = 55$ g/E×d
Schlammenge, frisch:
schwach belastete Anlage
$s = 1.87$ l/E×d
hochbelastete Anlage
$s = 1.13$ l/E×d
Feststoffgehalt des gemischten Frischschlammes
$f = 80$ g/E×d
Faulgasmenge
$m = 700$ l/kg×org. Feststoffe
Anteil organischer Feststoffe an gesamten Feststoffen ⅔
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 wahrscheinlich in vielen Kantonen zur Vorschrift, dass der in der Landwirtschaft verwendete Klärschlamm pasteurisiert oder auf eine andere Art entkeimt wird. In der nachstehenden Energiebilanz wurde das in [3] gezeigte Verfahren angenommen, bei welcher die Vorpasteurisation zusammen mit der Aufheizung und Impfung des Frischschlammes vorgenommen wird.

3. Jahresenergiebilanz

3.1 Faulgasproduktion

Mit den obenaufgeführten Richtwerten erhält man:

organische Substanz,
66 % von 80 g/E×d 530 kg/d

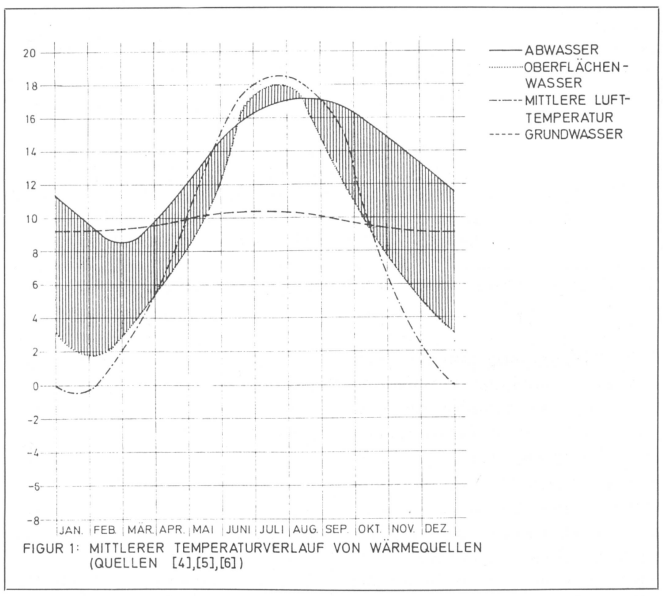

Abb. 1. Mittlerer Temperaturverlauf von Wärmequellen (Quellen [4, 5, 6]).

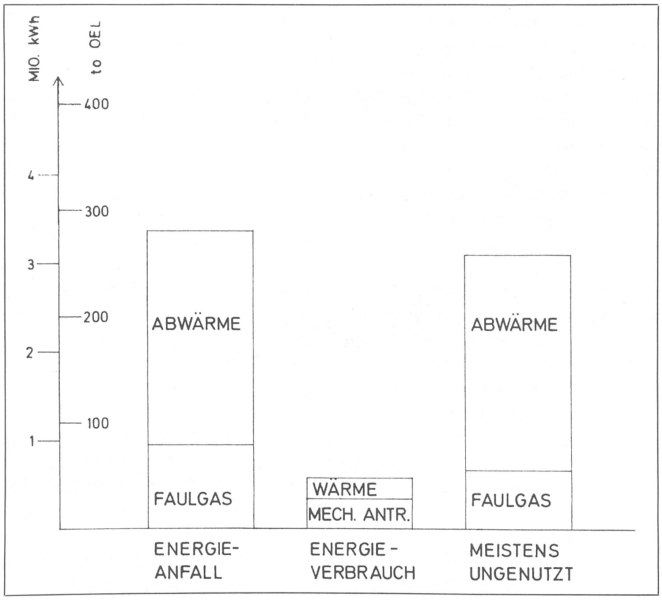

Abb. 2. Jahresenergiebilanz.

Faulgasproduktion:
530 kg/d×0,7 m³/kg 370 m³/d
Jahresenergiemenge
(Heizwert:
6000 kcal/m³) 940 000 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

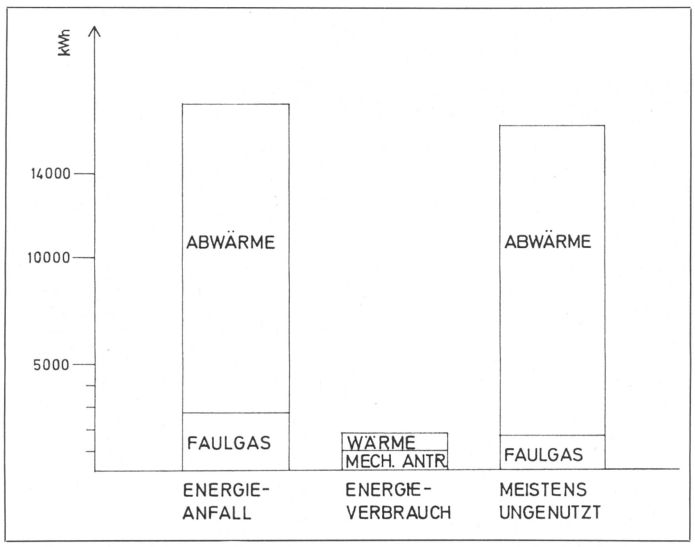

Abb. 3. Energiebilanz eines kalten Wintertages (–5 °C Aussentemperatur).

Eine Wärmepumpe entzieht einer kühleren Umgebung Wärme und hebt sie auf ein höheres Temperaturniveau, so dass diese «kalte» Umgebungswärme zu Heizzwekken 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 minime 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 °C
Oktober, November, März, April	T =	2 °C
Mai bis September	T =	0,5 °C

Bei einer Abwassermenge von 300 l/E×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_{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 W/m²°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 100 m² Grundfläche beheizt werden soll. Das Gebäude sei wärmetechnisch nicht saniert und habe eine Energiekennzahl von E = 700 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 Heizzwekken 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 ausgenützt 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 % ausgenützt.
- 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 Wärmebezügern sollten möglichst klein und die Wärmebezüger 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 anlagespezifischen Verhältnisse wie Abwasser- und Vorflutertemperatur usw.
- Potential an Wärmebezügern, 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 differenziert 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 Schlammfaulung, 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 Einwohnergleichwerten (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